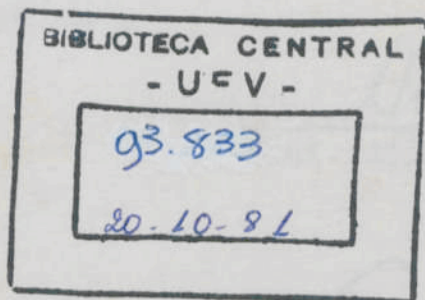


MARIO AKUTSU

RELAÇÃO DE FUNÇÕES CLIMÁTICAS E BIÓTICAS COM A TAXA  
DE INFECÇÃO DA FERRUGEM DO CAFEIEIRO (Hemileia  
vastatrix Berk. et Br.)



Tese Apresentada à Universi-  
dade Federal de Viçosa, como  
Parte das Exigências do Curso  
de Pós-Graduação em Fitopatolo-  
gia, para Obtenção do Grau de  
"Magister Scientiae".

T  
633.7394  
A315r  
1981  
v.2

VIÇOSA - MINAS GERAIS

1981

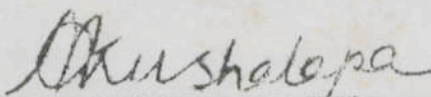
DOAÇÃO

RELAÇÃO DE FUNÇÕES CLIMÁTICAS E BIÓTICAS COM A TAXA  
DE INFECÇÃO DA FERRUGEM DO CAFEEIRO (Hemileia  
vastatrix Berk. et Br.).

por

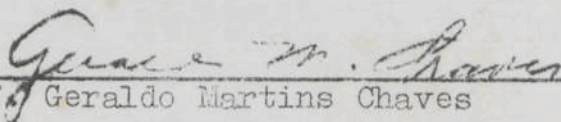
MARIO AKUTSU

APROVADA:



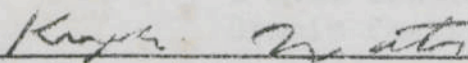
---

Prof. Ajjamada Chengappa Kushalappa  
(Orientador)



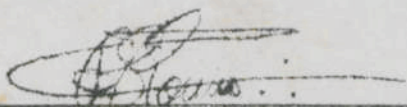
---

Prof. Geraldo Martins Chaves



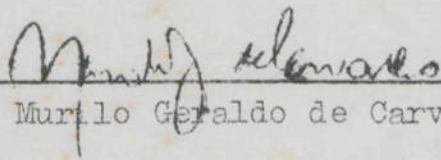
---

Prof. Kiyoshi Matsuoka




---

Prof. Reginaldo da Silva Romeiro



---

Prof. Murilo Geraldo de Carvalho

<b>UFV</b>	BIBLIOTECA	BBT	OBRA	RG000090337
	CLASSIFICACAO	T 633.7394 / A315r		
TITULO				
Relacao de funcoes climaticas abioticas c				
				
		93833	BBT	

A meus pais,  
a meus irmãos e  
demais familiares.



## AGRADECIMENTOS

Ao professor Ajjamada Chengappa Kushalappa, pela orientação e apoio durante a execução deste trabalho.

Aos professores Geraldo Martins Chaves, Kiyoshi Matsuoka, Reginaldo da Silva Romeiro e Murilo Geraldo de Carvalho pelas críticas e sugestões apresentadas.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de participar do curso.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), pela cessão do campo experimental e pela colaboração para a execução dos trabalhos de campo.

Aos colegas de curso, em especial a Nilton Tadeu Vilela Junqueira, José Clerio Rezende Pereira e Dirceu Fláclido dos Santos, pela amizade e colaboração; aos colegas Albino Grigoletti Junior e Leo Pires Ferreira, pelo apoio e amizade.

Aos professores Artemio Ludwig e Ricardo Frederico



Euclides do Centro de Processamento de Dados, pela colaboração na programação dos dados. Ao professor Laércio Zambolim, pelas sugestões e incentivo.

A todos funcionários do Departamento de Fitopatologia, pela colaboração e amizade.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização do presente trabalho.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

MARIO AKUTSU, filho de Hiroo Akutsu e Kioko Akutsu, nasceu em Oriente, Estado de São Paulo.

Em julho de 1972, graduou-se em engenharia agrônômica pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", U.S.P., em Piracicaba-SP.

De julho de 1972 a fevereiro de 1973, desempenhou as funções de engenheiro-agrônomo na Refinadora Paulista S/A.

No período de março de 1973 a março de 1974, realizou curso de especialização no Japão, nas áreas de fruticultura e fitossanidade, como bolsista do governo japonês. De abril a julho de 1974, realizou curso intensivo de inglês em Vancouver, no Canadá.

Exerceu as funções de engenheiro-agrônomo extensionista, na Cooperativa Central Agrícola Sul-Brasil, no período de setembro a dezembro de 1974.

No período de janeiro de 1975 a março de 1976, exerceu o cargo de assistente de diretoria da Cacique de Vege-

tais Industrializados S/A, em Atibaia-SP.

Desempenhou as funções de pesquisador na área de fitopatologia, na Estação Experimental de São Joaquim-SC, de abril de 1976 a fevereiro de 1979.

Em março de 1979, iniciou o curso de mestrado em Fitopatologia, na Universidade Federal de Viçosa.

## CONTÍDUO

	Página
LISTA DE QUADROS .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	x
SUMÁRIO .....	xi
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	11
3.1. Localização do Experimento .....	13
3.2. Iluminação da Instalação .....	14
3.3. Quantificação da Intensidade da Ferrugem .....	17
3.3.1. Amostras em ramos secos .....	17
3.3.2. Amostras em folhas coletadas no campo .....	18
3.4. Seleção do Material de Crescimento e Colheita .....	21
da Data de Infecção Aparente .....	21
3.5. Funções Fisiológicas .....	22
4. RESULTADOS .....	26
4.1. Quantificação de Inoculum Inoculativo .....	26



Página

4.1.1. Efeito da temperatura na germinação de  
uredosporos de *U. vasubria* em folhas  
de caféiro ..... 25

4.1.2. Efeito do número de horas de água lí-  
vica na infectividade de *U. vasubria* em  
folhas de caféiro ..... 26

4.1.3. Efeito da umidade infectividade  
de *U. vasubria* em caféiro ..... 27

CONTEÚDO

Página

LISTA DE QUADROS ..... viii

LISTA DE FIGURAS ..... x

EXTRATO ..... xiii

1. INTRODUÇÃO ..... 1

2. REVISÃO DE LITERATURA ..... 4

3. MATERIAL E MÉTODOS ..... 13

  3.1. Germinação de Uredosporos ..... 13

  3.2. Infectividade de Uredosporos ..... 14

  3.3. Quantificação da Intensidade de Ferrugem .

    3.3.1. Amostragem em ramos marcados ..... 17

    3.3.2. Amostragem em folhas coletadas ao acaso. .... 19

  3.4. Seleção do Modelo de Crescimento e Cálculo  
    da Taxa de Infecção Aparente ..... 21

  3.5. Funções Epidemiológicas ..... 22

4. RESULTADOS ..... 26

  4.1. Quantificação de Processos Monocíclicos... .. 26

	Página
4.1.1. Efeito da temperatura na germinação de uredosporos de <u>H. vastatrix</u> em folhas de cafeeiro .....	26
4.1.2. Efeito do número de horas de água livre na infectividade de <u>H. vastatrix</u> em mudas de cafeeiro .....	28
4.1.3. Efeito da temperatura na infectividade de <u>H. vastatrix</u> em mudas de cafeeiro..	28
4.2. Crescimento do Hospedeiro .....	31
4.3. Desenvolvimento da Doença .....	31
4.4. Seleção do Modelo de Crescimento .....	37
4.5. Correlação das Funções Epidemiológicas com "P" .....	39
4.6. Seleção de Combinações de Variáveis Independentes para Prever a Taxa da Doença..	47
5. DISCUSSÃO .....	48
6. RESUMO E CONCLUSÕES .....	53
7. ABSTRACT .....	56
8. LITERATURA CITADA .....	59
APÊNDICE .....	63



Quadro	Página
do desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro, em Ponte Nova, MG, para o período de 1978-79 .....	41

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1 Número de folhas atuais, caídas e cumulativas, com e sem ferrugem, para cada período de leitura em ramos marcados, em Ponte Nova, MG, para o período de 1979-80	33
2 Números de folhas atuais, caídas e cumulativas, com e sem ferrugem, para cada período de leitura em ramos marcados, em Ponte Nova, MG, para o período de 1978-79	34
3 Soma de quadrados de desvios (SQD) e taxa de infecção aparente (r), para os três modelos de crescimento, testados para o melhor ajustamento da curva de progresso da doença e crescimento do hospedeiro, em Ponte Nova, MG, durante os períodos de 1978/79 e 1979/80 .....	38
4 Variáveis dependentes que foram consideradas na formulação de equações de previsão, para o desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro, em Ponte Nova, MG, durante os períodos de 1978-79 e 1979-80.....	40
5 Variáveis dependentes que foram consideradas na formulação de equações de previsão	



## Quadro

## Página

do desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro, em Ponte Nova, MG, para o período de 1978-79 .....	41
6 Variáveis independentes que foram consideradas na formulação de equações de previsão do desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro, em Ponte Nova, MG, para o período de 1979-80 .....	42
7 Coeficientes de correlação simples (r) entre as variáveis dependentes na formulação de equações de previsão do desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro, em Ponte Nova, MG, para o período de 1978-80 .....	45
8 Equações de previsão resultantes do programa de regressão múltipla 'stepwise', com as variáveis independentes selecionadas e respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) .....	47
1A Efeito da temperatura na germinação de uredosporos de <u>H. vastatrix</u> , em folhas de cafeeiro .....	66
2A Efeito do número de horas de água livre na infectividade de <u>H. vastatrix</u> , em mudas de cafeeiro, cultivares Mundo Novo e Catuaí .....	66
3A Efeito da temperatura na infectividade de uredosporos de <u>H. vastatrix</u> , em mudas de cafeeiro .....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Efeito da temperatura sobre a germinação de uredosporos de <u>H. vastatrix</u> em folhas de cafeeiro .....	27
2	Efeito do número de horas de água livre na infectividade de <u>H. vastatrix</u> em mudas de cafeeiro .....	29
3	Efeito da temperatura na infectividade de uredosporos de <u>H. vastatrix</u> em mudas de cafeeiro .....	30
4	Proporção de folhas de cafeeiro atuais e cumulativas em relação à $Y_{max}$ (y), para os períodos de setembro a agosto de 1978/79 e 1979/80, em Ponte Nova, MG; cada unidade de tempo representa o intervalo entre uma data de leitura e outra de duas semanas .....	32
5	Proporção de folhas com ferrugem (x) e proporção de folhas com ferrugem em relação a $Y_{max}$ (xm') em Ponte Nova, MG, para os períodos de 1978/79 e 1979/80; cada unidade de tempo representa o intervalo entre uma data de leitura e outra de duas semanas .....	35



Figura	Página	
6	Proporção de área foliar com ferrugem (x) e proporção de área foliar com ferrugem em relação a $Y_{max}$ ( $xm'$ ), para os períodos de 1978/79 e 1979/80, em Ponte Nova, MG, cada unidade de tempo representa o intervalo entre uma data de leitura e outras de duas semanas .....	36
7	Valores da taxa de infecção aparente ( $P''$ ), para proporção de folhas com ferrugem (PFF), proporção de folhas disponíveis para infecção (PFD) e monitor da proporção de área foliar com ferrugem com esporos (PAFFE), representados em barras, para ferrugem do cafeeiro, em Ponte Nova, MG .....	43
8	Valores da taxa de infecção aparente ( $P''$ ), para proporção de área foliar com ferrugem (PAFF), proporção de área foliar disponível para infecção (PAFD) e monitor da proporção de área foliar com ferrugem com esporos (PAFFE), representados em barras, para a ferrugem do cafeeiro, em Ponte Nova, MG .....	44
9	Valores da taxa de infecção aparente ( $P''$ ), para proporção de folhas com ferrugem (PFF), proporção de área foliar com ferrugem (PAFF), função de processos monocíclicos (FPM), função de infecção (FINF), representados, em barras, para ferrugem do cafeeiro, em Ponte Nova, MG .....	46
1A	Diagrama representando $25\text{ cm}^2$ de folha, ilustrando lesões de ferrugem de 1, 3, 5 e 7% da área foliar, dando uma área cumulativa de 25%. Estima-se a intensidade de ferrugem pelo somatório das áreas das lesões .....	64
2A	Variáveis dependentes e independentes, que foram consideradas para prever a taxa de	



Figura		Página
	infecção aparente $P''$ , para a ferrugem do cafeeiro, em Ponte Nova, MG .....	65

## RESUMO

AMITSO, Mário. M.S., Universidade Federal de Viçosa, Departamento de 1981. Relação do período climático e a ocorrência da doença de infecção da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

O progresso da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.) foi quantificado em um hectare de café em cultivo em Ponte Nova, MG, a intervalos de 14 dias, de setembro de 1973 a agosto de 1980, de base de comparação de folhas com ferrugem (FV) e percentagem de área foliar com ferrugem (PAF).

A taxa de infecção aparente por  $P''$  durante a fase de crescimento (C), a ocorrência para crescimento do hospedeiro (P), foi estimada, utilizando-se o melhor modelo de crescimento exponencial e logístico.

Aplicação meteorológica, instalação de câmeras, determinaram a ocorrência de chuva, duração de horas de água livre e precipitação diária. De todos os fatores, a forma transformada para as funções de crescimento exponencial,

## EXTRATO

AKUTSU, Mário. M.S., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 1981. Relação de funções climáticas e bióticas com a taxa de infecção da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.). Professor Orientador: Ajjamada Chengappa Kushalappa.

O progresso da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.) foi quantificado em um hectare de cafezal do cultivar Catuaí, em Ponte Nova, MG, a intervalos de 14 dias, de setembro de 1978 a agosto de 1980, na base de proporção de folhas com ferrugem (PFF) e proporção de área foliar com ferrugem (PAFF).

A taxa de infecção aparente para 28 dias após a data de previsão (DP), e corrigida para crescimento do hospedeiro ( $P''$ ), foi estimada, utilizando-se o melhor modelo de crescimento selecionado, o monomolecular.

Aparelhos meteorológicos, instalados no campo, determinaram a temperatura horária, número de horas de água livre e precipitação diária. Os dados de ambiente foram transformados para as funções de processos monocíclicos, com



as equações estimadas para a germinação e infectividade de uredosporos da H. vastatrix, desenvolvidas em laboratórios e casa-de-vegetação na Universidade Federal de Viçosa. As equações obtidas foram:

1. Função da temperatura para germinação:

$$y = \text{sen}^2 (220,5x - 152,7x^2 - 76,05x^3)$$

2. Função da temperatura para infectividade:

$$y = \text{sen}^2 (118,05x - 41,57x^2 - 151,32x^3),$$

em que  $y$  = proporção de máxima germinação e  $x$  = equivalente de temperatura.

3. Função do número de horas de água livre para infectividade:

$$y = 1 - 1,996 \exp.(-0,1089t), \text{ em que } t, \text{ horas de água livre presente.}$$

A função de infecção (FINF) foi calculada pelos dados estimados pelas três equações mencionadas. A função de disseminação (FDIS) foi obtida com base na proporção de dias com chuvas  $> 1$  mm. A função de processos monocíclicos (FPM) foi calculada com a equação  $\text{monit } x, \log_e (1/1-x)$ , em que  $x = (\text{FINF} \cdot \text{FDIS} \cdot \text{PAFFE})$ , e PAFFE = proporção de área foliar com ferrugem com esporos.

O hospedeiro disponível para infecção foi determinado através da equação  $\log_e (1-xm')$ , para proporção de folhas com ferrugem (PFF) e proporção de área foliar com ferrugem (PAFF), em que  $xm' = \text{PFF}$  ou PAFF, corrigida para crescimento do hospedeiro.

As combinações de variáveis independentes, que explicaram significativamente a variação na taxa de progresso

da doença, foram identificadas pelo programa de regressão múltipla "stepwise". As equações obtidas para o período de 1978/80, foram:

$$1. Y_1 = -0,0806 - 9,667X_1 + 0,915X_3 - 0,668X_4 \quad (R^2 = 0,79)$$

$$2. Y_2 = 0,003 + 0,378X_1 + 0,036X_3 - 0,222X_5 \quad (R^2 = 0,79)$$

$$3. Y_1 = -0,0354 - 0,245X_4 + 0,47593X_6 \quad (R^2 = 0,70)$$

$$4. Y_2 = 0,008 - 0,339X_5 + 6,692X_6 \quad (R^2 = 0,78)$$

em que  $Y_1 = P''$  para PFF e  $Y_2 = P''$  para PAFF, para 28 dias após a data de previsão (DP).  $X_1 = \text{monit (PAFFE)}$ ;  $X_3 = \text{FINF}$ , função de infecção;  $X_4 = \text{PDF}$ , proporção de folhas disponíveis para infecção;  $X_6 = \text{monit (FPM)}$ . As variáveis independentes foram calculadas para 28 dias antes da data de previsão (DP).



## 1. INTRODUÇÃO

O café é um produto de grande importância no contexto mundial, beneficiando a balança de pagamento de 40 países aproximadamente (7). Em 1978, as exportações brasileiras atingiram a soma de 1.947 milhões de dólares, correspondendo a 10.355.000 sacas exportadas (4).

A ferrugem do cafeeiro causada pela Hemileia vastatrix Berk et Br. foi constatada no Brasil, em janeiro de 1970 (13), e é considerada a principal doença da cultura (33), causando sérios decréscimos à produção.

O conhecimento dos fatores que governam o desenvolvimento da ferrugem constitui-se num dos aspectos mais importantes, já que os fatores climáticos envolvidos condicionam a distribuição da doença, a sua incidência e severidade de ataque (26).

