QUANTIFICAÇÃO DE PARÂMETROS MONOCÍCLICOS
RELACIONADA A EPIDEMIAS NO SISTEMA *Uromyces*
appendiculatus - FEIJOEIRO

LILIAN MARIA ARRUDA BACCHI
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. ARMANDO BERGAMIN FILHO

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área de Concentração: Fitopatologia.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Dezembro - 1993

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - FCLQ/USP

Bacchi, Lilian Maria Arruda
B116q Quantificação de parâmetros monocíclicos relaciona
da a epidemias no sistema *Uromyces appendiculatus*-fei
joeiro. Piracicaba, 199.
99p.

Tese - ESALQ
Bibliografia.

1. Feijão - Doença 2. Ferrugem do feijão 3. Fungo
fitopatogênico I. Escola Superior de Agricultura Luiz
de Queiroz, Piracicaba

CDD 635.652

QUANTIFICAÇÃO DE PARÂMETROS MONOCÍCLICOS
RELACIONADA A EPIDEMIAS NO SISTEMA *Uromyces*
appendiculatus-FEIJOEIRO

LILIAN MARIA ARRUDA BACCHI

Aprovada em: 21.02.1994

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Hiroshi Kimati	ESALQ/USP
Prof. Dr. Armando Bergamin Filho	ESALQ/USP
Prof. Dr. José Otávio Machado Menten	ESALQ/USP
Prof ^a Dr ^a Beatriz M. Januzzi Mendes	CENA/USP
Prof. Dr. Antonio Carlos Maringoni	UNESP/Botucatu

Prof. Dr. ARMANDO BERGAMIN FILHO
Orientador

Dedico:

aos meus pais,
Giselda e Ângelo,
e meus irmãos,
Rubens, Márcio e Neto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, amigos, e professores e funcionários do Depto. de Fitopatologia-ESALQ pela atenção e amizade durante todo o Curso, em especial:

- Prof. Armando Bergamin Filho
- Dra. Beatriz M.J. Mendes
- Profa. Lilian Amorin
- Prof. Tasso Leo Krügner
- Prof. Richard D. Berger
- Dr. G. Weber
- Sr. Pedro da Silva
- Sra. Terry A. Davoli
- Colegas Marcelo Canteri e Marilene Yaumati
- Márcio Arruda Bacchi

SUMÁRIO

	página
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	xi
SUMMARY	xiii
1.INTRODUÇÃO	01
2.REVISÃO DE LITERATURA	04
2.1.A ferrugem do feijoeiro	05
2.1.1.Ocorrência e prejuízos causados	05
2.1.2.Etiologia, epidemiologia e sintomas ...	07
2.1.3.Controle	09
2.2.Fatores que podem influenciar o desenvolvimen- to da ferrugem	13
2.2.1.Temperatura	14
2.2.2.Umidade	18
2.2.3.Outros fatores ambientais	22
2.2.4.O hospedeiro	25
2.2.4.1.Estádio de desenvolvimento da planta e idade da folha	26
2.2.4.2.Genótipo	30
2.2.5.Fatores relacionados à própria doença .	32
2.3.Comportamento da ferrugem do feijoeiro em con- dição de campo	35

3.MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1.Quantificação de parâmetros monocíclicos da ferrugem do feijoeiro em diferentes temperatu- ras	39
3.2.Quantificação de parâmetros monocíclicos da ferrugem do feijoeiro em diferentes temperatu- ras e períodos de câmara úmida	42
3.3.Efeito de temperatura acima da máxima sobre o desenvolvimento da ferrugem do feijoeiro	43
3.3.1.Experimento 1	43
3.3.2.Experimentos 2 e 3	44
3.3.3.Experimento 4	44
3.3.4.Experimento 5	45
3.4.Efeito da temperatura abaixo da temperatura mínima sobre o desenvolvimento da ferrugem do feijoeiro	46
3.5.Desenvolvimento da ferrugem do feijoeiro sob condição natural de infecção	47
4.RESULTADOS	49
5.DISSCUSSÃO	67
5.1.Efeito de linhagem e tipo de folha	67
5.2.Efeito da temperatura e molhamento foliar ...	70
5.2.1.Condições controladas	70
5.2.2.Ensaio de campo	75
6.CONCLUSÕES	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

LISTA DE FIGURAS

	página
Figura 1. Efeito do período de molhamento, em três temperaturas, sobre a freqüência de infecção da ferrugem do feijoeiro, em folhas trifolioladas da linhagem Rosinha	53
Figura 2. Efeito da temperatura sobre a freqüência de infecção, em dois tipos de folha, nas linhagens Carioca e Rosinha	56
Figura 3. Efeito da temperatura sobre o período latente, em dois tipos de folha, nas linhagens Carioca e Rosinha	57
Figura 4. Efeito da temperatura e período de molhamento sobre a freqüência de infecção em folhas trifolioladas da linhagem Rosinha	58
Figura 5. Efeito da exposição, após o período de câmara úmida, de plantas inoculadas com a ferrugem do feijoeiro a 29°C sobre o período latente	59

Figura 6.Dados referentes ao plantio de junho/89. A. Dados climáticos; B.Freqüência de infecção esperada; C. Porcentagem de doença; D. Área foliar total 62

Figura 7. Dados referentes ao plantio de outubro/89. A.Dados climáticos; B. Freqüência de infecção esperada; C. Porcentagem de doença; D. Área foliar total 63

Figura 8.Dados referentes ao plantio de junho/90. A. Dados climáticos; B. Freqüência de infecção esperada; C. Porcentagem de doença; D. Área foliar total 64

Figura 9.Dados referentes ao plantio de junho/91. A. Dados climáticos; B. Freqüência de infecção esperada; C. Porcentagem de doença; D. Área foliar total 65

Figura 10.Dados referentes ao plantio de junho/92. A. Dados climáticos; B.Freqüência de infecção esperada; C. Porcentagem de doença; D. Área foliar total 66

Figura 11.Níveis de freqüência de infecção obtidos em resposta a diferentes temperaturas e períodos de molhamento: A.Rosinha; B.Carioca-WEBER(1993); C.Rosinha-WEBER(1993) 69

LISTA DE TABELAS

	página
Tabela 1.Freqüência de infecção(número de pústulas/folíolo) da ferrugem do feijoeiro, inoculada em folhas primárias e trifolioladas, incubadas em diferentes temperaturas	50
Tabela 2.Freqüência de infecção (número de pústulas/folíolo) da ferrugem do feijoeiro, inoculada nas linhagens Carioca e Rosinha, em folhas primárias e trifolioladas	50
Tabela 3.Período latente (em horas) da ferrugem do feijoeiro, inoculada em folhas primárias e trifolioladas, incubadas em diferentes temperaturas.....	51
Tabela 4.Freqüência de infecção (número de pústulas/folíolo) da ferrugem do feijoeiro em plantas da linhagem Rosinha, incubadas em diferentes períodos de câmara úmida, sob três temperaturas	52

Tabela 5.Período latente (em horas) da ferrugem do feijoeiro em plantas, da linhagem Rosinha, incubadas em diferentes períodos de câmara úmida, sob três temperaturas 53

Tabela 6.Freqüência de infecção (número de pústulas/folha) da ferrugem do feijoeiro em plantas mantidas por 0 a 8 horas, sob temperatura elevada (29-32°C) 58

Tabela 7.Freqüência de infecção e período latente da ferrugem do feijoeiro, em plantas das linhagens Carioca e Rosinha, incubadas a 7°C por diferentes períodos 59

QUANTIFICAÇÃO DE PARÂMETROS MONOCÍCLICOS
RELACIONADA A EPIDEMIAS NO SISTEMA *Uromyces*
appendiculatus - FEIJOEIRO

Autora: LILIAN MARIA ARRUDA BACCHI

Orientador: PROF.DR. ARMANDO BERGAMIN FILHO

RESUMO

Foram realizados experimentos sob condições controladas de câmara-de-crescimento e casa-de-vegetação, além de ensaios de campo, com o objetivo de obter dados para a implementação de um modelo de simulação de epidemias da ferrugem do feijoeiro (*Uromyces appendiculatus*).

Os parâmetros monocíclicos, frequência de infecção e período latente, foram quantificados sob temperaturas de 9, 11, 13, 15 e 27°C. As temperaturas de 5, 7 e 29°C também foram testadas, mas não houve desenvolvimento de sintomas sob estas condições. Plantas inoculadas com o patógeno foram também submetidas por diferentes períodos, que variaram de uma hora a uma semana, a temperaturas acima de 29°C e a 7°C, permanecendo o restante do tempo sob condições favoráveis à doença. Os dados foram analisados separadamente e em conjunto com os presentes na literatura

para temperaturas de 17, 21 e 25°C, e ajustaram-se à função beta, ocorrendo a maior frequência de infecção ao redor de 15°C, e o menor período latente na faixa de 22-24°C.

O efeito de quatro períodos de molhamento (6, 12, 18 e 24 horas) foi estudado em três temperaturas (9, 12 e 15°C). A frequência de infecção aumentou com o aumento do número de horas de molhamento, sendo o número máximo de pústulas por folíolo alcançado com 20 horas de água livre sobre a folha. O efeito conjunto de temperatura e umidade resultou em superfície resposta descrita pela função Beta-Richards.

A linhagem Rosinha G-2/C-21 foi mais suscetível á ferrugem (maior frequência de infecção e menor período latente) quando comparada à linhagem Carioca/C-224. Folhas trifolioladas foram mais suscetíveis que as folhas primárias. Para um mesmo nível de frequência de infecção, faixas mais amplas de temperatura e umidade responsáveis pelo mesmo foram encontradas para a linhagem de Rosinha do que para a de Carioca.

O desenvolvimento da doença e as condições de temperatura e umidade foram acompanhados em cinco experimentos de campo (junho e outubro/89, e junho de 1990, 1991 e 1992), a fim de relaciona-los com os dados obtidos sob condições controladas. O desenvolvimento da ferrugem foi maior sobre a linhagem Rosinha do que Carioca também em condições naturais de infecção. A temperatura e o número de horas de orvalho foram determinantes da quantidade de doença, sendo o inóculo disponível.

QUANTIFICATION OF MONOCYCLIC PARAMETERS IN
RELATION TO EPIDEMICS IN *Uromyces appendiculatus*-
BEAN SYSTEM

Author: LILIAN MARIA ARRUDA BACCHI

Adviser: PROF.DR. ARMANDO BERGAMIN FILHO

ABSTRACT

Growth room, greenhouse and field trials were carried out for implementation of a simulation model of the bean rust (*Uromyces appendiculatus*) epidemics.

Monocyclic parameters, infection frequency and latent period were quantified under the temperatures of 9, 11, 13, 15 and 27°C. Temperatures of 5, 7 and 29°C were also tested, but no disease symptoms developed under these temperatures. Inoculated plants were also submitted to temperatures above 29°C and 7°C, for periods ranging from one hour to one week, prior to incubation under conditions favorable to the disease. Data were analysed separately or together with those found in the literature for the temperatures ranging from 17 to 25°C. They fit the β -function, the highest frequency of infection being around

15°C and the smallest latent period falling within the 22-24°C range.

Four wetness periods (6, 12, 18 and 24 hours) were studied in combination with three temperatures (9, 12 and 15°C). The infection frequency increased with the duration of the leaf wetness period, the highest number of pustules per leaflet being reached with a period of 20 hours of wetness. The combined effects of temperature and dew resulted in a surface response described by the β -Richards function.

A Rosinha line was more susceptible when compared to a Carioca one (higher infection frequency and shorter latent period). Trifoliolate leaves were more susceptible than primary leaves. For a same level of infection frequency, wider ranges of temperature and dew responsible for it were found for the Rosinha line than for the Carioca one.

Disease progress was followed under field conditions in five crops (june and october/89, june 1990, 1991 and 1992) and related to temperature and dew conditions and compared with the data obtained under controlled conditions. Rust development was also higher on the Rosinha line than on the Carioca one. The climatic factors were also correlated with the amount of disease, provided that the inoculum was available.

1. INTRODUÇÃO

Epidemiologia é o "estudo de populações de patógeno em populações de hospedeiro, e da doença resultante desta interação sob a influência do ambiente, e interferência humana" (KRANZ, 1974). O objetivo final da epidemiologia é fornecer ao fitopatologista um conhecimento do comportamento das doenças no campo para o uso de estratégias de controle mais eficientes. A pesquisa epidemiológica se baseia no uso complementar de experimentos holísticos de campo, análise matemática e modelos para computadores e experimentos controlados em câmaras de crescimento (KRANZ, 1974; KRANZ & HAU, 1980; AUST & KRANZ, 1988).

As câmaras de crescimento provêem uma elucidação mais adequada e exata do efeito de um determinado fator ambiental (KRANZ & HAU, 1980). No entanto, os experimentos em câmara de crescimento, ou condições controladas, indicam o que pode acontecer, mas não necessariamente o que acontece no campo. O ambiente controlado é uma representação simplificada do ambiente do campo, assim como um modelo é a representação simplificada da realidade (ROTEM, 1988).

Os fatores climáticos, embora não exclusivos, são componentes ambientais proeminentes no sistema patógeno-hospedeiro-ambiente, e importantíssimos nas epidemias (SUTTON, 1988). A aplicação de dados climáticos na previsão de doenças foliares requer informação quantitativa do clima em relação à doença, e habilidade de monitorar acuradamente ou prever o clima na cultura.

A construção de modelos de simulação de epidemias é uma maneira de se aumentar o conhecimento do complexo sistema patógeno-hospedeiro-ambiente. Os modelos podem ser utilizados não só na previsão do progresso da doença, como também no melhoramento genético e no controle químico de doenças (KRANZ & HAU, 1980; SUTTON, 1988).

Uma previsão acurada da população do patógeno, ou da doença, sob condições diversas de clima e cultura, demanda um grande número de informações e o conhecimento das variáveis que regem a epidemia (SUTTON, 1988). A temperatura, a umidade, a idade da planta e suas características genéticas são algumas das variáveis que têm mostrado maior influência no desenvolvimento de doenças de plantas (KRANZ & HAU, 1980; MENDES, 1985; SUTTON, 1988). A necessidade de longos períodos de molhamento na superfície foliar para que ocorra a infecção faz com que os trabalhos de simulação de epidemias da ferrugem do feijoeiro sejam mais fáceis de ser realizados do que aqueles que vêm sendo desenvolvidos em sistemas patógeno-hospedeiro que não possuem fatores críticos que interferem diretamente na cadeia de infecção (MENDES & BERGAMIN FILHO, 1990a).

Este trabalho teve como objetivo a obtenção de dados para a construção de um modelo de simulação e previsão de epidemias da ferrugem do feijoeiro, que vem sendo desenvolvido, com dados já obtidos para o sistema, e deverá ser incrementado com a introdução das novas informações conseguidas (BACCHI et alii, 1991; BERGER et alii¹). Especificamente foram avaliados: o efeito da temperatura, abaixo de 17°C e acima de 25°C, sobre o desenvolvimento da ferrugem; o efeito do período de umidade sobre a ferrugem, em temperaturas abaixo de 17°C; e, a resposta de epidemias naturais aos efeitos de temperatura e umidade, com base nos dados obtidos em condições controladas.

¹ BERGER, R.D.; HAU, B.; MENDES, B.M.J.; BACCHI, L.M.A.; BERGAMIN FILHO, A. A simulation model to describe epidemics of rust on *Phaseolus* beans. I. Development of the model and sensitivity analysis. (em elaboração).

2. REVISÃO DE LITERATURA

O feijão representa uma importante fonte de proteínas e calorias na dieta humana dos países em desenvolvimento, particularmente nas Américas. O Brasil é o primeiro no mundo em área cultivada e produção total desta leguminosa (MARIOT, 1989).

A cultura do feijoeiro no país ocupa uma área significativa, com cerca de seis milhões de hectares na safra de 87/88. A área cultivada vem crescendo desde 1947, tendo-se mostrado estável, com exceção de anos atípicos como 82/83 quando uma estiagem prolongada limitou o plantio nas principais regiões produtoras. A produção, no entanto, cresceu no mesmo ritmo apenas até 1970, permanecendo estagnada em torno de 2,3 milhões de toneladas anuais (LLANILLO & GUERREIRO, 1989).

Segundo MARIOT (1989), o rendimento de cultivos comerciais de feijão geralmente não é muito grande, sendo que as médias de produtividade nos países em desenvolvimento não atingem 1 t/ha e raramente excedem 1,4 t/ha na maioria dos países desenvolvidos. A produtividade média brasileira, registrada por LLANILLO & GUERREIRO (1989), cresceu de 1947 (661 kg/ha) até 1967 (700 kg/ha),

quando começou a cair atingindo 387 kg/ha em 1987. Em 1988 foi registrada uma pequena recuperação na produtividade, que foi de 517 kg/ha.

Mais de trezentas doenças, causadas por fungos, bactérias, nematóides e vírus afetam o feijoeiro no Brasil. Grande parte não tem importância econômica, com ocorrência ocasional. Algumas doenças, porém, causam reduções acentuadas na produção, o que faz com que sejam consideradas como uma das principais causas da baixa produtividade da cultura no país (COSTA, 1972).

