

**INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS DE CLIMA E DO  
HOSPEDEIRO NO DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM  
DO FEIJOEIRO (*Uromyces phaseoli* VAR. *typica* ARTH.)**

**BEATRIZ MADALENA JANUZZI MENDES**

**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.**

**PIRACICABA  
Estado de São Paulo - Brasil  
Junho - 1987**

Aos meus pais

*Célio e Cidinha*

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

Expresso meus agradecimentos às instituições e pessoas que direta ou indiretamente, colaboraram com a realização deste trabalho, em especial as relacionadas a seguir:

- Ao Prof. Dr. Armando Bergamin Filho, do Departamento de Fitopatologia da E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP.
- Ao Prof. Dr. Hiroshi Kimati, do Departamento de Fitopatologia da E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP.
- Ao Prof. Dr. Décio Barbin, do Departamento de Matemática e Estatística da E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP.
- Ao Prof. Dr. José Carlos Ometto e ao Prof. Dr. Nilson A. Villa Nova, do Departamento de Física e Meteorologia da E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP.
- Ao Dr. Akihiko Ando e ao Dr. Augusto Tuimann Neto da Seção de Radiogenética, do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP.
- Ao Funcionário Pedro da Silva, do Departamento de Fitopatologia da E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP.
- Aos Funcionários Benedita Inês F.P.Rodrighes, José Benedito Alves, Paulo Cassieri Neto e Wlamir A. Godoy, da Seção de Radiogenética, do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP.

- À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).
- Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP).

A todos os membros, professores, alunos e funcionários do Departamento de Fitopatologia da E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP.

## ÍNDICE

	Página
LISTA DE TABELAS .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	x
RESUMO .....	xii
SUMMARY .....	xiv
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1. A Ferrugem do Feijoeiro .....	3
2.2. Fatores que Afetam o Desenvolvimento da Cadeia de Infecção .....	7
2.2.1. Temperatura .....	8
2.2.2. Umidade .....	12
2.2.3. Estádio de Desenvolvimento do Hospedeiro .....	18
2.3. O Uso de Modelos de Simulação em Epidemiologia .....	21
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	25
3.1. Linhagens de Feijoeiro Utilizadas .....	25
3.2. Ensaíos em Câmara de Crescimento .....	26
3.2.1. Obtenção e manutenção do isolado monopus- tular de <i>U. phaseoli</i> var. <i>typica</i> .....	26
3.2.2. Método de inoculação de <i>U. phaseoli</i> var. <i>typica</i> e quantificação de parâmetros mo- nocíclicos de resistência .....	27
3.2.3. Quantificação dos parâmetros monocíclic- cos em folhas primárias e trifoliadas de feijoeiro, a 25°C .....	28

3.2.4. Quantificação dos parâmetros monocíclicos em folhas primárias e trifoliadas de feijoeiro, de diferentes idades .....	29
3.2.5. Efeito do número de horas de câmara úmida e temperatura na frequência de infecção .....	30
3.3. Ensaio em Condições de Campo .....	32
3.3.1. Determinação da área foliar do feijoeiro, considerando os diferentes tipos de folhas .....	32
3.3.2. Análise do progresso da doença no campo .....	33
4. RESULTADOS .....	36
4.1. Ensaio em Câmara de Crescimento .....	36
4.1.1. Quantificação dos parâmetros monocíclicos em folhas primárias e trifoliadas, a 25°C .....	36
4.1.2. Quantificação dos parâmetros monocíclicos em folhas primárias e trifoliadas de feijoeiro, de diferentes idades .....	38
4.1.3. Efeito do número de horas de câmara úmida e temperatura na frequência de infecção .....	44
4.2. Ensaio de Campo .....	49
4.2.1. Determinação da área foliar do feijoeiro, considerando os diferentes tipos de folha .....	49
4.2.2. Determinação da curva de progresso da doença .....	58
5. DISCUSSÃO .....	61
5.1. Temperatura .....	64
5.2. Umidade .....	67

5.3. Estádio de Desenvolvimento do Hospedeiro .....	70
5.4. Desenvolvimento do feijoeiro .....	73
5.5. Análise do Progresso da Doença no Campo .....	76
6. CONCLUSÕES .....	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	83
APÊNDICE .....	101

## LISTA DE TABELAS

Tabela nº		Página
1	Período de incubação, período latente e frequência de infecção, considerando as linhagens Rosinha e Carioca, em folhas primárias e trifoliadas jovens, à 25°C (média de 5 repetições) .....	37
2	Influência da temperatura no período de incubação, período latente e frequência de infecção .....	38
3	Efeito da idade da folha primária, na quantificação do período de incubação, período latente e frequência de infecção, na linhagem Rosinha (média de 4 repetições) .....	39
4	Efeito da idade da folha trifoliada, na quantificação do período de incubação, período latente e frequência de infecção, na linhagem Rosinha (média de 4 repetições) .....	39
5	Efeito da idade da folha primária, na quantificação do período de incubação, período latente e frequência de infecção, na linhagem Carioca (média de 4 repetições) .....	40
6	Efeito da idade da folha trifoliada, na quantificação do período de incubação, período latente e frequência de infecção, na linhagem Carioca (média de 4 repetições). .....	40



7	Efeito do número de horas de câmara úmida na frequência de infecção, considerando a linhagem Rosinha, a 21°C (média de 3 repetições) .....	44
8	Efeito do número de horas de câmara úmida e temperatura na frequência de infecção, para a linhagem Rosinha (média de 3 repetições) .....	45
9	Efeito do número de horas de câmara úmida e temperatura na frequência de infecção, para a linhagem Carioca (média de 3 repetições) .....	46
10	Área foliar (mm <sup>2</sup> ) de uma planta de feijoeiro, no período de 04/04/85 a 13/05/85, e as porcentagens correspondentes a cada tipo de folha, para a linhagem Rosinha .....	50
11	Área foliar (mm <sup>2</sup> ) de uma planta de feijoeiro, no período de 04/04/85 a 13/05/85, e as porcentagens correspondentes a cada tipo de folha, para a linhagem Carioca .....	51
12	Área foliar (mm <sup>2</sup> ) de uma planta de feijoeiro, no período de 05/08/85 a 23/09/85, e as porcentagens correspondentes a cada tipo de folha, para a linhagem Rosinha .....	54
13	Área foliar (mm <sup>2</sup> ) de uma planta de feijoeiro, no período de 05/08/85 a 23/09/85, e as porcentagens correspondentes a cada tipo de folha, para a linhagem Carioca .....	55

## LISTA DE FIGURAS

Figura nº	Página
1	Período de incubação em folhas primárias e trifoliadas, das linhagens Rosinha e Carioca, com cinco idades diferentes ..... 41
2	Período latente em folhas primárias e trifoliadas das linhagens Rosinha e Carioca, com cinco idades diferentes ..... 42
3	Frequência de infecção em folhas primárias e trifoliadas, das linhagens Rosinha e Carioca, com cinco idades diferentes ..... 43
4	Frequência de infecção em relação ao número de horas de câmara úmida, sob as temperaturas de 17, 21 e 25°C, para a linhagem Rosinha ..... 47
5	Frequência de infecção em relação ao número de horas de câmara úmida, sob as temperaturas de 17, 21 e 25°C, para a linhagem Carioca ..... 48
6	Curva de crescimento do feijoeiro considerando-se área foliar das folhas primárias (P) e trifoliadas (T) da haste principal, para a linhagem Rosinha ..... 52
7	Curva de crescimento do feijoeiro considerando-se a área foliar das folhas primárias (P) e trifoliadas (T) da haste principal, para a linhagem Carioca .... 53

Figura nº	Página
8	Curva de crescimento do feijoeiro considerando-se a área foliar das folhas primárias (P), trifoliadas da haste principal (T) e trifoliadas dos nós (Nó), para a linhagem Rosinha ..... 56
9	Curva de crescimento do feijoeiro considerando-se a área foliar das folhas primárias (P), trifoliadas da haste principal (T) e trifoliadas dos nós (Nó), para a linhagem Carioca ..... 57
10	Curvas de progresso da doença para as linhagens Rosinha e Carioca, considerando os valores das temperaturas máxima e mínima diárias, o número de horas de orvalho e a quantidade de chuva, para o plantio de JUNHO/86 ..... 59
11	Curvas de progresso da doença para as linhagens <u>R</u> osinha e Carioca, considerando os valores das temperaturas máxima e mínima diárias, o número de horas de orvalho e a quantidade de chuva, para o plantio de SETEMBRO/86 ..... 60

*Parâmetros*  
INFLUÊNCIA DE ~~FATORES~~ DO CLIMA E DO HOSPEDEIRO NO  
DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO FEIJÓEIRO  
(*Uromyces phaseoli* var. *typica*)

Beatriz Madalena Januzzi Mendes

Orientador: Prof.Dr. Armando Bergamin Filho

## RESUMO

Foram realizados experimentos com o objetivo de se estudar a influência da temperatura, umidade e estágio de desenvolvimento do hospedeiro na ocorrência da ferrugem do feijoeiro, através da quantificação dos parâmetros monocíclicos período de incubação, período latente e frequência de infecção, nas linhagens Rosinha e Carioca.

Os parâmetros foram quantificados à temperatura de 25°C e os resultados foram analisados conjuntamente com aqueles obtidos a 17 e 21°C. Foram testados oito períodos de molhamento da superfície foliar (4, 7, 10, 13, 16, 19, 22 e 25 horas) e cinco idades diferentes de folhas primárias e trifoliadas, no intervalo de 3 a 19 dias de idade. Foi verificado que a temperatura de 21°C é a mais favorável para a ocorrência da doença, onde os períodos de incubação e latente são mais curtos, quando comparados com os valores obtidos a 17 e 25°C; que é necessário, no mínimo, um período de quatro horas de orvalho para que ocorra a infecção e que folhas mais velhas são mais resistentes à infecção que folhas jovens.

Ao mesmo tempo foram realizados ensaios de campo para a determinação da área foliar do feijoeiro e da curva de progresso da doença, num ciclo de cultura. Observou-se que o feijoeiro desenvolve-se rapidamente atingindo um índice máximo de área foliar quarenta e cinco dias após a emergência, aproximadamente, e que o desenvolvimento da doença em condições de campo está condicionado à ocorrência de temperaturas amenas e períodos prolongados de orvalho.

Os dados obtidos nos experimentos em condições controladas de ambiente e em condições de campo serão utilizados no estabelecimento de equações matemáticas para a construção de um modelo de simulação de epidemias da ferrugem do feijoeiro

INFLUENCE OF CLIMATIC AND HOST FACTORS ON THE  
DEVELOPMENT OF BEAN RUST (*Uromyces phaseoli*  
var. *typica* Arth.)

Beatriz Madalena Januzzi Mendes

Adviser: Prof. Dr. Armando Bergamin Filho

SUMMARY

Experiments were carried out with the objective of studying the influence of temperature, humidity and stage of development of the host on the occurrence of bean rust, through the quantification of the monocyclic parameters incubation period, latent period and frequency of infection on Rosinha and Carioca lines. The parameters were quantified at the temperature of 25°C and the results were analyzed jointly with those obtained at 17 and 21°C. Eight periods of leaf surface wetting (4, 7, 10, 13, 16, 19, 22 and 25 hours) as well as five different ages of primary and trifoliate leaves in the range of 3 to 19 days of age were tested.

It was shown that the temperature of 21°C is the most favorable for the occurrence of the disease, where the incubation and latent periods are shorter, when compared with the values obtained at 17 and 25°C; that a minimal period of four hours of dew is required for the occurrence of infection, and that older leaves are more resistant to infection than younger leaves.

At the same time, field trials were conducted for determining bean leaf area and the disease progress curve, in a crop cycle. It was shown that bean plants develop rapidly, reaching a maximum leaf area index approximately forty five days after emergence, and that the development of the disease under field conditions is dependent upon the occurrence of mild temperatures and prolonged periods of dew.

The data obtained in the experiments carried out under controlled conditions and under field conditions will be used in establishing mathematical equations for constructing a simulation model of bean rust epidemics.

## 1. INTRODUÇÃO

Epidemiologia é a ciência que estuda a população do patógeno na população do hospedeiro e a doença resultante desta interação sob a interferência do ambiente e do homem (KRANZ, 1974a). Sabe-se que a ocorrência de epidemias está condicionada à existência de uma população de plantas hospedeiras que interage com uma população de unidades do patógeno (ZADOKS & SCHEIN, 1980) caracterizando, assim, a epidemiologia como uma ciência essencialmente de populações (VANDERPLANK, 1963).

A maioria dos trabalhos em epidemiologia de doenças de plantas estuda a população de lesões, determinando o número de pústulas por unidade de área, a proporção de área foliar doente ou a proporção de plantas hospedeiras doentes, ignorando o patógeno e o hospedeiro (JEGER, 1986). No entanto, para o entendimento dos fenômenos que ocorrem a nível de população é necessário que se realizem estudos a níveis inferiores de organização biológica (THORNLEY, 1980; ZADOKS & SCHEIN, 1980), isto é, estudos a nível de indivíduo, no caso, o patógeno e o hospedeiro, e até mesmo estudos a nível de órgãos como os diferentes tipos de folha



em seus diferentes estádios de desenvolvimento (AUST *et alii*, 1983; TENG, 1985; JEGER, 1986). Os estudos a nível de indivíduos e órgãos, normalmente, são quantificados através dos parâmetros monocíclicos (ZADOKS & SCHEIN, 1980), como o período de incubação, período latente, frequência de infecção, período infeccioso e produção de esporos (PARLEVLIET, 1979).

A integração dos dados obtidos nos estudos a nível de indivíduos e órgãos, através dos parâmetros monocíclicos, para que seja possível entender e explicar o sistema patógeno-hospedeiro e futuramente manejá-lo, pode ser feita através da construção de um modelo de simulação de epidemias (KRANZ & HAU, 1980; TENG, 1985). Os modelos de simulação de epidemias, já apresentados na literatura (WAGGONER & HORSFALL, 1969; KRANZ *et alii*, 1973; HAU *et alii*, 1983), utilizam a cadeia de infecção de GAUMANN como unidade de repetição para a simulação, onde as diferentes fases da cadeia de infecção são denominadas de variáveis de estado (KRANZ & HAU, 1980; TENG, 1985).