BOCK (9) relata que onde a temperatura não é limitante, o curso e a severidade da periodicidade estacional são determinados pela interação de 3 fatores, qualquer um dos quais pode ser limitante a saber: distribuição e inten-



tidade das chuvas, grau de enfolhamento da planta e quantidade de inóculo residual presente, no final da estação seca.

Fatores biológicos e meteorológicos que influenciam o desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro foram identificados através de análise de regressão múltipla "stepwise", por VALLECILLO (35), KUSHALAPPA (17) e KUSHALAPPA e CHAVES (21). Segundo VALLECILLO (35), as combinações de variáveis que melhor explicaram o desenvolvimento da doença em ramos marcados foram porcentagem de índice de área foliar com ferrugem, com esporos (% IAFPE) e dias de água líquida (DAL), sendo um dia considerado com água líquida, quando o mesmo tinha 6 horas, ou mais, de água líquida. Segundo KUSHALAPPA e CHAVES (21), a variável área foliar com esporos, isoladamente, explicou 73%, chuva isoladamente explicou 69%, e ambas, juntamente com a porcentagem de área foliar com ferrugem, explicaram 90% da variação no desenvolvimento da ferrugem. No trabalho realizado por KUSHALAPPA (17), as variáveis proporção de área visível com esporos, temperatura mínima e chuvas explicaram 91% da variação na taxa de desenvolvimento da ferrugem, para o intervalo de previsão de 56 dias.

No modelo anterior (17, 21, 35), a influência dos fatores biológicos e meteorológicos foram identificados, in diretamente, pela correlação existente entre estes fatores e as funções de infecção, disseminação, esporulação etc com a temperatura, precipitação etc que foram observadas. No en tanto, esta correlação pode variar de ano para ano, ou de local para local, não sendo assim um modelo estável.

ZADOKS e SCHEIN (37) utilizaram um modelo biológico -



co, derivado do conceito ecológico, a razão de sobrevivência, para avaliar a resistência às doenças em plantas, nas diversas fases dos processos monocíclicos.

O presente trabalho teve como objetivos principais: a) desenvolver equações para estimar a germinação em função da temperatura e a infectividade em função da temperatura e número de horas de água livre; b) quantificar a intensidade da ferrugem e o crescimento do hospedeiro; c) desenvolver equações de previsão para a ferrugem do cafeeiro com a utilização de um modelo biológico, em que consideramos também o princípio da razão de sobrevivência para H. vastatrix, em que as diversas funções de processos monocíclicos foram quantificadas e correlacionadas com a taxa de desenvolvimento da doença.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

RAYNER (32) constatou a necessidade da presença de água livre para os uredosporos germinarem e que a luz inibe a sua germinação. Verificou que "in vitro", no escuro, à temperatura de 19-20°C, a germinação iniciava-se após 2-3 horas; a 25°C em 2,3 a 3,5 horas e a 30°C era lenta ou nula. Em folhas a 23°C, os tempos médios de germinação de três ensaios realizados foram 2,6, 3,7 e 4,7 horas, respectivamente; estimou que 5% dos esporos germinaram em aproximadamente 1,0, 1,8 e 1,0 horas e 95% em 5,2, 6,2 e 9,8 horas, respectivamente.

Segundo NUTMAN e ROBERTS (28) a temperatura ótima para germinação de uredosporos em agar foi de 22°C, a mínima de 15,5°C e a máxima de 28,5°C. Em discos de folhas, a temperatura ótima para germinação e formação de apressórios foi de 21°C, observando uma marcada inibição a 24°C, obtendo uma relação bimodal, para temperatura com ótimo, a 21 e 25,5°C, sem obter, no entanto, uma justificativa para estes dados.

A influência da temperatura e da luz na germinação



de uredosporos, no período de geração e no grau de infectividade de H. vastatrix, foi estudada por MONTROYA e CHAVES (26) em experimentos de laboratório e casa-de-vegetação. Empregaram mudas do cultivar Catuaí, que após inoculadas foram incubadas durante 24 horas em câmaras de crescimento com luz e temperatura controladas. As temperaturas empregadas foram de 18, 20, 22, 24 e 26°C. Os resultados mostraram que o processo de germinação e penetração verifica-se, por completo, em 24 horas e que a temperatura e a luz, agindo neste período, afetam a infectividade e o período de geração. A temperatura ótima de germinação sobre as mudas de cafeeiro foi estimada em 23,7°C. O ponto mínimo seria encontrado a temperaturas inferiores a 18°C. O período de geração variou de 33 a 50 dias e esteve relacionado com o grau de infectividade. Sobre agar água a 2%, o efeito da temperatura sobre a germinação foi semelhante ao observado em mudas de cafeeiro e a temperatura ótima foi avaliada em 22°C.

O modo de dispersão da ferrugem do cafeeiro tem sido intensivamente estudado. Diversos autores mostraram que uredosporos podem ser dispersos pelo vento (6, 9, 11, 16, 24, 29), chuvas (6, 9, 11), insetos, plantas, sacos de colheita e pelo homem (6). Segundo BECKER (6), estes meios têm diferentes importâncias, considerando o vento como o mais importante, embora NUTMAN et alii (29) concluíssem que epidemias de ferrugem de cafeeiro sejam quase inteiramente resultantes da dispersão de esporos por respingos d'água.

RAYNER (33), estudando a relação entre temperatura e período de incubação, estabeleceu uma equação de regressão múltipla, utilizando valores das médias das máximas ( $X_1$ ) e das mínimas ( $X_2$ ), registradas durante o período de incubação e obteve:  $Y = 90,60 - 0,408X_1 - 0,440X_2$ , em que



Y era o período de incubação estimado, ou seja, o tempo decorrido para o início da esporulação em 50% das lesões.

O período de incubação da ferrugem foi observado por MORAES et alii (27) em 3 locais diferentes do Estado de São Paulo, em condições de campo a pleno sol e sombra. Os resultados mostraram que o período de incubação variou de 28 a 65 dias e apresentou a tendência de reduzir-se nos meses mais quentes e de tornar-se mais longo nos meses mais frios.

KUSHALAPPA e MARTINS (23) estudaram, em Viçosa-MG, o período de incubação e o período de geração de H. vastatrix em plantas de cafeeiro, mantidas à sombra, após inoculadas e incubadas em câmara de nevoeiro, por 48 horas. O período de incubação e o período de geração foram de 29 a 62 dias e de 38 a 70 dias, respectivamente, para inoculações mensais de fevereiro de 79 a janeiro de 80. O período de incubação, observado em Viçosa, em geral, foi menor durante os meses de inverno e maior durante os meses de verão do que os reportados para o Estado de São Paulo.

ALFONSI et alii (2) estudaram a associação entre os níveis de infecção de ferrugem, variáveis climáticas e área foliar das plantas. A média das temperaturas máximas, média das temperaturas mínimas e o total de chuvas registradas em períodos de 15, 30 e 45 dias foram correlacionados com o nível de infecção, observado ao final dos respectivos períodos. Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), obtidos entre o nível de infecção e às três variáveis climáticas, mostraram que a associação com o período de 45 dias expressaram melhor a proporção de acréscimos de pústulas.

MIGUEL et alii (25), estudaram a correlação existente entre a incidência da ferrugem e a produção de plantas de cafeeiro. Obtiveram que quanto maior foi a produção,



maior foi o índice de infecção.

SOUZA (34) desenvolveu um trabalho com o objetivo de determinar a influência dos fatores climáticos, temperatura do ar e chuva sobre a evolução da ferrugem do cafeeiro, em três localidades dos Estados de Minas Gerais. Os resultados das análises de correlação entre índice de ferrugem e precipitação demonstraram que os maiores coeficientes de correlação obtidos foram aqueles entre índice de ferrugem de um mês e chuva de 5 a 6 meses anteriores. A ocorrência de baixas temperaturas, principalmente durante o período noturno, afetou o processo de germinação dos esporos, fazendo com que 3-4 meses após ocorresse um decréscimo no índice de ferrugem nas lavouras.

KUSHALAPPA e CHAVES (21) analisaram o desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro no campo, em Viçosa - MG, de outubro de 1977 a setembro de 1978. A intensidade da ferrugem estimada pela proporção de folhas com ferrugem, número de pústulas por folha e porcentagem da área foliar com ferrugem foram baixos, em novembro, e altos de janeiro a março. Fatores biológicos e meteorológicos que influenciam o desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro foram identificados através de análise de regressão "stepwise". A variável área foliar com esporo isoladamente explicou 73%, chuva isoladamente explicou 69%, e ambas com a porcentagem da área foliar com ferrugem explicaram 90% da variação, no desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro. As variáveis independentes consideradas não foram completamente independentes e vários graus de multicolinearidade foram observados.

VALLECILLO (35) estudou, em condições de campo, de setembro de 1978 a agosto de 1979, a periodicidade estacional do desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro e sua correla



ção com fatores biológicos e climáticos no município de Ponte Nova. Empregou dois tipos de amostragem para analisar o desenvolvimento da doença: ramos marcados e folhas, ao acaso. A intensidade da doença foi relativamente baixa, de setembro a dezembro, e atingiu seus níveis máximos em março, abril e maio, nos dois tipos de amostragem. As variáveis biológicas e climáticas que melhor explicaram o desenvolvimento da doença, em ramos marcados foram: percentagem de folhas com ferrugem, percentagem de área foliar com ferrugem, percentagem de índice de área foliar com esporos, temperatura mínima, dias de água líquida, precipitação, umidade relativa e dias favoráveis à infecção.

BURLEIGH et alii (12) usaram um programa de regressão múltipla "stepwise", para formular equações de previsão de severidades de ferrugem da folha do trigo aos 14, 21 e 30 dias após a data de previsão (DP). A variável independente, que explicou a maior quantidade de variação (maior coeficiente de determinação ou  $R^2$ ) na variável dependente, entrou no programa primeiro. As variáveis remanescentes foram regredidas novamente, e a de maior  $R^2$  entrou em seguida. Este processo foi repetido até que todas variáveis independentes entrassem. Desta maneira, variáveis foram selecionadas para explicar a maior parte da variação no desenvolvimento da doença.

KUSHALAPPA (18) sugeriu um modelo de regressão múltipla "stepwise" e de "path", para a taxa de desenvolvimento da ferrugem de cafeeiro. A análise de regressão múltipla foi aplicada para identificar as combinações de fatores biológicos e meteorológicos que influenciam a taxa. A taxa foi corrigida para a formação e queda de folha. As variáveis dependentes foram as taxas (PFF e PAFF), para o intervalo de



14 dias entre 28-42 e 42-56 dias, após a data de previsão,  $t$ . As variáveis independentes foram: 1. Biológicas - PFF, PAFF, índice de área foliar com esporo (IAE), proporção de folhas novas (PFN) em 7 e 14 dias antes de  $t$ ; 2. Meteorológicos - temperatura máxima (MAX), mínima (MIN), umidade relativa (UR) e precipitação pluviométrica (PP) para o intervalo de 14 e 28 dias antes de  $t$ . Até um máximo de 94% de variação na taxa foi explicado pelas variáveis IAE, MIN, PP MAX e PFN dos quais 92% foram explicados pelas três primeiras variáveis, dependendo dos intervalos de previsão.

Para quantificar a taxa de desenvolvimento da doença, VAN DER PLANK (36) sugeriu o uso de modelos de crescimento. Para as doenças de juros simples ele sugeriu o modelo monomolecular e, para as doenças de juros compostos, o modelo logístico, o qual foi também utilizado por DUARTE e BARBIN (13).

Devido ao fato de que nem todas curvas de progresso da doença ajustam-se aos modelos anteriormente propostos, ANALYTIS (3) utilizou então outros modelos de crescimento, para quantificar o progresso da sarna da macieira. As funções empregadas foram:

- 1 - Monomolecular :  $y_t = 1 - b \cdot \exp. (-k \cdot t)$
- 2 - Logístico:  $y_t = 1 / (1 + b \cdot \exp. (-k \cdot t))$
- 3 - Gompertz:  $y_t = \exp. (-b \cdot \exp. (-k \cdot t))$
- 4 - Weibull:  $y_t = 1 - \exp. -((t-a)/b)^c$

As funções citadas foram utilizadas também por PLAUT (31), PENNYPACKER et alii (30) e KUSHALAPPA e LUDWIG (dados não publicados), que, em experimentos realizados em Viçosa-MG com a ferrugem do cafeeiro, determinaram que o crescimento do hospedeiro ajustou-se melhor ao modelo gom-

pertz, para o ano de 1978-79, e ao logístico para o ano de 1979-80.

A equação de gompertz foi originalmente usada para descrever o aumento da frequência de mortes, por unidade de tempo, com o aumento da idade de animais em teste. Uma função exponencial para descrever o aumento na taxa de progresso durante os estágios iniciais foi modificada da equação original de gompertz. Esta forma de função de crescimento facilitou a sua aplicação em epidemiologia quantitativa, particularmente onde um aumento muito rápido da doença ocorre durante os estágios iniciais da epidemia. A função de crescimento gompertz utilizada em epidemiologia quantitativa é essencialmente uma função exponencial de uma função exponencial. A quantidade de doença ( $x$ ) em qualquer tempo ( $t$ ) é expressa como uma função de máxima severidade da doença ( $x_{\max}$ ), um parâmetro de posição inicial ( $b$ ), e a taxa de aumento da doença ( $m$ ) (31).

$$x = x_{\max} \cdot \exp. (-b \cdot \exp. (-m_t))$$

VAN DER PLANK (36) sugeriu o modelo de transformação logístico, para doenças, de juros compostos. Ele considerou o máximo de áreas suscetíveis disponíveis para infecção em qualquer tempo como um e o  $x$  variando de zero a um. A isto ANALYTIS (3) denominou de  $X = X_i / X_{\max}$ . Em qualquer caso,  $x$  é a proporção de plantas, folhas, área foliar ou sítios suscetíveis que estão infectados. Todos os modelos de crescimento consideram que o máximo de áreas suscetíveis para infecção é um, e como sendo constante durante a epidemia ( $x_{\max} = 1$ ). Observa-se, no entanto, que, devido ao crescimento do hospedeiro, ocorre um aumento da massa de tecidos suscetíveis no decorrer do tempo, "diluindo" a proporção da



doença. VAN DER PLANK (36) propôs então uma nova fórmula para calcular  $r$ , corrigido para crescimento do hospedeiro ( $\rho$ ), quando o seu valor é obtido pela diferença de logit  $x$  dividido pelo tempo. ( $r = (\text{logit } x_2 - \text{logit } x_1)/(t_2 - t_1)$ ).

$$\rho = \frac{1}{t_2 - t_1} \ln \frac{mx_2(1-x_1)}{x_1(1-x_2)}$$

em que  $m = Y_2/Y_1$ , sendo  $Y$  a quantidade de áreas suscetíveis.

Contudo, KUSHALAPPA (20) determinou que, em várias epidemias da ferrugem do cafeeiro, os valores de  $r$  assim como de  $\rho$ , para intervalos de curva do progresso da doença, continuaram a apresentar valores negativos. KUSHALAPPA (20) sugeriu então o uso de uma nova fórmula:

$$\rho' = \frac{1}{t_2 - t_1} \ln \frac{x_2(1-x_1m')}{x_1m'(1-x_2)} \quad \text{em que } m' = Y_1/Y_2$$

Com o uso de  $\rho'$ , valores negativos não foram encontrados e ainda  $\rho'$  foi maior, quando comparado com  $\rho$ .

A correção de  $r$  da regressão linear para crescimento do hospedeiro foi sugerida ainda por KUSHALAPPA e LUDWIG (dados não publicados), quando  $x_{\max}$  é uma função de tempo. A correção para proporção da doença neste caso é feita para o máximo de áreas suscetíveis em  $t_{\max}$  ( $Y_{\max}$ ) em que:

$$x_{Y_{\max}} = x_{Y_t} (Y_t/Y_{\max})$$

em que:

$$x_{Y_{\max}} = \text{proporção acumulativa da doença corrigida para } Y_{\max}.$$

Segundo ZADOKS e SCHEIN (37), muitas chaves e diagra

mas têm sido publicados para a avaliação de doenças. Talvez a mais conhecida é a "escala de Feekes", para trigo e outros cereais, baseada em diagramas padrões para registrar os seus estágios de crescimento que vão de 1 a 11. Os diagramas padrões para estágios de crescimento referem-se atualmente ao estágio de desenvolvimento da planta e não ao crescimento em si. Para uma investigação detalhada, dados de crescimento real são necessários, como, por exemplo, cobertura do solo em porcentagem, espaçamento de plantas em metros, altura de planta e índice de área foliar.

Para estudar o número de lesões de H. turcicum, relacionado com o número de esporos coletados em armadilhas e aplicações de fungicidas, BERGER (8) mediu a área foliar de 10 plantas representativas de milho, tomadas ao acaso. A área das folhas foram calculadas pelas médias de medições de comprimento e largura para as várias porções lineares das folhas, calculando as porções triangulares separadamente.

KUSHALAPPA e LUDWIG (dados não publicados) quantificaram o progresso da ferrugem do cafeeiro, em Viçosa-MG, marcando 4 ramos ao acaso em cada planta, em 15 selecionadas ao acaso. O crescimento do hospedeiro foi obtido através da proporção acumulativa de folhas formadas ( $y_t$ ). O  $y_t$  foi assim calculado:  $y_t = Y_t / Y_{max}$ , em que  $Y_{max}$  é o número acumulativo total de folhas formadas no final do estudo.