Dentre as doenças que afetam o feijoeiro MENTEN (1987) destacou, em função dos danos causados e frequência de aparecimento, a antracnose, o crestamento bacteriano, a ferrugem, o mosaico dourado, o mosaico comum e a mancha angular.

2.1. A ferrugem do feijoeiro

2.1.1. Ocorrência e prejuízos causados

A ferrugem do feijoeiro foi constatada pela primeira vez na Alemanha, em 1795, e a partir daí foi registrada na maior parte do mundo, chegando à América do Sul em 1902 (REY & LOZANO, 1961).

Segundo COSTA (1972), a ferrugem é a doença mais comum nos feijoados de Minas Gerais, manifestando-se tanto nos plantios das águas como nos da seca; o mesmo ocorrendo nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo. A ferrugem é uma importante doença de parte

aérea do feijoeiro, que pode limitar a produção quando raças virulentas do fungo, cultivares suscetíveis do hospedeiro e ambiente favorável para o desenvolvimento da doença coincidem (MORENO & MORA, 1984). Por exemplo, na área produtora do Agreste de Pernambuco, com plantio variando entre a primeira quinzena de março e a segunda de maio, nos anos de 1976 a 1980, a ferrugem ocorreu em qualquer época do ciclo da cultura e sua intensidade aumentou com menores precipitações e temperaturas em torno de 25° C, levando em alguns casos à morte das plantas antes do florescimento; enquanto que na área produtora do Vale do São Francisco, cujo plantio tem início em torno da primeira quinzena de abril, a ferrugem ocorreu com menor intensidade (COSTA et alii, 1982).

Os maiores prejuízos são causados em plantas infectadas na época de floração e enchimento de vagens, ao redor de 30-50 dias, com decréscimo no rendimento de 35 a 53% (NASSER, 1976; ALMEIDA et alii, 1977a; CARRIJO et alii, 1979; ZAMBOLIM et alii, 1982). CARRIJO et alii (1979) observaram decréscimo na produção de 11 a 46%, para variedades de diferentes suscetibilidades. Segundo ZAMBOLIM et alii (1982), se o ataque ocorrer durante a fase inicial de crescimento, poderá haver retardamento no desenvolvimento e até a morte de algumas plantas.

Os hospedeiros de *Uromyces appendiculatus* são *Phaseolus multiflorus*, *P. polystachyus*, *P. sinuatus*, *P. acutifolius*, *P. lunatus*, *P. adenanthus*, *P. anisotrichus*, *P. atropurpureus*, *P. coccineus*, *P. dysonphyllus*, *P. obvallatus*, *P. vulgaris* e *Vigna sinensis* (REY & LOZANO,

1961). ZAMBOLIM et alii (1982) incluem nesta lista as espécies *P. retusus*, *Vigna unguiculata*, *V. repens* e *V. vexillata*. Em experimentos realizados por CODE et alii (1985) *Uromyces appendiculatus*, recolhido de feijoeiro, se mostrou avirulento a *Phaseolus filiformis*, *P. adenanthus*, *P. letospermus*, *P. lunatus*, *P. peduncularis*, *P. wrightii*, *Vigna unguiculata* cvs. Red Caloona e Brandon, *V. mungo* cv. Regur, *V. radiata* cvs. Berken e Celera, *V. luteola* cv. Dabrymple, *Neonotonia wightii* cvs. Tinaroo, Cooper, Malavi e Clarence, *Macrotyloma axillares*, *Cajanus cajan*, *Pueraria phaseoloides*, *Calopogonium mucunoides*, *Clitoria ternatea*, *Centrosema pubescens*, *Phaseolus acutifolius* e *Macroptilium atropurpureum*.

2.1.2. Etiologia, epidemiologia e sintomas

O patógeno da ferrugem do feijoeiro é o fungo basidiomiceto *Uromyces appendiculatus*. Uma sinonímia que segundo STAVELY (1991) não é mais válida é *Uromyces phaseoli*. Segundo COSTA (1972), o fungo causador da ferrugem é *Uromyces phaseoli*, sendo que a variedade tem sido assinalada pelo nome *phaseoli* ou *typica*. O fungo é um parasita obrigatório, causador de ferrugem autóica e macrocíclica, com as fases de pícnia, aécia, uredínia e télia em um só hospedeiro (GROTH & MOGEN, 1978; ZAMBOLIM et alii, 1982; STAVELY, 1991).

Os uredíniosporos, produzidos assexuadamente, germinam e entram em contato com as células guardas dos estômatos formando o apressório, a vesícula substomatal e a

hifa de infecção (STAPLES, 1985). A penetração celular se dá através do haustório, após a adesão da célula mãe do haustório à célula vegetal. O micélio intercelular, adjacente às células vegetais, não tem efeito sobre o hospedeiro (PRING, 1980). Gerações repetidas de urediniosporos ocorrem na maioria das estações de crescimento.

A ferrugem do feijoeiro tem padrão de esporulação do tipo intermitente, com vários picos durante o período infeccioso (MENDES & BERGAMIN FILHO, 1990b). Sua disseminação se dá principalmente através dos urediniosporos que são facilmente transportados pelo vento e também pelo homem, animais, insetos, implementos agrícolas, etc. (COSTA, 1972). Carregados por correntes de vento, os esporos podem ser disseminados a longas distâncias (STAVELY, 1991).

LIVNE & DALY (1966), estudando a fotossíntese em folhas com ferrugem do feijoeiro, puderam observar que a mesma foi inibida em cerca de 60% quando comparada a de folhas sadias. Uma folha primária sadia teve 50% do produto sintetizado exportado para raízes e caule, enquanto que a folha doente exportou menos de 2%. Segundo BOOKBINDER & BLOOM (1980) a presença da ferrugem inibe a translocação de fotossintetizados das folhas infectadas, resultando em limitação de nutrientes às raízes.

Os sintomas aparecem principalmente nas folhas, mas também podem ocorrer em vagens e hastes. Os primeiros sintomas surgem sob a forma de manchas esbranquiçadas, puntiformes, levemente salientes, cerca de

5-6 dias após a infecção. Alguns dias após o aparecimento destas manchas, há o rompimento da epiderme e a exposição dos urediniosporos com coloração marrom-avermelhada. O aparecimento de infecções secundárias ao redor dos soros, como anéis, pode ocorrer, assim como a presença de halos amarelos. Poucas semanas após o aparecimento das pústulas, a produção de urediniosporos cessa gradualmente, e teliosporos pretos podem ser produzidos. Folhas severamente atacadas tornam-se amarelas, secam e caem (ZAMBOLIM et alii, 1982; BIANCHINI et alii, 1989; STAVELY, 1991). O fungo circunda a área ocupada pela pústula, ocasiona a desorganização do mesófilo e notável redução no tamanho das células afetadas (TORRE et alii, 1987).

Resultados encontrados por SZIRÁKI et alii (1984) mostraram que há um aumento na síntese de clorofila nos sítios de infecção, a qual se inicia no estágio de pontos cloróticos ("flecks"). O nível aumentado de clorofila nos sítios de infecção durante o processo inteiro de desenvolvimento de sintomas pode ser uma explicação para o aparecimento de ilhas-verdes, ou seja, halos verdes ao redor das pústulas em folhas já amareladas.

2.1.3. Controle

As orientações para o controle da doença incluem o uso de cultivares resistentes e controle químico, além da escolha de épocas de plantio desfavoráveis ao desenvolvimento da ferrugem, minimizando a exposição da cultura a longos períodos de orvalho e temperaturas

favoráveis à infecção e ao desenvolvimento da doença (BIANCHINI et alii, 1989; STAVELY, 1991).

Devido à existência de numerosas raças fisiológicas do fungo, o que dificulta os estudos de melhoramento visando a resistência à ferrugem, ROLIM et alii (1981) recomendam a aplicação adequada de fungicida como o meio mais eficiente para garantir a produtividade de uma cultura suscetível. Os compostos à base de enxofre e cobre foram os primeiros a serem testados e usados para o controle da ferrugem em feijoeiro. Esses produtos foram substituídos por outros mais eficientes e menos fitotóxicos, como os ditiocarbamatos (ZAMBOLIM et alii, 1985), oxicarboxin (IAMAMOTO et alii, 1971; SEGUNDO DONGO, 1971; ALMEIDA et alii, 1977b; ROLIM et alii, 1981; ZAMBOLIM et alii, 1985), bitertanol e tebuconazole (OLIVEIRA et alii, 1992).

COELHO & CHAVES (1975) e MENTEN (1987) consideram o controle da ferrugem do feijoeiro com o uso de variedades resistentes como o método ideal, pela sua simplicidade, eficiência e economia. Porém, a escassez de variedades de feijoeiros resistentes à ferrugem, e a grande variabilidade genética de *Uromyces appendiculatus*, dificulta o uso deste método de controle (ZAMBOLIM et alii, 1982). Segundo MENTEN (1987), a resistência horizontal deveria ser explorada com maior intensidade, e a ferrugem apresenta uma série de características que a coloca como prioridade quanto à exploração deste tipo de resistência, já que muitas cultivares lançadas como resistentes, após curtos períodos de cultivo, tornam-se

suscetíveis pelo surgimento de novos patótipos verticais. Os componentes da resistência horizontal que têm sido mais estudados são o período latente, a frequência de infecção, o tamanho de pústulas, o período infeccioso e a produção de esporos (AUST et alii, 1984; AZEVEDO & KUSHALAPPA, 1986a; MENTEN, 1987).

Segundo AZEVEDO & KUSHALAPPA (1986a), as altas correlações encontradas entre o período latente e os parâmetros número de pústulas por folíolo e uredíniosporos por folíolo, indicam que o período latente seria um bom parâmetro para quantificar a resistência parcial das cultivares de feijão. De acordo com PIZA & MENTEN (1987) o período latente avaliado em folhas primárias é o parâmetro que melhor discrimina as linhagens quanto ao nível de resistência horizontal.

Para o esquema de pirâmides de genes, visando a resistência à ferrugem do feijoeiro, grande representação da gama da variabilidade patogênica é essencial. O monitoramento continuado da virulência do patógeno e medidas da frequência desta virulência são necessários para melhorar a avaliação do potencial de estabilidade da resistência (STAVELY et alii, 1989).

Encontram-se inúmeros trabalhos na literatura sobre a distribuição e descoberta de novas raças de *Uromyces appendiculatus*, em regiões diversas (YEH, 1983; STAVELY, 1984; MMBAGA & STAVELY, 1988). No Brasil, COELHO & CHAVES (1975) amostraram trinta locais de alguns municípios da Zona da Mata, em Minas Gerais, representados por 106 isolamentos do fungo da ferrugem do feijoeiro, e

constatarem a presença de dezessete raças (V1 a V17), sendo duas (V4 e V14) predominantes. As raças brasileiras têm sido nomeadas com números precedidos de letras maiúsculas designando a área geográfica onde são coletadas e identificadas. ZAMBOLIM et alii (1982) citam a existência de trinta e nove raças de *U. appendiculatus* no país.

Algumas das cultivares citadas como apresentando algum nível de resistência à ferrugem, em trabalhos desenvolvidos no Brasil, foram Carioca, Aeté 3, Catu, IAPAR 14, IAPAR 16, Goiano Precoces, IPA-1, Costa Rica, Ricobaio 1014, Turrialba e Roxo C-743; enquanto que as mais suscetíveis foram Roxinho, Bico de Ouro, Vagem Roxa, Uberaba, Michelite, Caraota e Rosinha G2 (CARRIJO et alii, 1979; ISSA et alii, 1980; COSTA & MIRANDA, 1982; AUST et alii, 1984; ISSA & OLIVEIRA, 1985; AZEVEDO & KUSHALAPPA, 1986b; BIANCHINI et alii, 1989).

Outras medidas de controle vêm sendo pesquisadas, como o controle através de agentes biológicos. BETTIOL et alii (1992) obtiveram controle da ferrugem do feijoeiro diretamente proporcional à concentração de *Bacillus subtilis* pulverizado nas folhas primárias da planta, a partir de 100 ppm (48,84% de controle) até 10.000 ppm (99,46% de controle). Este efeito foi observado quando a pulverização foi feita 24 horas antes da inoculação com o patógeno.

MORENO & MORA (1984) observaram que enquanto o primeiro aparecimento da ferrugem se deu aos 45 dias, em uma "cultura solteira", o mesmo foi aos 50 dias quando o feijão estava associado ao milho, além disso a incidência e

a severidade foram maiores na primeira cultura. Neste caso, o milho serviu como uma barreira física à dispersão de esporos, provocando a perda dos mesmos sobre não hospedeiros.

2.2 Fatores que podem influenciar o desenvolvimento da ferrugem

O ambiente pode influenciar não apenas o hospedeiro ou o patógeno diretamente, como também a interação entre o hospedeiro e o patógeno, e conseqüentemente o desenvolvimento da doença (COLHOUN, 1973).

As doenças são afetadas mais pelo microclima do que pelo macroclima (ROTEM, 1978; HUBER & GILLESPIE, 1992). Uma cultura modifica seu ambiente com o seu crescimento, assim como a temperatura e a umidade dentro de uma cultura podem ser diferentes das prevalecentes acima do nível da planta, o que é muito importante para os sistemas de previsão de doenças (COLHOUN, 1973).

Segundo SUTTON (1988) os estudos em ambiente controlado, embora essenciais para a pesquisa epidemiológica, estão freqüentemente cheios de erros de representação, como as diferenças fisiológicas que as plantas em câmaras de crescimento podem apresentar quando comparadas àquelas crescendo em ambiente natural, e a microflora da superfície foliar que é bem mais abundante no campo. Além disso, o molhamento da superfície da planta em condições controladas pode diferir daquele do campo em

termos de taxa e modo de deposição e perda, tamanho de gotas, sua distribuição, espessura do filme de água, composição do soluto, etc..

Temperatura, umidade, luz, reação e nutrientes do solo são os principais fatores afetando o desenvolvimento da doença, que foram abordados por COLHOUN (1973) e por ROTEM (1978). Segundo COLHOUN (1973) condições desfavoráveis podem aumentar o período entre infecção e produção de novos esporos e influenciar o número de gerações de esporos que ocorrem durante uma estação.

2.2.1. Temperatura

Os efeitos da temperatura sobre a doença não se limitam a influenciar o comprimento do período latente e a germinação de esporos. A temperatura pode ter um papel importante na liberação de esporos, embora com menor importância que a umidade, além de efeitos indiretos sobre o desenvolvimento da doença. Uma cultivar pode ser suscetível a um patógeno em uma determinada temperatura e resistente em outra (COLHOUN, 1973).

Segundo SCHEIN (1961), a temperatura diurna de 32,2°C alternada com 26,6°C durante a noite, resultou em ausência de sintomas de ferrugem em folhas de feijoeiro, inoculadas com *Uromyces appendiculatus*. A melhor combinação temperatura diurna-noturna para o desenvolvimento da doença foi de 26,6-21,1°C. A 26,6-15,5°C houve algum atraso no aparecimento de sintomas, que foi ainda mais lento a 21,1-15,5°C.

Em experimentos realizados por IMHOFF et alii (1981), a germinação de uredíniosporos não ocorreu a 4°C ou 27,5°C, consideradas pelos autores como temperaturas mínima e máxima. A germinação foi similar na faixa de 15-22,5°C, embora a 15°C tenha apresentado um valor assintótico menor. ALTEN (1983) não observou diferença significativa na taxa de germinação de *Uromyces appendiculatus* em discos de folha de feijoeiro, quando os incubou nas temperaturas de 16, 20 e 24°C. A 24°C, embora com um bom crescimento do tubo germinativo, a penetração foi prejudicada pela reduzida formação de apressórios. A 16°C, o crescimento do tubo germinativo foi retardado, mas a alta umidade nas placas-de-Petri permitiu a penetração mesmo no segundo dia de incubação.

Comparando as temperaturas de 16 e 24°C, ALTEN (1983) encontrou uma redução significativa no número de pústulas por cm², nas folhas de feijoeiro que foram incubadas na temperatura mais elevada. Segundo o autor, a exposição a altas temperaturas durante a fase de penetração, resultou na desorientação dos tubos germinativos e conseqüente decréscimo na freqüência de infecção.

Segundo CODE et alii (1985), as condições ambientais ótimas para o desenvolvimento de *Uromyces appendiculatus* em feijoeiro, na pré-penetração, foram obtidas a 15-20°C e 24 horas de orvalho. Na pós-penetração, o máximo desenvolvimento da doença ocorreu a 20-26°C. O máximo número de uredínias foi obtido na faixa de 14-24°C, porém o período latente nestas condições foi um dia mais

longo do que a 20-26°C e 24-32°C . Na faixa de 28-38°C, o desenvolvimento da doença não ocorreu.

CODE et alii (1985) observaram que quando as plantas foram incubadas, durante o período de câmara úmida, a 15 e 20° C, o período de incubação foi de 7 dias e o latente de 9 dias, sendo que a 25°C houve um aumento de um dia em ambos. A 30°C, não houve o desenvolvimento da doença, por mais longo que fosse o período de molhamento. O período latente, observado por IMHOFF et alii (1982b), foi de nove dias a 16°C e sete dias a 24°C.