O presente trabalho tem por objetivo coletar dados, que juntamente com aqueles já existentes na literatura (IMHOFF *et alii*, 1981; 1982a; 1982b; MENDES, 1985), serão utilizados para a construção de um modelo de simulação de epidemias da ferrugem do feijoeiro. Foram quantificados os parâmetros monocíclicos período de incubação, período latente e frequência de infecção, considerando-se o efeito da temperatura, do número de horas de orvalho e da idade das folhas. Ao mesmo tempo realizou-se experimentos de campo para determinação da curva de progresso da doença e da área foliar do hospedeiro durante o ciclo da cultura.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. A Ferrugem do Feijoeiro

A ferrugem do feijoeiro é causada por *Uromyces phaseoli* var. *typica* Arth. (ZAUMEYER & THOMAS, 1957), da classe *Basidiomycetes*, Ordem *Uredinales*, Família *Pucciniceae* (ALEXOPOULOS, 1979). É um fungo biotrófico, autóico, isto é, completa o seu ciclo biológico em um único hospedeiro, apresentando todos os tipos de esporos (macrocíclico): uredosporos, teliosporos, basidiosporos, picniosporos e aeciosporos (GROTH & MOGEN, 1978; SCOTT & CHAKRAVORTY, 1982). Essa doença foi relatada pela primeira vez na Alemanha, em 1795 (ZAUMEYER & THOMAS, 1957) e encontra-se distribuída por todas as regiões produtoras de feijão (ECHANDI, 1976; SCHWARTZ & GALVEZ, 1980), podendo infectar muitas espécies de *Phaseolus* como *P.acutifolius* var. *latifolius*, *P.adenanthus*, *P. anisotrichus*, *P. coccineus*, *P.dysophyllus*, *P.lunatus*, *P.obvallatus*, *P.polystachyus*, *P.retusus*, *P.simuatus* e *P.vulgaris* (ZAUMEYER & THOMAS, 1957).

A ferrugem ocorre principalmente nas folhas (KIMATI, 1980), mas em condições de alta severidade pode ser encontrada nos

pecíolos, ramos e vagens (VIEIRA, 1983). Os sintomas se iniciam na face inferior das folhas, com manchas puntiformes, esbranquiçadas, que em condições favoráveis aparecem cinco dias após a inoculação (YARWOOD, 1961; MENDES, 1985). Essas pústulas gradualmente vão aumentando de tamanho, rompendo a epiderme quando as frutificações do fungo amadurecem (8-9 dias após a inoculação), expondo os uredosporos (ZAUMEYER & THOMAS, 1957; KIMATI, 1980; VIEIRA, 1983). Os esporos produzidos comumente por *U. phaseoli* var. *typica* são os uredosporos, também chamados de esporos de verão (SCHWARTZ & GALVEZ, 1980). Os aeciosporos são raramente encontrados na natureza, mas GROTH & MOGEN (1978) demonstraram uma metodologia para a obtenção de todos os tipos de esporos de ferrugem do feijoeiro, em condições de laboratório.

*U. phaseoli* var. *typica* pode apresentar diversas gerações durante o ciclo do hospedeiro, de tal forma que uma planta infectada no início de seu ciclo servirá como fonte de inóculo para posteriores infecções do patógeno no mesmo ciclo da cultura, caracterizando-se, assim, sob o enfoque epidemiológico, como uma doença de juro composto ou de ciclo secundário (VANDERPLANK, 1963; BERGAMIN FILHO, 1978).

As recomendações para o controle da ferrugem do feijoeiro incluem desde práticas culturais como rotação de culturas e eliminação de restos de cultura, que visam diminuir o inóculo inicial ( $X_0$ ) (VANDERPLANK, 1963; SCHWARTZ & GALVEZ, 1980), até o uso de fungicidas e variedades resistentes que diminuiriam a taxa de aumento da doença ( $r$ ) (VANDERPLANK, 1963; KIMATI, 1980). Entre os produtos químicos, recomenda-se para o controle da ferrugem os fungicidas protetores como enxofre,

maneb e mancozeb (KIMATI, 1980) e os sistêmicos oxicarboxin e triforine, que podem apresentar atividade curativa quando aplicados até 6 dias após a inoculação da ferrugem (KIMATI, 1980; RODRIGUES, 1984). No entanto, sabe-se que o uso de variedades resistentes é o meio mais seguro e eficiente para o controle de ferrugem, principalmente através de variedades que possuem resistência horizontal (VANDERPLANK, 1963), isto é, variedades resistentes a todas as raças do patógeno, já que o fungo apresenta uma grande variabilidade patogênica. Estudos visando quantificar o nível de resistência horizontal em diversas variedades de feijoeiro, através da quantificação de parâmetros monocíclicos como período latente e frequência de infecção, indicam os genótipos IPA Comp 5/C-704; Roxo/C-743, Costa Rica/C-903, Carioca/C-224 (MENTEN, 1980) e Serra Negra Ag 497, Negrito 897, Vi 1010, Agrorrico (AZEVEDO & KUSHALAPPA, 1986) como os materiais mais resistentes.

Estudos sobre a epidemiologia da doença têm sido desenvolvidos por diversos autores, tanto em condições controladas de ambiente como em condições de campo (SCHEIN, 1963, 1965; MENTEN, 1980; IMHOFF *et alii*, 1981; 1982a; 1982b; MENDES, 1985). A ferrugem do feijoeiro, de maneira semelhante a outras ferrugens, se caracteriza por ser uma doença que ocorre em condições de temperaturas (SCHEIN, 1961), na faixa de 17-27°C. Estudos realizados em condições controladas de ambiente demonstraram que plantas inoculadas e mantidas na faixa de temperatura de 27-31°C não mostraram sintomas (SCHEIN, 1961; IMHOFF *et alii*, 1981).

Na determinação dos parâmetros monocíclicos período de incubação, período latente e frequência de infecção sob duas temperaturas (17-21°C) pôde-se verificar que a 21°C o período de incubação e o período latente são mais curtos, quando comparados com os valores obtidos a 17°C, o que indica ser 21°C uma temperatura mais favorável ao desenvolvimento da doença (MENDES, 1985; MENDES & BERGAMIN FILHO, 1985a). No entanto, em relação à frequência de infecção, verificou-se que a 17°C ocorre um aumento no número de lesões por folha, o que indica que temperaturas mais baixas podem retardar o desenvolvimento da doença (período latente mais longo), mas não evitá-lo (MENDES & BERGAMIN FILHO, 1985a). Uma análise mais detalhada sobre a influência da temperatura na infecção do feijoeiro por *U. phaseoli*, realizada por ALTEN (1983), indica que a incubação das folhas inoculadas a temperaturas mais elevadas (24°C) provoca uma desorientação do tubo germinativo, não ocorrendo a formação do apressório, o que resulta numa queda na frequência de infecção, quando comparado com folhas inoculadas e incubadas a 16°C.

Quanto à produção de esporos, sabe-se que a ferrugem do feijoeiro possui um padrão de esporulação do tipo intermitente, isto é, apresenta diversos picos de esporulação durante o período infeccioso (IMHOFF *et alii*, 1982b; MENDES & BERGAMIN FILHO, 1985b; BERGAMIN FILHO *et alii*, 1986) à semelhança de outras ferrugens que ocorrem em regiões tropicais como *Phakopsora pachyrhizi* (MELCHING *et alii*, 1979), *Puccinia arachidis* (SUBRAHMANYAM *et alii*, 1983b) e *Puccinia psidii* (CASTRO *et alii*, 1984). O número de esporos produzidos por lesão varia em função da temperatura, tendo-se obtido uma maior quantidade a 21 e 17°C quando

comparado com a produção a 25°C (IMHOFF *et alii*, 1982b; MENDES & BERGAMIN FILHO, 1985b). Independente da temperatura testada a produção de esporos sempre é mais elevada na face inferior das folhas (AUST *et alii*, 1984; MENDES, 1985).

A ocorrência da ferrugem do feijoeiro está associada não só a temperaturas da faixa 17-21°C mas também a condições de alta umidade relativa do ar e a longos períodos de molhamento nas folhas. HARTER & ZAUMEYER (1941) afirmam que esta doença está restrita a regiões onde ocorrem períodos de 8-10 horas com umidade relativa acima de 95%, e estudos mais recentes realizados por IMHOFF *et alii* (1982a) demonstram que períodos de orvalho inferiores a 3 horas não permitem a infecção.

A curva do progresso da doença pode ser obtida através de avaliações periódicas da severidade da doença, em condições de campo (MENTEN, 1980; MAFFIA *et alii*, 1986), sabendo-se que o modelo matemático de Gompertz é o que melhor se adapta à cinética de crescimento desta doença (PAIVA *et alii*, 1984; MAFFIA *et alii*, 1986). A curva de progresso pode mostrar quedas nos valores de severidade da doença numa determinada época, sendo este fato explicado principalmente devido a senescência de folhas com alta severidade da doença ou a um rápido crescimento do hospedeiro (IMHOFF *et alii*, 1982a).

## 2.2. Fatores que Afetam o Desenvolvimento da Cadeia de Infecção

Uma epidemia é definida como um sistema dinâmico que se desenvolve de acordo com as condições impostas pelas características do ambiente, hospedeiro e patógeno, sob a influência do homem (TENG & ZADOKS,

1980). O estudo dos parâmetros, que vão afetar a taxa de desenvolvimento do patógeno, é de grande importância tanto para o entendimento da evolução da doença no campo como para a construção de modelos de simulação de epidemias (TENG *et alii*, 1977; IMHOFF *et alii*, 1981; 1982b). Entre os parâmetros que mostraram maior influência no desenvolvimento da cadeia de infecção de patógenos de plantas destacam-se a temperatura, umidade e idade da planta.

### 2.2.1. Temperatura

O efeito da temperatura no desenvolvimento de microorganismos é muito estudado, tendo sido detectada sua influência em todas as fases do ciclo de infecção, desde a germinação dos esporos até a produção de novas unidades de reprodução. Sabe-se que, mesmo sendo a temperatura um fator crítico para o desenvolvimento da cadeia de infecção, temperaturas desfavoráveis para o desenvolvimento da doença no campo frequentemente inibem uma epidemia temporariamente, não proporcionando a erradicação do patógeno (ROTEM, 1978). Em condições de temperaturas diferentes do ótimo para o desenvolvimento do patógeno, a taxa de desenvolvimento da doença é reduzida, principalmente devido a um decréscimo no número de novas infecções e diminuição do inóculo, e o patógeno, que já se encontra no tecido infectado, continua seu desenvolvimento lentamente até que condições favoráveis de temperatura voltem a ocorrer (ROTEM, 1978; ZADOKS & SCHEIN, 1979).

Na primeira etapa da cadeia de infecção, que engloba as fases de germinação, crescimento do tubo germinativo, formação do apressório e penetração, a temperatura pode ter um papel limitante, pois

temperaturas aquêm e alêm dos valores mînimo e máximo requeridos para a infecção podem evitar o estabelecimento do patógeno. Assim, temos que temperaturas acima de 27°C não permitem a germinação dos esporos de um grande número de fungos fitopatogênicos (CASTOR *et alii*, 1977; ALLEN *et alii*, 1982; ALDERMAN & BEUTE, 1986). No sistema *Alternaria helianthi*-girassol (ALLEN *et alii*, 1982) a faixa de temperatura favorável para a germinação dos conídios  25-28°C, sendo que acima de 28°C ocorre uma queda brusca na germinação, chegando a valores próximos de zero em temperaturas acima de 35°C. Em outros sistemas, a faixa de temperatura onde se obtém o máximo de germinação dos conídios encontra-se um pouco abaixo do que no caso anterior, entre 18 e 26°C, como em *Phyllosticta maydis* - milho (CASTOR *et alii*, 1977), onde o máximo de germinação está ao redor de 18-20°C; em *Cerospora arachidicola* - amendoim (ALDERMAN & BEUTE, 1986) onde a porcentagem máxima de germinação dos conídios e o maior desenvolvimento do tubo germinativo ocorrem a 24°C e em *Botrytis squamosa* - cebola (ALDERMAN & LACY, 1983) onde a 20°C 78% dos conídios germinam.

No entanto, a melhor temperatura para germinação dos esporos nem sempre coincide com a temperatura ótima para colonização e expressão dos sintomas. Esse fato pode ser exemplificado pelo sistema *Puccinia coronata avenae* - aveia (POLITOWSKI & BROWNING, 1975) onde a germinação dos esporos e a formação do apressório ocorrem na mesma proporção nas temperaturas de 10-26,5°C, enquanto que a porcentagem de esporos que penetra o hospedeiro e resulta em pústulas  maior na faixa de temperatura de 15,5-21°C. O intervalo de temperatura onde se obtém o



maior número de lesões também é menor do que o intervalo de temperatura para germinação dos esporos no sistema *Phyllosticta maydis* - milho (CASTOR *et alii*, 1977), onde a germinação da maioria dos esporos ocorre entre 12-24°C e o maior número de infecções só é obtido sob temperaturas na faixa de 16-20°C.

Para o caso específico da ferrugem do feijoeiro foi observado que a germinação dos uredosporos ocorre entre 10-25°C, encontrando-se a porcentagem máxima de germinação na faixa de 17,5-22,5°C, e que temperaturas de 4°C e 27,5°C impedem a germinação (IMHOFF *et alii*, 1981). Estudos realizados por ALTEN (1983) fornecem, com maiores detalhes, dados sobre o efeito da temperatura no processo de infecção de *U. phaseoli* em feijoeiro, informando que não existem diferenças significativas na porcentagem de germinação dos uredosporos às temperaturas de 16-24°C, mas a formação de apressório, nos esporos germinados, ocorre com maior frequência a 20°C do que a 16 e 24°C. Quanto ao número de lesões resultantes, tem-se que a 16°C a frequência de infecção é, significativamente, maior que a 24°C.