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Germinação de Uredosporos

O ensaio foi realizado em folhas de cafeeiro do cultivar Catuaí, utilizando-se o primeiro par de folhas bem desenvolvido. Estas folhas foram destacadas e colocadas em caixas de vidro de 23 x 12 x 6 cm, que estavam forradas com papel de filtro embebido em água destilada, para manutenção de ambiente úmido. Em seguida, estas folhas foram inoculadas, usando-se a técnica empregada por ABREU (1). Uma suspensão de 0,1 ml de uredosporos da raça II, coletados de plantas mantidas em casa-de-vegetação, à concentração de 0,5 mg/ml, foi distribuída com uma pipeta micrométrica, em ambos os lados da nervura principal da folha. À suspensão de uredosporos adicionou-se uma solução de Tween-80 a 0,125%. Posteriormente, as folhas foram incubadas ao escuro, por 6 horas, às temperaturas de 12,5, 15, 20, 22,5, 25, 27,5, 30 e 32,5°C. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com 6 tratamentos e 18 repetições, considerando-se uma gota inoculada como uma repetição. Por repetição 10 esporos foram

avaliados quanto à germinação. O método de avaliação de germinação empregado foi o de CALDWELL e STONE, modificado por ABREU (1), que consiste em se usar uma película de esmalte incolor, diluída 1:1 em acetona, cobrindo a área onde é depositada a gota de suspensão de uredosporos. Após a secagem da camada de esmalte, aplicada na superfície das folhas, ela foi removida com auxílio de pinça de ponta fina e depositada sobre gotas de glicerina acidificada, previamente colocadas em lâminas de vidro. Uma vez distendidas as películas sobre a glicerina, efetuou-se a coloração de uredosporos, aplicando-se azul de aman em lamínulas de vidro, que, após invertidas, eram depositadas e contactadas com as películas de esmalte.

Estimou-se a proporção de germinação de uredosporos em folhas, por meio dos dados obtidos em porcentagem de germinação, para as diferentes temperaturas testadas. O polinômio trigonométrico, proposto por SCHROEDTER, citado por ZADOKS e SCHEIN (37),  $y = \text{sen}^2 (b_1x + b_2x^2 + b_3x^3)$ , foi ajustado à porcentagem de germinação ( $y$ ) nas diferentes temperaturas:  $x = (T_{\text{atual}} - T_{\text{mínima}}) / (T_{\text{máxima}} - T_{\text{mínima}})$ . Os valores estimados pela função em cada temperatura foram divididos pelo valor máximo estimado, resultando em valores de zero a um.

### 3.2. Infectividade de Uredosporos

Os ensaios de infectividade de uredosporos foram conduzidos em mudas de cafeeiro, transplantadas em sacoplástico. A inoculação foi feita com um atomizador modelo H3, fabricado pela Paasche Airbush Company, acionado por um com



pressor-aspirador, modelo CA da Fanem Ltda, regulado à pressão de 1 lb/pol<sup>2</sup>. Um volume aproximado de 0,25 ml de uma suspensão de conídios frescos, pertencentes à raça II, à concentração de 2 mg/ml, contendo 0,125% de Tween 80, foi pulverizado na superfície inferior de cada folha do primeiro par bem desenvolvido.

No ensaio realizado, para se determinar o efeito da presença de água livre na infectividade de H. vastatrix, as mudas pertencentes aos cultivares Catuaí e Mundo Novo, após inoculadas, foram levadas para uma câmara de nevoeiro sob escuro total, onde permaneceram por 6, 12, 18, 24 e 48 horas em uma sala de temperatura controlada a  $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Para evaporação da água livre, as mudas foram removidas da câmara de nevoeiro e expostas à ventilação em ambiente com 60% de U.R., por aproximadamente 60 minutos. Decorrido este prazo, as mudas foram colocadas em uma outra câmara, ao escuro, até completar o período de 48 horas. Posteriormente, as mudas foram levadas a um viveiro e mantidas à sombra até a manifestação de sintomas, para que se contasse o número de lesões provocadas pela doença. Os cinco tratamentos e 10 repetições foram dispostos inteiramente ao acaso, considerando-se uma folha inoculada como uma repetição.

Posteriormente, ajustou-se a equação exponencial  $y = 1 - b \cdot \exp(-k t)$  ao número médio de pústulas ( $y$ ) por folha, para cada tempo ( $t$ ), obtido nos ensaios com os cultivares Catuaí e Mundo Novo. Os valores estimados pela equação foram transformados para proporção de zero a um, considerando-se como um, o número de horas em que ocorreu máxima infecção e zero em que não ocorreu alguma infecção.

Num outro ensaio determinou-se a temperatura máxima

e mínima para infecção da H. vastatrix. Neste ensaio, após a inoculação, as mudas foram atomizadas abundantemente na superfície superior com água destilada, usando-se um De Vilbiss n.º 15. As mudas foram colocadas em sacos plásticos, recebendo cada um cerca de 10 ml de água, sendo cobertas com um outro saco plástico, apoiado sobre uma estrutura de arame, que evitava o contato direto do mesmo com as folhas. Um elástico foi colocado na porção média dos sacos, para evitar a evaporação da água, formando assim uma câmara úmida. As mudas foram então levadas para câmaras de incubação a temperaturas de 15, 20 e 30°C e mantidas por 24 horas. A temperatura de 20°C foi usada como testemunha. Decorrido o período de incubação, os sacos plásticos foram removidos e as mudas foram levadas a uma sala de temperatura controlada a  $21 \pm 2^\circ\text{C}$ . Logo, em seguida, elas foram submetidas a uma secagem com ventilação em ambiente com 60% de U.R., por aproximadamente 60 minutos. Posteriormente, as plantas foram mantidas em uma câmara onde se alternava 12 horas de luz e 12 horas de escuro, até a data da contagem do número de lesões provocadas pela doença. Os 3 tratamentos e 10 repetições foram dispostos inteiramente ao acaso, considerando-se uma folha inoculada como uma repetição.

A proporção de infectividade foi obtida, utilizando-se, além dos dados obtidos neste ensaio, os de MONTROYA e CHAVES (26). Os citados autores avaliaram o efeito de várias temperaturas (18, 20, 22, 24 e 26°C) durante 24 horas, no escuro, sobre a infectividade da H. vastatrix em mudas de cafeeiro do cultivar Catuaí. Os dados para obtenção da curva foram expressos os números de pústulas, por



folha, para cada tratamento. Uma equação foi desenvolvida a través o polinômio trigonométrico, desenvolvido por SCHROEDTER, citado por ZADOKS e SCHEIN (37),  $y = \text{sen}^2 (b_1x + b_2x^2 + b_3x^3)$ , no qual  $x = (T_{\text{atual}} - T_{\text{mínima}}) / (T_{\text{máxima}} - T_{\text{mínima}})$ . Os valores estimados pela função ajustada foram transformados para proporção de zero a um, considerando-se como um a temperatura em que ocorreu máxima infecção e como zero a temperatura em que não se obteve infecção alguma. As temperaturas foram transformadas em temperaturas equivalentes.

### 3.3. Quantificação da Intensidade de Ferrugem

O desenvolvimento da ferrugem foi estudado em condições de campo, na Fazenda Experimental da EPAMIG, no município de Ponte Nova, situado à altitude de 400 metros na Zona da Mata de Minas Gerais, durante o período de setembro de 1978 a agosto de 1980.

Selecionou-se um cafezal do cultivar Catuaí Verme-lho, com espaçamento de 4 x 1 metros, uma árvore por cova, com aproximadamente 8 anos de idade. Durante a realização do experimento todas as práticas agrônômicas foram realizadas normalmente, excetuando-se a aplicação de fungicidas.

O desenvolvimento da ferrugem foi estudado por dois tipos de amostragem: a de ramos marcados e a de folhas ao acaso.

#### 3.3.1. Amostragem em ramos marcados

Em aproximadamente um hectare do cafezal, escolhe -

ram-se 15 árvores, tomando 3 árvores (ao acaso) em cada fileira de forma intercalada, deixando de 10 a 15 árvores entre cada árvore marcada. Em cada árvore, nas 4 faces, na altura do terço médio marcaram-se 4 ramos. Cada ramo foi enumerado com uma etiqueta de alumínio, sendo o início de cada ramo marcado com uma fita plástica. De 14 em 14 dias fez-se a leitura nas folhas de cada ramo dos seguintes parâmetros:

Presença de folhas: Colocou-se "0-0" nos nós que não tinham folhas e "1-1" nos que tinham as duas folhas, esquerda e direita.

Área foliar com ferrugem: Avaliou-se cada folha infectada quanto à proporção de área foliar com ferrugem (PAFF), de acordo com a escala desenvolvida por KUSHALAPPA e CHAVES (21), conforme ilustra a Figura 1A.

Os dados foram processados pelo programa de computador "LEAFAL", de KUSHALAPPA e LAGESSE (22). Este programa analisa, por data de leitura, o total de folhas existentes e o total de folhas caídas e agrupando ainda os danos por folha, em folhas com ferrugem e folhas saudias. As folhas existentes foram denominadas atuais numa determinada data de leitura. A folha foi considerada caída em  $t_2$ , quando uma folha conhecida em  $t_1$  não estava presente em  $t_2$ .

Proporção cumulativa da doença: A proporção cumulativa de folhas com ferrugem (PFF) e a proporção cumulativa de área foliar com ferrugem (PAFF) foram assim calculadas:

$$r_t = X_{ct}/Y_{ct}, \text{ onde } \frac{X_{ct}}{Y_{ct}} = \frac{X_{at} + X_{qct}}{Y_{at} + Y_{qct}} \quad (1)$$

em que,



$x$  = PFF ou PAFF

$Y$  = número de folhas

$X$  = folhas com ferrugem ou área foliar com ferrugem

$a$  = atual

$c$  = cumulativa

$q$  = caída

$t$  = tempo

Crescimento do hospedeiro: Para avaliar o crescimento do hospedeiro foi usada a proporção cumulativa de folhas formadas, no tempo  $t$ , assim calculado:

$y_t = Y_t / Y_{\max}$ , onde  $Y_{\max}$  representa o número cumulativo total de folhas formadas ao final do estudo.

Correção do progresso da doença para crescimento do hospedeiro: A proporção da doença foi corrigida para crescimento do hospedeiro, considerando-se o mesmo como sendo fixo ao final do estudo ( $Y_{\max}$ ), conforme sugerem KUSHALAPPA e LUDWIG (dados não publicados), por meio da seguinte equação:

$$x_{nt}' = x_t \cdot \frac{Y_t}{Y_{\max}} \quad (2)$$

A correção nos permite obter uma taxa corrigida ( $\rho'$ ) para a regressão linear do progresso da doença, pois, desta forma,  $x_{nt}'$  aumenta assintoticamente a um, independentemente do modelo de crescimento.

### 3.3.2. Amostragem em folhas coletadas ao acaso

Colheu-se um total de 150 folhas de 15 árvores dife

rentes na altura do terço médio inferior, na mesma data em que se realizava a leitura para os ramos marcados, tomando-se os seguintes dados por folha:

Proporção de área foliar com ferrugem (PAFF), que foi avaliada, usando-se a mesma escala citada anteriormente.

Proporção de área foliar com ferrugem ativa (PAFFA) que foi avaliada como proporção de área foliar com ferrugem ativa, ou área amarela.

Índice de área foliar com ferrugem ativa com esporos (IAFFE), que foi avaliada na base de grau um a zero, em que zero era o total de área foliar com ferrugem ativa sem esporo, e um o total de área foliar com ferrugem ativa com a máxima densidade de esporos.

Proporção de área foliar com ferrugem ativa, com esporos (PAFFE), que foi determinada, multiplicando-se a PAFFA pelo IAFFE, e dividindo-se o resultado pela PAFF.

Determinação da PAFFE para ramos marcados: A PAFFE para ramos marcados foi determinada com  $x_{c28}$  x cumulativa para 28 dias antes da DP. A PAFFE foi calculada pela fórmula a seguir:

$$PAFFE_{rm} = \frac{PAFFE_{aa}}{PAFF_{aa}} \times PAFF_{rm} \quad (3)$$

onde,

rm = proporção obtida em ramos marcados

aa = proporção obtida em folhas ao acaso.



### 3.4. Seleção do Modelo de Crescimento e Cálculo da Taxa de Infecção Aparente

As funções utilizadas para ajustar os dados de crescimento do hospedeiro e da doença foram as seguintes:

- 1 - Monomolecular =  $x_t = 1 - b \cdot \exp. (-k \cdot t)$
- 2 - Logística =  $x_t = 1 / (1 + b \cdot \exp. (-k \cdot t))$
- 3 - Gompertz =  $x_t = \exp. (-b \cdot \exp. (-k \cdot t))$

Nestas funções,  $x_t$  é a proporção de áreas suscetíveis infectadas, ou a proporção de hospedeiro, no tempo  $t$ ;  $b$  é um fator de correção para  $t = 0$  e  $k$  é a taxa de crescimento.

Os dados de PFF e PAFF obtidos ( $x_t$ ) e corrigidos ( $xm'_t$ ) e aqueles do hospedeiro ( $y_t$ ) foram usados para estimar os parâmetros  $b$  e  $k$ , utilizando-se o método de GAUSS-NEWTON, citado por BARD (5).

O modelo que gerou a menor soma de quadrados de desvios, para a maioria das 8 curvas foi usado para indicar a maneira mais adequada para calcular a taxa de infecção aparente ( $\rho'$ ), corrigida para formação de folhas; esta taxa foi calculada pela equação de VAN DER PLANK (36), modificada por KUSHALAPPA (20). Os dados foram transformados para logit  $x$ , onde  $x$  era PFF ou PAFF.

$$\rho' = \frac{1}{t_2 - t_1} \log_e \left[ \frac{1}{1 - x_2} - \log_e \frac{1}{1 - x_1 n'} \right] \quad (4)$$

Os valores de  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $n'$  forem assim determinados:

$$x_1 = X_a / Y_a, \text{ em que } a = \text{atual ou na DP}$$

$x_2 = X_{c28}/Y_{c28}$ , em que c28 = cumulativo para 28 dias após a DP.

$$m' = Y_a/Y_{c28}$$

A taxa  $P'$  foi denominada  $P''$ , pois a proporção da doença (x) em  $P''$ , foi determinada para cada data de leitura ou DP, e não acumulativamente como é feita na maioria dos casos.

### 3.5. Funções Epidemiológicas

As funções epidemiológicas foram calculadas com base nos dados microclimáticos, obtidos a nível de campo, em Ponte Nova, e com os ensaios em laboratório e em casa-de-vegetação, realizados na Universidade Federal de Viçosa.

Para a coleta de dados microclimáticos, instalaram-se no local do ensaio um aspergígrafo e um termohigrógrafo, para registrar os dados de presença de água livre e temperatura, respectivamente. Os dados de chuva foram obtidos de um pluviômetro, situado a aproximadamente 800 metros do local experimento, na estação meteorológica da Fazenda Experimental.

A função de disseminação (FDIS) foi calculada, baseada na precipitação, conforme relatos de BECKER (6), que encontrou uma média de 45 esporos de H. vastatrix, por gota de chuva, provenientes de folhas de cafeeiro com a doença, quando a precipitação foi de 1,6 mm. A função de disseminação foi determinada pelo número de dias favoráveis para disseminação pelas chuvas. Um dia foi considerado favorável, quando a precipitação era maior do que 1 mm, e atribuía-se



a esta data o valor um. Quando a precipitação era menor do que 1 mm, esta data era considerada desfavorável à disseminação e atribuía-se à mesma o valor zero. Calculou-se uma função de disseminação média diária para 28 dias antes de cada data de leitura (DP).

A função de germinação foi calculada pela temperatura média de 6 horas, a partir de momento em que o aspergígrafo indicava presença de água livre. Obtida a temperatura média, estimava-se a germinação com os dados obtidos pela função trigonométrica  $y = \text{sen}^2 (b_1x + b_2x^2 + b_3x^3)$ , anteriormente mencionada, em que a germinação foi transformada para proporção de zero a um.

A função de infectividade de uredosporos foi calculada pela duração da presença de água livre e pela somatória de infectividade, obtida durante este período, em função da temperatura no intervalo de cada 6 horas. A duração da presença de água livre foi calculada, a partir do momento em que o aspergígrafo indicava sua ocorrência até a sua ausência. A infectividade para presença de água livre foi estimada pela função exponencial  $y = 1 - b \cdot e^{-k \cdot t}$ , anteriormente mencionada, em que a infectividade foi transformada para proporção de zero a 1. A infectividade em função da temperatura foi estimada pela função  $y = \text{sen}^2 (b_1x + b_2x^2 + b_3x^3)$ , anteriormente mencionada, em que a infectividade foi também transformada para proporção de zero a um. A infectividade de uredosporos foi calculada, multiplicando-se os valores obtidos para infectividade, em função da presença de água livre e temperatura.

O cálculo da função de infecção (FINF) foi realizado, multiplicando-se a função da germinação pela função de

infectividade de uredosporos. Posteriormente, calculou-se u ma função de infecção média diária para o intervalo de 28 dias, antes de cada data de leitura.

A função de processos monocíclicos (F P M) foi calculada, tomando-se por base a razão de sobrevivência, segundo ZADOKS e SCHEIN (37). Ela foi obtida através da PAFFE, multiplicada pelas funções de disseminação e de infecção, e calculando-se posteriormente o logit deste valor.

O hospedeiro disponível para infecção foi calculado através da seguinte fórmula para PFF e PAFF.

$$y = \log_e \frac{1 - xm'}{1}$$

em que  $m' = Y_1/Y_2$ , sendo que o valor de  $Y_1$  utilizado foi atual ou da DP e  $Y_2$  acumulativo para 28 dias após DP.

Para prever a intensidade de ferrugem aos 28 dias após a leitura dos dados ou data de previsão (DP), utilizou-se um programa de regressão múltipla "stepwise". A variável independente, que explicou a maior porcentagem de variação (coeficiente de determinação mais alto ou  $R^2$ ), entrou no programa primeiro; em segundo lugar foi aquela que junto com a primeira resultou também num valor de  $R^2$  mais alto; este processo foi repetido com as demais variáveis. A variável que não explicou significativamente ( $P=0,05$ ) a variação em  $y$  não entrou na equação. Deste modo, as variáveis selecionadas foram aquelas que explicaram a maior parte da variação no desenvolvimento da doença.

Como variáveis dependentes foram consideradas  $Y_1 =$  para proporção de folhas com ferrugem e  $Y_2 =$  para proporção de área foliar com ferrugem (PAFF), aos 28 dias após a data de previsão (DP).