ROTEM (1978) estabeleceu as hipóteses da compensação, segundo as quais um estado altamente favorável de um fator essencial para o desenvolvimento de determinada fase do ciclo de vida de um patógeno, pode compensar as limitações impostas pelo estado desfavorável de um outro fator; e, uma freqüência elevada de ocorrência de uma fase no ciclo de vida de um patógeno pode compensar uma baixa freqüência de outra fase do mesmo patógeno. Isso explica quantidades similares de doença em habitats ou estações diferentes.

MENDES & BERGAMIN FILHO (1989a) puderam observar o fenômeno de compensação, proposto por ROTEM (1978), quando inocularam *Uromyces appendiculatus* sobre duas cultivares de feijão. Enquanto os períodos de incubação e latente foram menores a 21°C, a maior eficiência de doença, ou seja o número máximo de pústulas por folha, foi encontrada a 17°C.

Estudando o efeito da temperatura sobre a esporulação de *Uromyces appendiculatus*, IMHOFF et alii

(1982b) observaram que mais esporos eram produzidos a 21°C do que a 16°C e 24°C. Pústulas ativas em plantas a 24°C cessaram a esporulação após três dias a 27°C. Esporos produzidos em plantas incubadas a 24°C tiveram sua capacidade de germinação drasticamente reduzida quando comparados aos produzidos a 21 e 16°C (IMHOFF et alii, 1981).

SCHEIN (1961) submeteu plantas inoculadas com *Uromyces appendiculatus*, após o período de câmara úmida, a 1, 2, 4, 8, 15, 24 e 32 horas de exposição a 32,2°C, retornando-as, em seguida, ao regime de 26,6-21,1°C (dia-noite). Até 4 horas de exposição nenhum efeito foi observado, e de 8 a 32 horas houve um progressivo retardamento no aparecimento dos primeiros sintomas, voltando depois ao desenvolvimento normal de lesões. Quando, aos seis dias após a inoculação, as plantas foram retiradas do regime de 26,6-21,1°C e passadas para 21,1-15,5°C e 32,2°C, o autor pôde observar que o primeiro tratamento resultou em uma taxa mais lenta de desenvolvimento da doença, enquanto que o segundo permitiu que a mesma se desenvolvesse por mais 48 horas, paralisando-a após este período.

Alguns cuidados devem ser tomados ao se medir a temperatura para fins epidemiológicos, pois, como ressalta COLHOUN (1973), a temperatura das plantas no campo pode ser mais alta do que aquela do ar ao redor. SUTTON et alii (1984) recomendam que ao serem colocados em ambiente aéreo, os termômetros sejam protegidos da radiação e umidade; e que, no campo, o higrotermógrafo seja colocado

em um protetor de instrumentos para proteger os elementos sensíveis e outros componentes da radiação solar e da chuva.

2.2.2. Umidade

Um filme de água sobre a superfície da parte aérea das plantas é essencial para o processo de infecção de muitos patógenos de folhas (WALLIN, 1967). Segundo LOMAS & SHASHOUA (1970), sob condições semi-áridas, a duração do orvalho pode ser um dos mais importantes fatores ambientais influenciando o desenvolvimento de algumas doenças de plantas.

A duração do molhamento varia não apenas com as condições climáticas, mas também com o tipo e o estágio de desenvolvimento da cultura, a posição, o ângulo e a geometria das folhas, e a localização específica sobre a folha individual (SUTTON et alii, 1984). Segundo COLHOUN (1973), é mais difícil controlar a umidade do que a temperatura em trabalhos experimentais, o que juntamente com as diferenças de terminologia aplicadas em diferentes trabalhos, tem levado a alguma confusão.

SUTTON (1988) pôde observar que os patógenos biotróficos geralmente eram capazes de infectar em períodos úmidos mais curtos do que os necrotróficos. Além disso, já que os períodos diários de umidade não são sempre contínuos e podem ser interrompidos por minutos ou horas, o autor concluiu que a habilidade dos patógenos em permanecer infectivos durante os períodos secos, pode ser função do

estádio de infecção quando da interrupção, dos potenciais de água na atmosfera durante o período seco, e da radiação, entre outras variáveis. Este aspecto pode complicar a previsão de infecções e, muitas vezes justifica investigações a nível de campo.

Segundo ROTEM (1978), as chuvas freqüentes e bem distribuídas favorecem os patógenos que dependem de orvalho, nas regiões onde este não ocorre; enquanto que as chuvas ocasionais e fortes podem ser favoráveis, lavando os fungicidas e atuando na dispersão de esporos. A distribuição espacial das chuvas é de particular interesse em escala de propriedade ou em trabalhos de epidemiologia regional. Os atributos temporais da chuva, como freqüência e duração, freqüentemente são críticos ao progresso da doença (SUTTON et alii, 1984). A disseminação de esporos de muitos patógenos é feita por respingos de gotas de chuva ou através do carregamento do inóculo em gotículas de água (COLHOUN, 1973).

Em experimentos realizados por BASHI & ROTEM (1974), o menor período contínuo de molhamento que resultou em infecção por *Uromyces appendiculatus* foi 8 horas a 21°C. Períodos interrompidos de molhamento resultaram em infecções negligenciáveis quando comparados aos tratamentos contínuos equivalentes. IMHOFF et alii (1981) consideraram que períodos de seca branda ($UR > 85 \%$), após períodos de molhamento iniciais não pararam abruptamente o processo de germinação do fungo da ferrugem do feijoeiro, porém um período de 4 a 5 horas de molhamento foi necessário para engatilhar o mecanismo de germinação.

MENDES & BERGAMIN FILHO (1989a) também observaram que um mínimo de 4 horas de molhamento sobre a folha foi necessário para ocorrer a doença, e que o número máximo de pústulas foi encontrado com 10 ou mais horas de molhamento. No entanto, REY & LOZANO (1961) não haviam observado infecção de folhas de feijoeiro por *Uromyces appendiculatus*, quando as mesmas foram expostas de 0 a 6 horas à câmara úmida; observaram 60% de infecção com 8 horas de câmara úmida e 100% com 12 horas. Em um segundo experimento realizado pelos mesmos autores, com 6 horas de molhamento foliar, foi obtido 10% de infecção, e 100% com 11 horas.

Segundo CODE et alii (1985), cerca de 8 horas de orvalho são necessárias para o estabelecimento de infecção pelo fungo da ferrugem do feijoeiro, a 15 e 20°C. Nestas temperaturas um aumento na severidade da doença foi observado com o aumento do período de molhamento até cerca de 24 horas. A 25°C, este aumento foi constatado somente após as 32 horas de molhamento. GALVÃO & MENTEN (1987) não observaram diferença no efeito de 15, 24 e 48 horas de molhamento sobre o período latente e a frequência de infecção.

Quanto à produção de esporos, YARWOOD (1961) observou que quanto maior a umidade, maior a produção de esporos por *Uromyces appendiculatus*, e que um curto período de presença de água livre (0,5 a 1 hora) aumentou o número de esporos liberados.

Segundo ROTEM et alii (1978), quanto à esporulação sob condições úmidas, não é sempre claro se os

patógenos preferem umidade foliar livre ou umidade relativa próxima à saturação. A esporulação em muitos fungos, é inibida por aeração insuficiente; e a necessidade por suprimento de oxigênio pode estar associada ao efeito inibitório da umidade livre sobre a folha na esporulação de algumas espécies. A esporulação pode ser condicionada pelo tamanho de gotas que cobrem a folha, e o período durante o qual a mesma permanece coberta pela água.

Diversos métodos têm sido investigados para se obter a duração do molhamento na superfície foliar, no campo; e os valores medidos têm se mostrado altamente dependentes do tipo de sensor usado (HUBER & ITIER, 1990). Segundo os autores, uma boa descrição da duração do molhamento no campo necessitaria de um grande número de sensores, devido a alta variabilidade. A duração do molhamento na superfície da parte superior da planta é mais curta do que a das partes médias e basais da copa. Diferenças de até 6 a 10 horas na duração do molhamento foliar têm sido observadas em diferentes localizações da planta, após o final de uma chuva (HUBER & GILLESPIE, 1992). No entanto, instrumentos do mesmo tipo colocados em diferentes locais, dentro de uma cultura de batata, mostraram excelente acordo entre eles (LOMAS & SHASHOUA, 1970).

LOMAS & SHASHOUA (1970) investigaram a possível relação entre a duração da umidade relativa acima de 85% com a duração do molhamento foliar, registrado em três instrumentos de campo. Os autores não obtiveram correlação entre os dados de molhamento foliar, no campo,

com os dados de umidade relativa, oriundos de redes meteorológicas padrão.

2.2.3. Outros fatores ambientais

O vento, freqüentemente em conjunto com a chuva ou partículas de solo, direciona a disseminação de patógenos, além de poder injuriar as plantas diretamente ou através de abrasão mútua ou movimento violento de suas partes, e servir de porta de entrada para organismos patogênicos (SUTTON et alii, 1984).

Outros fatores, de menor importância, também podem influenciar o desenvolvimento de uma epidemia. A radiação solar, se muito intensa, pode provocar a dessecação do patógeno sobre as folhas. A luz, caracterizada por sua intensidade e fotoperíodo, pode ter um efeito direto ou indireto, através de alteração na suscetibilidade do hospedeiro (ROTEM, 1978).

Segundo COLHOUN (1973), os efeitos da luz e da duração de períodos de luz e escuro sobre a esporulação fúngica têm sido estudados *in vitro*. A luz pode também influenciar a germinação de esporos, a penetração, o tipo de infecção, bem como a liberação e viabilidade de esporos. O autor também destaca os elementos principais na nutrição de plantas, nitrogênio, fósforo e potássio, como fatores que podem algumas vezes aumentar a suscetibilidade de plantas a doenças e outras vezes diminuí-la.

HART & FORBES (1935) observaram que a relação número de infecções/número de inoculações de *Uromyces*

appendiculatus, no escuro, foi 11,6% menor do que na luz. Além disso, 60% das folhas incubadas na luz apresentaram ferrugem severa e 28% infecção leve, contra 33% e 43,3%, respectivamente, apresentados pelas folhas incubadas no escuro.

Em seus experimentos, CURTIS (1966) concluiu que a intensidade de luz não teve efeito sobre a germinação de uredíniosporos de *Uromyces appendiculatus*, embora esta tenha sido ligeiramente maior em luz difusa. Ao mesmo resultado já havia chegado SNOW¹, citado por COLHOUN (1973), que concluiu que os uredíniosporos deste fungo germinam igualmente bem em luz e no escuro.

Estudando o efeito da luz sobre a germinação e formação de apressório por *Uromyces appendiculatus* em feijoeiro, ALTEN (1983) observou que embora a taxa de germinação não tenha sido afetada pela iluminação permanente nas 24 horas seguintes à inoculação, um decréscimo de 53% pôde ser detectado na frequência de infecção devido a uma frequência de formação de apressório consideravelmente mais baixa.

GALVÃO & MENTEN (1987) estudando a metodologia de inoculação de *Uromyces appendiculatus* em feijoeiro, cultivar Rosinha, chegaram a conclusão que o regime de luz não teve efeito sobre a frequência de infecção, mas que o período latente foi maior no escuro total do que com 12 horas de fotoperíodo.

¹SNOW, J.A. Effects of light on initiation and development of bean rust disease. Diss. Abstr., 25:6149, 1965.

COHEN & ROTEM (1970) determinaram a relação entre fotossíntese e esporulação em alguns parasitas facultativos e obrigatórios, expondo as plantas a períodos adicionais de luz ou bloqueando quimicamente o processo fotossintético. Com os tratamentos de 2, 6, 12 e 24 horas de exposição a luz por dia, puderam observar um aumento no número de pústulas de *Uromyces appendiculatus* por folha, até 12 horas, sem efeito com luz adicional. Além disso, quanto antes foi aplicado o bloqueador de fotossíntese, após a inoculação, menor o número de pústulas produzidas.

Urediniosporos de *Uromyces appendiculatus* germinaram melhor em água não purificada do que em água de laboratório ultra pura, principalmente devido aos íons magnésio e cálcio (BAKER et alii, 1987). Altos níveis de nutrientes aumentaram o número de esporos produzidos por pústula, enquanto que um estresse durante o período de pré-inoculação resultou em um aumento na densidade de infecção, em qualquer quantidade de inóculo (GERSBECK & SCHONBECK, 1988).

Segundo ZAITER et alii (1991), diversas cultivares crescendo a pH 5,8 (do solo), mostraram maiores diâmetros de pústula de ferrugem do que as plantas a pH 6,5 ou 7,9. Em pH 5,8 os autores encontraram maiores concentrações de cloro e manganês, que estiveram mais correlacionados com o diâmetro de pústulas, e metade da concentração de potássio, menos correlacionado com o parâmetro em questão.

SHRINER (1978) encontrou um decréscimo de 29% na área foliar afetada por *Uromyces appendiculatus*, como

resultado de chuva ácida de pH 3,2. Efeitos na taxa fotossintética e alocação de carboidratos podem ter um papel no decréscimo da suscetibilidade à doença. Segundo SHRINER (1978), experimentos deste tipo se justificam pelo aumento da média de acidez das chuvas, que tem ocorrido em algumas regiões, chegando a pH 4.

BOOKBINDER & BLOOM (1980) estudaram o resultado da ocorrência simultânea de *Meloidogyne incognita* e *Uromyces appendiculatus* em feijoeiro, constatando que os dois patógenos agiam aditivamente. A presença do nematóide não afetou o número de uredínias, sugerindo que a germinação e o estabelecimento de *Uromyces appendiculatus* não foram influenciados; havendo, no entanto, uma redução no diâmetro das pústulas, provavelmente devido à redução da taxa fotossintética. O desenvolvimento da ferrugem foi o mesmo no controle e nas plantas infectadas pelo vírus do mosaico comum do feijoeiro, no entanto as pústulas foram menores em plantas com o vírus (ZAITER et alii, 1990).

Em experimentos realizados por GERSBECK & SCHONBECK (1988), a aplicação de fungicidas sistêmicos, em feijoeiro, em doses subletais, reduziu o número de pústulas de ferrugem e atrasou o início da frutificação do fungo, entretanto, promoveu uma maior intensidade de esporulação.

2.2.4. O hospedeiro

Outros fatores, relacionados mais diretamente com o hospedeiro, podem atuar sobre o desenvolvimento da doença.

2.2.4.1. Estádio de desenvolvimento da planta e idade da folha

PIZA & MENTEN (1987) observaram que o período latente foi influenciado pelo estágio de desenvolvimento da planta, sendo em média maior nas folhas primárias. A frequência de infecção também sofreu influência deste fator, sendo maior nas folhas primárias e segunda trifoliolada; enquanto que a primeira folha trifoliolada se mostrou mais resistente à doença. Também em trabalhos realizados por ZULU & WHEELER (1982), as folhas trifolioladas se mostraram mais resistentes do que as primárias. GONZÁLEZ-ÁVILA et alii (1987) não observaram diferença significativa entre a frequência de infecção da ferrugem do feijoeiro, sobre folhas primárias e trifolioladas.

TORRE et alii (1987) observaram uma maior receptividade (número de pústulas por cm²) à ferrugem em folhas primárias de feijoeiro, nas concentrações mais baixas de inóculo. Quando usaram concentração elevada de inóculo, não puderam detectar diferenças significativas sobre os tipos unifoliolado e trifoliolado de folhas. Já GROTH & RAMA RAJE URS (1982), com inoculações quantitativas, encontraram um maior número de uredínias, em média, em folhas trifolioladas do que nas primárias. Em alguns trabalhos realizados por MENDES (1985; 1987), a ferrugem do feijoeiro mostrou um maior período latente e menor frequência de infecção sobre folhas primárias, quando comparados aos mesmos parâmetros sobre a primeira folha

trifoliolada. MENDES & BERGAMIN FILHO (1986) não encontraram diferenças significativas quando avaliaram folhas primárias e trifolioladas de feijoeiro, inoculadas com *Uromyces appendiculatus*, quanto aos parâmetros período de incubação, período latente e frequência de infecção; enquanto que o período infeccioso foi mais longo em folhas primárias do que em folhas trifolioladas.

Diferenças no tamanho de pústulas em folhas primárias e trifolioladas foram observadas por DAVISON & VAUGHAN (1963), em algumas variedades de feijoeiro. As pústulas foram de mesmo tamanho nas folhas primárias e trifolioladas jovens, e menores em trifolioladas mais velhas, completamente expandidas. Em experimentos realizados por MMBAGA & STEADMAN (1992), a densidade média de uredínias foi geralmente menor, assim como o tamanho das mesmas, nas folhas trifolioladas superiores do que nas folhas primárias, no caso de genótipos pubescentes de feijoeiro.

Segundo MMBAGA & STEADMAN (1992), a seleção contra suscetibilidade à ferrugem no estágio de plântulas pode resultar em perda de germoplasma útil, que expressa a resistência no estágio de planta adulta. ZULU & WHEELER (1982), também observaram que o grau de suscetibilidade em um tipo de folha não foi necessariamente uma indicação da suscetibilidade do outro tipo, quando inocularam oito cultivares com diferentes graus de resistência.