A influência da temperatura na quantificação dos parâmetros monocíclicos de resistência como período latente, frequência de infecção, período infeccioso e produção de esporos, tem sido estudada em diversos sistemas patógeno-hospedeiro, já que esses dados são de grande utilidade na construção de modelos de simulação de epidemias (ZADOKS & SCHEIN, 1979). Observou-se que aumentando-se a temperatura de 10 para 20°C ocorre uma diminuição no valor do período latente de, aproximadamente, dois dias para os patógenos *Puccinia hordei* (TENG & CLOSE, 1978);

*Venturia inaequalis* (TORMELIN & JONES, 1983); *Alternaria helianthi* (ALLEN *et alii*, 1982); *Septoria nodorum* (SHEARER & ZADOKS, 1972; AUST & HAU, 1981); *Puccinia recondita tritici* (TORMELIN *et alii*, 1983) e *Puccinia striiformis* (McGREGOR & MANNERS, 1985). É interessante notar que temperaturas abaixo do mínimo requerido para o desenvolvimento do patógeno normalmente fazem com que o período latente se prolongue o que pode ser interpretado, epidemiologicamente, como um fator de sobrevivência do micorganismo (ZADOKS & SCHEIN, 1979).

Quanto à frequência de infecção, tem-se que para o sistema *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei* - cevada (HAU *et alii*, 1983), o número de lesões por folha aumenta em função da temperatura até 20°C, diminuindo rapidamente em temperaturas mais elevadas. Já os sistemas *Alternaria helianthi* - girassol (ALLEN *et alii*, 1982) e *Diaporthe phaseolorum* - soja (PLOETZ & SHOKES, 1986) caracterizam-se por exibirem valores máximos de infecção em temperaturas na faixa de 26-34°C.

O período infeccioso e principalmente a produção de esporos são afetados pela temperatura, tendo-se que no intervalo de 10-25°C a taxa de esporulação aumenta diretamente com a temperatura para os patógenos *P. hordei* (TENG & CLOSE, 1978); *Sphaerotheca fuliginea* (BASHI, 1980) e *P. striiformis* (McGREGOR & MANNERS, 1985). No sistema *Erysiphe graminis hordei* - cevada (AUST, 1981) a produção de esporos aumenta até a temperatura de 14°C, decrescendo após. Para *U. phaseoli* (IMHOFF *et alii*, 1982b) foi observado a existência de uma temperatura ótima para esporulação ao redor de 21°C, ocorrendo um decréscimo nos valores tanto

a 16°C como a 24°C. MENDES & BERGAMIN FILHO (1985b), trabalhando com o mesmo patógeno, obtiveram um período infeccioso mais longo (19 dias) à temperatura de 21°C, comparando-se com os valores a 17°C (13 dias) e a 25°C (11 dias). Quanto à produção diária de esporos, os mesmos autores relatam que a produção máxima ocorreu a 17°C, diminuindo a 21 e 25°C.

### 2.2.2. Umidade

A importância da umidade no crescimento e desenvolvimento de microorganismos, como os fungos, é bem conhecida pelo homem, sendo que este parâmetro é muitas vezes determinante da ocorrência epidêmica de uma doença numa determinada cultura. Para a epidemiologia de doenças de plantas são três as principais formas de ocorrência de umidade na cultura: orvalho, chuva e água de irrigação (ROTEM & REICHERT, 1964; ROTEM, 1978; VAN DER WAL, 1978). Destes, a presença de orvalho parece ser de grande importância na ocorrência da doença, já que a maioria dos patógenos necessita de água livre na superfície foliar para germinação e penetração no hospedeiro (ZADOKS & SCHEIN, 1979). Assim, a presença ou ausência de orvalho pode permitir ou paralisar o desenvolvimento da cadeia de infecção, principalmente em uma destas duas fases (MASSIE *et alii*, 1973; ZADOKS & SCHEIN, 1979; GROVE *et alii*, 1985a, 1985b; ROYLE & BUTLER, 1986).

No entanto, até recentemente, muitos trabalhos de fitopatologia referiam-se à umidade relativa do ar e às chuvas como os principais elementos que proporcionam umidade à cultura, influenciando no desenvolvimento de doenças. Isto se deve principalmente ao fato de que a

determinação da umidade relativa do ar e da precipitação pluviométrica ser uma atividade de rotina em meteorologia e não pela relação direta desses fatores com a cadeia de infecção (VAN DER WAL, 1978). Mas, a constatação de que existem alguns parâmetros de clima que são mais importantes para os epidemiologistas de doenças de plantas do que para os meteorologistas, como por exemplo a formação de orvalho e o número de horas que o orvalho se mantém na superfície foliar (KRANZ, 1974a) ocorreu principalmente após os trabalhos realizados em regiões semi-áridas onde o orvalho é a única fonte de água livre na superfície das folhas, pois a quantidade de chuvas na estação de cultivo é baixa (ROTEM & REICHERT, 1964; BASHI & ROTEM, 1974).

Estudos que visam a determinação do número mínimo de horas de molhamento para a germinação de esporos de fungos fitopatogênicos na superfície foliar têm demonstrado que esse processo ocorre num espaço de tempo pequeno, onde um período de duas a cinco horas de molhamento foi suficiente para a germinação dos esporos de *Puccinia coronata avenae* (POLITOWSKI & BROWNING, 1975), *Phyllosticta maydis* (CASTOR *et alii*, 1977), *Uromyces phaseoli* (IMHOFF *et alii*, 1982b), *Puccinia polysora* (HOLLIER & KING, 1985) e *Cercospora arachidicola* (ALDERMAN & BEUTE, 1986). Mas a continuidade do processo de infecção, isto é, o crescimento do tubo germinativo, a formação do apressório e a infecção propriamente dita, requer um maior número de horas de água livre na superfície foliar. Assim, no caso de *Puccinia coronata avenae* - aveia (POLITOWSKI & BROWNING, 1975), apesar da maioria dos uredosporos germinar em duas horas, a porcentagem de uredosporos com apressório nesse período é bastante

baixa e nenhuma infecção ocorre com menos de quatro horas de orvalho. Também no sistema *Phyllosticta maydis* - milho (CASTOR *et alii*, 1977) a maioria dos esporos germina com 3,5 horas de orvalho mas um número significativo de infecções só foi obtido após um período de seis a nove horas de molhamento. O mesmo é observado no sistema *Puccinia polysora* - milho (HOLLIER & KING, 1985) onde, na faixa de temperatura propícia para o desenvolvimento da doença (16-32°C), a porcentagem máxima de germinação dos uredosporos foi obtida com apenas quatro horas de orvalho, enquanto que o número de pústulas/cm<sup>2</sup> de folha aumentou, consideravelmente, com doze horas de orvalho, atingindo um máximo com dezesseis horas. De uma maneira geral, sabe-se que são necessárias de duas a seis horas de orvalho para que ocorra um número mínimo de infecções (COHEN, 1977; ALDERMAN & LACY, 1983; McRAE *et alii*, 1984) e que com um período de doze a dezesseis horas de orvalho obtêm-se o número máximo de infecções (ALDERMAN & LACY, 1983; ALLEN *et alii*, 1983; HOLLIER & KING, 1985).

Existem evidências também que períodos de molhamento longos aumentam a faixa de temperatura de ocorrência da doença, como em *Pseudoperonospora cubense* - pepino (COHEN, 1977), onde, com duas horas de orvalho, a temperatura ótima para ocorrência da doença é 20°C, com seis horas de orvalho a doença ocorre numa faixa de temperatura de 15-20°C, com doze horas de orvalho na faixa de temperatura de 10-20°C e com vinte e quatro horas de orvalho na faixa de temperatura de 5-20°C. No sistema *Puccinia polysora* - milho (HOLLIER & KING, 1985), também pode-se observar um aumento na faixa de temperatura de ocorrência da doença com um maior número de horas de orvalho, pois com um período de quatro a oito

horas de orvalho as temperaturas mínima e máxima para infecção são 18° e 28°C, respectivamente, enquanto que com um período de doze-dezesesseis horas de orvalho as temperaturas mínima e máxima para infecção são 12 e 32°C, respectivamente. Outro exemplo que mostra a interação existente entre a temperatura e o número de horas de orvalho está no trabalho de BASHI *et alii* (1973), com *Stemphylium botryosum* f. sp. *lycopersici* - tomate onde, em condições de laboratório, com todos os parâmetros para infecção sob controle, a temperatura ótima para ocorrência da doença é 30°C. No entanto, no campo, a doença só ocorre em épocas onde a temperatura é mais baixa, que coincide com períodos de orvalho mais longos; em épocas onde a temperatura é alta a quantidade de orvalho formada não é suficiente para a infecção.

No caso da infecção de outras partes da planta, como flores e frutos, a presença de água livre na superfície do órgão a ser infectado é necessária, como é demonstrado no sistema cebola - *Botrytis squamosa*, *B. cinerea* e *B. allii* (RAMSEY & LORBEER, 1986) onde são necessárias seis e vinte e quatro horas de orvalho para infecção de flósculos e cápsulas de sementes imaturas. Na infecção de frutos imaturos de morango com *Phytophthora cactorum* (GROVE *et alii*, 1985a) um período de uma a três horas de orvalho é necessário para que ocorra infecção na faixa de temperatura favorável para a ocorrência da doença (12-28°C); em temperaturas mais baixas (6 e 9°C) a infecção só foi obtida com períodos de cinco horas de orvalho. Também neste sistema pode-se verificar que o efeito da temperatura na infecção é mais pronunciado em condições onde a quantidade de orvalho é limitante; em períodos curtos de orvalho a

faixa de temperatura para ocorrência da doença é mais estreita (GROVE *et alii*, 1985a).

Existem ainda alguns patógenos que necessitam de umidade, não só para o processo de infecção, mas também para a esporulação. Assim, SHEARER & ZADOKS (1972) demonstraram que o período latente de *Septoria nodurum* em trigo era de seis dias quando as plantas eram conservadas durante vinte e quatro horas em ambiente saturado de umidade, e que em plantas mantidas em ambiente com doze horas de ar saturado de umidade e doze horas em ambiente com 85-90% de umidade relativa, ocorre um atraso de cinco dias e meio para o início da esporulação. Nesse sistema, ainda, as plantas que foram mantidas as vinte e quatro horas do dia em ambiente com 85-90% de umidade relativa não mostraram a formação de conídios nas lesões. No sistema *Phytophthora cactorum* - morango (GROVE *et alii*, 1985b) verificou-se que um período mínimo de três horas de molhamento é necessário para que ocorra a formação de esporângios na superfície do fruto e um aumento no período de molhamento de doze para vinte e quatro horas resultou num aumento na esporulação de 100 para 500 esporângios/mm<sup>2</sup>, nas temperaturas de 15 e 20°C. Esse aumento na taxa de esporulação também é verificado no sistema *Helminthosporium maydis* - milho (MASSIE *et alii*, 1973), pois um aumento no período de molhamento de doze para vinte e quatro horas também proporcionou um aumento na taxa de esporulação de quatro a cinco vezes, na faixa de temperatura de 25-30°C.

Estudos realizados em Israel onde o orvalho, complementado com água de irrigação, é a principal forma de umidade na cultura, mostram que certos fungos fitopatogênicos, que normalmente necessitam

de um longo período de orvalho para que ocorra a germinação dos conídios e infecção do hospedeiro, adaptaram-se às condições de poucas horas de orvalho da região, fazendo com que esporos que se encontram na fase de germinação resistam a um período seco e continuem a germinar no próximo período de molhamento (BASHI *et alii*, 1983; BASHI & ROTEM, 1974). Assim, *Stemphylium botryosum* f. sp. *lycopersici* e *Alternaria porri*, que normalmente necessitam de um período longo de orvalho para infectar o hospedeiro, causam severas epidemias nas culturas de tomate e batata, respectivamente, em condições de clima semi-árido. Para *S. botryosum* f.sp. *lycopersici*, obtêm-se o mesmo nível de infecção em plantas mantidas sob condições de orvalho durante doze horas ininterruptas ou naquelas mantidas por períodos de seis horas de orvalho intercalados com um período de doze horas de ausência de orvalho (BASHI & ROTEM, 1974). Porém, essa adaptação a períodos curtos de orvalho não é um fenômeno generalizado pois *Phytophthora infestans*, por exemplo, não resiste a períodos secos após o início do processo de germinação, compensando esse fato pela alta taxa de germinação e penetração dos esporos e, no caso de *Uromyces phaseoli*, a interrupção no período de molhamento faz com que não ocorra a infecção, explicando o fato de que as epidemias de ferrugem do feijoeiro, em Israel, só ocorrem no fim do outono e inverno quando os períodos de orvalho são mais longos e complementados com chuva (BASHI & ROTEM, 1974).



### 2.2.3. Estádio de Desenvolvimento do Hospedeiro

As respostas de uma planta à presença de um patógeno dependem do estágio de desenvolvimento da cultura. O desenvolvimento do hospedeiro pode levar tanto a um aumento na resistência como a um aumento na suscetibilidade ao patógeno, dependendo do tipo de patógeno e da relação que este mantém com seu hospedeiro. Essa variação no nível de resistência é função não só da idade da planta mas também da idade de folhas isoladas (HAU *et alii*, 1983).

Essas variações no nível de resistência ao patógeno com a idade do hospedeiro têm sido mostradas em diferentes sistemas. Estudos realizados para a obtenção de dados para a construção de um modelo de simulação de epidemias de oídio da cevada (AUST *et alii*, 1983; HAU *et alii*, 1983) mostraram que a eficiência de infecção diminui drasticamente da folha número 1 (folha primária) para a folha número 8 (folha bandeira); que folhas velhas (totalmente expandidas) apresentam um menor número de lesões em relação às folhas jovens e o período latente aumenta de sete para treze dias em folhas velhas.