Como variáveis independentes foram consideradas as variáveis  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$ ,  $X_5$  e  $X_6$ . A variável  $X_1$  foi calculada pela transformação  $\log_e (1/1-x)$ , em que  $x$  era a proporção de área foliar com ferrugem, com esporos (PAFFE);  $X_2$  = função de disseminação (FDIS),  $X_3$  = função de infecção (FINF);  $X_4$  foi calculada através de  $\log_e (1-xm')/1$ , em que  $xm'$  era a proporção de folhas com ferrugem (PFF), corrigida para crescimento do hospedeiro e considerado como proporção de folhas disponíveis para infecção (PFD);  $X_5$  foi calculada através de  $\log_e (1-xm')/1$ , em que  $xm'$  era a proporção de área foliar com ferrugem (PAFF), corrigida para crescimento do hospedeiro e considerada como proporção de área foliar disponível para infecção (PAFD);  $X_6$  foi calculada através da multiplicação das variáveis  $X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$ , e considerada como função de processo monocíclicos (FPM).

Na função monomolecular, o  $x$  tende assintoticamente para um. Assim sendo, a transformação  $\log_e (1/1-x)$  foi designada aqui como monit  $x$ ; da mesma maneira que VAN DER PLANK (36) denominou logit  $x$ , para  $\log_e (x/1-x)$ , e PLAUT (31) denominou gompit  $x$ , para  $-\ln (-\ln x)$ . A variável  $X_1$  foi assim denominada monit da PAFFE e a variável  $X_6$ , monit da função de processos monocíclicos (FPM).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Quantificação de Processos Monocíclicos

#### 4.1.1. Efeito da temperatura na germinação de uredosporos de H. vastatrix em folhas de cafeeiro

A influência de diferentes temperaturas na germinação de uredosporos, estimados pela equação a seguir, encontra-se representadas na Figura 1, e os dados originais, no Quadro 1A do Apêndice. Com os dados de germinação obtidos, desenvolveu-se a equação trigonométrica polinomial  $y = \text{sen}^2(220,5x - 152,7x^2 - 76,05x^3)$  ( $R^2 = 0,997$ ), em que  $y =$  proporção de germinação e  $x =$  equivalente de temperatura.

A máxima percentagem de germinação observada foi a  $25^\circ\text{C}$ , sendo que as temperaturas máxima e mínima, nas quais não ocorreu nenhuma germinação, foram de  $32,5^\circ\text{C}$  e  $12,5^\circ\text{C}$ , respectivamente. A temperatura ótima estimada pela equação foi de  $23^\circ\text{C}$ .



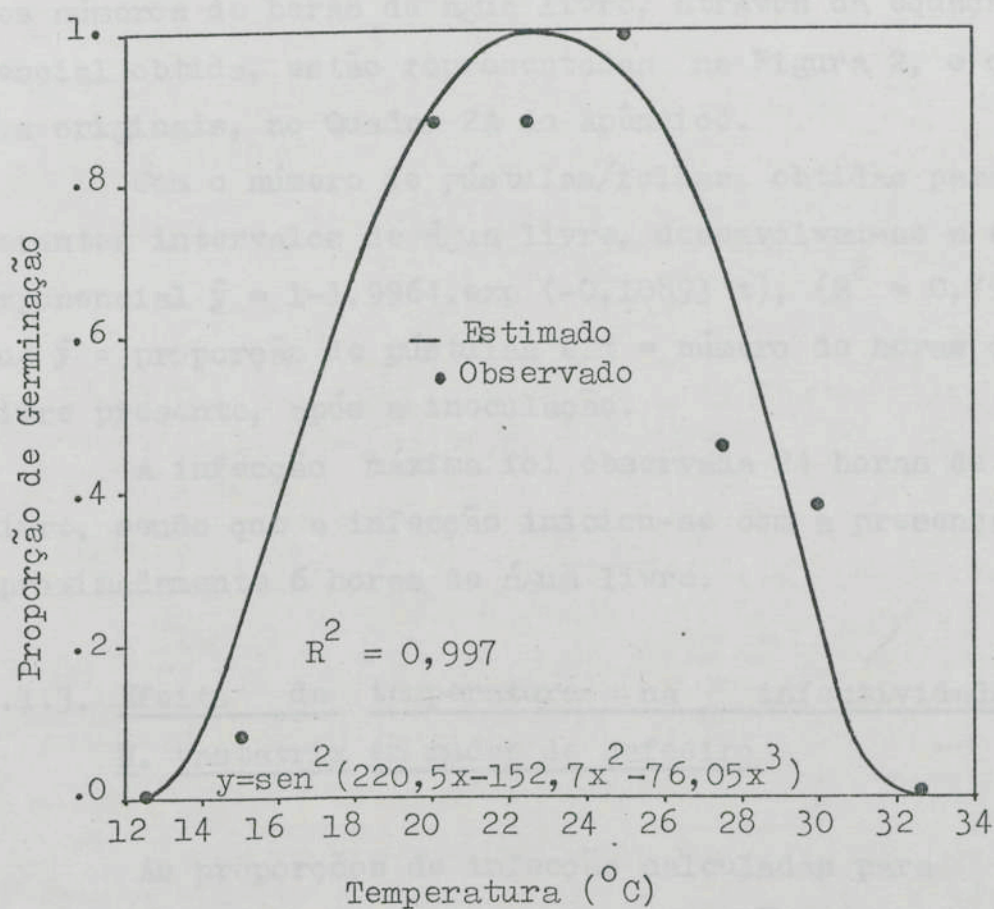


FIGURA 1. Efeito da temperatura sobre a germinação de uredosporos de H. vastatrix em fôlhas de cafeeiro

#### 4.1.2. Efeito do número de horas de água livre na infectividade de *H. vastatrix* em mudas de cafeeiro

As proporções de infecção, calculadas para diferentes números de horas de água livre, através da equação exponencial obtida, estão representadas na Figura 2, e os dados originais, no Quadro 2A do Apêndice.

Com o número de pústulas/folhas, obtidas para os diferentes intervalos de água livre, desenvolveu-se a equação exponencial  $\hat{y} = 1 - 1,9964 \cdot \exp(-0,10893 t)$ , ( $R^2 = 0,791$ ) em que  $\hat{y}$  = proporção de pústulas e  $t$  = número de horas de água livre presente, após a inoculação.

A infecção máxima foi observada 24 horas de água livre, sendo que a infecção iniciou-se com a presença de aproximadamente 6 horas de água livre.

#### 4.1.3. Efeito da temperatura na infectividade de *H. vastatrix* em mudas de cafeeiro

As proporções de infecção calculadas para várias temperaturas durante 24 horas de incubação, pela equação trigonométrica polinomial, estão representadas na Figura 3. (Os dados originais estão apresentados no Quadro 3A do Apêndice).

Com o número de pústulas/folha, para as diferentes temperaturas testadas, desenvolveu-se a equação  $y = \text{sen}^2(118,05x - 41,57x^2 - 151,32x^3)$ ; ( $R^2 = 0,997$ ), em que  $y$  = proporção de pústulas e  $x$  = equivalente de temperatura.

A infecção máxima foi observada à temperatura de 24°C, sendo que a temperatura máxima, em que não ocorreu nenhuma infecção, foi de 30°C. A temperatura mínima de infec-



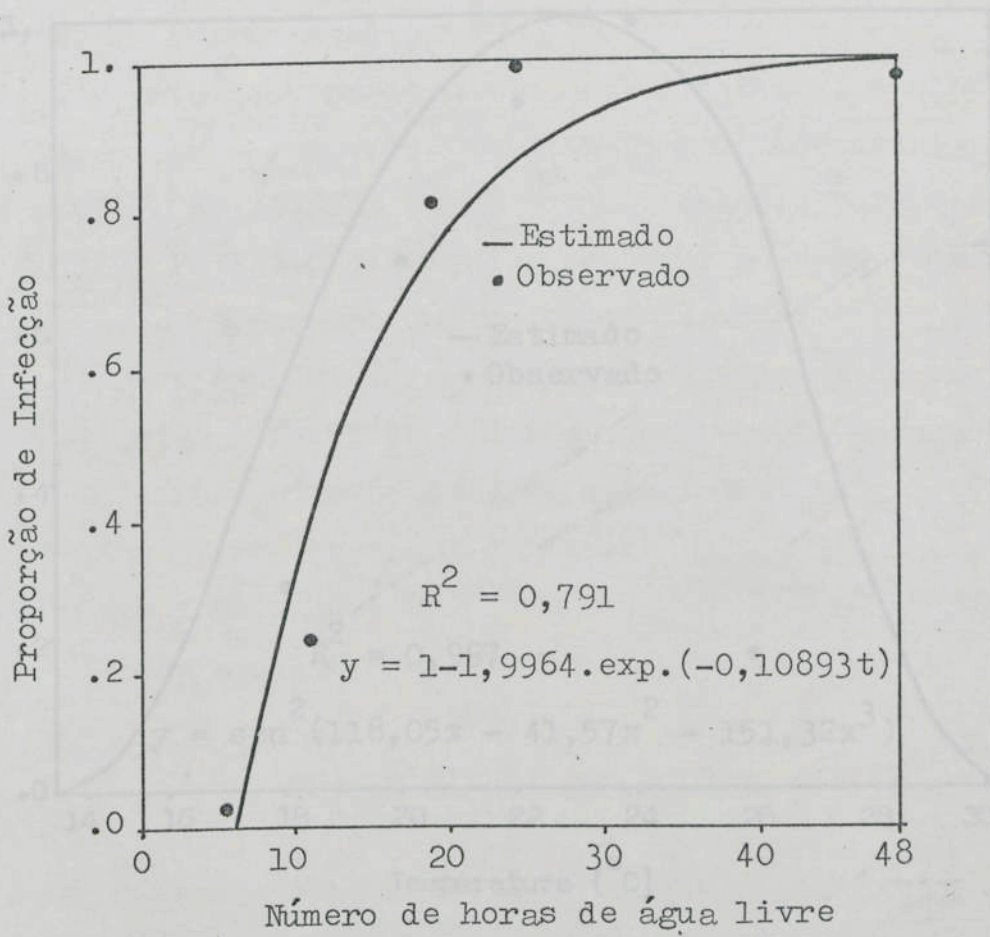


FIGURA 2. Efeito do número de horas de água livre na infectividade de H. vastatrix em mudas de cafeeiro

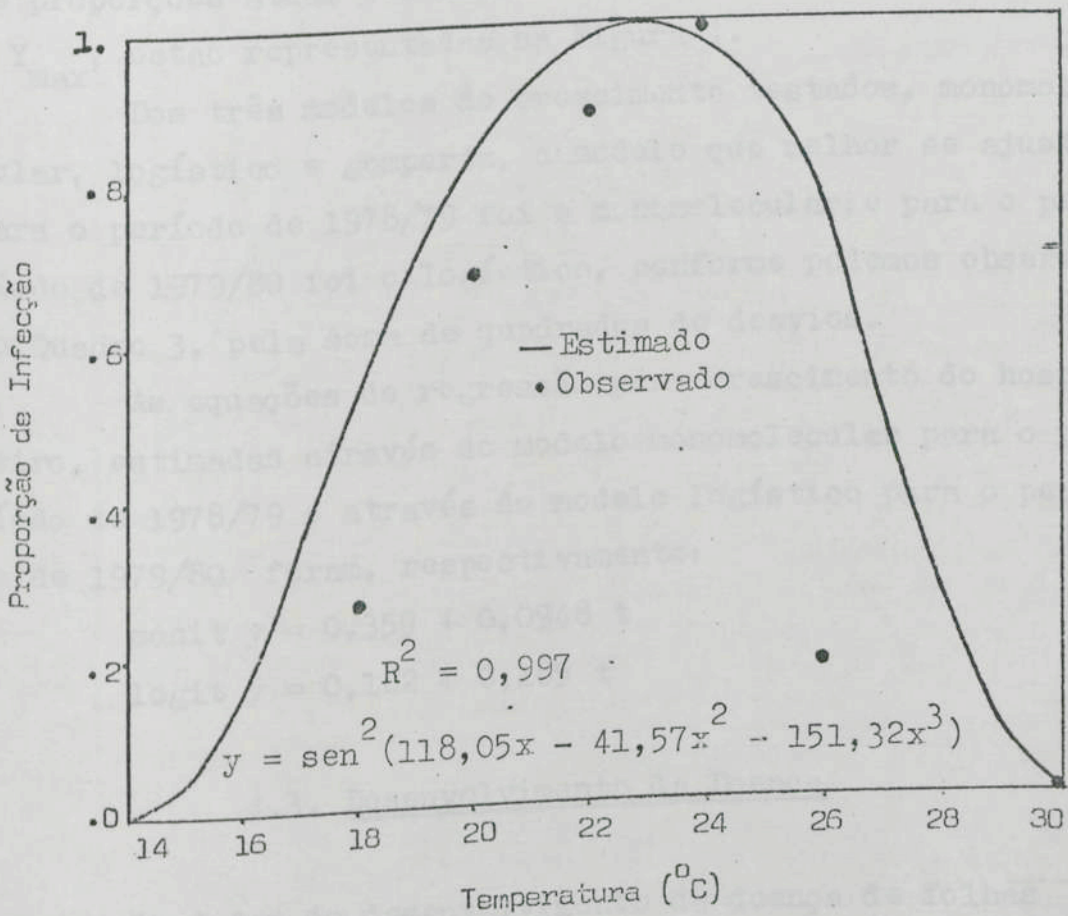


FIGURA 3. Efeito da temperatura na infectividade de uredosporos de H. vastatrix em mudas de cafeeiro



ção para obtenção da equação foi considerada como sendo de  $14^{\circ}\text{C}$ , pois a  $15^{\circ}\text{C}$ , observou-se apenas 0,35 pústula/folha.

#### 4.2. Crescimento do Hospedeiro

Os dados de crescimento do hospedeiro de folhas atuais, caídas e cumulativas encontram-se nos Quadros 1 e 2, e as proporções atual e cumulativa de folhas ( $y$ ), em relação à  $Y_{\text{max}}$ , estão representadas na Figura 4.

Dos três modelos de crescimento testados, monomolecular, logístico e gompertz, o modelo que melhor se ajustou para o período de 1978/79 foi o monomolecular, e para o período de 1979/80 foi o logístico, conforme podemos observar no Quadro 3, pela soma de quadrados de desvios.

As equações de regressão para crescimento do hospedeiro, estimadas através do modelo monomolecular para o período de 1978/79 e através do modelo logístico para o período de 1979/80 foram, respectivamente:

$$\text{monit } y = 0,359 + 0,0948 t$$

$$\text{logit } y = 0,162 + 0,185 t$$

#### 4.3. Desenvolvimento da Doença

Os dados do desenvolvimento da doença de folhas atuais, caídas e cumulativas com ferrugem e porcentagem de área foliar com ferrugem estão apresentados nos Quadros 1 e 2; a proporção de folhas com ferrugem ( $x$ ) e a proporção de folhas com ferrugem, corrigida para  $Y_{\text{max}}$  ( $xm'$ ), estão representadas na Figura 5; a proporção de área foliar com ferrugem ( $x$ ) e a proporção de área foliar, corrigida para  $Y_{\text{max}}$  ( $xm'$ ), estão representadas na Figura 6.

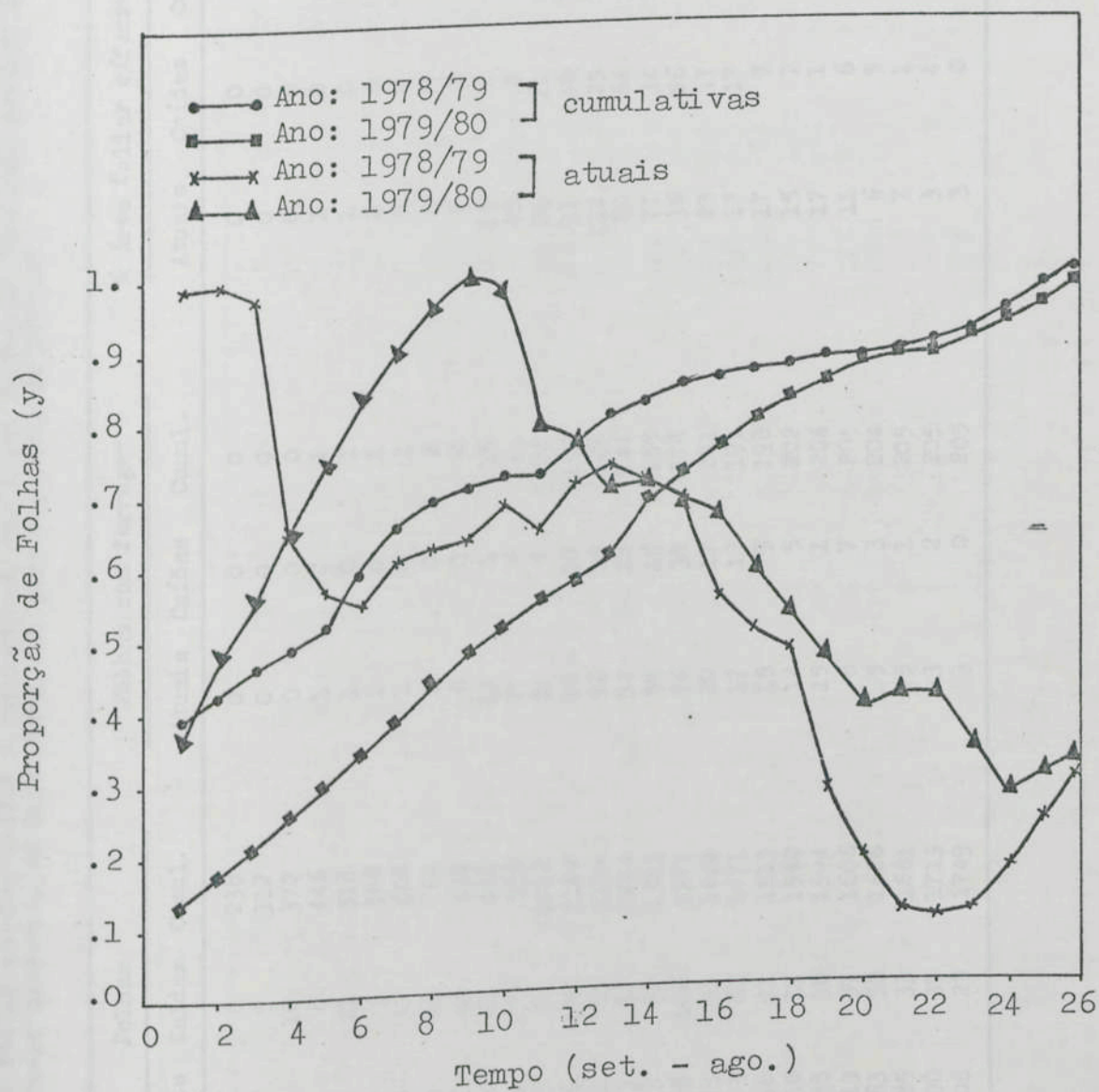


FIGURA 4. Proporção de folhas de cafeeiro atuais e cumulativas em relação à  $Y_{max}$  (y), para os períodos de setembro a agosto de 1978/79 e 1979/80, em Ponte Nova, MG; cada unidade de tempo representa o intervalo entre uma data de leitura e outra de 2 semanas