REY & LOZANO (1961) não encontraram clara relação entre idade da planta e suscetibilidade, mas puderam observar que as folhas de 3 a 12 dias apresentaram

maior infecção e pústulas maiores do que as mais velhas. As menores folhas inoculadas por SCHEIN (1965) haviam recém aberto de entre os cotilédones e foram quantitativamente de baixa suscetibilidade. A eficiência de infecção aumentou rapidamente, alcançando o pico quando o comprimento médio das folhas era de 4 cm, após o que decresceu a taxa regular e relativamente rápida. Inoculações em folhas maduras resultou em poucas lesões. Além disso, o desenvolvimento de sintomas se mostrou mais lento com o aumento do tamanho, ou seja idade, da folha.

GROTH & RAMA RAJE URS (1982) se preocuparam em inocular número similar de esporos em folhas com idade variando de 1 a 7 dias, e constataram que o número de pústulas por folíolo decresceu com o aumento da idade, sendo maior em folhas de 2 e 3 dias. Segundo ZULU & WHEELER (1982), as folhas jovens apresentaram menor período latente e pústulas maiores do que as mais velhas.

A idade da folha não afetou a taxa de germinação de esporos de *Uromyces appendiculatus*, mas em folhas duas ou três semanas mais velhas, poucos tubos germinativos conseguiram atingir o mesófilo através do estômato. Uma vez o fungo dentro da folha, a probabilidade de formação de pústulas foi a mesma para folhas adultas ou jovens, sendo a frequência de infecção bem mais reduzida nas primeiras, devido ao decréscimo na formação de apressórios (ALTEN, 1983). Segundo SCHEIN & ROTEM (1965), no entanto, a correlação linear encontrada entre germinabilidade e eficiência de infecção, sugeriu fortemente que a habilidade de penetrar e estabelecer uma

infecção é devido, em grande parte, à habilidade de germinar e tem pouco, ou nada, a ver com o vigor do tubo germinativo.

SHAIK & STEADMAN (1989) estudaram folhas primárias de feijoeiro inoculadas em idade de 1-20 dias, após abertura. Na cultivar Pompadour Checa, que desenvolve um tipo de resistência onde as uredínias são pequenas, as folhas mais jovens apresentaram áreas necróticas grandes com uredínias minúsculas em seu centro; enquanto que em folhas velhas, muito poucas uredínias estavam circundadas por necrose. Em reações suscetíveis, com uredínias grandes, as áreas de uredínias e as uredínias secundárias foram negativamente correlacionadas com a idade da folha ou seu comprimento na época da inoculação. MENDES & BERGAMIN FILHO (1989b) observaram que folhas primárias e trifolioladas de feijoeiro, inoculadas com o agente da ferrugem, mostraram-se mais resistentes quando mais velhas, apresentando períodos de incubação e latente mais longos e menor frequência de infecção. O aumento no nível de resistência em função da idade foi observado principalmente em folhas com mais de oito dias.

IMHOFF et alii (1981) observaram que a germinação de *Uromyces appendiculatus* foi a mesma em discos de folhas velhas e jovens, de feijoeiro, assim como no caso das superfícies inferior e superior das folhas. Discos provenientes de folhas de plantas crescendo ao ar livre promoveram um melhor substrato para a germinação dos urediniosporos do que aqueles retirados de plantas crescendo em câmara-de-crescimento. Puderam também

observar que esporos recolhidos de pústulas com mais de uma semana de idade apresentaram porcentagem final de germinação menor do que aqueles provenientes de pústulas de 1-2 dias. Segundo os autores, urediniosporos jovens produzidos em folhas velhas de feijoeiro têm menor germinabilidade do que os produzidos em tecido jovem. Quando uma nova pústula de ferrugem se abriu sobre uma folha velha, foi como se a pústula em si fosse velha, e deveria ser tratada como tal em um simulador.

Segundo POPULER (1978), a suscetibilidade pode ser diferente em folhas que sejam do mesmo tipo e fisiologicamente da mesma idade, mas que tenham sido produzidas em diferentes estádios de desenvolvimento da planta.

AUST et alii (1984) observaram que a esporulação de *Uromyces appendiculatus* foi maior na superfície inferior da folha, enquanto que a superfície superior apresentou pústulas maiores. Em experimentos realizados por MENDES & BERGAMIN FILHO (1986), tanto o período de incubação, quanto o latente, se mostraram mais longos quando a inoculação foi feita na face superior da folha. Além disso, segundo MENDES (1985), na face superior da folha a esporulação é menor, do que na superfície inferior, concordando com os dados já obtidos pelos primeiros autores.

2.2.4.2. Genótipo

Quando inocularam *Uromyces appendiculatus* sobre as cultivares Rosinha G-2, Carioca e Roxo, AUST et

alii (1984) puderam observar que sobre a cultivar Rosinha as pústulas eram maiores e havia maior esporulação (esporos/pústula). MENDES & BERGAMIN FILHO (1986), trabalhando com folhas destacadas de feijoeiro, observaram que o período de incubação da ferrugem na cultivar Rosinha foi significativamente inferior a Carioca. Para o período latente, não foi encontrada diferença estatística, sendo o mesmo de 184,1 horas e 189,9 horas para Rosinha e Carioca, respectivamente. A cultivar Rosinha apresentou uma frequência de infecção significativamente maior que a Carioca. Além disso, segundo MENDES (1985), a produção de esporos é maior sobre a cultivar Rosinha do que Carioca.

SILVA (1992) observou uma maior taxa de desenvolvimento da ferrugem no campo, e maior área sob a curva de progresso da doença, associadas à variedade Rosinha, comparada a Carioca e Milionário.

Estudando 50 variedades de feijoeiro, AZEVEDO & KUSHALAPPA (1986a) obtiveram períodos latentes variando de 10,56 a 18,29 dias, sendo que as cultivares Serra Negra, S-182-N e Vi 1010 foram mais resistentes, apresentando períodos latentes mais longos. Quanto ao número de pústulas por folíolo, os autores puderam observar diferença significativa entre as variedades, sendo que quando considerado este parâmetro, as mais resistentes foram Agrorrico, Serra Negra, Vi 1010 e Vi 1011. AZEVEDO & KUSHALAPPA (1986b) observaram que, entre oito variedades, o período latente da ferrugem do feijoeiro variou de 12 a 17 dias, refletindo a menor taxa de desenvolvimento da doença e a menor severidade da mesma no campo. A variedade

Ricobaio 1014, que é resistente, produziu seis vezes menos pústulas do que Michelite, que é suscetível e apresentou menor período latente. A cultivar Michelite produziu dez vezes mais esporos que BAT 55, Turrialba e Ricobaio 1014.

GONZÁLES-ÁVILA et alii (1987) trabalharam com seis variedades de alta produtividade, inoculando-as com *Uromyces appendiculatus*, e puderam observar que as variedades que apresentaram menor período latente, mostraram maior freqüência de infecção, e vice-versa, concluindo que estes componentes podem ser usados para determinar a resistência horizontal à ferrugem. GONZÁLES-ÁVILA & CASTELLANOS-LINARES (1984) observaram que a cultivar de feijão Velasco se apresentava mais suscetível à ferrugem nos estádios de folhas primárias a pré-floração, quando a inoculação artificial resultou em maior índice de infecção; enquanto que a cultivar Bolita 42 mostrou o maior índice de infecção quando inoculada no período de pós-floração.

2.2.5. Fatores relacionados à própria doença

A auto-inibição de uredíniosporos de ferrugem ocorreu em tecido ao redor das pústulas em folhas de feijoeiro, sendo reduzida a temperaturas mais baixas. Os inibidores, alanina e ácido glutâmico, formaram um gradiente de concentração com teores mais elevados nos tecidos mais próximos às pústulas (WILSON, 1958). Em experimentos realizados por YARWOOD (1961) a abertura de

pústulas foi mais rápida em folhas com maior número de pústulas por cm^2 ; além disso, quanto maior a concentração de pústulas, menor o diâmetro do micélio e a área esporulante.

O número de esporos produzidos por cm^2 , em um dia, cresceu vagarosamente e decresceu também lentamente para infecções leves, e cresceu e decresceu rapidamente para infecções mais pesadas. Nos dois casos, a queda na taxa de produção de esporos foi associada com a perda de vigor das folhas (YARWOOD, 1961). O autor observou também, que a maior parte dos esporos liberados estavam em grupos.

O agrupamento de esporos reduziu o número potencial de unidades de dispersão carregadas pelo vento, e decresceu o comprimento efetivo da fonte de inóculo aéreo. Além disso, agrupamentos assentaram mais rápido do que esporos isolados e puderam ser depositados a uma taxa mais rápida (FERRANDINO & AYLOR, 1987).

Quanto à concentração de inóculo utilizada na inoculação de plantas de feijoeiro com o fungo da ferrugem, TORRE et alii (1987) observaram que a receptividade, número de pústulas/ cm^2 , foi maior nas mais altas concentrações de inóculo, e, que o tipo de infecção não foi afetado. Segundo GALVÃO & MENTEN (1987), com o aumento da concentração de esporos, houve um aumento na freqüência de infecção, e o período latente não foi afetado.

Quando as uredínias se tornam mais populosas produzem menos uredíniosporos por unidade de infecção pelo tempo. Diversos pares de comparações de produção de uredíniosporos por uredínia a diferentes densidades de

cinco isolados de *Uromyces appendiculatus*, em duas cultivares suscetíveis de feijão, revelaram que os isolados com uredínias de 1,4 mm de diâmetro foram mais influenciados pela alta população do que os isolados com uredínias de 1 mm de diâmetro (KARDIN & GROTH, 1989). BOOKBINDER & BLOOM (1980) observaram que a produção de uredíniosporos, pelo fungo da ferrugem do feijoeiro, estava correlacionada com o diâmetro das uredínias; sendo que, quanto maiores as pústulas, mais esporos eram produzidos.

A natureza da interação da produção de uredíniosporos e alta população, é melhor explicada pela consideração de que a uredínia deriva nutrientes de uma zona de tecido foliar cuja área é diretamente proporcional ao tamanho e taxa de esporulação da mesma. Assim, uredínias maiores iriam começar a interferir com outras a densidades mais baixas do que uredínias menores. A interação mostrada nos trabalhos de BOOKBINDER & BLOOM (1980) e KARDIN & GROTH (1989) operaria para minimizar o impacto sobre o hospedeiro de reações de uredínias grandes, pela redução da taxa do aumento da doença a níveis relativamente baixos de infecção. O que não se sabe é se uredínias menos numerosas e maiores seriam mais prejudiciais ao hospedeiro do que uredínias mais numerosas e menores.

Em termos da reprodução do patógeno por unidade de área do tecido hospedeiro, KARDIN & GROTH (1989) sugerem que há um limite superior de reprodução pela ferrugem do feijoeiro que é independente do tamanho de uredínia, ao menos na gama de tamanhos usada em seu

trabalho. YARWOOD (1961) havia considerado o número total acumulativo de esporos por unidade de área foliar como o melhor critério para medir a eficiência da produção de esporos; mas observou que, neste critério, todas as intensidades de infecção atingiram cerca do mesmo valor (800.000 esporos/cm²), sendo alcançado mais rapidamente para altas intensidades de ferrugem.

2.3. Comportamento da ferrugem do feijoeiro em condição de campo

Quando avaliações sucessivas são realizadas a intervalos freqüentes, o progresso da doença pode ser representado na forma gráfica, com a quantidade de doença ocupando o eixo da ordenada, e o tempo o eixo da abcissa. A curva resultante apresenta geralmente a forma sigmóide, e serve para definir o curso da epidemia (LARGE, 1966).

Para o caso específico da ferrugem do feijoeiro, a linearização de curvas de progresso da doença tem sido feita com sucesso, utilizando-se a transformação da proporção da doença (x) em logito de x $\{\ln[x/(1-x)]\}$ (MENTEN, 1980; KUSHALAPPA & SANTOS, 1981). Além do modelo logístico, o modelo de Gompertz $[-\ln(-\ln x)]$ também tem mostrado boa adaptação ao crescimento da ferrugem do feijoeiro (KUSHALAPPA et alii, 1984; PAIVA et alii, 1984; MAFFIA et alii, 1986; SILVA, 1992).

PLAUT & BERGER (1981) obtiveram curvas de progresso da ferrugem do feijoeiro em forma de "J", em

câmara de crescimento, simulando o campo. Observaram que as plantas de feijão foram significativamente maiores, e o aumento da doença mais rápido, no campo do que em casa de vegetação. A transformação de Gompertz, das proporções de doença, proveu um melhor ajuste estatístico do que a transformação logística. Foi observada uma relação inversa entre doença inicial e taxa de progresso da doença.

A curva logística integrada é sigmóide e simétrica em relação ao seu ponto de inflexão; e sua derivada é uma curva em forma de "sino", de distribuição normal. O modelo de Gompertz tem curva de forma semelhante, porém não simétrica (BERGER, 1981). De acordo com o autor, a linearização de curvas de progresso da doença é essencial para determinar a velocidade da epidemia, para projetar a doença futura e estimar a doença inicial, sendo que a transformação logística tem severas limitações para alcançar estes objetivos em muitas curvas de progresso da doença, que são assimétricas. O modelo de Gompertz proveu um melhor ajuste estatístico para todas as 113 curvas de progresso da doença, testadas por BERGER (1981), em nove patossistemas diferentes, quando comparado ao modelo logístico.

Segundo IMHOFF et alii (1982a), a curva de progresso da ferrugem do feijoeiro pareceu depender mais da frequência e comprimento do período de molhamento do que da temperatura. Sob condições controladas, cinco epidemias sob diferentes regimes ambientais, níveis iniciais de inóculo, e data de inoculação, produziram curvas de progresso da doença de formas similares. No campo, IMHOFF

et alii (1982a) observaram que altas temperaturas durante a tarde, inibiram o desenvolvimento da doença; e além disso, concluíram que o progresso de uma epidemia sob temperatura constante pode ser diferente daquele de uma epidemia em regime de temperaturas flutuantes, mesmo se a média das temperaturas para as duas epidemias forem similares. IMHOFF et alii (1982a) constataram que o número de folhas por planta e área média da folha por planta variaram para cada epidemia, refletindo a necessidade de se incluir alguma indicação do crescimento do hospedeiro em cada conjunto de condições no campo. As plantas no campo se apresentaram com menos folhas e folhas menores do que na câmara de crescimento.

Quanto ao crescimento do hospedeiro, KUSHALAPPA & SANTOS (1981) obtiveram curvas de proporção cumulativa total de folíolos formados que foram linearizadas pela transformação logística. Segundo KUSHALAPPA et alii (1984), durante quatro estações de cultivo de feijoeiro, o padrão da curva de crescimento do hospedeiro foi sigmóide, e os coeficientes de determinação foram mais altos para o modelo logístico, do que para o monomolecular e o de Gompertz.

AYLOR (1988), estudando o patossistema ferrugem do feijoeiro, no campo, observou uma tendência para o aumento da autoinfecção com o crescimento das plantas, independentemente do gradiente de dispersão. O modelo exponencial descreveu bem o aumento do número médio de pústulas por planta. O número de pústulas por planta aumentou com o tempo, sem que o autor pudesse perceber

períodos mais lentos, mesmo nas últimas avaliações, quando algumas das folhas mais baixas haviam caído. A severidade da doença, baseada na planta toda, não excedeu 15% nas avaliações finais.

MENDES & BERGAMIN FILHO (1990a) observaram que em um ano em que as condições para o desenvolvimento da ferrugem não foram tão favoráveis, houve um atraso no início do aparecimento da doença e a severidade máxima foi mais baixa, quando comparado a outro ano com condições climáticas favoráveis. Segundo os autores a formação de orvalho ocorrendo à noite ou ao amanhecer, períodos do dia onde a temperatura é mais amena, favorece a infecção. Segundo SILVA (1992) o início da epidemia em condições naturais se associou a períodos de molhamento superiores a dez horas seguidas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Quantificação de parâmetros monocíclicos da ferrugem do feijoeiro em diferentes temperaturas.

De acordo com metodologia descrita por MENDES & BERGAMIN FILHO (1989a), os experimentos foram conduzidos sobre duas linhagens de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*). Esporos do fungo *Uromyces appendiculatus*, foram coletados em um campo situado em Piracicaba/SP; e obteve-se um isolado monopustular, através de três gerações. O fungo foi mantido e multiplicado sobre folhas primárias da linhagem Rosinha, a 21°C.

As linhagens de feijoeiro utilizadas foram as anteriormente testadas por MENDES (1985; 1987), em temperaturas na faixa de 17 a 25°C, caracterizadas na Seção de Radiogenética do CENA:

- Rosinha G-2/C-21 - linhagem da variedade Rosinha G-2, proveniente do tratamento de sementes com 24kR de radiação gama (^{60}Co) e seleção, a partir de M_2 , para características agronômicas favoráveis; possuindo alta suscetibilidade a *Uromyces appendiculatus*.

- Carioca/C-224 - linhagem da variedade Carioca, proveniente do tratamento de sementes com 24kR de radiação gama (^{60}Co) e seleção, a partir de M_2 , para características agronômicas favoráveis; possuindo suscetibilidade moderada à ferrugem.