Esse aumento na resistência com a idade da planta e da folha também é demonstrado em outros sistemas patógeno-hospedeiro como *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* - trigo (TORMELIN *et alii*, 1983; 1984), onde estudos realizados em três estádios de desenvolvimento ("seedlings", espigamento e antese), mostram que o período latente é menor em plantas inoculadas no estágio de "seedlings"; que o período infeccioso e a produção de esporos são maiores quando a infecção ocorre no estágio de espigamento e o tamanho das pústulas é menor na folha bandeira do que em

"seedlings". No sistema *Puccinia striiformis* - cevada (OSMAN-GHANI & MANNERS, 1985) foi verificado um aumento no período latente e um decréscimo na produção de esporos nas folhas em estádios de desenvolvimento mais avançados da planta, sendo o efeito do aumento da resistência mais evidente na folha bandeira. Com *Peronospora tabacina* - fumo, REUVENI *et alii* (1986) demonstraram que o aumento no nível de resistência com a idade da planta está relacionado, principalmente, com a maior resistência de folhas velhas, pois folhas de diferentes posições na planta, inoculadas com a mesma idade, não mostraram diferenças na severidade da doença e no número de esporângios produzidos por lesão, enquanto que folhas velhas sempre apresentaram uma menor produção de esporângios.

O aumento na resistência com a idade da planta também ocorre em outros grupos de patógenos, além dos parasitas obrigados, como em *Xanthomonas campestris* pv. *oryzae* - arroz (QI & MEW, 1985), onde as folhas dos estádios mais avançados da planta e principalmente a folha bandeira mostram-se mais resistentes, com um índice de severidade da doença menor; e *Alternaria macrospora* - algodão (BASHI *et alii*, 1983) onde o índice de severidade da doença diminui, significativamente, em folhas velhas.

Ao contrário, existem outros sistemas patógeno-hospedeiro onde com o aumento da idade da planta e em folhas mais velhas, aquelas totalmente expandidas, temos um aumento na suscetibilidade do hospedeiro e não na resistência. Nos sistemas *Botrytis squamosa* - cebola (ALDERMAN & LACY, 1983) e *Alternaria porri* - cebola (MILLER, 1983) o número e o tamanho das lesões são maiores em folhas velhas do que em

folhas jovens. No sistema *Alternaria helianthi* - girassol, JEFFREY *et alii* (1984) não detectaram diferenças significativas no número de lesões, em folhas de plantas com um a quatorze dias de idade. No entanto, ALLEN *et alii* (1982) e GODOY & GIMENES FERNANDES (1985), trabalhando com plantas em estádios de desenvolvimento mais avançados, demonstraram que folhas mais velhas são mais suscetíveis que folhas novas, considerando a frequência de infecção e o tamanho das lesões.

Para o caso específico da ferrugem do feijoeiro SCHEIN (1965), trabalhando com folhas primárias e trifoliadas de feijoeiro, com diferentes idades, demonstra que a suscetibilidade das folhas aumenta da emergência da folha até que a mesma atinja, aproximadamente, 4cm de comprimento. Após essa fase, as folhas vão se tornando mais resistentes, mostrando um menor número de lesões. Esse resultado foi observado tanto em folhas primárias como em trifoliadas, sugerindo que em qualquer estágio de desenvolvimento da planta, existe pelo menos uma folha num período de maior suscetibilidade. Estudos mais recentes confirmam um aumento na resistência, das folhas de feijoeiro à ferrugem, com a idade, tanto em folhas primárias como em trifoliadas (GROTH & URS, 1982) e que folhas primárias são mais resistentes que folhas trifoliadas quando inoculadas na mesma idade (GROTH & URS, 1982; MENDES, 1985). Esse aumento na resistência é demonstrado tanto por um decréscimo na frequência de infecção (GROTH & URS, 1982) como por um menor diâmetro das pústulas em folhas velhas (SHAIK & STEADMAN, 1986). Esse decréscimo na frequência de infecção parece estar relacionado com a formação do apressório e penetração do tubo germinativo e não com a germinação do uredosporo, já que a

porcentagem de germinação de uredosporos não é alterada quando avaliada em folhas de diferentes idades (IMHOFF *et alii*, 1981). Mas, a relação apressórios formados/tubos germinativos diminui, em mais de 50%, em folhas velhas quando comparado com folhas jovens (ALTEN, 1983).

A variação no nível de resistência com a idade da planta já é um fato comprovado sendo possível levantar a hipótese (ZADOKS & SCHEIN, 1979) de que a resistência parcial de cereais contra fungos biotróficos aumenta com a idade (ESKES & TOMA-BRAGHINI, 1982); TORMELIN *et alii*, 1983; 1984; OSMAN-GHANI & MANNERS, 1985; REUVENI *et alii*, 1986) enquanto que contra fungos pertotróficos ocorre uma diminuição no nível de resistência com a idade da planta (ALLEN *et alii*, 1982; MILLER, 1983; ALDERMAN & LACY, 1983; JEFFREY *et alii*, 1984; GODOY & GIMENES FERNANDES, 1985).

### 2.3. O Uso de Modelos de Simulação em Epidemiologia

A construção de modelos de simulação é uma excelente maneira de se aumentar o conhecimento sobre um sistema complexo, como uma epidemia (KRANZ & HAU, 1980; TENG & ZADOKS, 1980). Os modelos de simulação de epidemias podem ser utilizados não só na previsão do progresso de doença (SHRUM, 1975) mas, também, como orientadores de pesquisa, indicando qual a fase da cadeia de infecção que precisa ser mais estudada (ZADOKS, 1979; AUST *et alii*, 1983), no melhoramento genético simulando uma série de epidemias com genótipos diferentes (ZADOKS, 1979) e no controle de doenças, indicando o momento e o número de pulverizações

necessárias e os efeitos epidemiológicos do uso de fungicidas (ZADOKS, 1979; MACKENZIE, 1981).

Os modelos de simulação seguem, normalmente, o conceito da cadeia de infecção de GAUMANN (1951), tendo sido desenvolvidos simuladores de epidemias para diversos sistemas patógeno-hospedeiro. O primeiro modelo de simulação de epidemias de doenças de plantas foi o EPIDEM, desenvolvido por WAGGONER & HORSFALL (1969) para o sistema *Alternaria solani* - tomateiro. Este modelo tenta descrever uma epidemia da maneira mais precisa possível, o que requer um grande número de dados experimentais, os quais nem sempre podem ser obtidos com precisão (ZADOKS, 1979). Outros modelos de simulação surgiram posteriormente, seguindo a estrutura proposta por WAGGONER & HORSFALL (1969), dando origem à família EPIDEM de modelos de simulação. Entre esses temos EPIMAY, desenvolvido por WAGGONER *et alii* (1972), para o sistema *Helminthosporium maydis* - milho e EPIVEN, adaptado por KRANZ *et alii* (1973), para simulação de epidemias da sarna da macieira (*Venturia inaequalis*). Esse tipo de modelo foi criticado por ZADOKS (1979), pelo fato de não ser possível reproduzir de maneira adequada as fases de disseminação, deposição e dispersão de esporos e não considerar as diferenças no grau de resistência da planta nos diversos estádios de desenvolvimento da cultura.

Os modelos da família EPIDEM são modelos do tipo temporal, isto é, descrevem uma mudança na quantidade de doença em função do tempo (ZADOKS, 1979). Um outro tipo de modelo, mais complexo do que o temporal, é o chamado modelo espacial, que descreve uma mudança na quantidade de doença em função do tempo e da distância (ZADOKS, 1979). Exem-

plos deste tipo de modelo são EPIDEMIC (SHRUM, 1975) e EPIMUL (KAMPMEIJER & ZADOKS, 1977).

O modelo apresentado por SHRUM (1975) possui uma filosofia diferente daqueles já apresentados, pois enquanto os outros modelos (WAGGONER & HORSFALL, 1969; WAGGONER *et alii*, 1972; KRANZ *et alii*, 1973) são específicos para um determinado sistema patógeno-hospedeiro, esse modelo caracteriza-se, principalmente, pela sua flexibilidade para vários hospedeiros, patógenos e condições climáticas. Esse modelo foi construído baseando-se em dados de *Puccinia striiformis* - trigo mas, estudos que visam a quantificação de parâmetros para adaptá-lo ao sistema *Uromyces phaseoli* var. *typica* - feijoeiro estão sendo desenvolvidos por IMHOFF *et alii* (1981; 1982b). O modelo de KAMPMEIJER & ZADOKS (1977) visa a simulação de epidemias em multilíneas ou misturas de variedades, diferindo do modelo de SHRUM (1975) que foi desenvolvido para culturas uniformes.

Todos os modelos aqui comentados incluem a simulação das fases de disseminação e deposição de esporos de patógenos. Devido à dificuldade na quantificação desses valores, essa tem sido, talvez, a principal causa dos resultados pouco precisos obtidos com a maioria dos modelos de simulação. Numa tentativa de simplificar o modelo conceitual derivado da família EPIDEM, AUST *et alii* (1983) propõem um novo modelo onde são consideradas as fases de infecção, incubação, número de novas colônias por folha e crescimento de colônias, sendo ignoradas as fases de esporulação, disseminação, deposição e germinação de esporos.

O modelo de AUST *et alii* (1983) tem sido utilizado para simular epidemias de oídio da cevada (*Erysiphe graminis* f. sp. *hordei*). Esse modelo foi desenvolvido a partir de experimentos de campo e câmara de crescimento que visaram a obtenção de dados sobre as interações hospedeiro, patógeno e ambiente, incluindo a determinação da idade e área foliar da cultura, semanalmente, durante a epidemia; dados meteorológicos como temperatura máxima e mínima diária e quantidade de chuva; e os efeitos da temperatura (em condições controladas) sobre o período de incubação e crescimento de colônias. As fases de esporulação, disseminação, deposição e germinação dos esporos são simuladas através do uso de plantas armadilhas, que são levadas ao campo periodicamente e fornecem informações sobre a quantidade e viabilidade dos esporos que estão chegando à cultura.

Simulação está se tornando um termo comum em epidemiologia e, pelo menos no momento, os modelos de simulação são a única maneira real de se analisar e entender epidemias. Mesmo que um modelo não se mostre adequado para um manejo de doenças na prática, o processo de construção de modelos, com certeza, contribui para um melhor entendimento do processo epidêmico (ZADOKS, 1979; TENG & ZADOKS, 1980), devido à facilidade de se incorporar novas hipóteses ou fatos na sua estrutura.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Linhagens de Feijoeiro Utilizadas

Foram utilizadas duas linhagens de feijoeiro selecionadas e preliminarmente caracterizadas (TULMANN NETO *et alii*, 1979; MENTEN, 1980) na Seção de Radiogenética, do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP):

- a) Rosinha G-2/C-21: linhagem da variedade Rosinha G-2, proveniente do tratamento de sementes com 24 kR de radiação gama ( $^{60}\text{Co}$ ) e seleção, a partir de  $M_2$ , para características agronômicas favoráveis; alta suscetibilidade a *U. phaseoli* var. *typica*.
- b) Carioca/C-224: linhagem da variedade Carioca, proveniente do tratamento de sementes com 24 kR de radiação gama ( $^{60}\text{Co}$ ) e seleção, a partir de  $M_2$ , para características agronômicas favoráveis, suscetibilidade moderada a *U. phaseoli* var. *typica*.



### 3.2. Ensaio em Câmara de Crescimento

#### 3.2.1. Obtenção e manutenção do isolado monopustular de *U. phaseoli* var. *typica*

Para a obtenção do isolado monopustular de *U. phaseoli* foram coletados folíolos de feijoeiro contendo pústulas de ferrugem, num ensaio de campo, localizado em terreno próximo ao Posto Meteorológico da ESALQ/USP - Piracicaba. Pústulas bem individualizadas e aparentemente distintas entre si forneceram uredosporos para o estabelecimento de isolados monopustulares; estas pústulas foram raspadas com escalpelo esterilizado e os esporos distribuídos sobre a superfície de uma folha primária jovem (4 dias de idade) da linhagem Rosinha, previamente aspergida com uma solução de Tween 80 a 0,02% em água destilada (MENTEN, 1980). As plantas foram mantidas em câmara úmida e escura por 48 horas em câmara de crescimento (CONVIRON) à temperatura de 21°C e após esse período sob o regime de 12 horas de luz branca/12 horas de escuro, na mesma câmara de crescimento. Foram feitas duas outras transferências dos uredosporos, de pústulas bem isoladas, para novas plantas, também no estágio de folha primária jovem; os uredosporos obtidos na 3ª inoculação foram coletados, constituindo o isolado monopustular.

A manutenção do isolado, para obtenção de uredosporos para as inoculações dos experimentos, foi feita através de inoculações semanais de planta da linhagem Rosinha. As plantas foram inoculadas no estágio de folha primária jovem e mantidas em câmara de crescimento, a 21°C. Assim, todas as inoculações foram efetuadas com esporos novos, provenientes de pústulas novas, de folhas primárias jovens, da linhagem Rosinha.

### 3.2.2. Método de inoculação de *U. phaseoli* var. *typica* e quantificação de parâmetros monocíclicos de resistência.

O inóculo, utilizado na inoculação das plantas dos diferentes experimentos, foi obtido de plantas da linhagem Rosinha inoculadas com o isolado monopustular de *U. phaseoli*, incubadas em câmara de crescimento a 21°C. Os uredosporos foram coletados agitando-se a folha do feijoeiro sobre uma folha de papel manteiga, coletando-se assim apenas os esporos maduros. Com esses esporos foi preparada uma suspensão de uredosporos em solução de Tween 80 a 0,02% em água destilada, calibrada para a concentração de  $2 \times 10^4$  uredosporos/ml, realizando-se a inoculação com auxílio de um pulverizador do tipo DE VILBISS.

A inoculação foi feita nas duas faces da folha, incubando-se as plantas em câmara úmida e escura por 48 horas (exceto nos experimentos onde se utilizou diferentes períodos de câmara úmida), em câmara de crescimento (CONVIRON) com luz e temperatura controlada, com capacidade para 24 vasos. Após o período de câmara úmida as plantas foram mantidas na mesma câmara de crescimento sob o fotoperíodo de 12 horas de luz branca/12 horas de escuro (MENDES, 1985).

Foram avaliados os parâmetros monocíclicos período de incubação, período latente e frequência de infecção de acordo com a seguinte metodologia:

a) Frequência de Infecção: considerou-se o número médio de pústulas esporulantes por folha ou por área foliar (MENTEN, 1980).