QUADRO 1 - Número de folhas atuais, caídas e cumulativas, com e sem ferrugem, para cada período de leitura em ramos marcados, em Ponte Nova, MG, para o período de 1979-80

Data	Folhas		Folhas com ferrugem		% Área foliar c/ferrugem	
	Atuais	Caídas	Cumul.	Atuais	Caídas	Cumul.
09/79	238	0	238	0	0	0
09/79	307	5	312	0	0	0
10/79	357	10	372	0	0	0
10/79	423	8	446	0	1	1
11/79	474	21	518	0	1	1
11/79	533	9	566	0	1	1
12/79	576	37	666	0	1	2
12/79	613	65	768	0	2	2
01/80	637	46	838	0	6	2
01/80	624	61	886	15	16	6
02/80	504	190	956	37	40	17
02/80	493	67	1012	62	78	59
02/80	446	139	1104	56	102	101
03/80	451	65	1174	66	128	157
03/80	433	88	1274	54	144	205
04/80	418	84	1313	59	165	235
04/80	368	108	1371	34	178	266
05/80	333	93	1429	20	181	281
05/80	293	82	1471	17	191	287
06/80	246	31	1515	15	198	296
06/80	256	37	1562	14	202	305
07/80	258	30	1594	15	204	310
07/80	213	57	1606	8	204	313
07/80	163	50	1626	5	204	313
08/80	185	33	1661	5	205	315
08/80	200	37	1713	3	205	315
09/80	208	23	1749	3	205	315

QUADRO 2 - Número de folhas atuais, caídas e cumulativas, com e sem ferrugem, para cada período de leitura em ramos marcados, em Ponte Nova, MG, para o período de 1978-79

Data	Folhas		Folhas com ferrugem		% Área foliar c/ferrugem				
	Atuais	Caídas	Cumul.	Atuais	Caídas	Cumul.	Atuais	Caídas	Cumul.
09/78	682	0	682	11	0	11	29	0	29
09/78	690	46	736	12	2	14	38	4	42
10/78	675	83	804	8	6	16	30	21	55
10/78	447	284	860	3	8	19	9	30	64
11/78	395	100	908	0	3	19	0	9	64
11/78	382	151	1046	0	0	19	0	0	64
12/78	421	61	1146	1	0	20	2	0	66
12/78	429	50	1204	3	0	22	7	0	71
12/78	434	19	1228	7	1	27	21	3	88
01/79	471	21	1256	37	2	39	79	8	154
01/79	444	7	1266	67	2	89	144	7	221
02/79	491	19	1332	109	7	138	295	22	399
02/79	503	57	1396	168	26	223	567	94	765
03/79	493	44	1430	231	25	311	960	105	1263
03/79	471	60	1468	248	50	378	1174	364	1841
04/79	371	116	1484	219	103	452	1277	605	2549
04/79	344	37	1494	222	31	486	1674	238	3184
05/79	252	109	1511	166	94	524	1229	893	3632
05/79	187	72	1518	131	53	542	1119	564	4081
06/79	127	78	1536	70	64	545	644	617	4223
06/79	66	73	1548	24	48	547	225	496	4285
06/79	59	25	1566	14	16	553	121	131	4312
07/79	69	25	1601	4	10	553	28	105	4324
07/79	111	6	1649	1	3	553	7	22	4325
08/79	160	1	1699	1	0	553	7	0	4325
08/79	203	2	1744	1	0	553	8	0	4326



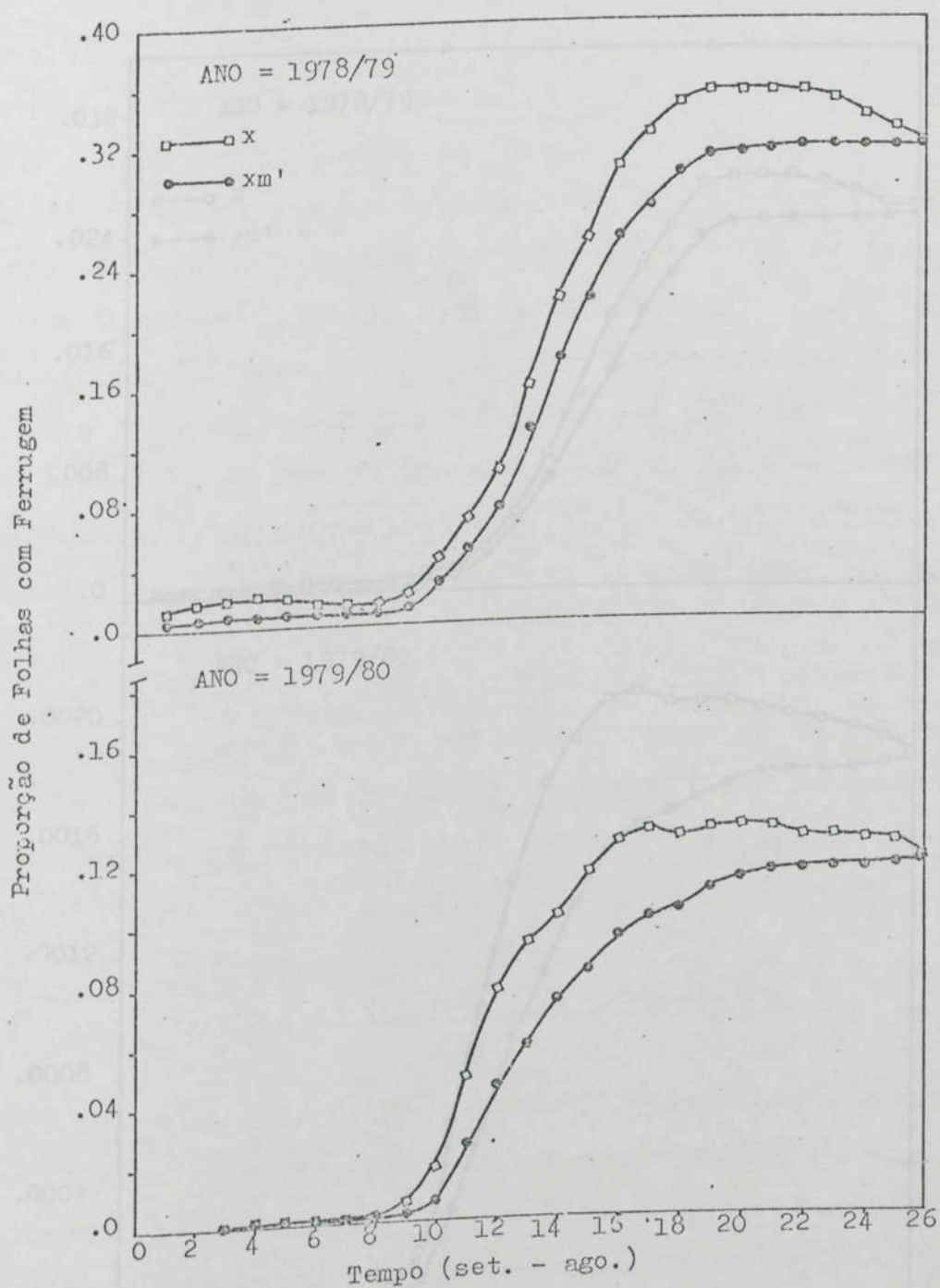


FIGURA 5. Proporção de folhas com ferrugem ( $x$ ) e proporção de folhas com ferrugem em relação a  $Y_{\max}$  ( $xm'$ ) em Ponte Nova, MG, para os períodos de 1978/79 e 1979/80; cada unidade de tempo representa o intervalo entre uma data de leitura e outra de duas semanas

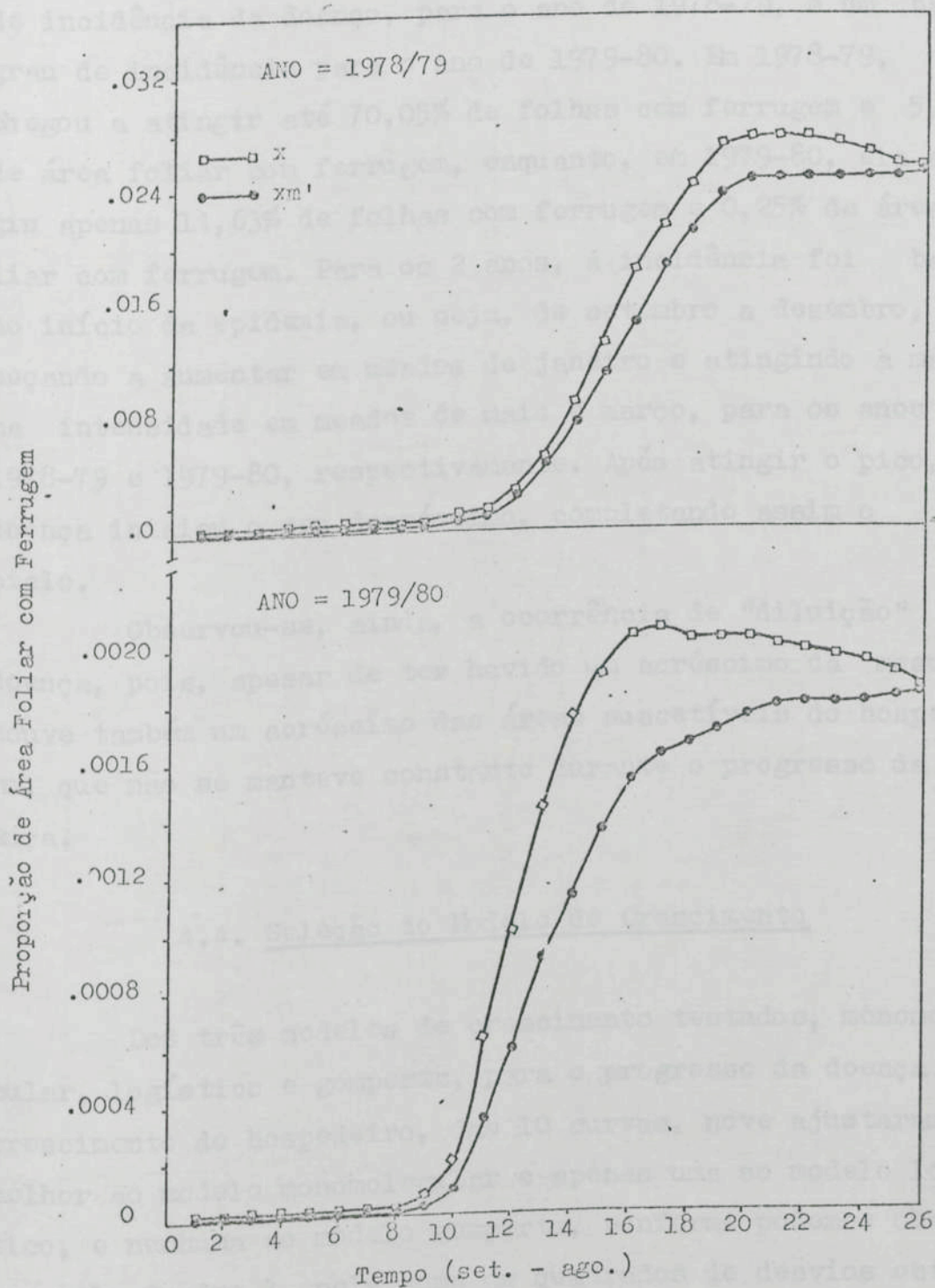


FIGURA 6. Proporção de área foliar com ferrugem ( $x$ ) e proporção de área foliar com ferrugem em relação a  $Y_{max}$  ( $xm'$ ), para os períodos de 1978/79 e 1979/80, em Ponte Nova, MG; cada unidade de tempo representa o intervalo entre uma data de leitura e outra de duas semanas



Em 2 anos de observações, constatou-se um alto grau de incidência da doença, para o ano de 1978-79, e um baixo grau de incidência para o ano de 1979-80. Em 1978-79, ela chegou a atingir até 70,05% de folhas com ferrugem e 5,98% de área foliar com ferrugem, enquanto, em 1979-80, ela atingiu apenas 14,63% de folhas com ferrugem e 0,25% de área foliar com ferrugem. Para os 2 anos, a incidência foi baixa no início da epidemia, ou seja, de setembro a dezembro, começando a aumentar em meados de janeiro e atingindo a máxima intensidade em meados de maio e março, para os anos de 1978-79 e 1979-80, respectivamente. Após atingir o pico, a doença iniciou o seu decréscimo, completando assim o seu ciclo.

Observou-se, ainda, a ocorrência de "diluição" da doença, pois, apesar de ter havido um acréscimo da mesma, houve também um acréscimo das áreas suscetíveis do hospedeiro, que não se manteve constante durante o progresso da doença.

#### 4.4. Seleção do Modelo de Crescimento

Dos três modelos de crescimento testados, monomolecular, logístico e gompertz, para o progresso da doença e crescimento do hospedeiro, das 10 curvas, nove ajustaram-se melhor ao modelo monomolecular e apenas uma ao modelo logístico, e nenhuma ao modelo gompertz, conforme podemos observar pelo Quadro 3, pela soma de quadrados de desvios obtida pelas respectivas curvas.

QUADRO 3 - Soma de quadrados de desvios (SQD) e taxa de infecção aparente (r), para os três modelos de crescimento, testados para o melhor ajustamento da curva de progresso da doença e crescimento do hospedeiro, em Ponte Nova, MG, durante os períodos de 1978/79 e 1979/80

x, xm' ou y	Modelos de Crescimento									
	Ano		Monomolecular		Logístico		Serpertz			
			SDQ	r	SQD	r	SQD	r	SQD	r
PF (x)	78/79	.106931*	.0217	.135052	.1177	.470412	.0602			
PAF (x)	78/79	.000516*	.0014	.000755	.1020	.000631	.0253			
PF (xm')	78/79	.055171*	.0201	.080877	.1126	.056598	.0626			
PAF (xm')	78/79	.000383*	.0013	.000524	.1094	.000424	.0265			
PF (y)	78/79	.011672	.0948	.013476	.1414	.339378	.1028			
PF (x)	79/80	.015171*	.0072	.028452	.0769	.024154	.0305			
PAF (x)	79/80	.000004*	.0001	.000008	.0694	.000007	.0108			
PF (xm')	79/80	.006590*	.0066	.014703	.0906	.011451	.0339			
PAF (xm')	79/80	.000002*	.0001	.000004	.0823	.000004	.0125			
PF (y)	79/80	.071386	.0885	.005623	.1849	.014875	.1359			

\* Modelos de crescimento, selecionados na base da SQD, para o cálculo de  $p''$  para utilização em previsão.



#### 4.5. Correlação das Funções Epidemiológicas com $\rho$

Os dados observados e transformados para as diferentes variáveis dependentes e independentes estão apresentados nos Quadros 4, 5 e 6.

A variação na variável dependente, que foi explicada separadamente pelas diferentes variáveis independentes, são as correlações simples ( $r$ ), elevadas ao quadrado (coeficiente de determinação =  $R^2$ ), apresentadas no Quadro 7.

A variável  $X_1$ , monit (PAFFE), explicou 29% ( $r=0,540$ ) da variação em  $Y_1$  ( $\rho$  para PFF), e 61% ( $r = 0,782$ ) da variação em  $Y_2$  ( $\rho$  para PAFF). Esta alta correlação entre  $X_1$  e  $Y_2$  ocorreu devido à correspondência ao acréscimo e decréscimo entre as variáveis  $Y_1$  e  $Y_2$ ; pelas Figuras 7, 8, podemos observar que, quando a monit (PAFFE) começou a se elevar, em dezembro, houve também um acréscimo da taxa de infecção, em janeiro, com as duas variáveis atingindo valores mais altos nos meses de fevereiro a maio, e decrescendo posteriormente.

A variável  $X_2$  (FDIS) apresentou a correlação mais baixa dentre as variáveis independentes testadas. A correlação com  $Y_1$  foi,  $r = 0,448$  ( $R^2 = 0,20$ ), e com  $Y_2$ ,  $r = 0,221$  ( $R^2 = 0,05$ ).