O isolado monopustular foi obtido a partir de um folíolo com pústulas de ferrugem, da cultivar Rosinha, coletado na área experimental do Depto. de Fitopatologia, e passando-se os esporos de uma pústula isolada para folíolos destacados da mesma cultivar, previamente pulverizados com uma solução de água + tween 80 (0,02%). Os folíolos destacados foram colocados em placas-de-Petri, preparadas com uma fina camada de algodão e uma folha de papel-de-filtro umedecidas com água estéril. As placas-de-Petri foram mantidas em sala de temperatura controlada a 20-23°C, com fotoperíodo de 12 horas; sendo que nas primeiras 48 horas um pedaço de plástico foi colocado sob a tampa das placas, e as mesmas cobertas com papel alumínio para se garantir uma câmara úmida e escura. Após a esporulação, uma pústula isolada destes folíolos foi escolhida para que seus esporos fossem transferidos para outros folíolos, seguindo a mesma metodologia já descrita. Todo este procedimento foi repetido mais uma vez, e os esporos obtidos da terceira inoculação foram recolhidos constituindo-se no referido isolado.

Para cada temperatura testada foram inoculadas folhas primárias e trifolioladas com quatro dias de idade, com esporos do isolado monopustular, obtidos de folhas primárias da cultivar Rosinha, incubadas a 21°C. As

superfícies superior e inferior das folhas foram pulverizadas com uma suspensão em água + tween 80 (0,02%), na concentração de 2×10^4 esporos/ml. Após a inoculação, as plantas foram cobertas com sacos plásticos para se formar uma câmara úmida, e mantidas no escuro por 48 horas. Após este período, a câmara úmida foi retirada e as plantas incubadas em câmara de crescimento sob fotoperíodo de 12 horas.

O período de câmara úmida e a incubação subsequente das plantas foram a oito temperaturas (5, 7, 9, 11, 13, 15, 27 e 29°C). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com cinco repetições, sendo cada parcela constituída de um vaso com duas plantas. Os dados foram analisados segundo o esquema fatorial, sendo considerados os fatores temperatura, tipo de folha e linhagem, e mais as interações, como causas de variação.

Os dados foram também analisados em conjunto com os obtidos às temperaturas de 17, 21 e 25°C, por MENDES (1985; 1987), através de regressão não linear.

Os parâmetros monocíclicos avaliados foram período latente e freqüência de infecção. O número de pústulas maduras (com uredíniosporos livres) foi contado a cada doze horas, até que não aparecessem mais pústulas novas. O tempo entre a inoculação e o aparecimento de 50 % dessas pústulas foi considerado como o período latente. A freqüência de infecção foi considerada como o número máximo de pústulas esporulantes por folha (KRANZ, 1983).

3.2 Quantificação de parâmetros monocíclicos da ferrugem do feijoeiro em diferentes temperaturas e períodos de câmara úmida.

Os experimentos foram conduzidos sobre a linhagem Rosinha G-2/C-21. Foi utilizado o isolado monopustular de *Uromyces appendiculatus*, cuja obtenção já foi descrita anteriormente.

Foram inoculadas as primeiras folhas trifolioladas com cerca de quatro dias de idade. As superfícies superior e inferior das folhas foram pulverizadas com uma suspensão de uredíniosporos em água + tween 80 (0,02%), na concentração de 2×10^4 esporos/ml. Após a inoculação as plantas foram cobertas com sacos plásticos, amarrados próximo à base dos vasos, para formar uma câmara úmida e simular o período de molhamento (orvalho) do campo; e permaneceram no escuro por 24 horas. Após este período, as plantas foram incubadas, em câmara de crescimento, sob fotoperíodo de 12 horas.

As plantas foram mantidas em câmara de crescimento, sob temperatura constante, a 9, 12 e 15°C. O período de molhamento, no qual as plantas permaneceram cobertas com o saco plástico umedecido, foi de 6, 12, 18 e 24 horas. O delineamento experimental foi o fatorial inteiramente casualizado, com dois fatores (temperatura e umidade) e cinco repetições, sendo cada parcela constituída de um vaso com duas plantas.

Os dados obtidos foram também utilizados para se calcular a superfície resposta, a temperatura e umidade, em conjunto com os dados de MENDES (1985; 1987).

Foram avaliados período latente e freqüência de infecção. O número de pústulas maduras (com uredíniosporos livres) foi contado a cada 24 horas, por cerca de três dias, a partir do aparecimento das mesmas, e quando todas já haviam se manifestado. O tempo entre a inoculação e o aparecimento de 50% dessas pústulas foi considerado como período latente. A freqüência de infecção foi considerada como o número máximo de pústulas esporulantes por folha (KRANZ, 1983).

3.3. Efeito de temperatura acima da máxima sobre o desenvolvimento da ferrugem do feijoeiro.

3.3.1. Experimento 1

Neste primeiro experimento, dez vasos da linhagem Rosinha G-2/C-21 e dez da linhagem Carioca/C-224, com duas plantas (estádio de folhas primárias) cada, foram pulverizados com uma suspensão de esporos, na concentração de $1,25 \times 10^4$ esporos/ml.

Após a inoculação as plantas permaneceram por 24 horas em câmara úmida e escura a 20-21°C e, posteriormente, cinco vasos de cada linhagem foram mantidos em casa de vegetação sob temperatura favorável ao desenvolvimento da doença, e os outros cinco vasos levados à sala de incubação com temperatura elevada (29-32°C).

A área foliar foi avaliada na época da inoculação, e a doença quantificada, diariamente, através da contagem do número de pústulas, até que todas estivessem esporulando.

3.3.2. Experimentos 2 e 3

Para estes experimentos foi utilizada apenas a linhagem Rosinha G-2/C-21. Trinta vasos, com duas plantas no estágio de folhas primárias, foram pulverizados com uma suspensão de esporos, na concentração de 2×10^4 esporos/ml (experimento 2) e 1×10^4 esporos/ml (experimento 3), e mantidos por 24 horas em câmara úmida e escura a 20-21°C.

Após este período de incubação, todas as plantas foram mantidas em casa de vegetação, sob temperatura favorável ao desenvolvimento da doença, por mais 24 horas no caso do experimento 2, e 5 dias no experimento 3. A seguir as plantas foram submetidas a diferentes tempos (0, 1, 2, 4, 6, e 8 horas) de exposição a altas temperaturas (29-32°C).

Cada tratamento consistiu em um tempo de exposição, e teve cinco repetições. A área foliar foi avaliada quando da inoculação, e a doença, através da contagem do número de pústulas, no tempo, a partir do seu aparecimento, até que todas estivessem esporulando.

3.3.3. Experimento 4

Sementes da linhagem Rosinha foram colocadas para germinar em rolo de papel, formado com duas folhas embebidas na base e uma como cobertura; e as plântulas

transplantadas para vasos de 600 ml contendo substrato comercial.

As plantas no estágio de folhas primárias foram pulverizadas com suspensão de esporos, na concentração de 2×10^4 esporos/ml, e mantidas em câmara úmida e escura a 20-22°C, por 24 horas. Após retiradas da câmara úmida, as plantas foram expostas por diferentes períodos a altas temperaturas (cerca de 30°C), em sala de incubação. Os tratamentos foram 0 (testemunha), 1, 2 e 3 dias de exposição, e tiveram cinco repetições.

A área foliar foi avaliada na época da inoculação, e a doença quantificada pelo número de pústulas na face superior das folhas dos 8 aos 12 e aos 15 dias após a inoculação.

3.3.4. Experimento 5

Plantas de feijoeiro, linhagem Rosinha G-2/C-21, com folhas primárias de quatro dias de idade foram inoculadas com suspensão de uredíniosporos em água + tween, na concentração de 2×10^4 esporos/ml. A suspensão foi pulverizada apenas na face superior das duas folhas primárias de cada planta, sendo mantidas duas plantas por vaso.

Os vasos permaneceram por 24 horas em câmara úmida e escura. Após doze horas da retirada da câmara úmida, período em que permaneceram a 21°C, as plantas foram expostas a 29°C por 0 (testemunha), 8, 12, 16, 20 e 24 horas. Cada tratamento teve quatro repetições.

Após o período sob alta temperatura, os vasos retornavam a temperatura de 21°C. A avaliação da doença foi feita diariamente a partir do aparecimento das primeiras pústulas maduras, por cerca de uma semana, contando-se o número de pústulas presentes na face superior das folhas.

3.4 Efeito da temperatura abaixo da temperatura mínima sobre o desenvolvimento da ferrugem do feijoeiro.

Uma suspensão de esporos do fungo da ferrugem foi pulverizada sobre folhas primárias de feijoeiro, com cerca de 4 a 5 dias de idade, na concentração de 4×10^4 esporos/ml. Foram utilizadas as linhagens Rosinha e Carioca, e cinco tratamentos, sendo: a) plantas mantidas a 7°C (T7); b) plantas mantidas a 21°C (T21); c) plantas mantidas por 48 horas a 7°C, e após este período a 21°C (T48); d) plantas mantidas por 4 dias a 7°C, e após este período a 21°C (T4); e, e) plantas mantidas por 7 dias a 7°C e após a primeira semana a 21°C (Ts).

O delineamento experimental foi o fatorial, inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo cada parcela constituída por um vaso com duas plantas.

Após a inoculação as plantas permaneceram em câmara úmida, por 48 horas, no escuro. Posteriormente foram mantidas sob fotoperíodo de 12 horas.

Os parâmetros avaliados foram período latente e frequência de infecção. As pústulas maduras foram

contadas diariamente, a partir do seu aparecimento, por uma semana, e no final, quando todas já haviam amadurecido.

3.5. Desenvolvimento da ferrugem do feijoeiro sob condição natural de infecção

Foram realizados cinco experimentos de campo, em Piracicaba, sendo três (plantio em outubro/89, junho/89, e julho/91) em área cedida pelo Departamento de Agrometeorologia/ESALQ, e dois (plantio em julho/90 e junho/92) na área experimental do Departamento de Fitopatologia/ESALQ.

Os plantios foram realizados em linhas de 15 m, sendo dez linhas para a linhagem Carioca e dez linhas para a linhagem Rosinha, constituindo-se cada linhagem de uma parcela de 90 m². O espaçamento entre linhas foi de 0,6 m, e a densidade de semeadura 15 sementes/m.

Entre as duas parcelas, foi deixado um espaço de 1,2 m, onde foi instalado um abrigo meteorológico com termohigrógrafo; e o sensor de molhamento foliar foi colocado entre as primeiras linhas de uma das parcelas. O aparelho registrou a temperatura e o período de molhamento durante todas as horas do dia.

As culturas receberam os tratos culturais normais de culturas comerciais, inclusive adubação, fazendo-se o controle de pragas quando necessário. Não foi necessária a aplicação de fungicidas para o controle de outras doenças em nenhuma das ocasiões de plantio.

A avaliação foi realizada, a partir de cerca de 4 dias da emergência até o final do ciclo da cultura, com a periodicidade de 3-7 dias, sendo considerada como área útil aquela compreendida pelas oito linhas centrais de cada parcela. Para tanto, eram arrancadas cinco plantas de cada linhagem, ao acaso, e todas as suas folhas desenhadas para posterior determinação de área foliar. Anotou-se a posição ocupada por cada folha na planta.

A ferrugem foi avaliada contando-se o número de pústulas de cada diâmetro, presentes em cada folíolo. Calculou-se a área foliar ocupada pelas pústulas (em mm²), somando-se as áreas das pústulas de diferentes diâmetros. A área foliar e a porcentagem de área ocupada pela ferrugem foram calculadas para cada folha. A doença foi expressa em porcentagem de doença, onde o máximo de doença (100%) correspondeu a 10% de área foliar afetada.

A partir dos registros obtidos no termohigrógrafo, tabularam-se as temperaturas máxima e mínima diárias, além do número de horas de molhamento em 24 horas. A frequência de infecção esperada foi calculada com a temperatura mínima e o período de molhamento diários (registrados no campo), através da equação de Beta-Richards que descreveu a superfície resposta à temperatura e umidade (definida pela metodologia citada em 3.2).

4. RESULTADOS

As Tabelas 1 e 2 mostram os efeitos da temperatura, linhagem e tipo de folha sobre a freqüência de infecção. Pode-se observar que as folhas trifolioladas apresentaram maior freqüência de infecção do que as folhas primárias, a 13° e 15°C; sendo que nas temperaturas mais baixas não houve diferença significativa entre elas (Tabela 1). Quanto às linhagens, dentro de folhas primárias, não houve diferença significativa; porém, dentro de folhas trifolioladas, a linhagem Rosinha apresentou um número significativamente superior de pústulas por folíolo (Tabela 2).

Na Tabela 3 encontram-se os efeitos do tipo de folha sobre o período latente, nas diferentes temperaturas. Pode-se observar que este parâmetro foi menor para as folhas trifolioladas em todas as temperaturas. Não houve efeito da linhagem, Rosinha ou Carioca, sobre o período latente.

A freqüência de infecção aumentou significativamente e o período latente diminuiu, com o aumento da temperatura, dentro da faixa de 9 a 15°C (Tabelas 1 e 3).

Tabela 1. Frequência de infecção (número de pústulas/folíolo) da ferrugem do feijoeiro, inoculada em folhas primárias e trifolioladas, incubadas em diferentes temperaturas.

Linhagem/ Tipo de Folha	Temperatura			
	9°C	11°C	13°C	15°C
Rosinha				
Primária	43,85	153,35	197,20	290,99
Trifoliolada	48,54	253,55	313,75	390,63
Carioca				
Primária	31,47	180,87	177,52	241,70
Trifoliolada	39,90	114,83	304,04	377,70
Média				
Primária	37,66Ac	167,11Ab	187,36Bb	266,35Ba
Trifoliolada	44,22Ad	184,19Ac	308,89Ab	384,16Aa

Letras diferentes entre si, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 2. Frequência de infecção (número de pústulas/folíolo) da ferrugem do feijoeiro, inoculada nas linhagens Carioca e Rosinha, em folhas primárias e trifolioladas.

Linhagem	Tipo de Folha	
	Primária	Trifoliolada
Rosinha	171,35A*	251,62A
Carioca	157,89A	209,12B

Letras diferentes entre si, nas colunas, indicam diferença significativa ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

* Média dos dados a 9, 11, 13 e 15°C.

Tabela 3. Período latente (em horas) da ferrugem do feijoeiro, inoculada em folhas primárias e trifolioladas, incubadas em diferentes temperaturas.

Linhagem/ Tipo de folha	Temperatura			
	9°C	11°C	13°C	15°C
Rosinha				
Primária	557,90	425,84	359,56	313,71
Trifoliolada	469,46	374,65	301,27	279,78
Carioca				
Primária	546,92	428,09	223,59	325,43
Trifoliolada	475,19	376,09	299,51	276,29
Média				
Primária	552,41aA	426,96bA	346,07cA	319,57cA
Trifoliolada	472,32aB	375,37bB	300,39cB	278,03dB

Letras diferentes, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Os resultados do experimento sobre o efeito do período de molhamento sobre a frequência de infecção e período latente, em diferentes temperaturas, encontram-se nas Tabelas 4 e 5. Quanto ao efeito do período de molhamento sobre a frequência de infecção, os dados se ajustaram a equações de segundo grau, em todas as temperaturas, sendo os coeficientes de determinação de 0,9894 , 0,9919 e 0,9936, para 9, 12 e 15°C, respectivamente (Figura 1). Em geral, não houve efeito do período de molhamento sobre o período latente; embora, quando se considerou a média das três temperaturas, o período de 6 horas tenha aumentado significativamente o período latente.

A freqüência de infecção foi significativamente menor a 9°C do que nas outras duas temperaturas, que não diferiram entre si. O período latente foi significativamente maior quanto menor a temperatura, sendo que todas as três temperaturas diferiram entre si.

Quando as plantas inoculadas foram incubadas constantemente a 5° e 29°C, a ferrugem não se desenvolveu. A temperatura de 7°C também inibiu por completo o desenvolvimento da doença, se mantida constante. À temperatura de 27° C a ferrugem apareceu somente sobre a linhagem Rosinha, com uma baixa freqüência de infecção - 0,2 e 0,5 pústulas/folíolo, respectivamente para folhas primárias e trifolioladas - e longo período latente (cerca de 480 horas).

Tabela 4. Freqüência de infecção (número de pústulas/folíolo) da ferrugem do feijoeiro em plantas da linhagem Rosinha, incubadas em diferentes períodos de câmara úmida, sob três temperaturas.

Horas de Câmara Úmida	Temperatura			Média
	9°C	12°C	15°C	
06	3,67	13,60	37,17	14,52C
12	87,29	206,87	234,23	166,35B
18	217,47	273,30	291,87	257,91A
24	203,50	303,60	284,00	256,65A
Média	96,91b	167,76a	190,30a	

Letras diferentes entre si, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem pelo teste de Tukey a 5%. Os dados foram transformados em $\sqrt{x}$ para a análise.

Figura 1. Efeito do período de molhamento, em três temperaturas, sobre a frequência de infecção da ferrugem do feijoeiro, em folhas trifolioladas da linhagem Rosinha.

Tabela 5. Período latente (em horas) da ferrugem do feijoeiro em plantas, da linhagem Rosinha, incubadas em diferentes períodos de câmara úmida, sob três temperaturas.