- b) Período de Incubação: após o aparecimento dos primeiros sintomas, foram feitas contagens cumulativas, a cada 12 horas, no número de pústulas imaturas e/ou maduras, até a estabilização do processo. Considerou-se como período de incubação o tempo entre a inoculação e o aparecimento de 50% dos primeiros sintomas (MENTEN, 1980).
- c) Período Latente: após a constatação do aparecimento das primeiras pústulas com uredosporos, foram realizadas contagens cumulativas, a cada 12 horas, do número de pústulas maduras, até a estabilização do processo. Considerou-se o período latente como o tempo decorrido entre a inoculação e o aparecimento de 50% das lesões esporulantes (PARLEVLLET, 1979; MENTEN, 1980).

### 3.2.3. Quantificação dos parâmetros monocíclicos em folhas primárias e trifoliadas de feijoeiro, a 25°C

Estudos realizados no Departamento de Fitopatologia da ESALQ (MENDES, 1985), quantificaram os parâmetros monocíclicos de resistência nesse sistema patógeno-hospedeiro, em duas temperaturas, 17 e 21°C. (Tabelas 1 e 2 - Apêndice). A necessidade de se entender o processo de infecção, em temperaturas mais elevadas, indicaram a realização deste experimento a 25°C, o que permitiria uma análise conjunta do efeito de três temperaturas no desenvolvimento da doença.

As plantas foram obtidas em condições de casa de vegetação e após a inoculação foram transferidas para a câmara de crescimento, onde permaneceram até o final das avaliações. Os parâmetros monocíclicos foram avaliados nos dois tipos de folhas características do

feijoeiro, folha primária e trifoliada, no estágio de desenvolvimento considerado como folhas jovens, que corresponde a quatro dias após o início do seu desenvolvimento.

O delineamento experimental utilizado foi fatorial inteiramente ao acaso, com cinco repetições, sendo cada repetição constituída por um vaso com duas plantas.

Após o término deste experimento, os dados obtidos foram analisados separadamente e em conjunto com aqueles obtidos às temperaturas de 17 e 21°C (MENDES, 1985).

#### 3.2.4. Quantificação dos parâmetros monocíclicos em folhas primárias e trifoliadas de feijoeiro, de diferentes idades

A fim de se verificar o efeito da idade das folhas na resistência das plantas à ferrugem do feijoeiro, realizou-se a quantificação dos parâmetros monocíclicos (período de incubação, período latente e frequência de infecção) em folhas primárias e trifoliadas, em cinco idades diferentes.

Para a obtenção das plantas com folhas com diferentes idades no mesmo dia, foi realizado um plantio escalonado, em dias diferentes. As plantas foram mantidas em condições de casa de vegetação até o momento da inoculação. Nos experimentos realizados com folhas trifoliadas da linhagem Rosinha e folhas primárias e trifoliadas da linhagem Carioca, determinou-se a área das folhas com diferentes idades, a fim de que a frequência de infecção fosse expressa em nº pústulas/cm<sup>2</sup>.

A inoculação foi realizada conforme metodologia já descrita, incubando-se os vasos em câmara de crescimento, à temperatura de 21°C.

Os experimentos foram realizados sob o delineamento experimental inteiramente ao acaso, com cinco tratamentos (plantas com idades diferentes) e quatro repetições, totalizando 20 vasos. Cada repetição constituiu-se de um vaso com duas plantas. Foi realizado um experimento para cada linhagem e tipo de folha, devido ao tamanho da câmara de crescimento.

As avaliações dos parâmetros monocíclicos iniciaram-se logo após o aparecimento dos sintomas, de acordo com metodologia já descrita.

### 3.2.5. Efeito do número de horas de câmara úmida e temperatura na frequência de infecção

A incubação das plantas inoculadas em câmara úmida faz com que ocorra a formação de um filme de água livre na superfície foliar, simulando a presença do orvalho que ocorre em condições naturais de infecção.

A fim de se determinar a influência do número de horas de água livre na superfície foliar na infecção de *U. phaseoli*, foi realizada a quantificação da frequência de infecção em plantas inoculadas e mantidas por diferentes períodos sob câmara úmida.

Os experimentos foram realizados com plantas de feijoeiro obtidas em casa de vegetação, no estágio de desenvolvimento de folhas primárias jovens (4 dias de idade). As plantas foram inoculadas e incubadas em câmara de crescimento com temperatura controlada. Foram testadas três temperaturas diferentes: 17, 21 e 25°C. A câmara úmida foi feita cobrindo-se o vaso com um saco plástico transparente, umedecido com água e preso ao vaso com um elástico. Durante o período de câmara úmida as plantas foram mantidas no escuro. Após intervalos de tempo pré-determinados, retirava-se o saco plástico, incubando o vaso na mesma câmara de crescimento. Foram testados oito períodos de molhamento diferentes.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, com oito tratamentos e três repetições, totalizando 24 vasos. Cada repetição constituiu-se de um vaso com duas plantas. Foi realizado um experimento para cada linhagem.

O primeiro experimento foi realizado com plantas da linhagem Rosinha, incubadas com 0, 4, 10, 16, 24, 30, 36 e 48 horas de câmara úmida, a fim de se definir a melhor amplitude em horas para estudo. Os experimentos posteriores foram realizados incubando-se as plantas de 4 a 25 horas em câmara úmida, com tratamentos em intervalos de 3 a 4 horas. Os dados obtidos nas três temperaturas foram analisados conjuntamente, sob o delineamento experimental fatorial inteiramente ao acaso.

### 3.3. Ensaio em Condições de Campo

Os ensaios de campo foram realizados em terras do Departamento de Fitopatologia da ESALQ/USP, utilizando-se as duas linhagens de feijoeiro em estudo.

#### 3.3.1. Determinação da área foliar do feijoeiro, considerando os diferentes tipos de folhas

Para a determinação da área foliar do feijoeiro, de modo a obter a curva de crescimento do feijoeiro em função do tempo, para as duas linhagens de feijoeiro em estudo (Rosinha e Carioca), realizaram-se dois ensaios de campo em épocas diferentes. O primeiro ensaio iniciou-se em ABRIL/85 e o segundo em AGOSTO/85. Cada experimento constituiu-se de duas parcelas de 15 linhas de 15m de comprimento, com espaçamento entrelinhas de 0,5m. Foi semeada uma parcela para cada linhagem, já que o objetivo do trabalho era apenas acompanhar o crescimento do feijoeiro durante o ciclo de cultura.

As avaliações foram realizadas duas vezes por semana, iniciando-se quatro dias após a emergência das plantas. Na avaliação coletava-se cinco plantas, ao acaso, de cada linhagem. As plantas eram arrancadas inteiras e levadas para o laboratório, onde separavam-se as folhas primárias e trifoliadas, numerando-se estas em ordem crescente da base para o ápice da planta. Após a identificação das folhas, estas foram desenhadas numa folha de papel sulfite. A folha de papel sulfite com os desenhos era então colocada sobre uma placa sensível, acoplada ao computador Apple II<sub>e</sub>, 64 K, onde desenhando-se novamente as folhas a

área era calculada, em  $\text{mm}^2$ , pelo programa de computador do Software "Graphics Tablet". Com o término das avaliações foram calculadas as médias dos valores obtidos para cada folha, por avaliação. Em cada avaliação calculava-se a área de 10 folhas primárias e 15 folíolos de cada trifoliada, por linhagem.

No primeiro ensaio, ABRIL/85, foi calculada apenas a área das folhas primárias e das folhas trifoliadas da haste principal da planta. Já no segundo ensaio, AGOSTO/85, além das folhas primárias e das folhas trifoliadas da haste principal, calculou-se também a área das folhas trifoliadas que se desenvolvem nos nós da haste principal. A decisão de se considerar também as folhas trifoliadas dos nós, no segundo ensaio, foi tomada baseando-se em observações feitas no ensaio anterior, que mostraram que a partir de um certo estágio de desenvolvimento o número de folhas que se desenvolvem nestes nós é bastante elevado.

### 3.3.2. Análise do progresso da doença no campo

Foram realizados dois ensaios de campo em épocas diferentes, para a determinação da curva de progresso da doença, em condições naturais de infecção. Os ensaios foram instalados em JUNHO/86 e SETEMBRO/86, constituindo-se de uma parcela para cada linhagem, de 15 linhas de 15m, com espaçamento entrelinhas de 0,5m.

Dentro da área experimental foi instalado um abrigo meteorológico com um termohigrógrafo e um sensor de molhamento da superfície foliar (G. LUFFT). A altura do sensor de molhamento da superfície foliar era alterada conforme o desenvolvimento da cultura, de modo



a mantê-lo sempre na mesma altura que as folhas. O termohigrógrafo registra os valores de temperatura e umidade relativa do ar continuamente, enquanto que o sensor de orvalho é acionado a cada 15 minutos, registrando a presença de água.

No primeiro ensaio (JUNHO/86), a avaliação da doença no campo foi realizada, duas vezes por semana, coletando-se 10 plantas de cada linhagem e determinando-se a severidade da doença (% área foliar infectada) de cada folha, com auxílio de escala diagramática (EMBRAPA, 1981). Determinou-se a severidade de doença de cada planta, pela média das severidades encontradas em cada folha e após calculou-se a severidade média de doença no campo, pela média das 10 plantas avaliadas, cujos valores foram utilizados na construção da curva de progresso da doença e no cálculo da taxa aparente de infecção ( $r$ ), no período considerado. Os valores da temperatura máxima e mínima, número de horas de orvalho por dia, precipitação pluviométrica no período foram colocados juntos as curvas de progresso da doença, para que fosse possível relacionar os dados.

No segundo ensaio (SETEMBRO/86) a avaliação da doença foi realizada em 10 plantas marcadas por linhagem. As avaliações foram realizadas duas vezes por semana, nas mesmas plantas, determinando-se a severidade da doença (% área foliar infectada) com auxílio de escala diagramática (EMBRAPA, 1981). Após o término das avaliações determinou-se a severidade média de cada planta, através da média das severidades de todas as folhas, para cada avaliação. Através da média de severidade das 10 plantas marcadas, determinou-se o índice de severidade da doença no campo, para cada linhagem, no período de avaliação, cujos valores foram

utilizados na construção da curva de progresso da doença e no cálculo da taxa aparente de infecção ( $r$ ). Ao lado dos valores de severidade da doença são considerados os valores das temperaturas mínima e máxima diária, número de horas de orvalho por dia e a precipitação pluviométrica no período.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Ensaio em Câmara de Crescimento

#### 4.1.1. Quantificação dos parâmetros monocíclicos em folhas primárias e trifoliadas, a 25°C

A Tabela 1 mostra o tempo, em horas, referente ao período de incubação e ao período latente, e o número médio de pústulas por folha ou folíolo (frequência de infecção), nas linhagens Rosinha e Carioca, determinados a 25°C.

Pela análise dos dados pode-se verificar que quando foi detectada diferença entre as folhas primárias e trifoliadas, estas mostraram-se sempre mais suscetíveis (períodos de incubação e latente mais curtos). Para as linhagens, têm-se que, quando são encontradas diferenças, a linhagem Rosinha mostra-se mais suscetível. Nos valores do período latente ocorreu uma interação significativa entre tipo de folha e linhagem, podendo-se notar diferenças entre as linhagens somente quando se considera os valores obtidos para folhas primárias.

Os Apêndices 1 e 2, mostram os dados dos mesmos parâmetros monocíclicos, quantificados às temperaturas de 21 e 17°C (MENDES, 1985) que foram utilizados, neste trabalho, para uma análise conjunta dos 3 experimentos, a fim de se determinar o efeito da temperatura no período de incubação; período latente e frequência de infecção. A Tabela 2 mostra os resultados da análise conjunta dos experimentos das 3 temperaturas.

Tabela 1. Período de incubação (horas), período latente (horas) e frequência de infecção (pústulas/folhas ou folíolo), considerando as linhagens Rosinha e Carioca, em folhas primárias e trifoliadas jovens, a 25°C (média de 5 repetições)

	Tipo de Folha	Linhagem		Média
		Rosinha	Carioca	
Período de Incubação(1)	Primária	154,10	163,05	158,57a
	Trifoliada	144,00	144,58	144,29b
Média		149,05A	153,82A	
Período Latente(2)	Primária	225,50aA	241,45aB	233,47
	Trifoliada	192,70bA	190,30bA	191,50
Média		209,10	215,87	
Frequência de Infecção(3)	Primária	57,37	21,93	39,65a
	Trifoliada	42,92	27,60	35,26a
Média		50,14A	24,76B	

CV(1) = 6,56%; CV(2) = 2,63%; CV(3) = 11,61%

OBS.: Letras minúsculas diferentes na mesma coluna e letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 2. Influência da temperatura no período de incubação (horas), período latente (horas) e frequência de infecção (pústulas/folha ou folíolo), considerando-se em conjunto as linhagens Rossinha e Carioca

Parâmetro	Temperatura		
	17°	21°	25°
Período de incubação(1)	146,40a	122,37b	151,43a
Período latente(2)	212,36a	176,22b	212,48a
Frequência de infecção(3)	234,22a	115,50b	37,45c

CV(1) = 5,65%; CV(2) = 2,05%; CV(3) = 12,07%

OBS.: Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade

#### 4.1.2. Quantificação dos parâmetros monocíclicos em folhas primárias e trifoliadas de feijoeiro, de diferentes idades

As Tabelas 3, 4, 5 e 6 mostram o tempo em horas referente ao período de incubação e ao período latente e a frequência de infecção (número de pústulas/folha ou número de pústulas/cm<sup>2</sup>) determinados em folhas de diferentes idades, à temperatura de 21°C, em folhas primárias e trifoliadas.

Pela análise dos dados pôde-se verificar que folhas mais velhas mostram-se mais resistentes à infecção (período de incubação e período latente mais longos e frequência de infecção mais baixa), do que folhas jovens, conforme ilustrado nas Figuras 1, 2 e 3.