A variável  $X_4$  (PFD) apresentou uma correlação bastante alta com a variável  $Y_1$ , explicando 45% de sua variação ( $r = -0,671$ ). O mesmo ocorreu com a variável  $X_5$  (PAFD), que explicou 54% ( $r = -0,736$ ) da variação em  $Y_2$ . Esta alta correlação foi observada, pois, quando ocorreu um decréscimo da proporção de hospedeiro disponível para infecção, houve um acréscimo na taxa de infecção  $\rho$ , conforme ilustra a Figura 8. A taxa de infecção começou a se elevar, em feve

QUADRO 4 - Variáveis dependentes\*, que foram consideradas na formulação de equações de previsão, para o desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro, em Fonte Nova, MG, durante os períodos de 1978-79 e 1979-80

Data	$P^*$ (PFF)	$P^*$ (PAFF)	Data	$P^*$ (PFF)	$P^*$ (PAFF)
11/78	0.0039	0.000116	11/79	0.0	0.000020
11/78	0.0	0.0	11/79	0.0	0.000018
12/78	0.0	0.000032	12/79	0.0	0.000016
12/78	0.0	0.000130	12/79	0.0014	0.0
12/78	0.0140	0.000437	01/80	0.0052	0.000053
01/79	0.0807	0.001043	01/80	0.0193	0.000020
01/79	0.148	0.002931	02/80	0.0549	0.000702
02/79	0.1847	0.004758	02/80	0.0883	0.001120
02/79	0.3070	0.009461	02/80	0.1013	0.001586
03/79	0.4469	0.014853	03/80	0.0879	0.001591
03/79	0.4793	0.019081	03/80	0.0824	0.001275
04/79	0.5915	0.024233	04/80	0.0733	0.001036
04/79	0.5689	0.028072	04/80	0.0695	0.000822
05/79	0.5150	0.028516	05/80	0.0343	0.000393
05/79	0.4837	0.026001	05/80	0.0304	0.001123
06/79	0.2097	0.024335	06/80	0.0435	0.000431
06/79	0.0598	0.010698	06/80	0.0304	0.000235
06/79	0.0964	0.006931	07/80	0.0196	0.000185
07/79	0.0652	0.003346	07/80	0.0035	0.000100
07/79	0.0	0.000925	07/80	0.0	0.0
08/79	0.0	0.000060	08/80	0.0038	0.000075
08/79	0.0	0.000049	08/80	0.0040	0.000074

\*  $P^*$  = taxa de infecção aparente em monit para 28 dias, para proporção de folhas com ferrugem (PFF) e proporção de área foliar com ferrugem (PAFF), corrigida para crescimento do hospedeiro.



QUADRO 5 - Variáveis independentes\*, que foram consideradas na formulação de equações de previsão do desenvolvimento da ferrugem do caféiro, em Ponte Nova, RJ, para o período de 1978-79

Data	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$
10/78	0.0000814	0.036	0.0235	-0.0102	-0.00038	0.00000007
10/78	0.0002086	0.250	0.1158	-0.0047	-0.00014	0.00000639
11/78	0.0000111	0.464	0.1578	-0.00001	-0.000001	0.00000081
11/78	0.0000453	0.393	0.1382	-0.00001	-0.000001	0.00000246
12/78	0.0000012	0.393	0.1434	-0.0020	-0.00004	0.00000007
12/78	0.0000275	0.500	0.1436	-0.0062	-0.00014	0.00000198
12/78	0.0001737	0.464	0.1646	-0.0149	-0.00045	0.00001326
01/79	0.0011709	0.464	0.1073	-0.0742	-0.00153	0.00005826
01/79	0.0001322	0.643	0.2071	-0.1241	-0.00251	0.00013223
02/79	0.0027669	0.893	0.4341	-0.2047	-0.00502	0.00107168
02/79	0.0102289	0.821	0.4449	-0.3456	-0.00991	0.00372413
03/79	0.0129772	0.357	0.2557	-0.5485	-0.01770	0.00117766
03/79	0.0139599	0.284	0.2049	-0.6911	-0.02389	0.00080702
04/79	0.0215641	0.357	0.2634	-0.7989	-0.03261	0.00200806
04/79	0.0314609	0.214	0.1537	-0.9243	-0.04656	0.00101912
05/79	0.0342222	0.107	0.0718	-0.9142	-0.04538	0.00025349
05/79	0.0374089	0.107	0.0635	-0.9256	-0.05294	0.00024951
06/79	0.0027273	0.107	0.0400	-0.5904	-0.04188	0.00001166
06/79	0.0042214	0.071	0.0178	-0.2253	-0.01909	0.00000532
06/79	0.0024217	0.036	0.0008	-0.1038	-0.00856	0.00000007
07/79	0.0008629	0.036	0.0001	-0.0243	-0.00168	0.00000001
07/79	0.0003304	0.071	0.0004	-0.0048	-0.00034	0.00000001

\*  $X_1$  = monit (PAFFE);  $X_2$  = (FDIS);  $X_3$  = (FINF);  $X_4$  = (PFD);  $X_5$  = (PAFD);  $X_6$  = monit (FPM).

As variáveis independentes foram calculadas para 28 dias antes da data de previsão (DP).

QUADRO 6 - Variáveis independentes\*, que foram consideradas na formulação de equações de previsão do desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro, em Ponte Nova, MG, para o período de 1979-80

Data	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>
10/79	0.0000001	0.143	0.0741	-0.000001	-0.000001	0.00000001
10/79	0.0000005	0.107	0.0837	-0.0018	-0.000018	0.00000001
11/79	0.0000007	0.143	0.1350	-0.0015	-0.000016	0.00000002
11/79	0.0000021	0.250	0.1431	-0.0014	-0.000028	0.00000008
12/79	0.0000257	0.321	0.0928	-0.0013	-0.000027	0.00000077
12/79	0.0000209	0.321	0.1449	-0.0028	-0.000028	0.00000097
01/80	0.0000305	0.536	0.2737	-0.0079	-0.000079	0.00000492
02/80	0.0001103	0.643	0.2359	-0.0201	-0.000213	0.00001566
02/80	0.0004291	0.571	0.2075	-0.0618	-0.000809	0.00005084
02/80	0.0002826	0.393	0.2199	-0.0995	-0.001237	0.00002494
02/80	0.0009601	0.321	0.1900	-0.1005	-0.001554	0.00005853
03/80	0.0014003	0.250	0.1110	-0.1186	-0.001933	0.00003883
03/80	0.0013486	0.036	0.0094	-0.1014	-0.001430	0.00000046
04/80	0.0001392	0.286	0.0776	-0.1170	-0.001443	0.00003087
04/80	0.0005154	0.428	0.1514	-0.0754	-0.000769	0.00003339
05/80	0.0002075	0.250	0.1294	-0.0439	-0.000671	0.00000671
05/80	0.0001320	0.143	0.1120	-0.0453	-0.000442	0.00000712
06/80	0.0003058	0.071	0.1004	-0.0472	-0.000523	0.00000118
06/80	0.0002939	0.143	0.0517	-0.0478	-0.000500	0.00000217
07/80	0.0001972	0.176	0.0238	-0.0531	-0.000586	0.00000083
07/80	0.0000539	0.107	0.0338	-0.0305	-0.000410	0.00000019
07/80	0.0000777	0.036	0.0128	-0.0187	-0.000222	0.00000005

\* X<sub>1</sub> = monit (PAFFE); X<sub>2</sub> = (FDIS); X<sub>3</sub> = (FINF); X<sub>4</sub> = (PFD); X<sub>5</sub> = (PAFD);  
X<sub>6</sub> = monit (FPM).

As variáveis independentes foram calculadas para 28 dias antes da data de previsão (DP).



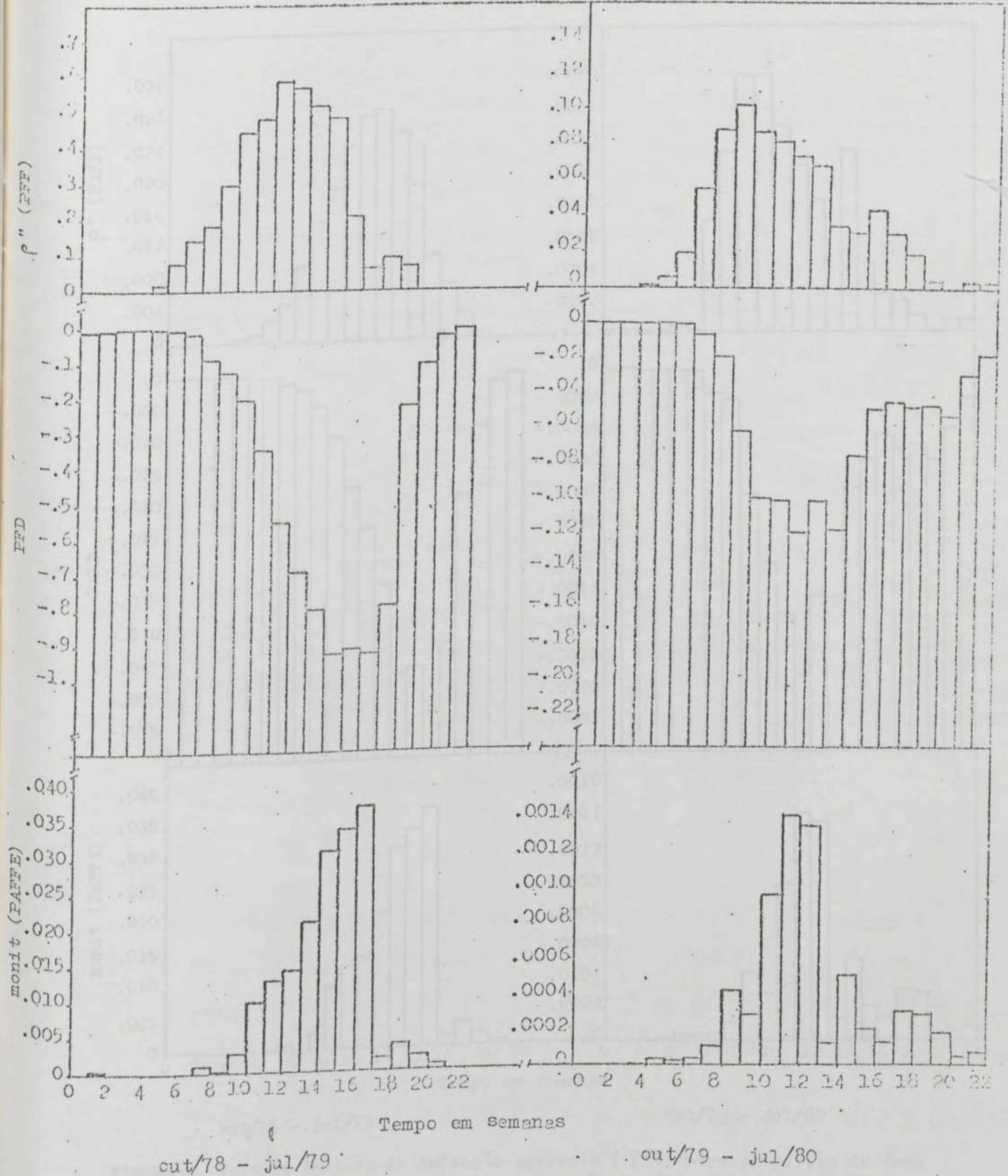
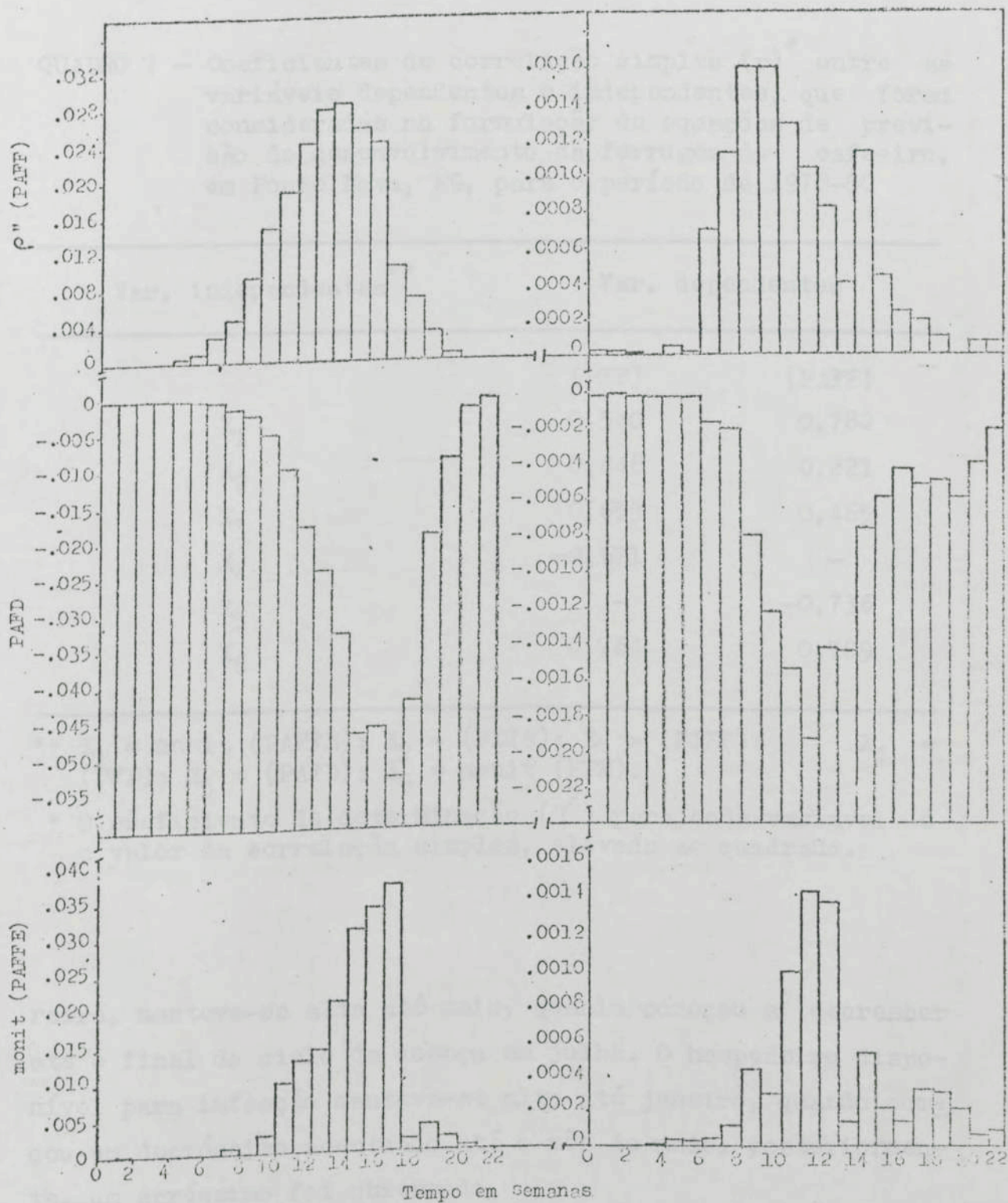


FIGURA 7. Valores da taxa de infecção aparente ( $P''$ ), para proporção de folhas com ferrugem (PFF), proporção de folhas disponíveis para infecção (FFD) e monit da proporção de área foliar com ferrugem com esporos (PAFFE), representados em barras, para ferrugem do cafeeiro, em Ponte Nova, MG



out/78 - jul/79

out/79 - jul/80

FIGURA 8. Valores da taxa de infecção aparente ( $P''$ ), para proporção de área foliar com ferrugem (PAFF), proporção de área foliar disponível para infecção (PAFD) e monit da proporção de área foliar com ferrugem com esporos (PAFFE), representados em barras, para a ferrugem do cafeeiro, em Ponte Nova, IG



QUADRO 7 - Coeficientes de correlação simples ( $r$ )\* entre as variáveis dependentes e independentes, que foram consideradas na formulação de equações de previsão do desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro, em Ponte Nova, MG, para o período de 1978-80

Var. independentes**	Var. dependentes	
	(PFF)	(PAFF)
$X_1$	0,540	0,782
$X_2$	0,448	0,221
$X_3$	0,653	0,465
$X_4$	-0,671	-
$X_5$	-	-0,736
$X_6$	0,764	0,709

\*\*  $X_1$  = monit (PAFFE);  $X_2$  = (FDIS);  $X_3$  = (FINF);  $X_4$  = (FFD);  $X_5$  = (PAFD);  $X_6$  = monit (FPM).

\* O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para cada variável é o valor da correlação simples, elevada ao quadrado.

reiro, manteve-se alta até maio, quando começou a decrescer até o final do ciclo da doença em julho. O hospedeiro disponível para infecção manteve-se alto até janeiro, quando começou um decréscimo acentuado até o mês de maio; posteriormente, um acréscimo foi observado.