Horas de Câmara Úmida	Temperatura			Média
	9°C	12°C	15°C	
06	546,07	318,92	257,30	374,10A
12	525,02	308,45	244,03	359,17B
18	519,91	303,63	254,14	359,09B
24	514,81	308,03	251,03	357,96B
Média	526,35a	309,76b	251,63c	

Letras diferentes entre si, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Quando os dados obtidos foram analisados conjuntamente aos dados de MENDES (1985; 1987), a função beta pôde explicar o efeito da temperatura sobre a frequência de infecção para as quatro combinações de linhagem e tipo de folha, sendo que apenas para folhas primárias da linhagem Carioca o coeficiente de determinação ficou abaixo de 0,96 (Figura 2). A mesma função explicou o efeito da temperatura sobre o período latente, sendo melhor ajustada aos dados para a linhagem Rosinha (Figura 3).

Quanto à superfície resposta, reunindo o efeito de temperatura e umidade para a linhagem Rosinha, proposta como uma função Beta-Richards por WEBER¹ (1993), pôde-se ajustar os dados com um coeficiente de determinação de 0,9201 (Figura 4).

Quando as plantas inoculadas foram mantidas, após o período de câmara úmida, em sala de incubação com temperatura elevada (29-32°C), não apareceram pústulas sobre suas folhas, enquanto que as plantas mantidas em casa de vegetação, sob condições favoráveis à doença, mostraram desenvolvimento normal da ferrugem. Em exposições de plantas inoculadas, após 24 horas, a altas temperaturas por períodos que variaram de 1 a 8 horas, não se verificou diferença significativa comparando-se ao controle (Tabela 6).

Porém, quando as plantas foram mantidas por 1, 2 e 3 dias na sala de incubação com temperatura elevada, não se pôde observar sintomas sobre elas. No último

¹WEBER, G. Modelling Bean Rust Epidemics: Development, Validation and Implementation. 2nd Report. October 1992-January 1993.

experimento, onde as plantas foram submetidas a 29°C por períodos que variaram de 0 a 24 horas, não se detectou diferença quanto à frequência de infecção, mas houve um aumento no período latente para os períodos mais longos sob temperatura elevada, segundo uma relação linear de coeficiente de determinação de 0,89 (Figura 5).

A Tabela 7 mostra o efeito da temperatura abaixo da mínima sobre o desenvolvimento da ferrugem do feijoeiro. O período latente foi significativamente menor nas plantas que foram mantidas durante todo o período de incubação a 21°C, seguidas pelas que foram mantidas por 2 dias, 4 dias e uma semana a baixa temperatura. Todos os tratamentos diferiram entre si. A linhagem Rosinha apresentou um menor período latente, exceto no tratamento em que as plantas permaneceram todo o tempo sob temperatura favorável ao desenvolvimento da doença.

Para a linhagem Rosinha, as frequências de infecção nas plantas que estiveram por mais de quatro dias a baixa temperatura não diferiram entre si. As plantas que permaneceram uma semana ou mais a 7°C, diferiram das plantas que estiveram a 0 e 48 horas nesta temperatura.

No caso da linhagem Carioca, as plantas que permaneceram todo o tempo a baixa temperatura apresentaram um menor número de pústulas/folha, mas diferiram apenas das que não estiveram sob esta condição.

O efeito de linhagens só foi detectado em plantas que estiveram por 4 dias a 7°C, sendo a linhagem Rosinha a que apresentou maior frequência de infecção.

Figura 2. Efeito da temperatura sobre a freqüência de infecção, em dois tipos de folha, nas linhagens Carioca e Rosinha.

Figura 3. Efeito da temperatura sobre o período latente, em dois tipos de folha, nas linhagens Carioca e Rosinha.

Figura 4. Efeito da temperatura e do período de molhamento sobre a frequência de infecção, em folhas trifolioladas da linhagem Rosinha.

$$FI = 1E-7 (T-6.9)^{2.727} (32-T)^{5.805} (1-e^{-0.217U})^6.$$

Tabela 6. Frequência de infecção (número de pústulas/folha) da ferrugem do feijoeiro em plantas mantidas por 0 a 8 horas, sob temperatura elevada (29-32°C).

Período de exposição	Após 48 horas da inoculação	Após 6 dias da inoculação
0 horas	118,75	185,50
1 hora	150,05	181,45
2 horas	142,90	252,05
4 horas	130,15	217,40
6 horas	141,60	204,15
8 horas	119,20	185,40
	CV=35,5% DMS=92,81	CV=25,98% DMS=103,78

Figura 5. Efeito da exposição de feijoeiros, inoculados com *Uromyces appendiculatus*, a 29°C sobre o período latente.

Tabela 7. Frequência de infecção e período latente da ferrugem do feijoeiro, em plantas das linhagens Carioca e Rosinha, incubadas a 7°C por diferentes períodos.

Tratamento	Período Latente (em horas)		Freq. de Infecção* (pústulas/folha)	
	Carioca	Rosinha	Carioca	Rosinha
21°C	217,74aD	209,43aD	27,73aA	58,97aA
48h a 7°C	239,33aC	225,64bC	2,51aAB	16,86aAB
4d. a 7°C	300,00aB	257,32bB	0,12b B	7,71aABC
7d. a 7°C	315,43aA	303,48bA	1,36aAB	1,19a BC
7°C	-----	-----	0,00a B	0,00a C

Letras diferentes, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. * Os dados foram transformados em $\log(x + 1)$ para a análise estatística.

As Figuras 6 a 10 trazem os resultados dos ensaios de campo, referindo-se aos dados climáticos, freqüência de infecção esperada, desenvolvimento do hospedeiro e da doença.

A linhagem Rosinha apresentou um maior desenvolvimento da ferrugem nos plantios de junho/89, junho/90 e junho/92 (Figuras 6, 8 e 10). A doença pôde ser detectada mais cedo sobre a linhagem Rosinha nos plantios de junho/89 e junho/92; e atingiu a severidade máxima mais precocemente sobre esta linhagem nas épocas de outubro/89, junho/90 e junho/92 (Figuras 7, 8 e 10). No ano de 1991, não se pôde avaliar esta linhagem até o final do período, pois o "stand" foi reduzido pela ocorrência de murcha (Figura 9).

Através da freqüência de infecção esperada, pôde-se observar que a época de junho-setembro foi mais favorável ao desenvolvimento da ferrugem do que a de outubro-janeiro, o que foi comprovado pela ocorrência de menor intensidade de doença neste período.

No plantio de junho de 1989, foi observada uma pequena quantidade de doença, porém atingindo praticamente o dobro do plantio de outubro. Neste caso a doença começou tarde, aos 47-50 dias. Apesar das condições climáticas terem se mantido favoráveis à ferrugem até o final do ciclo, a doença decresceu, coincidindo com o decréscimo da área foliar, resultado da queda das folhas mais velhas ou com maior número de pústulas (Figura 6).

No plantio de junho/91 desenvolveu-se uma baixa quantidade de doença, embora maior do que em outubro/89. Pôde-se observar que houve um período de condições climáticas favoráveis, proporcionando uma alta frequência de infecção esperada, de 8 a 15/08, provavelmente responsável pelo início do aumento da doença em 25 a 30/08, em Rosinha. Em Carioca este aumento foi mais lento, havendo uma paralisação no crescimento da doença de 20/09 a 02/10. Em 18-19/09, pôde-se observar um novo período favorável, que deve ter ocasionado o novo aumento da doença, cerca de 10 dias após (Figura 9).

No plantio de julho/90 a doença atingiu níveis mais elevados, tendo um rápido aumento na linhagem Rosinha, e um aumento mais reduzido em Carioca (Figura 8). Apesar da doença ter sido detectada no campo em 30/07, permaneceu constante até próximo ao dia 20/08. A doença se estabilizou de 26/08 a 6/09 para Carioca e 31/08 a 04/09 para Rosinha, seguindo-se um aumento rápido para a linhagem Rosinha, e um pouco mais lento para Carioca, que pode ter sido resultado de dois dias favoráveis em 27 e 28/08.

As maiores quantidades de doença foram alcançadas em 1992, principalmente no que diz respeito à linhagem Rosinha (Figura 10). A doença apareceu cedo, mas começou a aumentar lentamente em 08/08 e sofreu um grande aumento a partir de 18/08, provavelmente devido às condições climáticas favoráveis em 12/08.

Figura 6. Dados referentes ao plantio de junho/89. A. Dados climáticos; B. Frequência de infecção esperada; C. Porcentagem de doença; D. Área foliar total.

Figura 7. Dados referentes ao plantio de outubro/89. A. Dados climáticos; B. Frequência de infecção esperada; C. Porcentagem de doença; D. Área foliar total.

Figura 8. Dados referentes ao plantio de junho/90. A. Dados climáticos; B. Frequência de infecção esperada; C. Porcentagem de doença; D. Área foliar total.

Figura 9. Dados referentes ao plantio de junho/91. A. Dados climáticos; B. Frequência de infecção esperada; C. Porcentagem de doença; D. Área foliar total.

Figura 10. Dados referentes ao plantio de junho/92. A. Dados climáticos; B. Frequência de infecção esperada; C. Porcentagem de doença; D. Área foliar total.

5. DISCUSSÃO

5.1. Efeito de linhagem e tipo de folha

A linhagem Rosinha G-2/C-21 se mostrou mais suscetível à ferrugem do feijoeiro, sendo que nos experimentos sob condições controladas, quando se pôde detectar diferença estatística entre linhagens, esta apresentou uma freqüência de infecção maior e um menor período latente do que a linhagem Carioca/C-224, o que também foi observado por PIZA & MENTEN (1987). Estes dados comportam-se como o esperado por GONZÁLES-ÁVILA et alii (1987), segundo os quais, uma variedade que apresente um menor período latente deve apresentar uma maior freqüência de infecção e vice-versa, sendo estes parâmetros componentes importantes da resistência horizontal.

MENDES & BERGAMIN FILHO (1986), comparando essas mesmas linhagens, puderam detectar um período de incubação mais curto e uma maior freqüência de infecção para Rosinha, sendo que não observaram diferença estatística quanto ao período latente. A linhagem Rosinha tem mostrado sua maior suscetibilidade também quando outros parâmetros são avaliados, como pústulas maiores e maior produção de esporos (AUST et alii, 1984; MENDES, 1985).

Embora nem sempre tenha sido possível detectar, estatisticamente, esta maior suscetibilidade da linhagem Rosinha avaliando-se os parâmetros monocíclicos, o que também ocorreu nos trabalhos de MENDES (1985; 1987), no campo esta linhagem mostrou um maior desenvolvimento da ferrugem, atingindo maior intensidade da doença e fazendo-o, geralmente mais cedo do que a linhagem Carioca. Este comportamento, no campo, já havia sido observado por MENDES (1987) e SILVA (1992).

A maior suscetibilidade da linhagem Rosinha pode ser observada na Figura 11, onde para um mesmo nível de doença, tem-se uma faixa mais ampla de temperatura e umidade correspondente na linhagem Rosinha, comparada à Carioca. Este fato, somado à maior frequência de infecção, menor período latente e maior esporulação, pode ser responsável pelo comportamento desta linhagem em condição natural de infecção.

A primeira folha trifoliolada apresentou maior frequência de infecção nas temperaturas mais favoráveis à doença e menor período latente em todas as temperaturas, concordando com dados obtidos por GROTH & RAMA RAJE URS (1982), MENDES (1985; 1987) e MENDES & BERGAMIN FILHO (1989a), e parcialmente com os de PIZA & MENTEN (1987), que obtiveram um maior período latente, porém uma maior frequência de infecção para folhas primárias. MENDES & BERGAMIN FILHO (1986) e GONZÁLES-ÁVILA et alii (1987) não obtiveram diferença significativa para estes dois parâmetros confrontando os dois tipos de folha. ZULU & WHEELER (1982) consideraram a folha trifoliolada como mais

Figura 11. Níveis de freqüência de infecção obtidos em resposta a diferentes temperaturas e períodos de molhamento: A. Rosinha; B. Carioca-WEBER(1993); C. Rosinha-WEBER(1993).

resistente à ferrugem do feijoeiro, o que não se pôde constatar neste trabalho.

5.2. Efeito da temperatura e molhamento foliar

5.2.1. Condições controladas

Neste trabalho, não foi detectado o período de umidade mínimo necessário ao desenvolvimento da ferrugem, já que as plantas foram mantidas por no mínimo 6 horas em câmara úmida, e em todos os tratamentos foram observados sintomas da doença. Quanto maior o período de câmara úmida, maior a freqüência de infecção, sendo que acima de 18 horas não foi detectada diferença estatística. Pela regressão polinomial feita nos dados, ao se derivar as equações encontradas para as três temperaturas, obteve-se um período de molhamento ótimo de 21, 22 e 20 horas para 9, 12 e 15°C, respectivamente.

GALVÃO & MENTEN (1987) não detectaram diferença na freqüência de infecção quando utilizaram 15, 24 e 48 horas de molhamento foliar. Nos experimentos realizados por CODE et alii (1985) a severidade da ferrugem aumentou com o aumento do período de molhamento até 24 horas (a 15 e 20°C); enquanto que nos trabalhos de REY & LOZANO (1961) e MENDES & BERGAMIN FILHO (1989a), consideraram-se 10 a 12 horas de molhamento como responsáveis pelo máximo de doença.

No caso da linhagem Rosinha, que foi a utilizada nos ensaios de umidade deste trabalho, ao se

considerar a temperatura de 17°C, estudada por MENDES & BERGAMIN FILHO (1989a), e que se aproxima mais das aqui avaliadas (9, 12 e 15°C), pode-se observar um máximo de freqüência de infecção entre 22 e 25 horas de molhamento. Os dados obtidos por esses autores, no caso da temperatura de 25°C, concordam com os obtidos por CODE et alii (1985), nas mesmas condições, que obtiveram aumentos na freqüência de infecção apenas após 24 horas de molhamento foliar.

Embora no presente trabalho tenha sido observado o desenvolvimento da doença com 6 horas de câmara úmida, em experimentos realizados por BASHI & ROTEM (1974) e CODE et alii (1985) não pôde ser detectada a presença de sintomas abaixo de 8 horas de molhamento foliar. Porém, REY & LOZANO (1961) constataram ser 6 horas o período mínimo necessário de água livre sobre a folha para o desenvolvimento da ferrugem, e IMHOFF et alii (1981) e MENDES & BERGAMIN FILHO (1989a) determinaram ser 4 horas o período mínimo de umidade para a infecção.

Nos experimentos desenvolvidos sob temperatura constante, a temperatura mínima para o desenvolvimento da doença ficou entre 9 e 7°C, e a máxima um pouco acima de 27°C, já que nesta última temperatura apenas algumas pústulas apareceram sobre a linhagem Rosinha, com um longo período latente. IMHOFF et alii (1981) já haviam observado que a 27°C, constante, pústulas de ferrugem do feijoeiro não se desenvolveram, concordando com os dados obtidos por SCHEIN (1961) e CODE et alii (1985), que não conseguiram obter sintomas acima de 26°C.

Quando 7°C não foi aplicado constantemente, verificou-se o desenvolvimento da doença, sendo que quanto maior o tempo em que as plantas permaneceram nesta condição desfavorável, maior o período latente. SCHEIN (1961) constatou que quando, após 6 dias de incubação sob condições favoráveis, plantas inoculadas com *Uromyces appendiculatus* foram colocadas em uma combinação de 21,1-15,5°C, o desenvolvimento da doença passou a ser mais lento do que sobre aquelas que permaneceram na condição anterior.

Observou-se que mesmo temperaturas tão altas quanto 32°C não paralisaram por completo o desenvolvimento da doença, quando ocorreram em períodos de até 8 horas. A temperatura de 29°C, que quando mantida constante inibiu por completo o aparecimento da ferrugem, não inibiu a colonização da mesma quando em períodos de até 24 horas, apenas atrasando um pouco seu desenvolvimento. Em experimentos realizados por SCHEIN (1961), a exposição por até 4 horas de feijoeiros, inoculados com *Uromyces appendiculatus*, à 31,1°C não teve efeito sobre o desenvolvimento da doença. Porém, quando após 6 dias de incubação sob condições favoráveis as plantas foram passadas definitivamente para 31,1°C ocorreu a paralisação do processo doença. SCHEIN (1961) também observou um aumento no período de incubação, quando as plantas foram expostas por 8 a 32 horas a esta temperatura elevada.

A função beta (Equação 1), que está entre as funções citadas por HAU et alii (1985) e HAU & KRANZ (1990) para explicar o efeito da temperatura sobre o

desenvolvimento de doenças em plantas, não apenas se ajustou aos dados de período latente, como também aos de frequência de infecção.

$$N = b_1(T-b_2)^{b_4} (b_3-T)^{b_5} \quad (1)$$

WEBER¹ já havia utilizado a função beta para descrever o efeito da temperatura sobre a frequência de infecção e período latente da ferrugem do feijoeiro, e sugeriu que para este trabalho, o parâmetro b_2 , que representa a temperatura mínima, e o parâmetro b_3 , representando a temperatura máxima, fossem fixados em 6,9 e 32, respectivamente, para o cálculo da frequência de infecção. BERGER et alii² fixaram os mesmos parâmetros como 8 e 29, quando consideraram a variável independente como sendo a temperatura mínima diária. Quando se fez a regressão não linear, com todos os parâmetros não fixos, as temperaturas máxima e mínima estimadas ficaram bem próximas das sugeridas por WEBER³ para a linhagem Rosinha, porém, no caso da linhagem Carioca, a temperatura mínima estimada foi cerca de 7,3°C, praticamente sem acréscimo no coeficiente de determinação ou alterações nos valores dos outros parâmetros.