Tabela 3. Efeito da idade da folha primária, na quantificação do período de incubação, período latente e frequência de infecção, na linhagem Rosinha (média de 4 repetições)

Idade (dias)	Parâmetro avaliado	P.incubação <sup>1</sup> (horas)	P.latente <sup>2</sup> (horas)	F.infecção <sup>3</sup> (nº pústulas/folha)
3		128,0a A	209,0a A	123,68a A
6		129,5a A	231,3abAB	64,04a AB
8		143,0a AB	241,5 b B	20,87 b BC
10		164,0 b BC	237,0 bAB	16,62 b C
12		168,5 b C	249,0 b B	14,50 b C

CV(1) = 6,21%; CV(2) = 4,5%; CV(3) = 13,24%

OBS.: Médias seguidas por letras minúsculas diferentes e letras maiúsculas diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 4. Efeito da idade da folha trifoliada, na quantificação do período de incubação, período latente e frequência de infecção, na linhagem Rosinha (média de 4 repetições)

Idade (dias)	Parâmetro avaliado	P.incubação <sup>1</sup> (horas)	P.latente <sup>2</sup> (horas)	F.infecção <sup>3</sup> (nº pústulas/cm <sup>2</sup> )
4		124,7a A	205,5a A	3,72a A
8		163,5 bc B	244,2 bc BC	3,35abA
12		162,0 bc B	241,7 bc BC	2,89abA
15		157,2 b B	225,5 b AB	2,59abA
19		183,7 c B	251,5 c C	1,64 bA

CV(1) = 7,3%; CV(2) = 3,9%; CV(3) = 11,55%

OBS.: -Valores da frequência de infecção transformados para  $\sqrt{x + 0,01}$ .  
-Médias seguidas por letras minúsculas diferentes e letras maiúsculas diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 5. Efeito da idade da folha primária, na quantificação do período de incubação, período latente e frequência de infecção, na linhagem Carioca (média de 4 repetições)

Idade (dias)	Parâmetro avaliado	P.incubação <sup>1</sup> (horas)	P.latente <sup>2</sup> (horas)	F.infecção <sup>3</sup> (nº pústulas/cm <sup>2</sup> )
3		140,6a A	222,2a A	10,19a A
7		164,1 b B	251,2 b B	5,67 b B
9		166,1 b B	259,1 b B	4,21 bc BC
12		167,0 b B	250,7 b B	2,99 bc BC
16		156,0 bAB	242,6abAB	1,98 c C

CV(1) = 4,0%; CV(2) = 4,0%; CV(3) = 24,6%

OBS.: Médias seguidas por letras minúsculas diferentes e letras maiúsculas diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 6. Efeito da idade da folha trifoliada, na quantificação do período de incubação, período latente e frequência de infecção, na linhagem Carioca (média de 4 repetições)

Idade (dias)	Parâmetro avaliado	P.incubação <sup>1</sup> (horas)	P.latente <sup>2</sup> (horas)	F.infecção <sup>3</sup> (nº pústulas/cm <sup>2</sup> )
4		140,7a A	212,8a A	4,16a A
11		160,7 bc B	228,8ab AB	1,40 b AB
14		156,5 b B	227,2a AB	1,39 b AB
15		156,6 b B	240,5ab AB	0,98 b B
17		170,2 c B	258,5 b B	1,38 b B

CV(1) = 3,57%; CV(2) = 6,0%; CV(3) = 23,8%

OBS:- Valores da frequência de infecção transformados para  $\sqrt{x+0,05}$ .

- Médias seguidas por letras minúsculas diferentes e letras maiúsculas diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

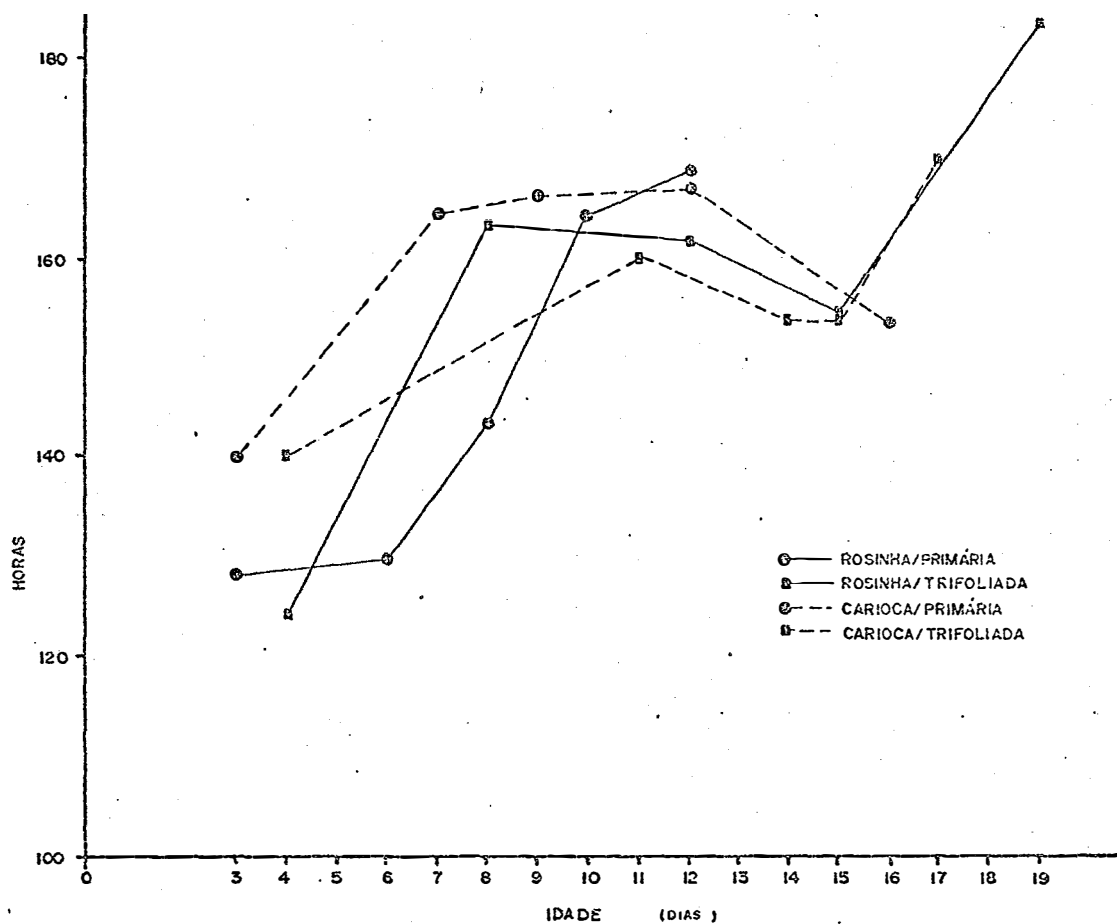


Figura 1. Período de incubação em folhas primárias e trifoliadas, das linhagens Rosinha e Carioca, com cinco idades diferentes



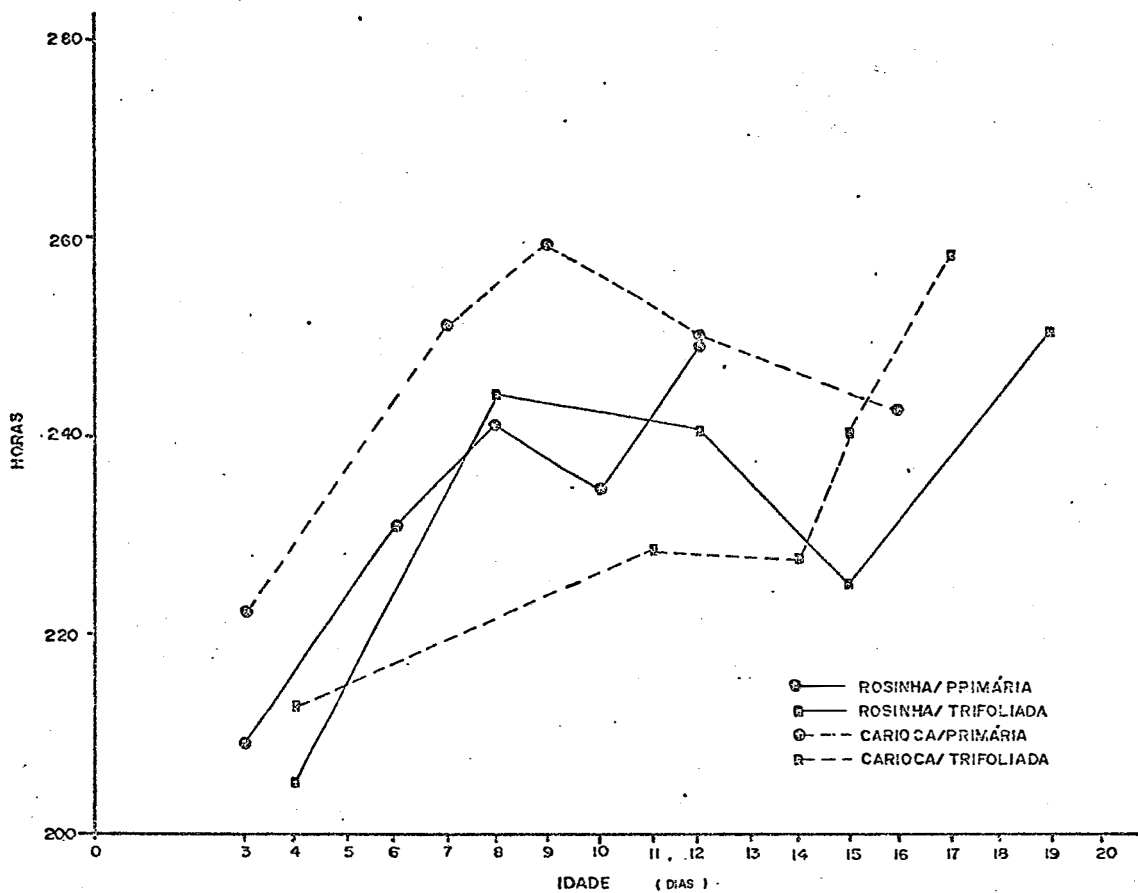


Figura 2. Período latente em folhas primárias e trifoliadas das linhagens Rosinha e Carioca, com cinco idades diferentes

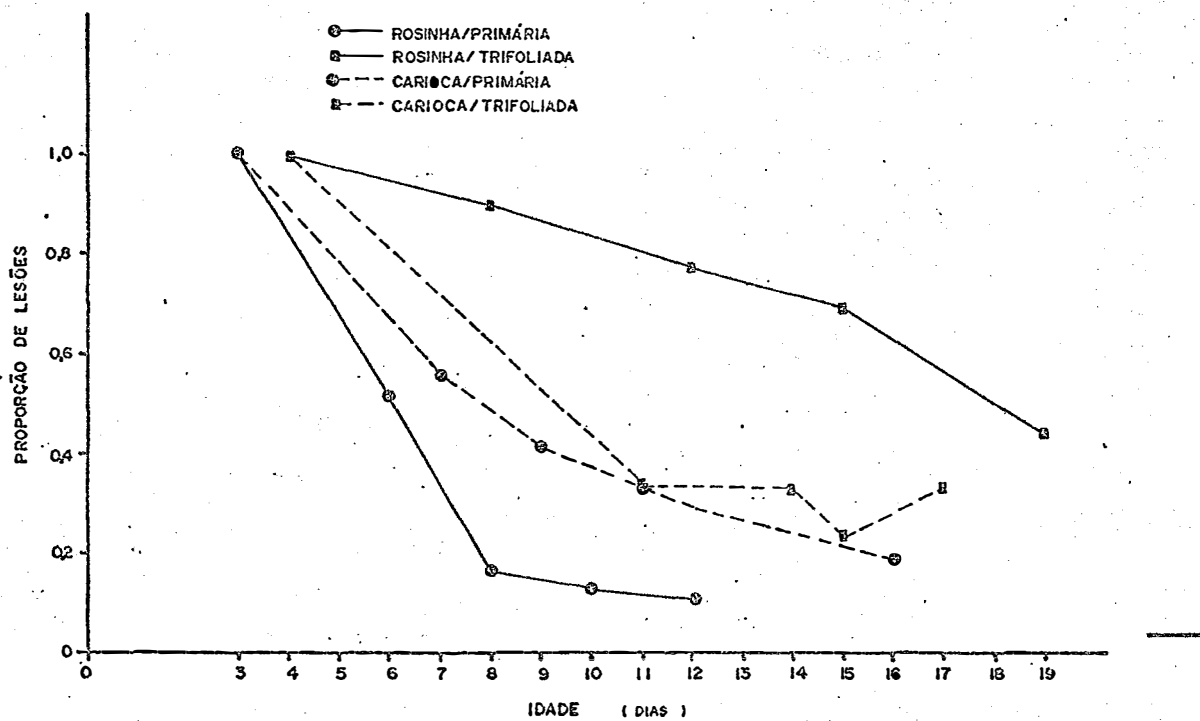


Figura 3. Frequência de infecção em folhas primárias e trifoliadas, das linhagens Rosinha e Carioca, com cinco idades diferentes

#### 4.1.3. Efeito do número de horas de câmara úmida e temperatura na frequência de infecção

A Tabela 7 mostra o número de pústulas obtidas por folha, no ensaio preliminar realizado com a linhagem Rosinha, a 21°C, para definição do intervalo em horas que seria utilizado nos experimentos seguintes. Pelos resultados obtidos, definiu-se que os estudos de câmara úmida deveriam ser conduzidos na faixa de 4-24 horas de períodos de molhamento, já que o menor número de pústulas ocorreu com 4 horas de câmara úmida e a partir de 10 horas de câmara úmida, o número de pústulas por folha não se alterou significativamente.

As Tabelas 8 e 9 e as Figuras 4 e 5 mostram o número de lesões/folha obtidas em diferentes períodos de câmara úmida, às temperaturas de 17, 21 e 25°C, para as linhagens Rosinha e Carioca, respectivamente.