A variável  $X_6$ , monit (FPM), mostrou uma correlação bastante alta com  $Y_1$  ou  $Y_2$ . Quando combinada com a variável  $X_4$ , ela explicou 54% ( $r = 0,764$ ) da variação em  $Y_1$ , e, quando combinada com a variável  $X_5$ , ela explicou 50% ( $r = 0,709$ ) da variação  $Y_2$ . Na Figura 9, podemos observar a relação da

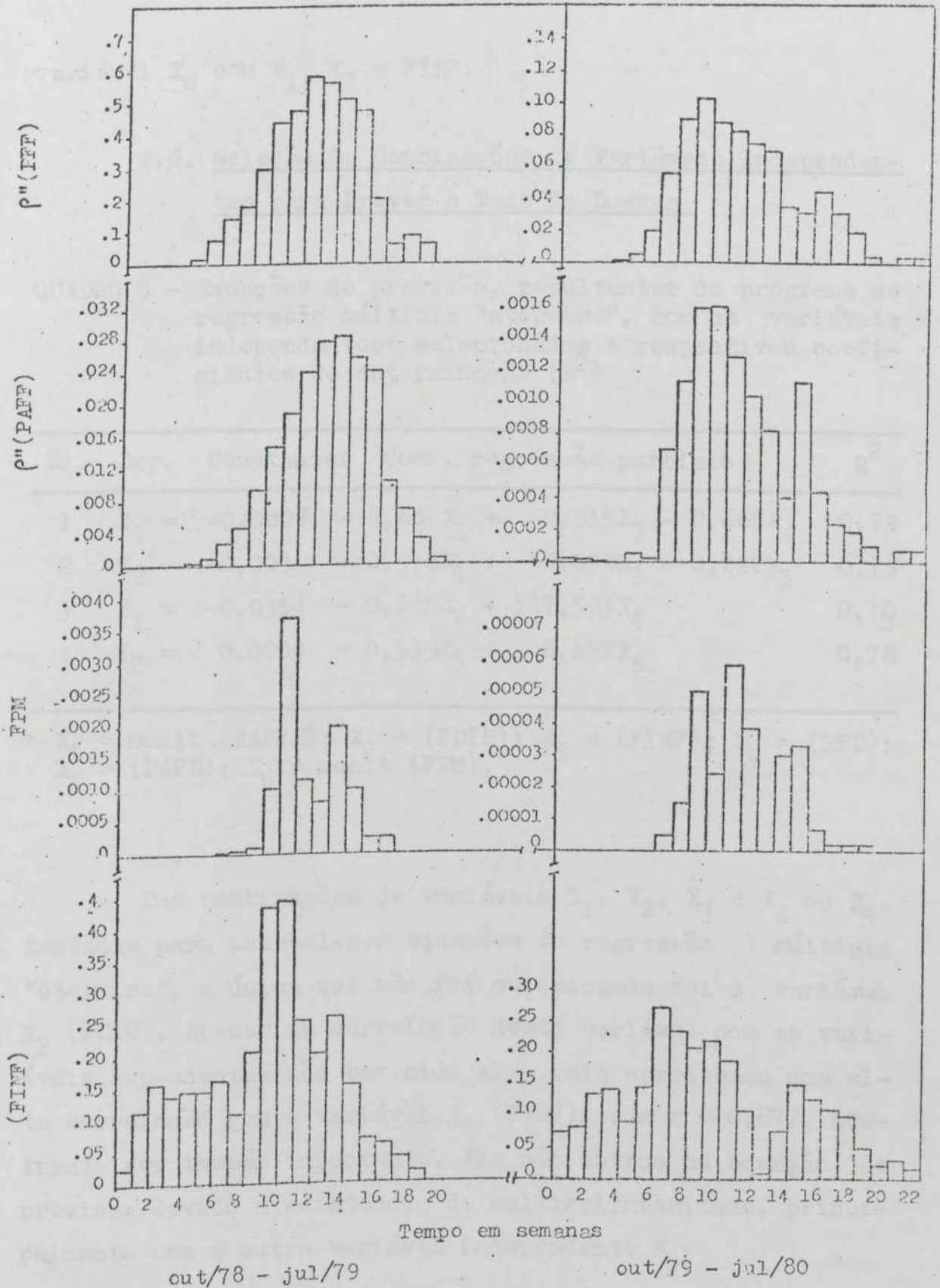


FIGURA 9. Valores da taxa de infecção aparente ( $P''$ ), para proporção de folhas com ferrugem (FFF), proporção de área foliar com ferrugem (PAFF), função de processos monocíclicos (FPM), função de infecção (FIME), representados, em barras, para ferrugem do cafeeiro, em Ponte Nova, MG



Variável  $X_6$  com  $Y_1$ ,  $Y_2$  e FINE.

4.6. Seleção de Combinações de Variáveis Independentes para Prever a Taxa da Doença

QUADRO 8 - Equações de previsão, resultantes do programa de regressão múltipla "stepwise", com as variáveis independentes\* selecionadas e respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ )

Eq.	Dep.	Constantes	Coef. regressão parciais			$R^2$
1	$Y_1 =$	-0,0806	- 9,667 $X_1$ +	0,915 $X_3$	- 0,668 $X_4$	0,79
2	$Y_2 =$	-0,003	+ 0,378 $X_1$ +	0,036 $X_3$	- 0,222 $X_5$	0,79
3	$Y_1 =$	-0,0354	- 0,245 $X_4$ +	147,593 $X_6$		0,70
4	$Y_2 =$	0,0008	- 0,339 $X_5$ +	6,692 $X_6$		0,78

\*  $X_1$  = monit (PAFFE);  $X_2$  = (FDIS);  $X_3$  = (FINE);  $X_4$  = (PFD);  
 $X_5$  = (PAFD);  $X_6$  = monit (FPM).

Das combinações de variáveis  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  e  $X_4$  ou  $X_5$ , testadas para estabelecer equações de regressão múltipla "stepwise", a única que não foi selecionada foi a variável  $X_2$  (FDIS). Apesar da correlação desta variável com as variáveis dependentes não ter sido alta, ela apresentou uma alta correlação com a variável  $X_3$  (FINE), com  $r = 0,877$ , mostrando ser também importante. Ela não entrou na equação de previsão devido à existência de multicolinearidade, principalmente com a outra variável independente  $X_3$ .

## 5. DISCUSSÃO

ZADOKS e SCHEIN (37) utilizaram um modelo de avaliação para melhoramento de plantas, visando resistência às doenças, derivado do conceito ecológico, em que o princípio da razão de sobrevivência foi considerado, isto é, a relação existente entre o número de esporos inoculados e o número de pústulas resultantes. Neste trabalho o mesmo princípio foi adotado, mas para avaliar o efeito das condições de ambiente na sobrevivência da H. vastatrix, nas diversas fases dos processos monocíclicos, com a finalidade de estabelecer um sistema de previsão para estas condições.

BURLEIGH et alii (11) utilizaram em um sistema de previsão de regressão múltipla, para a ferrugem do trigo, variáveis independentes tais como número de uredosporos, temperatura mínima e precipitação. No entanto, estas variáveis foram consideradas, mais de uma vez, no mesmo programa de regressão, para desenvolver uma equação de previsão da doença. A inclusão de uma mesma variável, repetidamente, pode levar à obtenção de resultados imprecisos, pois um mesmo



fator pode ser superestimado na equação de previsão.

As variáveis independentes consideradas no presente trabalho foram: quantidade de inóculo, representada por monit (PAFFE); proporção de folhas ou área foliar disponível para infecção (PFD ou PAFD); função de disseminação (FDIS), função de infecção (FINF) e uma função de processos monocíclicos (FPM), que foi obtida através monit (PAFFE); FDIS e FINF. A maioria destas variáveis mostraram-se importantes, em trabalhos realizados por BOCK (10) e BECKER (6), e apresentaram resultados significativos em sistemas de previsão preliminares de KUSHALAPPA (17) e VALLECILLO (35). Para a quantificação dos processos monocíclicos, o valor máximo estimado pelas diversas equações de germinação e infectividade de uredosporos foi considerado como sendo igual a um, e os demais transformados proporcionalmente para este valor, a fim de determinar os valores baseados na máxima atividade da H. vastatrix. Após estas transformações, calcularam-se então as diversas funções, anteriormente mencionadas.

Para a equação de regressão múltipla número 1, as combinações e seqüência de entrada das variáveis foram PFD, FINF e monit (PAFFE), enquanto para a equação número 2, foram monit (PAFFE), FINF e PAFD, respectivamente. Para as equações número 3 e 4, a variável FPM foi a primeira a entrar, vindo posteriormente PFD e PAFD, respectivamente. Estas equações mostraram bons resultados, para explicar a variação na taxa de aumento da doença, entre 70 e 79%, quando comparada com os resultados de 53 a 72% para a ferrugem da folha do trigo (12).

A seqüência de entrada das variáveis independentes, demonstrou a importância das mesmas, na explicação da varia

ção na taxa de desenvolvimento da doença. A maior parte da variação em  $\dot{P}$  foi explicada pelo grau de enfolhamento da planta e presença de inóculo de conformidade com relatos de trabalhos anteriores (2, 6, 10, 17, 35). Aliando-se a estes fatores, observou-se ainda a grande importância dos fatores de ambiente, os quais, no presente trabalho, coincidem com os fatores favoráveis à germinação e infecção e foram considerados, pelos fatores temperatura e presença de água livre.

Uma alta correlação foi observada entre as variáveis  $\dot{P}$  (PAFFE) e PFD, e FDIS e FINF para obtenção da equação 1, o mesmo ocorrendo entre as variáveis  $\dot{P}$  (PAFFE) e PAFD, e FDIS e FINF, para a equação 2. Esta correlação nos mostrou o alto grau de multicolinearidade existente entre estas variáveis. Assim sendo, apesar de variável FDIS não ter entrado em alguma das equações, apresentou também uma grande importância na explicação da variação na taxa de aumento da doença.

Para quantificar a proporção de doenças em plantas, VAN DER PLANK (36) e ANALYTIS (3) consideraram o máximo de áreas suscetíveis disponíveis para infecção, em qualquer tempo, como um, e  $x$  variando entre zero e um ( $0 \leq x \leq 1$ ). Os modelos de crescimento têm como requerimento básico, de que a proporção de doença deva ser calculada, em relação à  $Y_{\max}$ , considerada como um ( $A/Y_{\max} = 1$ ) e constante durante uma epidemia.  $A$  e  $Y_{\max}$  representam os valores máximos que  $X$  e  $Y$  atingiram durante uma epidemia, e quando todas as áreas tornaram-se infectadas, então  $A = Y_{\max}$ . No entanto, KUSHALAPPA e LUDWIG (dados não publicados) demonstraram que o  $Y_{\max}$  varia em função do tempo, não sendo cons



tante durante o desenvolvimento da doença, quando estudaram o progresso da ferrugem do cafeeiro. Assim sendo, a proporção da doença foi calculada no presente trabalho, com base em  $Y_{\max}$  presente ao final do estudo, para calcular a taxa de infecção para a curva toda de progresso da doença.

Para desenvolver as equações de previsão da doença, a taxa de infecção aparente ( $P''$ ) foi calculada para o intervalo de 28 dias e corrigida para crescimento de hospedeiro, com a fórmula de VAN DER PLANK (36), modificada pro KUSHALAPPA (20), para evitar a obtenção de valores negativos, devido à formação de folhas de cafeeiro. A equação utilizada foi a equação 2, descrita neste trabalho. Nesta equação,  $x_1$  foi calculada na base de proporção atual da doença (não cumulativa), mas o  $x_2$  foi cumulativo para o período de 28 dias. Assim sendo, a proporção de doença ( $x_t$ ), prevista para vários intervalos dentro da curva de progresso da doença, não pôde ser plotada em um gráfico como é comumente feita para os modelos de VAN DER PLANK (36), pois o número de folhas ( $Y$ ) variava nos diversos intervalos de tempo estudados. As folhas caídas antes de  $x_1$  não estavam, portanto, disponíveis para infecção, sendo então eliminadas. Com a fórmula da equação 4, valores negativos não foram também encontrados.

O cálculo da taxa, a cada 28 dias, possibilita identificar com maior exatidão a influência dos fatores ambientais no desenvolvimento da doença durante este período. Este intervalo foi estabelecido, considerando-se o período de incubação do fungo na base de 56 dias, isto é, 28 dias antes da data de previsão para as variáveis indepen -

dentes e 28 dias após a data de previsão para as variáveis dependentes.

As equações desenvolvidas são preliminares para prever a ferrugem do cafeeiro, com o modelo baseado em funções biológicas. Elas nos possibilitam uma utilização mais ampla, pois são mais estáveis, podendo ser usadas para outros locais, principalmente porque as variáveis independentes, empregadas no presente trabalho, permitem-nos melhor entendimento para o progresso da doença.



o período de setembro de 1976 a agosto de 1980, em condições naturais; concomitantemente, realizou-se uma amostragem em folhas coletadas no campo, para determinar a proporção de área foliar com ferrugem em espigas (PAFFE). Estes dados servirão de base para determinar a PAFFE, em razão de dados.

### 6. RESUMO E CONCLUSÕES

Experimentos foram conduzidos em laboratório e em casa-de-vegetação na Universidade Federal de Viçosa, para desenvolver equações, com a finalidade de estimar o efeito da temperatura, na germinação, e o efeito do número de horas de água livre e da temperatura, na infectividade dos uredosporos da H. vastatrix. As equações obtidas foram:

$$y = \text{sen}^2 (22,5x - 152,7x^2 - 76,05x^3) \text{ para a germinação.}$$

$$y = \text{sen}^2 (188,05x - 41,57x^2 - 151,32x^3), \text{ para infectividade em diferentes temperaturas.}$$

$$y = 1 - 1,996 \cdot \exp.(-0,1089t), \text{ para infectividade em diferentes números de horas de água livre.}$$

O desenvolvimento da ferrugem e crescimento do hospedeiro foram observados em condições de campo, no município de Ponte Nova, na zona da Mata de Minas Gerais, durante

para proporção de folhas disponíveis para infecção (FDF) e proporção de área foliar disponível para infecção (PAFD) calculados através de equações

o período de setembro de 1978 a agosto de 1980, em ramos marcados; concomitantemente, realizou-se uma amostragem em folhas coletadas ao acaso, para determinar a proporção de área foliar com ferrugem com esporos (PAFFE). Estes dados serviram de base para determinar a PAFFE, em ramos marcados.

Os modelos monomolecular, logístico e gompertz foram testados, para selecionar aquele que melhor se ajustasse ao desenvolvimento da doença e crescimento do hospedeiro, na base de menor soma de quadrados de desvios (SQD). O modelo selecionado foi o monomolecular, que foi utilizado para calcular a taxa de infecção aparente ( $i''$ ), corrigida para formação de folhas.

As funções epidemiológicas foram calculadas com base nos dados microclimáticos, obtidos a nível de campo, em Ponte Nova, e com os dados das equações de germinação e infectividade, anteriormente mencionadas. Para a coleta de dados microclimáticos, foram instalados, no local do experimento, um aspergígrafo e um termohigrógrafo, para registrar os dados de presença de água livre e temperatura, respectivamente. Os dados de chuva foram obtidos de um pluviômetro, situado na estação meteorológica da Fazenda Experimental. As funções calculadas foram: função de disseminação (FDIS); função de infecção (FINF); monit da proporção de área foliar com ferrugem com esporos, monit (PAFFE), e função de processos monocíclicos (FPM).

O hospedeiro disponível para infecção foi calculado para proporção de folhas disponíveis para infecção (PFD) e proporção de área foliar disponível para infecção (PAFD), calculados através da equação:

$$y = \log_e(1 - xm')$$



Para prever o desenvolvimento da ferrugem, aos 28 dias após a data de previsão (DP), utilizou-se um programa de regressão múltipla "stepwise".

Como variáveis dependentes foram consideradas  $Y_1$  ( $\rho''$ ), para proporção de folhas com ferrugem (PFF), e  $Y_2$  ( $\rho''$ ), para proporção de área foliar com ferrugem (PAFF). Como variáveis independentes foram consideradas:  $X_1 = \text{monit (PAFFE)}$ ;  $X_2 = \text{FDIS}$ ;  $X_3 = \text{FINF}$ ;  $X_4 = \text{PFD}$ ;  $X_5 = \text{PAFD}$  e  $X_6 = \text{monit (FPM)}$ .

As variáveis independentes, que melhor explicaram a variação na taxa de desenvolvimento da doença, foram:  $\text{monit (PAFFE)}$ ,  $\text{FINF}$ ,  $\text{PFD}$  ou  $\text{PAFD}$  e  $\text{monit (FPM)}$ . A única variável que não foi selecionada foi a  $\text{FDIS}$ , que, no entanto, mostrou ser também muito importante, devido à multicolinearidade, principalmente com a outra variável independente  $\text{FINF}$ .

As equações de previsão obtidas foram:

$$Y_1 = -0,0806 - 9,667X_1 + 0,915X_3 - 0,668X_4$$

$$Y_2 = 0,003 + 0,378X_1 + 0,036X_3 - 0,222X_5$$

$$Y_1 = 0,0354 - 0,245X_4 + 147,593X_6$$

$$Y_2 = 0,0008 - 0,339X_5 + 6,692X_6$$

em que  $Y_1 = \rho''$  para PFF e  $Y_2 = \rho''$  para PAFF, para 28 dias após a data de previsão (DP);  $X_1 = \text{monit (PAFFE)}$ ;  $X_3 = \text{FINF}$ ;  $X_4 = \text{PFD}$ , proporção de folhas disponíveis para infecção;  $X_5 = \text{PAFD}$ , proporção de área foliar disponível para infecção e  $X_6 = \text{monit (FPM)}$ , para 28 dias antes da data de previsão (DP).

H. vastatrix developed under laboratory conditions. The equations were:

1. Duration of germination for temperature:

$$y = 0.0002(1220.5x - 132.7x^2 - 76.05x^3)$$

2. Duration of infectivity for temperature:

$$y = 0.0002(1220.5x - 132.7x^2 - 76.05x^3)$$

### 7. ABSTRACT

AKUTSU, Mario. M.S. Universidade Federal de Viçosa, December 1981. Relation of climatic and biotic functions with infection rate for rust on coffee (Hemileia vastatrix Berk. et Br.). Advisor: Ajjamada Chengappa Kushalappa.

The progress of rust (Hemileia vastatrix Berk. et Br.), was quantified in one hectare of Coffea arabica, cultivar Catuaí, in Ponte Nova-MG, Brazil, at 14 days intervals, from September, 1978 to August, 1980 and represented as proportion of leaves rusted (PFF), and proportion of leaf area rusted (PAFF).

The apparent infection rate for 28 days after the date of prediction (DP), corrected for host growth (P"), was determined adopting the best growth model, the monomolecular.

Meteorological apparatus were installed in the field, and hourly temperature, duration of free water and rainy days were determined. The functions of environment were calculated from these meteorological data and from the equations for germination and infectivity for uredospores of



H. vastatrix developed under laboratory conditions. The equations were:

1. Function of germination for temperature:

$$y = \text{sen}^2 (220,5x - 152,7x^2 - 76,05x^3).$$

2. Function of infectivity for temperature:

$$y = \text{sen}^2 (118,05x - 41,57x^2 - 151,32x^3),$$

Where  $y$  = maximum proportion of germination and  
 $x$  = temperature.

3. Function of infectivity for hours of free water

$$y = 1 - 1,996 \exp. (-1089 t), \text{ where } t, \text{ hours of free water.}$$

The infection function (FINF), was calculated by multiplying the function of germination (FGERM), with the function of infectivity. The dissemination function (FDIS) was obtained based on proportion of days with  $> 1$  mm rain. The function of monocyclic processes (FPM), was calculated as monit of (FINF \* FDIS \* PAFPE), where monit is  $\log_e (1/(1-x))$  and  $x = \text{FPM}$ ; PAFPE is proportion of leaf area with spore.