¹WEBER, G. (Biometrie and Populationsgenetik, Justus Liebig Universität, Giessen, Germany). Comunicação pessoal, 1993.

²BERGER, R.D.; HAU, B.; MENDES, B.M.J.; BACCHI, L.M.A.; BERGAMIN FILHO, A. A Simulation Model to Describe Epidemics of Rust on Phaseolus Beans. I. Development of the Model and Sensitivity Analysis. (Em elaboração).

³WEBER, G. (Biometrie and Populationsgenetik, Justus Liebig Universität, Giessen, Germany). Comunicação pessoal, 1993.

Nas equações obtidas para o período latente, WEBER¹ estimou a temperatura máxima como 27,05° C (parâmetro b3), enquanto que o parâmetro correspondente a temperatura mínima foi não realista; e quando fixou-o em cerca de 7,5, piorou o ajuste dos dados à função beta. O mesmo pôde ser observado no presente trabalho para a linhagem Rosinha, onde o máximo foi estimado como 27°C e o mínimo correspondeu a valores negativos. No caso da linhagem Carioca, o parâmetro correspondente à temperatura máxima ficou ao redor de 25, e à mínima foi 4,8 para folhas trifolioladas e 7,4 para primárias. Deve-se lembrar que a temperatura mínima a que se refere estas equações, não são obrigatoriamente as consideradas pelas equações que definem frequência de infecção, pois após estabelecida a infecção, a ferrugem não paralisa por completo seu desenvolvimento se temperaturas mais baixas ocorrerem por determinado período.

A temperatura ótima para a ferrugem do feijoeiro, considerando-se o parâmetro frequência de infecção, foi ao redor de 15°C para as folhas trifolioladas das duas linhagens e, 15,5°C e 13,5°C para folhas primárias de Rosinha e Carioca, respectivamente. No entanto, o menor período latente correspondeu a temperaturas na faixa de 22 a 24°C.

IMHOFF et alii (1981) observaram um período latente de nove dias para a ferrugem do feijoeiro se desenvolvendo à temperatura de 16°C, sendo que o mesmo diminuiu para 7,5 dias e sete dias quando aumentaram a

¹WEBER, G. Modelling Bean Rust Epidemics: Development, Validation and Implementation. 2nd Report, October 1992-January 1993. 1993.

temperatura para 21°C e 24°C, respectivamente. Nas temperaturas estudadas por estes autores, os períodos latentes calculados para as folhas trifolioladas da linhagem Rosinha foram os que mais se aproximaram dos encontrados pelos mesmos, sendo de 9,8 , 7,6 e 7,4 dias para 16, 21 e 24°C. Portanto a redução no período latente com o aumento da temperatura de 16 a 21°C, foi praticamente o mesmo encontrado pelos outros autores, porém o mesmo não ocorreu entre 21 e 24°C. CODE et alii (1985) encontraram um mesmo período latente de nove dias a temperaturas de 15 e 20°C, o que não ocorreu com o uso das equações beta para o presente trabalho, onde houve uma diferença de 2,3 a 3,2 dias, em função do tipo de folha e linhagem utilizadas.

A superfície resposta da frequência de infecção a temperatura e umidade, obtida neste trabalho, foi muito semelhante a calculada por WEBER¹ para a linhagem Rosinha, quando trabalhou com os dados de MENDES & BERGAMIN FILHO (1989a). Porém, como se pode observar por cortes das mesmas, apresentados na Figura 11, quando se considerou a gama de temperaturas abrangendo da temperatura mínima a máxima, a resposta ampliou um pouco as condições de temperatura responsáveis pelos maiores níveis de doença.

5.2.2. Ensaios de campo

No plantio de outubro/89 foi observada uma quantidade muito baixa de doença (<0,5%) devido as condições climáticas pouco favoráveis, o que pode ser

¹WEBER, G. Modelling Bean Rust Epidemics: Development, Validation and Implementation. 2nd Report, October 1992-January 1993. 1993.

notado pela freqüência de infecção esperada. Segundo BERGER¹ a favorabilidade 1 (máxima), calculada pela temperatura mínima e horas de molhamento diárias, é fornecida pelos pares de variáveis (temperatura e umidade) que resultam em um número maior que 150 pústulas/folíolo, considerando que acima desta quantidade de doença pouca diferença poderia haver no desenvolvimento da epidemia. Neste caso, apenas o dia 28/12 apresentou uma freqüência de infecção esperada superior a 150 pústulas/folíolo. Considerando-se os critérios de SILVA (1992), que contabilizou os dias com mais de 10 horas de molhamento foliar e temperatura, em média, de 9 a 23°C como favoráveis à ferrugem do feijoeiro, apenas três dias foram favoráveis à doença neste plantio.

Nos experimentos realizados por SILVA (1992), o maior progresso da ferrugem ocorreu em plantios realizados no mês de junho, comparados aos de março e novembro. Os plantios de março foram os mais desfavoráveis, seguidos pelos de novembro, quando houve períodos de longo molhamento, porém associados a temperaturas elevadas. Nos plantios de março, o fator limitante foi o baixo molhamento foliar. MENDES & BERGAMIN FILHO (1990), também obtiveram um maior desenvolvimento da doença em ensaio de campo instalado em junho do que em setembro, quando o número de horas de orvalho foi predominantemente inferior a dez e a temperatura máxima atingiu valores acima de 30°C.

¹BERGER, R.D. (Plant Pathology Department, University of Florida, Gainesville, FL.) Comunicação pessoal, 1993.

No plantio de junho de 1989, os primeiros sintomas foram observados no campo apenas aos 47-50 dias, provavelmente devido à ausência de inóculo e pequena área foliar disponível, quando do primeiro período favorável à infecção. A doença foi observada pela primeira vez cerca de 14 dias após o segundo período com frequência de infecção esperada superior a 150, e permaneceu estacionada até 14 dias após o terceiro período. Pelo critério de SILVA (1992), do aparecimento da doença no campo até o final do ciclo, contaram-se nove dias favoráveis à ferrugem, que foram decrescidos de três dias quando se considerou um período latente de nove dias para o aparecimento das últimas pústulas.

A doença foi detectada pela primeira vez em junho/91, cerca de dez a quinze dias após um período com alta frequência de infecção esperada. Por ocasião do aparecimento da ferrugem, as condições climáticas resultavam em um curto período de favorabilidade, que juntamente com a maior disponibilidade de inóculo dentro da cultura na ocasião, pode ter sido responsável pelo rápido aumento da doença sobre a linhagem Rosinha. Pelo critério de SILVA (1992) dezoito dias favoráveis puderam ser contabilizados do aparecimento da doença até a última avaliação. Se for considerado que a doença observada em 04/10 foi resultante de infecções que ocorreram cerca de nove dias antes, há necessidade de se descontar cinco dias favoráveis, que ocorreram neste período.

No gráfico da frequência de infecção esperada, para o plantio de julho/90, observam-se períodos com mais

de 150 pústulas/folíolo de 24 a 28/07, de 3 a 4/08 e de 11 a 13/08. Os dois últimos podem ter sido responsáveis pelo aumento da doença observado a partir de 20/08. Neste plantio, existiram períodos de alta freqüência de infecção esperada que não tiveram aumentos de doença correspondentes, como o primeiro citado. Pelo critério de SILVA (1992), este plantio teve 15 dias favoráveis, já descontado o período latente das últimas pústulas observadas.

No período de 18 a 23/08, em 1992, as condições climáticas se mostraram favoráveis à doença, mas não pôde ser notado nenhum efeito sobre a ferrugem, principalmente sobre a linhagem Rosinha. Um dos motivos que pode explicar esta falha da freqüência de infecção esperada em prever o aumento na quantidade de doença no campo, é o fato desta ser calculada através da temperatura mínima do dia. Por exemplo, próximo ao dia 12/08 houve um período com dias de longo molhamento, que correspondeu a um baixo número de pústulas/folíolo devido a temperaturas mínimas baixas. Resultados diferentes poderiam ser conseguidos se fosse utilizada uma média da temperatura durante o período de molhamento. Utilizando-se o critério de períodos favoráveis de SILVA (1992), pôde-se observar 27 dias, a partir do início da doença até o final da avaliação, onde as condições climáticas beneficiaram a ferrugem. Se forem descontados nove dias referentes ao período latente das últimas infecções observadas, perdem-se apenas cinco dias favoráveis ao desenvolvimento da doença.

Portanto, o cálculo da frequência de infecção esperada, baseado em dados obtidos sob condições controladas e considerado como representativo das causas que poderiam levar ao aumento de doença, pôde explicar, em quase todos os casos, o comportamento das epidemias de ferrugem do feijoeiro nos cinco plantios. Além disso, a temperatura e o período de molhamento sobre a folha se mostraram, mais uma vez, como fatores que podem ser úteis em programas de simulação ou previsão de epidemias neste sistema patógeno-hospedeiro.

Em junho/92, julho/90 e junho/89, houve um decréscimo na porcentagem de doença próximo ao final do ciclo da cultura, fato também observado por MENDES & BERGAMIN FILHO (1990a) e SILVA (1992). A queda prematura de folhas devido à ferrugem pode estar associada a este fato. YARWOOD (1961) observou que a longevidade de folhas de feijoeiro infectadas com diferentes concentrações de pústulas da ferrugem, foi de 65 dias para folhas sem pústulas, 52 dias para folhas com 0-1 pústula/cm², decrescendo com o aumento na densidade de infecções até 20 dias para 64-150 pústulas/cm².

6. CONCLUSÕES

1. O comportamento da ferrugem do feijoeiro, em função da temperatura, considerando-se os parâmetros freqüência de infecção e período latente, é explicado pela função beta.

2. O comportamento da ferrugem do feijoeiro em função de temperatura e horas de orvalho, considerando-se o parâmetro freqüência de infecção, é explicado pela equação de beta-Richards.

3. A maior freqüência de infecção da ferrugem do feijoeiro ocorre a cerca de 15°C, e o período latente é mais curto na faixa de 22 a 24°C.

4. Não há acréscimo na freqüência de infecção da ferrugem do feijoeiro com períodos de molhamento superiores a 20 horas.

5. Temperaturas abaixo de 7°C e acima de 27°C atrasam o desenvolvimento da ferrugem do feijoeiro, e podem paralisá-lo se ocorrerem por longos períodos de tempo.

6. A maior suscetibilidade no campo da linhagem Rosinha G-2/C-21, comparada à linhagem Carioca/C-224, deve-se não apenas a uma maior frequência de infecção e um menor período latente, mas também à maior amplitude das faixas de temperatura e horas de molhamento responsáveis por um mesmo nível de infecção, sobre esta linhagem.

7. A safra de feijão "de inverno" está mais sujeita a epidemias de ferrugem do feijoeiro do que a safra "das águas", na região de Piracicaba.

8. O monitoramento da temperatura e do número de horas de orvalho é suficiente para a previsão da ocorrência da ferrugem do feijoeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A.M.R.; CHAVES, G.M.; ZAMBOLIM, L. Influência da época de ataque de *Uromyces phaseoli* Arth. sobre o rendimento de duas variedades de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em casa-de-vegetação. Fitopatologia Brasileira, Brasília, 2:17-21, 1977a.
- ALMEIDA, A.M.R.; CHAVES, G.M.; ZAMBOLIM, L.; OLIVEIRA, L.M. Efeito terapêutico e preventivo de produtos sistêmicos sobre a ferrugem do feijoeiro *Uromyces phaseoli typica* Arth. em casa-de-vegetação. Fitopatologia Brasileira, Brasília, 2:43-53, 1977b.
- ALTEN, H. von. The effect of temperature, light and leaf age on the frequency of apleria formation and infection with *Uromyces phaseoli* (Pers.) Wint.. Phytopath. Z., Berlin, 107:327-335, 1983.
- AUST, H.J.; BERGAMIN FILHO, A.; MENTEN, J.O.M. Resistance of three bean cultivars to *Uromyces phaseoli* expressed through sporulation on the fungus. Phytopath. Z., Berlin, 110:30-36, 1984.

- AUST, H.J. & KRANZ, J. Experiments and Procedures in Epidemiological Field Studies. In: KRANZ, J. & ROTEM, J., ed.. Experimental Techniques in Plant Disease Epidemiology. Berlin, Springer-Verlag, 1988. p.7-17.
- AYLOR, D.E. Development of bean rust epidemics in a field planted with alternate rows of a resistant and a susceptible snap bean cultivar. Phytopathology, St. Paul, 78:1210-1215, 1988.
- AZEVEDO, L.A.S. & KUSHALAPPA, A.C. Parâmetros monocíclicos da ferrugem do feijoeiro causada por *Uromyces phaseoli* var. *typica* em variedades de feijão. Fitopatologia Brasileira, Brasília, 11:609-616, 1986a.
- AZEVEDO, L.A.S. & KUSHALAPPA, A.C. Quantificação da resistência a *Uromyces phaseoli* var. *typica* em cultivares de feijão. Fitopatologia Brasileira, Brasília, 11:599-608, 1986b.
- BACCHI, L.M.A.; MENDES, B.M.; CANTERI, M.G.; BERGAMIN FILHO, A.; BERGER, R.D. Análise do progresso e simulação de epidemias da ferrugem do feijoeiro (*Uromyces phaseoli* var. *typica*), em condições naturais de infecção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 24, Rio de Janeiro, 1991. Fitopatologia Brasileira, Brasília, 16(2):22, 1991. (Resumo)

- BAKER, C.J.; TOMERLIN, J.R.; MOCK, N.; LYNN, D.; MELHUISH, J.
Effects of cations on germination of urediniospores of
Uromyces phaseoli. Phytopathology, St. Paul, 77:1556-
1560, 1987.
- BASHI, E. & ROTEM, J. Adaptation of four pathogens to semi-
arid habitats as conditioned by penetration rate and
germinating spore survival. Phytopathology, St. Paul,
64:1035-1039, 1974.
- BERGER, R.D. Comparison of the Gompertz and logistic
equations to describe plant disease progress. Phyto-
pathology, St. Paul, 71:716-719, 1981.
- BETTIOL, W.; BRANDÃO, M.S.B.; SAITO, M.L. Controle da fer-
rugem do feijoeiro com extratos e células formuladas de
Bacillus subtilis. Summa Phytopathologica, Jaguariúna,
18(2):153-159, 1992.
- BIANCHINI, A.; MENEZES, J.R.; MARINGONI, A.C. Doenças e seu
Controle. In: IAPAR. O Feijão no Paraná. Londrina,
IAPAR, 1989. Circular 63, p. 189-216.
- BOOKBINDER, M.G. & BLOOM, J.R. Interaction of *Uromyces*
phaseoli and *Meloidogyne incognita* on bean. Journal of
Nematology, College Park, 12(3):177-182, 1980.

CARRIJO, I.V.; CHAVES, G.M.; SEDIYAMA, C.S. Análise da resistência de vinte e cinco cultivares de *Phaseolus vulgaris* L. a *Uromyces phaseoli* var. *typica* Arth. Fitopatologia Brasileira, Brasília, 4:265-279, 1979.

CODE, J.L.; IRWIN, J.A.G.; BARNES, A. Comparative etiological and epidemiological studies on rust diseases of *Phaseolus vulgaris* and *Macroptilium atropurpureum*. Aust. J. Bot., Melbourne, 33:147-57, 1985.

COELHO, R.S.B. & CHAVES, G.M. Comparação de dois métodos de amostragem na identificação de raças de *Uromyces phaseoli typica* Arth.. Experientiae, Viçosa, 17(8):149-186, 1975.

COHEN, Y. & ROTEM, J. The relationship of sporulation to photosynthesis in some obligatory and facultative parasites. Phytopathology, St. Paul, 60:1600-1604, 1970.

COLHOUN, J. Effects of environmental factors on plant disease. Ann. Review of Phytopathology, Palo Alto, 11:343-364, 1973.

COSTA, A.S. Investigações sobre moléstias do feijoeiro no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FEIJÃO, I, Campinas, 1971. Anais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1972. 2º Vol., p.305-386.

- COSTA, A.F. & MIRANDA, P. Índices de prejuízos em diferentes cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) causados pela ferrugem (*Uromyces phaseoli* var. *typica* Arth.) em Pernambuco. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, I, Goiânia, 1982. Anais. Goiânia, EMBRAPA, 1982. p. 280-282.
- COSTA, A.F.; MIRANDA, P.; MAFRA, R.C. Levantamento e estudo das principais doenças do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) no estado de Pernambuco. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, I, Goiânia, 1982. Anais. Goiânia, EMBRAPA, 1982. p.278-280.
- CURTIS, C.R. Effect of light on the germination of *Uromyces phaseoli* uredospores. Phytopathology, St. Paul, 56(11): 1316-1317, 1966.
- DAVISON, A.D. & VAUGHAN, E.K. A simplified method for identification of races of *Uromyces phaseoli* var. *phaseoli*. Phytopathology, St. Paul, 53:456-459, 1963.
- FERRANDINO, F.J. & AYLOR, D.E. Relative abundance and deposition gradients of clusters of urediniospores of *Uromyces phaseoli*. Phytopathology, St. Paul, 77:107-111, 1987.