Tabela 7. Efeito do número de horas de câmara úmida na frequência de infecção, considerando a linhagem Rosinha, 21°C (média de 3 repetições)

Horas	F, infecção (nº pústulas/folha)
4	0,41 A
10	76,75 B
16	117,67 B
24	141,33 B
30	144,17 B
36	132,08 B
48	120,75 B

CV = 8,96%

OBS.: Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 8. Efeito do número de horas de câmara úmida e temperatura na frequência de infecção (pústulas/folha), para a linhagem Rosinha (média de 3 repetições)

Horas	Frequência de Infecção		
	17°	21°	25°
4	2,08Aa	0,25A a	0,41A a
7	38,91A b	12,33B ab	1,67B ab
10	79,67A bc	38,17B bc	12,92C ab
13	108,92A cd	82,58A c	17,50B ab
16	149,75A cde	79,25B c	15,58C ab
19	180,08A de	60,14B c	19,17C ab
22	224,00A e	75,25B c	14,92C ab
25	167,92A de	76,00B c	20,83C b

CV = 15,94% (dados transformados para  $\sqrt{x+1}$ )

OBS.: Letras maiúsculas diferentes na mesma linha e letras minúsculas diferentes na mesma coluna, indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey, a nível de 1% de probabilidade.

Tabela 9. Efeito do número de horas de câmara úmida e temperatura na frequência de infecção (pústulas/folha), para a linhagem Carioca (média de 3 repetições)

Horas	Frequência de Infecção		
	17°	21°	25°
4	0,5 Aa	1,58 Aa	0,0 Aa
7	44,0 A b	46,83 A b	0,25Ba
10	108,75 A c	70,42 A bc	6,67Bab
13	117,17 A cd	101,17 A bcd	9,08Bab
16	174,17 A cd	110,08 A cd	14,67Babc
19	182,42 A cd	144,0 A d	26,42B bc
22	197,83 A d	100,50 B bcd	31,67C bc
25	178,0 A cd	117,92 A cd	46,58B c

CV = 20,16% (dados transformados para  $\sqrt{x + 0,5}$ )

OBS.: Letras maiúsculas diferentes na mesma linha e letras minúsculas diferentes na mesma coluna, indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey, a nível de 1% de probabilidade.

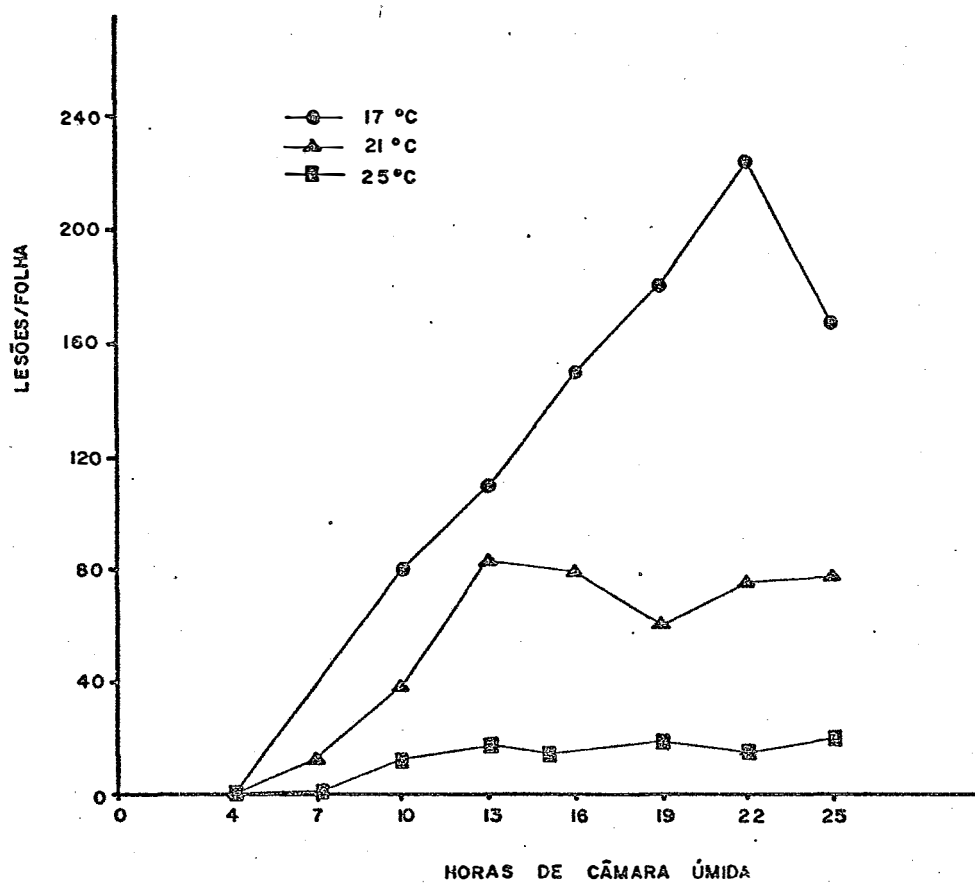


Figura 4. Frequência de infecção em relação ao número de horas de câmara úmida, sob as temperaturas de 17, 21 e 25°C, para a linhagem Rosinha

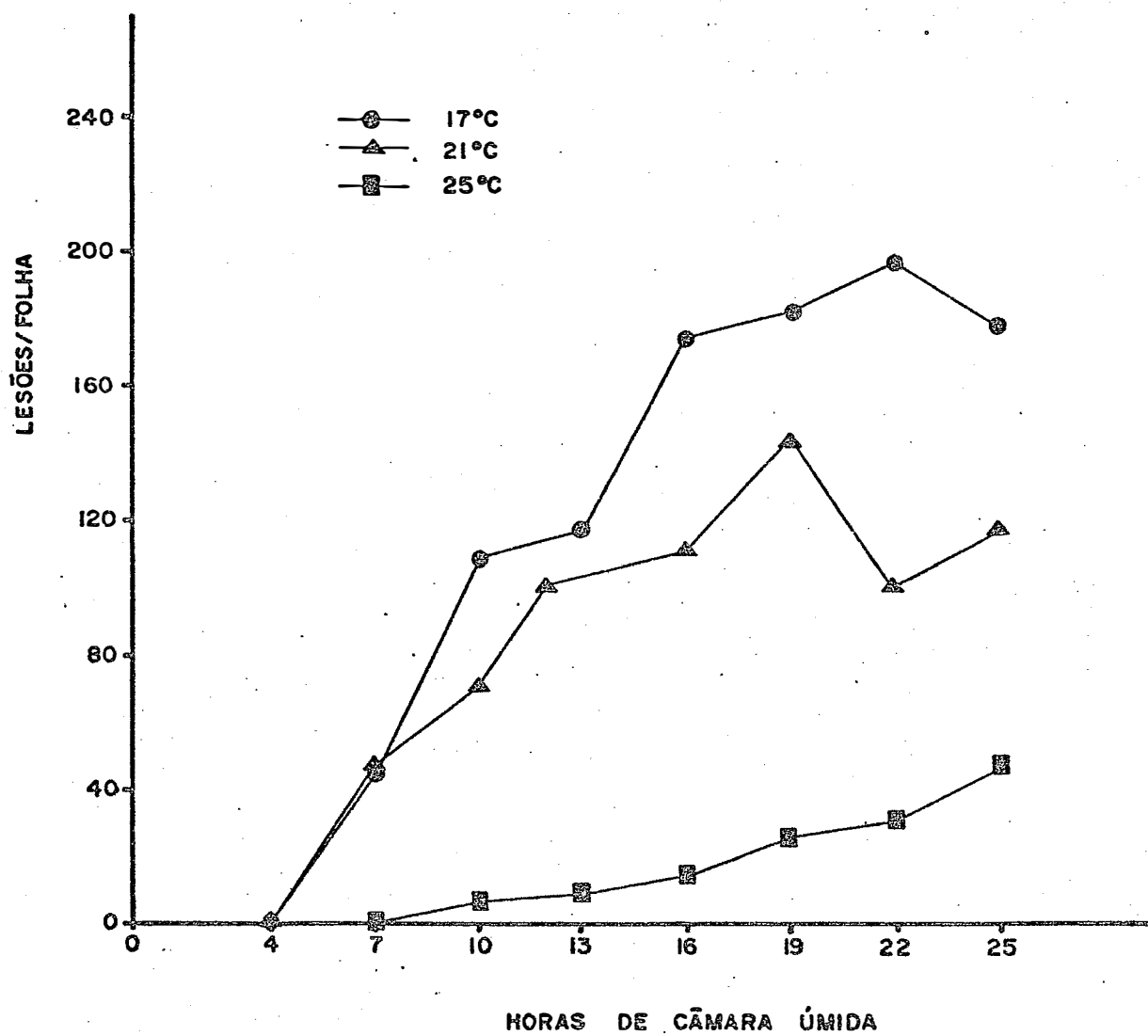


Figura 5. Frequência de infecção em relação ao número de horas de câmara úmida, sob as temperaturas de 17, 21 e 25°C, para a linhagem Carioca

## 4.2. Ensaaios de Campo

### 4.2.1. Determinação da área foliar do feijoeiro, considerando os diferentes tipos de folha

As Tabelas 10 e 11 mostram a área foliar ( $\text{mm}^2$ ) de uma planta de feijoeiro e as porcentagens desta área, correspondentes a cada folha, cuja determinação foi feita no período de 04/04/85 a 13/05/85, considerando-se apenas as folhas da haste principal da planta, para as linhagens Rosinha e Carioca, respectivamente. As Figuras 6 e 7 mostram a curva de desenvolvimento do feijoeiro, discriminando-se as diferentes folhas, em função do tempo.

As Tabelas 12 e 13 mostram a área foliar ( $\text{mm}^2$ ) de uma planta de feijoeiro e as porcentagens desta área, correspondentes a cada folha, considerando-se as folhas trifoliadas da haste principal e aquelas que se desenvolvem nos nós da haste principal, cuja determinação foi feita no período de 05/08/85 a 23/09/85, para as linhagens Rosinha e Carioca, respectivamente. As Figuras 8 e 9 mostram a curva de desenvolvimento do feijoeiro, discriminando-se as diferentes folhas, em função do tempo.



Tabela 10. Área foliar ( $\text{mm}^2$ ) de uma planta de feijoeiro, no período de 04/04/85 a 13/05/85, e as porcentagens correspondentes a cada tipo de folha, para a linhagem Rosinha

Data	04/04	08/04	11/04	15/04	18/04	25/04	29/04	02/05	06/05	09/05	13/05
	3.119,4	8.962,69	14.367,20	28.287,96	36.892,01	70.140,00	111.821,22	115.552,35	113.962,05	133.218,90	123.780,78
100% <sup>1</sup>	69,93%P	45,00%P	22,22%P	12,84%P	-	-	-	-	-	-	-
	30,07%T <sup>2</sup>	40,69%T	34,98%T	21,21%T	7,83%T	-	-	-	-	-	-
	14,32%T	30,18%T	16,98%T	11,64%T	8,56%T	9,01%T	-	-	-	-	-
	12,61%T	29,04%T	24,90%T	15,91%T	16,37%T	15,24%T	14,52%T	-	-	-	-
	0,93%T	9,95%T	26,36%T	18,89%T	17,86%T	17,12%T	15,48%T	12,42%T	-	-	-
	1,38%T	1,38%T	13,66%T	19,40%T	18,67%T	18,12%T	15,52%T	12,60%T	-	-	-
			4,41%T	13,70%T	15,38%T	16,48%T	12,51%T	17,21%T	-	-	-
			0,24%T	8,17%T	13,28%T	12,48%T	13,82%T	12,78%T	-	-	-
				3,74%T	6,35%T	6,56%T	11,19%T	13,23%T	-	-	-
				0,76%T	2,78%T	3,28%T	8,53%T	13,03%T	-	-	-
					0,75%T	1,37%T	3,45%T	10,11%T	-	-	-
					0,14%T	0,34%T	2,28%T	5,90%T	-	-	-
							0,62%T	2,40%T	-	-	-
							0,09%T	0,33%T	-	-	-

. P = Folha Primária

. T = Folha Trifoliada

Tabela 11. Área foliar ( $\text{mm}^2$ ) de uma planta de feijoeiro, no período de 04/04/85 a 13/05/85, e as porcentagens correspondentes a cada tipo de folha, para a linhagem Carioca

Data	04/04	08/04	11/04	15/04	18/04	25/04	29/04	02/05	06/05	09/05	13/05
	3.612,80	9.041,90	15.596,49	29.022,85	55.298,06	72.749,28	104.081,01	104.540,70	129.933,75	117.522,45	118.776,21
100% <sup>1</sup>	74,58% <sup>P</sup>	51,43% <sup>P</sup>	51,43% <sup>P</sup>	21,53% <sup>P</sup>	15,82% <sup>P</sup>	-	-	-	-	-	-
	25,42% <sup>I</sup> <sup>2</sup>	39,36% <sup>I</sup>	39,36% <sup>I</sup>	38,74% <sup>I</sup>	24,83% <sup>I</sup>	15,44% <sup>I</sup>	10,50% <sup>I</sup>	-	-	-	-
	8,61% <sup>I</sup>	31,88% <sup>I</sup>	31,88% <sup>I</sup>	7,07% <sup>I</sup>	24,84% <sup>I</sup>	18,08% <sup>I</sup>	13,37% <sup>I</sup>	13,66% <sup>I</sup>	11,47% <sup>I</sup>	-	-
					20,86% <sup>I</sup>	25,14% <sup>I</sup>	18,65% <sup>I</sup>	17,35% <sup>I</sup>	15,56% <sup>I</sup>	17,43% <sup>I</sup>	-
					11,86% <sup>I</sup>	25,38% <sup>I</sup>	19,32% <sup>I</sup>	19,97% <sup>I</sup>	16,13% <sup>I</sup>	17,85% <sup>I</sup>	16,05% <sup>I</sup>
					1,81% <sup>I</sup>	15,96% <sup>I</sup>	20,20% <sup>I</sup>	19,34% <sup>I</sup>	16,86% <sup>I</sup>	17,89% <sup>I</sup>	18,90% <sup>I</sup>
							12,48% <sup>I</sup>	14,42% <sup>I</sup>	15,30% <sup>I</sup>	16,69% <sup>I</sup>	17,29% <sup>I</sup>
							4,47% <sup>I</sup>	7,38% <sup>I</sup>	12,08% <sup>I</sup>	12,57% <sup>I</sup>	13,81% <sup>I</sup>
							1,01% <sup>I</sup>	5,60% <sup>I</sup>	7,66% <sup>I</sup>	9,17% <sup>I</sup>	11,79% <sup>I</sup>
								1,57% <sup>I</sup>	3,60% <sup>I</sup>	4,79% <sup>I</sup>	9,39% <sup>I</sup>
								0,35% <sup>I</sup>	1,21% <sup>I</sup>	2,40% <sup>I</sup>	6,72% <sup>I</sup>
									1,14% <sup>I</sup>	1,00% <sup>I</sup>	3,68% <sup>I</sup>
										0,27% <sup>I</sup>	1,96% <sup>I</sup>
											0,46% <sup>I</sup>