The proportion of host available for infection, was calculated as  $\log_e (1 - xm')$ , where  $x$  is proportion of leaves rusted (PFF), or proportion of leaf area rusted (PAFF);  $m'$  is  $Y_1/Y_2$ , where  $Y$  is number of leaves formed.

The combinations of independent variables that explained significantly the variation in the rate of development of disease, were identified by a stepwise multiple regression computer program, using SPSS package. The equations obtained were:

$$1. Y_1 = - 0,0806 - 9,667 X_1 + 0,915 X_3 - 0,668 X_4 \quad (R^2=0,79)$$

$$2. Y_2 = 0,003 + 0,378 X_1 + 0,036 X_3 - 0,222 X_5 \quad (R^2=0,79)$$

$$3. Y_1 = - 0,0354 - 0,245 X_4 + 147,593 X_6 \quad (R^2=0,70)$$

$$4. Y_2 = 0,008 - 0,339 X_5 + 6,692 X_6 \quad (R^2=0,78)$$

Where  $Y_1 = P$  for PFF, and  $Y_2 = P$  for PAFF, for 28 days after the date of prediction (DP);  $X_1 =$  monit (PAFFE);  $X_2 =$  FDIS;  $X_3 =$  FINF;  $X_4 =$  PFD, proportion of leaves available for infection;  $X_5 =$  PAFD, proportion of leaf area available for infection;  $X_6 =$  monit (FPM). The independent variables were calculated for 28 days before DP.

1. ALFONSEL, R.R.; ORTOLANI, A.A.; FERRE, M.S.; FERRE JUNIOR, M.S. & MURKIN, V. Associação entre nível de infecção da ferrugem do cafeeiro, variáveis climáticas e área foliar observadas em Coffea arabica L. In: 2. Congresso do Brasileiro de Fungos Cafeeiros. Brasília, 1974. p. 59-62.

2. DUBITSKY, A. Methodik der analyse von epidemien. Angewandte Mikrobiologie (Zeitschrift für Mikrobiologie) (Czech. Meth.). Acta Mycol. Bot. (1): 1-16. 1973.

3. ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL, Rio de Janeiro, v. 40, 1979.

4. PAFF, K. Nonlinear parameter estimation. New York, John Wiley Press, 1974. 341 p.

5. BRUNER, S. La infestación de la zona del café. Boletín, Sociedad Agrícola de Cooperación Técnica EDA. (SAL) 1973. 70 p.

6. BRUNER, S.C. A.C. Alguns aspectos da cafeicultura mundial e do Brasil. Picop, Universidade. 1979.



## 8. LITERATURA CITADA

1. ABREU, M.S. Identificação de parâmetros para avaliação da resistência horizontal de Coffea sp. à Hemileia vastatrix Berk & Br. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1978. 64p. (Tese de Mestrado).
2. ALFONSI, R.R.; ORTOLANI, A.A.; PINTO, H.S.; PEDRO JUNIOR, M.J. & BRUNINI, O. Associação entre nível de infecção da ferrugem do cafeeiro, variáveis climáticas e área foliar, observados em Coffea arabica L. In: 2.º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras. Resumos. 1974. p. 80-83.
3. ANALYTIS, S. Methodik der analyse von epidemien dargestellt am Apfelschorf (Venturia inaequalis (Cook.) Aderh.). Acta Phytomedica, (1): 1-76, 1973.
4. ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL, Rio de Janeiro, v. 40, 1979.
5. BARD, Y. Nonlinear parameter estimation. New York, Academic Press, 1974. 341 p.
6. BECKER, S. La propagacion de la roya del cafeto. Eschborn, Sociedad Alemana de Cooperación Técnica Ltda. (GTZ), 1979. 70 p.
7. BEGAZO, J.C.E.O. Alguns aspectos da cafeicultura mundial e do Brasil. Viçosa, Imprensa Universitária, 1979. 8 p.

8. BERGER, R.D. Helminthosporium turcicum lesion numbers related to numbers of trapped spores and fungicides sprays. Phytopathology, 63: 930-33, 1973.
9. BOCK, K.R. Dispersal of uredospores of Hemileia vastatrix under field conditions. Trans Brit. Mycol. Soc., 45 (1): 63-74. 1962.
10. BOCK, K.R. Seasonal periodicity of coffee leaf rust and factors affecting the severity of outbreaks in Kenya colony. Trans. Brit. Mycol. Soc. 45 (3): 289-300, 1962.
11. BURDEKIN, B.A. Wind and water dispersal of coffee leaf in Tanganika. Kenya Coffee, 25: 212-13, 1960.
12. BURLEIGH, J.R.; EVERSMEYER, M.G. & ROELFS, A.P. Development of linear equations for predicting wheat leaf rust. Phytopathology, 62: 947-53. 1972.
13. CHAVES, G.M.; FILHO, J.C.; CARVALHO, M.G.; MATSUOKA, K.; COELHO, D.T. & SHIMOYA, C. A ferrugem do cafeeiro (Hemileia vastatrix Berk. et Br.). Revisão de literatura com observações e comentários sobre a enfermidade no Brasil. Seiva, 1970. 75 p. (Edição Especial).
14. DUARTE, S.G. & BARBIN, D. Curva epidemiológica da ferrugem alaranjada do cafeeiro da Zona da Mata - Minas Gerais. In: ANAIS DA REUNIÃO INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, Piracicaba, Fundação Cargill, 1979. 568 p.
15. EVERSMEYER, M.G. & BURLEIGH, J.R. A method of predicting epidemic development of wheat leaf rust. Phytopathology, 60: 805-11. 1970.
16. FIGUEIREDO, P.; ALFONSI, R.R.; ORTOLANI, A.A.; MARIOTTO, P.R. & PALAZZO, D.A. Presença de uredosporos de Hemileia vastatrix Berk. & Br., no ar e sua importância sobre epidemiologia da ferrugem. In: 5.º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras. Resumos. 1977. p. 87-8.
17. KUSHALAPPA, A.C. Linear models applied to variation in the rate of coffee rust development. Phytopath. Z.; 101: 22-30. 1981.



18. KUSHALAPPA, A.C. Modelos de regressão e de "path" para a taxa de desenvolvimento de ferrugem do cafeeiro. Fitopatologia Brasileira, 5 (3): 411, 1980.
19. \_\_\_\_\_. Uma escala para estimar a intensidade foliar da ferrugem do cafeeiro. Fitopatologia Brasileira, 3 (1): 119. 1978.
20. \_\_\_\_\_. Um método para calcular a taxa de infecção aparente corrigida para queda e formação de folhas. Fitopatologia Brasileira, 5 (3): 411, 1980.
21. \_\_\_\_\_. & CHAVES, G.M. An analysis of the development of coffee rust in the field. Fitopatologia Brasileira, 5 (1): 95-103, 1980.
22. \_\_\_\_\_. & LAGESSE, R.M. LEAFAL: A computer program for quantitative analysis of leaf fall in coffee principally from rust. Phytopath. Z., 101: 97-105, 1981.
23. \_\_\_\_\_. & MARTINS, C.P. Incubation and generation periods for Hemileia vastatrix on coffee in Viçosa, Minas Gerais. Fitopatologia Brasileira, 5 (2): 177-83, 1980.
24. MARTINEZ, J.A.; MONTEIRO, M.V.M. & REV, N.R.N. Presença de esporos de Hemileia vastatrix Berk. & Br., agente causal da ferrugem do cafeeiro em diferentes altitudes nas principais áreas cafeeiras dos Estados de São Paulo e Paraná. O Biológico, 41: 47-78. 1975.
25. MIGUEL, A.E.; MATIELLO, J.B.; MANSK, Z. & ALMEIDA, S.R. Observações sobre os efeitos de três níveis de produção na incidência e controle da ferrugem do cafeeiro. In: 5. Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras. Resumos. 1977. p. 220-21.
26. MONTOYA, R.H. & CHAVES, G.M. Influência da temperatura e da luz na germinação, infectividade e período de geração de Hemileia vastatrix Berk. et Br. Experientiae, 18 (11): 239-66, 1974.
27. 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 Es

- tado de São Paulo. Summa Phytopathologica, 2: 32-38, 1976.
28. NUTMAN, F.J. & ROBERTS, F.M. Studies on the biology of Hemileia vastatrix Berk. & Br. Transactions British Mycological Society, 46 (1): 27-48, 1963.
  29. NUTMAN, F.J.; ROBERTS, F.M. & BOCK, K.R. Method of uredospores dispersal of the coffee leaf-rust fungus, Hemileia vastatrix. Trans. Brit. Mycol. Soc. 43 (3): 509-515, 1960.
  30. PENNYPACKER, S.P.; KNOBLE, H.D.; ANTLE, C.E. & MADDEN, L.J. A flexible model for studying plant disease progression. Phytopathology, 70: 232-35, 1980.
  31. PLAUT, J.L. Epidemic progress of three pathosystems as affected by initial disease severity. Florida, University of Florida, 1980. 106 p. (Tese de Mestrado).
  32. RAYNER, R.W. Germination and penetration studies on coffee rust (Hemileia vastatrix B. & Berk.). Ann. Appl. Biol. 49: 493-505, 1961.
  33. RAYNER, R.W. Micologia y biologia de la roya del cafe-to. Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas de la O.E.A., Turrialba, Costa Rica, 1972.
  34. SOUZA, S.M.C. Importância da chuva e da temperatura do ar na incidência da ferrugem (Hemileia vastatrix Berk. & Br.) em cafeeiro, de três localidades do Estado de Minas Gerais, Lavras, 1980, 50 p. (Tese de Mestrado).
  35. VALLECILLO, S.H.O. Efeito de fatores biológicos e climáticos sobre o desenvolvimento da ferrugem (Hemileia vastatrix Berk. et Br.) do cafeeiro. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1980, 57 p. (Tese de Mestrado).
  36. VAN DER PLANK, J.E. Plant disease: Epidemics and control. New York, Academic Press, 1963. 349 p.
  37. ZADOKS, J.C. & SCHEIN, R.D. Epidemiology and plant disease management. New York, Oxford University Press, 1979. 427 p.



APÊNDICE



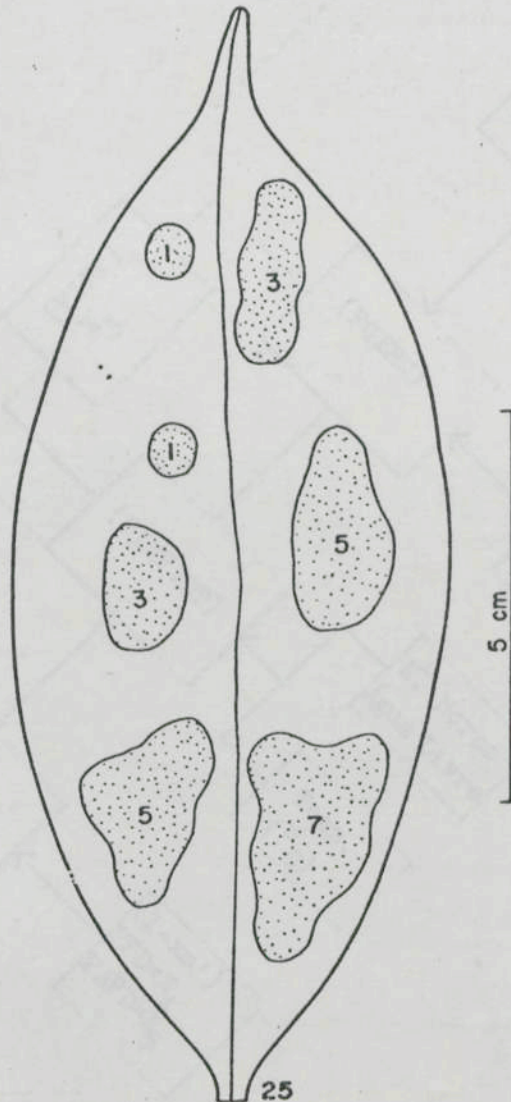


FIGURA 1A. Diagrama representando  $25 \text{ cm}^2$  de folha, ilustrando lesões de ferrugem de 1, 3, 5 e 7% da área foliar, dando uma área acumulativa de 25%. Estima-se a intensidade de ferrugem pelo somatório das áreas das lesões



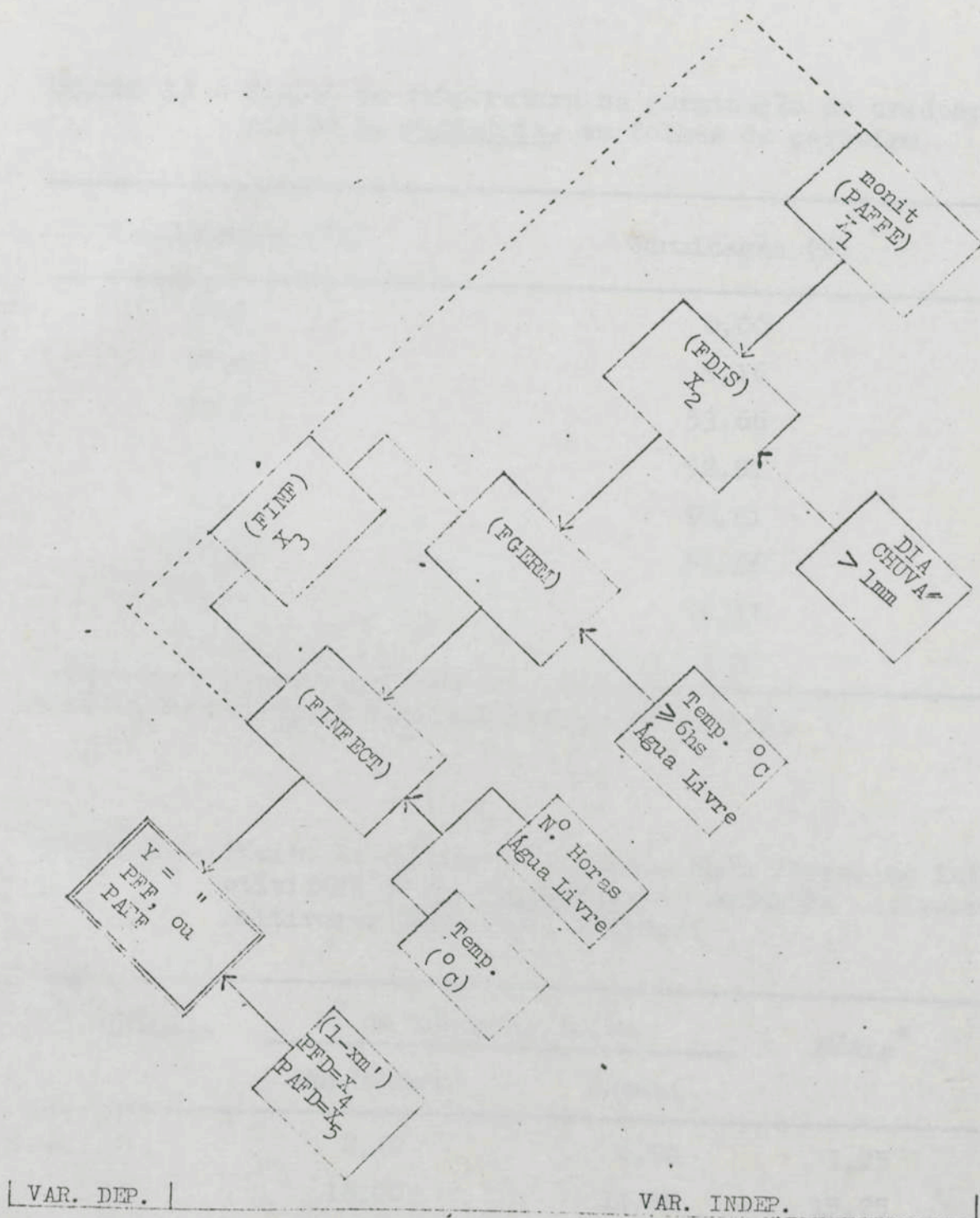


FIGURA 2A. Variáveis dependentes e independentes, que foram consideradas para prever a taxa de infecção aparente  $\rho''$ , para a ferrugem do cafeeiro, em Ponte Nova, MG  
 $\text{monit (PAFFE)} = \log_e(1/1-x)$  em que  $x$  = proporção de área foliar, com ferrugem com esporos; (FDIS) = função de disseminação; (FGERM) = função de germinação; (FINEFECT) = função de infectividade; PFD = proporção de folhas disponíveis para infecção; PAFD = proporção de área foliar disponível para infecção; FPM = funções de processos monocíclicos;  $m'$  = correção para crescimento do hospedeiro

QUADRO 1A - Efeito da temperatura na germinação de uredosporos de H. vastatrix, em folhas de cafeeiro

Temperatura (°C)	Germinação (%) *
12,5	0,00
15,0	5,16
20,0	53,66
22,5	52,91
25,0	60,61
27,5	27,66
30,0	23,33
32,5	0,00

\* Média de 18 repetições, 100 esporos/repetição

QUADRO 2A - Efeito do número de horas de água livre, na infectividade de H. vastatrix, em mudas de cafeeiro cultivares Mundo Novo e Catuaí

N.º de horas	N.º de pústulas/folha		Média *
	Mundo Novo	Catuaí	
6	2,60	0,90	1,75
12	16,00	14,50	15,25
18	55,00	48,00	51,50
24	76,00	50,00	63,00
48	74,00	48,00	61,00

\* Média de 10 repetições, por tratamento, repetidas duas vezes



QUADRO 3A - Efeito da temperatura na infectividade de ure -  
dosporos de H. vastatrix, em mudas de cafeeiro

Temperatura (°C)	N.º de pústulas/folha *
15	0,35
18	12,50
20	32,20
22	41,80
24	47,10
26	9,30
30	0,00

\* Média de 11 repetições