- GALVÃO, M.S.N. & MENTEN, J.O.M. Metodologia de inoculação de *Uromyces appendiculatus* (Pers.)Ung. em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) para avaliação de componentes monocíclicos da resistência. Revista de Agricultura, Piracicaba, 62(2):171-183, 1987.
- GERSBECK, B. & SCHONBECK, F. Zur Sporulation und Infektiosität von *Uromyces phaseoli* in Abhängigkeit von Befallsdichte und Umweltfaktoren. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Stuttgart, 95(5):518-525, 1988.
- GONZÁLES-ÁVILA, M. & CASTELLANOS-LINARES, J.J. Influencia de diferentes estadios del cultivo del frijol en el desarrollo de la roya. Ciencias de la Agricultura, La Habana, 9:3-6, 1984.
- GONZÁLES-ÁVILA, M.; GUERRA-MALVÁREZ, A.G.; SOTO, L. Componentes de la resistencia que limitan el desarrollo de la infección por roya en el frijol. Ciencias de la Agricultura, La Habana, 31:11-13, 1987.
- GROTH, J.V. & MOGEN, B.D. Completing the life cycle of *Uromyces phaseoli* var. *typica* on bean plants. Phytopathology, St. Paul, 68:1674-1677, 1978.

- GROTH, J.V. & RAMA RAJE URS, N.V. Differences among bean cultivars in receptivity to *Uromyces phaseoli* var. *typica*. Phytopathology, St. Paul, 72:374-378, 1982.
- HART, H. & FORBES, I. L. The effect of light on the initiation of rust infection. Phytopathology, St. Paul, 25:715-725, 1935.
- HAU, B.; EISENSMITH, S.P.; KRANZ, J. Construction of Temporal Models: II. Simulation of Aerial Epidemics. In: GILLIGAN, C.A., ed. Advances in Plant Pathology-Mathematical Modelling of Crop Disease. London, Academic Press Inc., 1985. V.3, p.31-65.
- HAU, B. & KRANZ, J. Mathematics and Statistics for Analyses in Epidemiology. In: KRANZ, J., ed. Epidemics of Plant Diseases. Berlin, Spring-Verlag, 1990. p.12-52.
- HUBER, L. & GILLESPIE, T.J. Modeling leaf wetness in relation to plant disease epidemiology. Ann. Rev. Phytopathol., Palo Alto, 30:553-77, 1992.
- HUBER, L. & ITIER, B. Leaf wetness duration in a field bean canopy. Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam, 51: 281-292, 1990.

- IAMAMOTO, T.; CAMPACCI, C.A.; SUZUKI, U.; OI, A. Controle da ferrugem do feijão vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) ocasionada pelo fungo *Uromyces phaseoli* var. *typica* Arth. O Biológico, São Paulo, 37:266-271, 1971.
- IMHOFF, M.W.; LEONARD, K.J.; MAIN, C.E. Analysis of disease progress curves, gradients, and incidence-severity relationships for field and phytotron bean rust epidemics. Phytopathology, St. Paul, 72:72-80, 1982a.
- IMHOFF, M.W.; LEONARD, K.J.; MAIN, C.E. Patterns of bean rust lesion size increase and spore production. Phytopathology, St. Paul, 72:441-446, 1982b.
- IMHOFF, M.W.; MAIN, C.E.; LEONARD, K.J. Effect of temperature, dew period, and age of leaves, spores, and source pustules on germination of bean rust urediospores. Phytopathology, St. Paul, 71:577-583, 1981.
- ISSA, E.; BASTOS CRUZ, B.P.; WATTANABE, K.; ARRUDA, H.V. Danos produzidos por doenças do feijoeiro *Phaseolus vulgaris* L. Biológico, São Paulo, 46(7):135-140, 1980.
- ISSA, E. & OLIVEIRA, D.A. Resistência de variedades de feijão, *Phaseolus vulgaris* L., do estado de São Paulo, a algumas enfermidades. Biológico, São Paulo, 51(7):175-179, 1985.

- KARDIN, M.K. & GROTH, J.V. Density dependent fitness interactions in the bean rust fungus. Phytopathology, St. Paul, 79:409-412, 1989.
- KRANZ, J. Epidemiological Parameters of Plant Resistance. In: LAMBERTI, F.; WALLER, J.M.; VAN DER GRAAF, N.A., eds.. Durable Resistance in Crops. New York, Plenum Press, 1983. p.141-161.
- KRANZ, J. Epidemiology, Concepts and Scope. In: RAYCHAUDHURI, S.P. & VERMA, F. P., eds.. Current Trends in Plant Pathology. Lucknow University Botany Department, 1974. p.26-32.
- KRANZ, J. & HAU, B. Systems analysis in epidemiology. Ann. Rev. Phytopathol., Palo Alto, 18:67-83, 1980.
- KUSHALAPPA, A.C. & SANTOS, D.P. An improved method to determine cumulative proportions of disease and of host, to calculate growth rates. Fitopatologia Brasileira, Brasília, 6:409-415, 1981.
- KUSHALAPPA, A.C.; SANTOS, D.P.; AKUTSU, M.; LUDWIG, A.; EUCLIDES, R.F. Patterns of host growth and rust progress curves in bean and coffee. Fitopatologia Brasileira, Brasília, 9:45-49, 1984.
- LARGE, E.C. Measuring plant disease. Annual Review of Phytopathology, Palo Alto, 4:9-28, 1966.

LIVNE, A. & DALY, J.M. Translocation in healthy and rust-affected beans. Phytopathology, St. Paul, 56:170-175, 1966.

LLANILLO, R.F. & GUERREIRO, E. Panorama da Produção Paranaense de Feijão. In: IAPAR. O Feijão no Paraná. Londrina, IAPAR, 1989. Circular 63, p.9-23.

LOMAS, J. & SHASHOUA, Y. The performance of three types of leaf-wetness recorders. Agricultural Meteorology, Amsterdam, 7:159-166, 1970.

MAFFIA, L.A.; BERGER, R.D.; KHURI, A.I.; DAVOLI, T.A. Progresso da ferrugem do feijoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 19, Brasília, 1986. Fitopatologia Brasileira, Brasília, 11:383, 1986. (Resumo)

MARIOT, E.J. Ecofisiologia do Feijoeiro. In: IAPAR. O Feijão no Paraná. Londrina, IAPAR, 1989. Circular 63, p.25-41.

MENDES, B.M.J. Influência da temperatura e do tipo de folha na quantificação de parâmetros epidemiológicos monocíclicos da ferrugem do feijoeiro (*Uromyces phaseoli* var. *typica* ARTH.). Piracicaba, 1985. 83p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)

- MENDES, B.M.J. Influência de parâmetros de clima e do hospedeiro no desenvolvimento da ferrugem do feijoeiro (*Uromyces phaseoli* var. *typica* Arth.). Piracicaba, 1987. 102p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)
- MENDES, B.M.J. & BERGAMIN FILHO, A. Adaptação da técnica da cultura de folha destacada para a quantificação dos parâmetros epidemiológicos monocíclicos da ferrugem do feijoeiro (*Uromyces phaseoli* var. *typica*). Fitopatologia Brasileira, Brasília, 11:103-114, 1986.
- MENDES, B.M.J. & BERGAMIN FILHO, A. Análise da curva de progresso da ferrugem do feijoeiro (*Uromyces phaseoli* var. *typica*) em condições naturais de infecção. Fitopatologia Brasileira, Brasília, 15:314-317, 1990a.
- MENDES, B.M.J. & BERGAMIN FILHO, A. Influence of temperature, wetness duration, and leaf type on the quantification of monocyclic parameters of bean rust. J. Phytopathology, Berlin, 126:183-189, 1989a.
- MENDES, B.M.J. & BERGAMIN FILHO, A. Influência da idade da folha na quantificação dos parâmetros monocíclicos da ferrugem do feijoeiro (*Uromyces phaseoli* var. *typica*). Fitopatologia Brasileira, Brasília, 14:26-28, 1989b.

- MENDES, B.M.J. & BERGAMIN FILHO, A. Período infeccioso e esporulação de *Uromyces phaseoli* var. *typica*. Fitopatologia Brasileira, Brasília, 15:54-57, 1990b.
- MENTEN, J.O.M. Avaliação de resistência horizontal e vertical e de tolerância do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) a *Uromyces appendiculatus*. Piracicaba, 1980. 213p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- MENTEN, J.O.M. Utilização de resistência horizontal no melhoramento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista da Agricultura, Piracicaba, 62(3):259-271, 1987.
- MMBAGA, M.T. & STAVELY, J.R. Pathogenic variability in *Uromyces appendiculatus* from Tanzania and rust resistance in Tanzania bean cultivars. Plant Disease, St. Paul, 72: 259-262, 1988.
- MMBAGA, M.T. & STEADMAN, J.R. Adult plant rust resistance associated with leaf pubescence in common bean. Plant Disease, St. Paul, 76(12):1230-1236, 1992.
- MORENO, R.A. & MORA, L.E. Cropping pattern and soil management influence on plant diseases: II. Bean rust epidemiology. Turrialba, Turrialba, 34(1):41-45, 1984.

- NASSER, L.C.B. Efeito da ferrugem em diferentes estádios de desenvolvimento do feijoeiro e dispersão de esporos de *Uromyces phaseoli* var. *typica*. Viçosa, 1976. 79p.
(Mestrado - Universidade Federal de Viçosa)
- OLIVEIRA, S.H.F.; BARROS, B.C.; CASTRO, J.C. Avaliação do efeito de fungicidas no controle de doenças da parte aérea e na qualidade das sementes de feijoeiro. Summa Phytopathologica, Jaguariúna, 18(2):178-184, 1992.
- PAIVA, S.B.; MENDES, B.M.J.; MENTEN, J.O.M.; BERGAMIN FILHO, A. Gompertz: O modelo matemático mais adequado para a cinética de crescimento da ferrugem do feijoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 17, São Paulo, 1984. Fitopatologia Brasileira, Brasília, 2:333, 1984. (Resumo)
- PIZA, S.M.T. & MENTEN, J.O.M. Avaliação e seleção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) para resistência horizontal a *Uromyces appendiculatus* (Pers.)Ung. através de parâmetros monocíclicos. Revista de Agricultura, Piracicaba, 62(3): 247-255, 1987.
- PLAUT, J.L. & BERGER, R.D. Infection rates in three pathosystem epidemics initiated with reduced disease severities. Phytopathology, St. Paul, 71:917-921, 1981.

- POPULER, C. Changes in Host Susceptibility with Time. In: HORSFALL, J.G. & COWLING, E.B., eds.. Plant Disease - An Advanced Treatise. London, Academic Press, 1978. Vol.II, p.239-262.
- PRING, R.J. A fine-structural study of the infection of leaves of *Phaseolus vulgaris* by uredospores of *Uromyces phaseoli*. Physiological Plant Pathology, London, 17:269-276, 1980.
- REY, J.V.G. & LOZANO, J.C.T. Estudios fisiologicos de la roya del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) causada por el *Uromyces phaseoli* var. *typica* Arth. Acta Agronomica, Pal-mira , XI(3-4):147-183, 1961.
- ROLIM, P.R.R.; BRIGNANI NETO, F.; ROSTON, A.J.; OLIVEIRA, D.A. Controle químico das doenças do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) I. Ferrugem (*Uromyces phaseoli* (Pers.) Wint. var. *typica* Arth.). Biológico, São Paulo, 47(7):201-205, 1981.
- ROTEM, J. Climatic and Weather Influences on Epidemics. In: HORSFALL, J.G. & COWLING, E.B., eds.. Plant Disease - An Advanced Treatise. New York, Academic Press, 1978. Vol.II, p.317-337.

- ROTEM, J. Techniques of Controlled-Condition Experiments.
In: KRANZ, J. & ROTEM, J., eds. Experimental Techniques in Plant Disease Epidemiology. Berlin, Springer-Verlag, 1988. p.19-31.
- ROTEM, J.; COHEN, Y.; BASHI, E. Host and environmental influences on sporulation in vivo. Ann. Rev. Phytopathology, Palo Alto, 16:83-101, 1978.
- SCHEIN, R.D. Age-correlated changes in susceptibility of bean leaves to *Uromyces phaseoli* and tobacco mosaic virus. Phytopathology, St. Paul, 55:454-457, 1965.
- SCHEIN, R.D. Some effects of temperature during the colonization period of bean rust. Phytopathology, St. Paul, 51:674-680, 1961.
- SCHEIN, R.D. & ROTEM, J. Temperature and humidity effects on uredospore viability. Mycologia, Lancaster, 57:397-403, 1965.
- SEGUNDO DONGO, D. Control quimico de la roya (*Uromyces phaseoli* - *typica*) del frijol. Investigaciones Agropecuarias, Lima, II(1):23-27, 1971.
- SHAIK, M. & STEADMAN, J.R. The effect of leaf developmental stage on the variation of resistant and susceptible reactions of *Phaseolus vulgaris* to *Uromyces appendiculatus*. Phytopathology, St. Paul, 79:1028-1035, 1989.

- SHRINER, D.S. Effects of simulated acidic rain on host-parasite interactions in plant diseases. Phytopathology, St. Paul, 68:213-218, 1978.
- SILVA, M.B. Progresso da ferrugem do feijoeiro em Viçosa, Minas Gerais. Viçosa, 1992. 51p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).
- STAPLES, R.C. The development of infection structures by the rusts and other fungi. Microbiological Sciences, Oxford, 2(7):193-198, 1985.
- STAVELY, J.R. Pathogenic specialization in *Uromyces phaseoli* in the United States and rust resistance in beans. Plant Disease, St. Paul, 68:95-99, 1984.
- STAVELY, J.R. Rust In: HALL, R., ed.. Compendium of Bean Diseases. St. Paul, APS Press, 1991. p.24-25.
- STAVELY, J.R.; STEADMAN, J.R.; MC MILLAN, R.T. Jr. New pathogenic variability in *Uromyces appendiculatus* in North America. Plant Disease, St. Paul, 73:428-432, 1989.
- SUTTON, J.C. Predictive value of weather variables in the epidemiology and management of foliar diseases. Fitopatologia Brasileira, Brasília, 13(4):305-312, 1988.

- SUTTON, J.C.; GILLESPIE, T.J.; HILDEBRAND, P.D. Monitoring weather factors in relation to plant disease. Plant Disease, St. Paul, 68(1):78-84, 1984.
- SZIRÁKI, I.; MUSTÁRDY, L.A.; FALUDI-DÁNIEL, Á.; KIRÁLY, Z. Alterations in chloroplast ultrastructure and chlorophyll content in rust-infected Pinto Beans at different stages of disease development. Phytopathology, St. Paul, 74:77-84, 1984.
- TORRE, A.R. de la; BAUER, L.I.; CÁRDENAS, E. Determinacion de algunos componentes de resistencia en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a la roya (*Uromyces phaseoli* (Reb.) Wint.). Agrociencia, Chapingo, 67:173-185, 1987.
- WALLIN, J.R. Agrometeorological aspects of dew. Agricultural Meteorology, Amsterdam, 4:85-102, 1967.
- WILSON, E.M. Aspartic and glutamic acid as self-inhibitors of uredospore germination. Phytopathology, St. Paul, 48:595-600, 1958.
- YARWOOD, C.E. Uredospore production by *Uromyces phaseoli*. Phytopathology, St. Paul, 51:22-27, 1961.
- YEH, C.C. Screening common beans for rust resistance and physiological races of bean rust fungus in Taiwan. Journal of Agricultural Research of China, Taipei, 32(3):259-269, 1983.

ZAITER, H.Z.; COYNE, D.P.; CLARK, R.B.; STEADMAN, J.R.

Medium pH and leaf nutrient concentration influence rust pustule diameter on leaves of dry beans. HortScience, Mt. Vernon, 26(4):412-414, 1991.

ZAITER, H.Z.; COYNE, D.P.; STEADMAN, J.R. Coinoculation effects of the pathogens causing common bacterial blight, rust, and bean common mosaic in *Phaseolus vulgaris*. J. Amer. Soc. Hort. Sci., Alexandria, 115(2):319-323, 1990.

ZAMBOLIM, L.; CHAVES, G.M.; MARTINS, M.C.del P. Aspectos das principais doenças do feijão no Estado de Minas Gerais. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 8(90):20-29, 1982.

ZAMBOLIM, L.; RODRIGUES, C.H.; MARTINS, M.C.del P. Controle da ferrugem do feijoeiro com fungicidas protetores e sistêmicos. Seiva, Viçosa, 45(95):1-16, 1985.

ZULU, J.N. & WHEELER, B.E.J. The importance of host factors of beans (*Phaseolus vulgaris*) on the control of rust (*Uromyces appendiculatus*). Trop. Agric., Trinidad, 59(3): 235-238, 1982.