1. P = Folha Primária

2. I = Folha Trifoliada

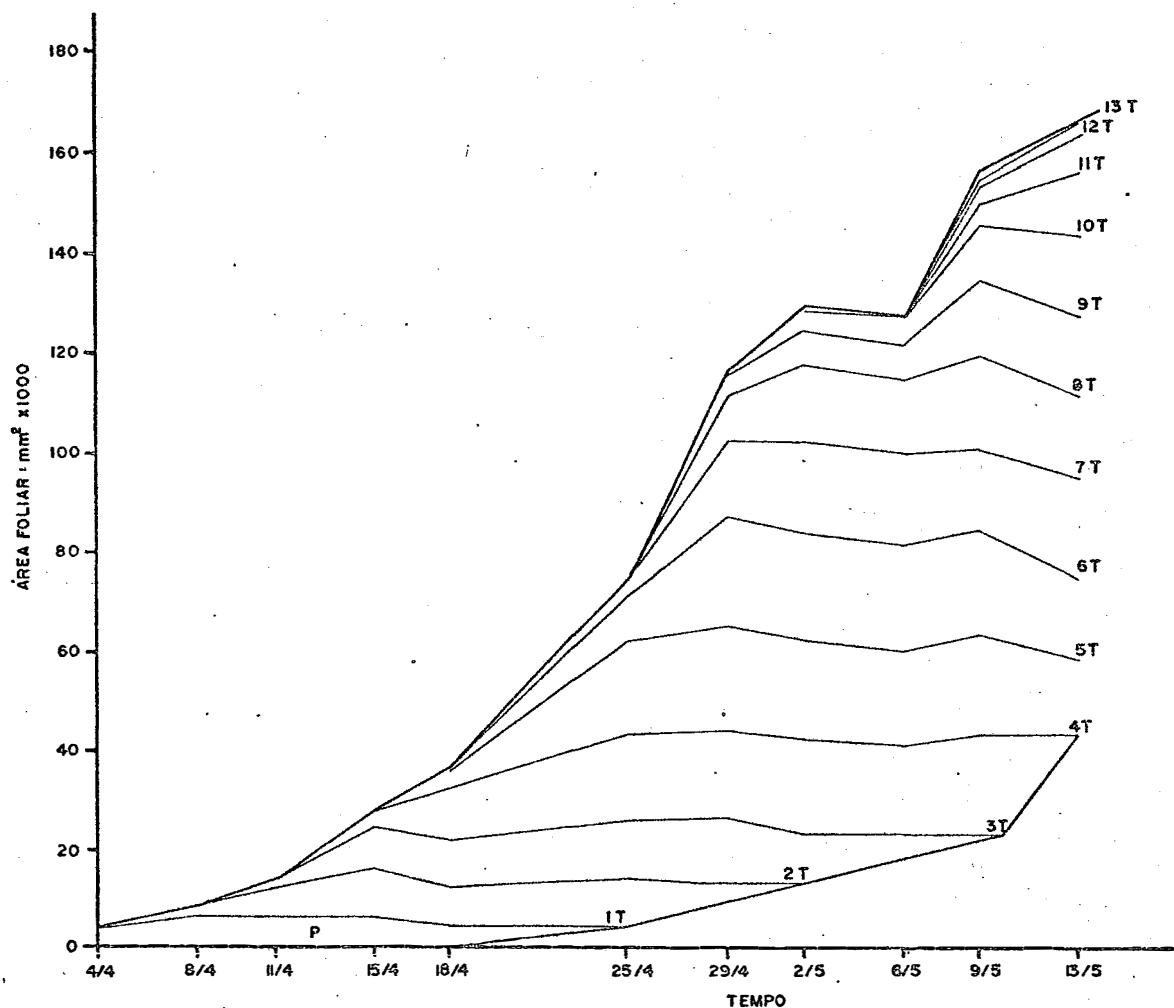


Figura 6. Curva de crescimento do feijoeiro considerando-se área foliar das folhas primárias (P) e trifoliadas (T) da haste principal, para a linhagem Rosinha

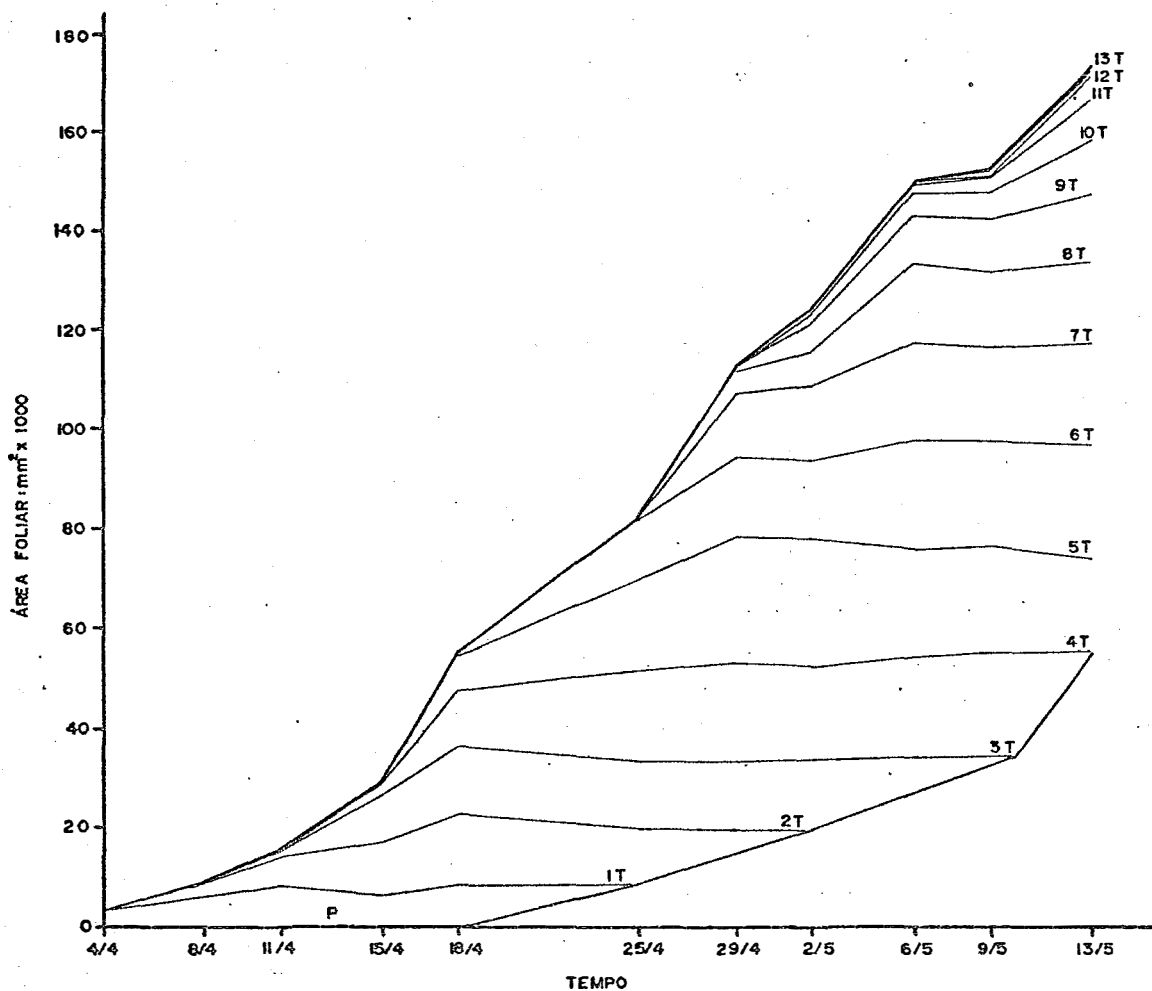


Figura 7. Curva de crescimento do feijoeiro considerando-se a área foliar das folhas primárias (P) e trifolioladas (T) da haste principal, para a linhagem Carioca

Tabela 12. Área foliar (mm<sup>2</sup>) de uma planta de feijoeiro, no período de 05/08/85 a 23/09/85, e as porcentagens correspondentes a cada tipo de folha, para a linhagem Rosinha

Data	05/08	08/08	12/08	15/08	19/08	22/08	26/08	30/08	02/09	09/09	15/09	23/09
	3.451,90	4.124,12	7.726,20	12.753,60	22.325,99	43.400,97	44.969,82	86.654,79	131.405,65	173.362,28	193.063,43	248.785,86
100% P <sup>1</sup>	100% P	85,85% P	59,93% P	29,47% P	25,63% P	-	-	-	-	-	-	-
		14,16%IT <sup>2</sup>	33,20%IT	42,06%IT	27,32%IT	30,09%IT	15,62%IT	11,02%IT	11,02%IT	-	-	-
		6,87%IT	23,48%IT	23,72%IT	23,72%IT	28,72%IT	16,10%IT	12,42%IT	12,42%IT	-	-	-
			4,99%IT		18,27%IT	28,57%IT	23,34%IT	16,15%IT	12,40%IT	11,05%IT	11,05%IT	-
					3,50%IT	9,75%IT	19,99%IT	16,54%IT	13,94%IT	12,04%IT	12,04%IT	-
							9,58%IT	13,52%IT	14,25%IT	11,32%IT	11,32%IT	9,08%IT
							1,54%IT	2,85%IT	6,30%IT	11,88%IT	10,92%IT	6,40%IT
									2,02%IT	9,61%IT	9,48%IT	8,18%IT
									0,30%IT	5,00%IT	6,90%IT	7,27%IT
										1,88%IT	5,12%IT	5,50%IT
										0,70%IT	2,10%IT	5,00%IT
											0,77%IT	4,76%IT
											0,13%IT	3,89%IT
												1,66%IT
												0,76%IT
												0,20%IT
												9,42%IT
												6,77%IT
												12,91%IT
												16,60%IT
												4,07%IT
												4,12%IT

1. P = Folha Primária  
2. I = Folha Trifoliada

Tabela 13. Área foliar ( $\text{mm}^2$ ) de uma planta de feijoeiro, no período de 05/08/85 a 23/09/85, e as porcentagens correspondentes a cada tipo de folha, para a linhagem Carioca

Data	05/08	08/08	12/08	15/08	19/08	22/08	26/08	30/08	02/09	09/09	15/09	23/09
	2.904,50	4.522,40	8.960,99	12.932,22	24.015,37	39.858,39	48.500,01	85.471,48	134.336,27	191.138,74	184.025,76	321.965,70
100% <sup>1</sup>	100%P	89,38%P	60,88%P	34,97%P	-	-	-	-	-	-	-	-
		10,62% <sup>T</sup>	33,56% <sup>T</sup>	41,44% <sup>T</sup>	39,48% <sup>T</sup>	34,98% <sup>T</sup>	19,86% <sup>T</sup>	12,76% <sup>T</sup>	-	-	-	-
			5,56% <sup>T</sup>	18,12% <sup>T</sup>	30,08% <sup>T</sup>	28,86% <sup>T</sup>	19,36% <sup>T</sup>	12,35% <sup>T</sup>	8,86% <sup>T</sup>	-	-	-
				5,47% <sup>T</sup>	22,46% <sup>T</sup>	27,06% <sup>T</sup>	25,46% <sup>T</sup>	17,74% <sup>T</sup>	12,78% <sup>T</sup>	-	-	-
					5,33% <sup>T</sup>	6,93% <sup>T</sup>	17,98% <sup>T</sup>	17,93% <sup>T</sup>	14,87% <sup>T</sup>	14,39% <sup>T</sup>	-	-
						6,21% <sup>T</sup>	13,59% <sup>T</sup>	13,59% <sup>T</sup>	13,59% <sup>T</sup>	14,60% <sup>T</sup>	6,56% <sup>T</sup>	6,56% <sup>T</sup>
						2,65% <sup>T</sup>	1,25% <sup>T</sup>	4,79% <sup>T</sup>	11,34% <sup>T</sup>	12,15% <sup>T</sup>	6,49% <sup>T</sup>	6,49% <sup>T</sup>
								0,93% <sup>T</sup>	6,10% <sup>T</sup>	9,96% <sup>T</sup>	6,70% <sup>T</sup>	6,70% <sup>T</sup>
									1,94% <sup>T</sup>	7,59% <sup>T</sup>	4,74% <sup>T</sup>	4,74% <sup>T</sup>
									0,53% <sup>T</sup>	5,78% <sup>T</sup>	3,81% <sup>T</sup>	3,81% <sup>T</sup>
										2,89% <sup>T</sup>	3,64% <sup>T</sup>	3,64% <sup>T</sup>
											1,66% <sup>T</sup>	3,30% <sup>T</sup>
											0,74% <sup>T</sup>	1,73% <sup>T</sup>
											0,08% <sup>T</sup>	0,70% <sup>T</sup>
											1,30% <sup>T</sup>	0,27% <sup>T</sup>
											11,29% <sup>N</sup>	
											3,24% <sup>N</sup>	20,45% <sup>N</sup>
											7,51% <sup>N</sup>	4,03% <sup>N</sup>
											7,28% <sup>N</sup>	16,03% <sup>N</sup>
											14,48% <sup>N</sup>	14,48% <sup>N</sup>
											7,21% <sup>N</sup>	7,21% <sup>N</sup>

1. P = Folha Primária

2. T = Folha Trifoliada

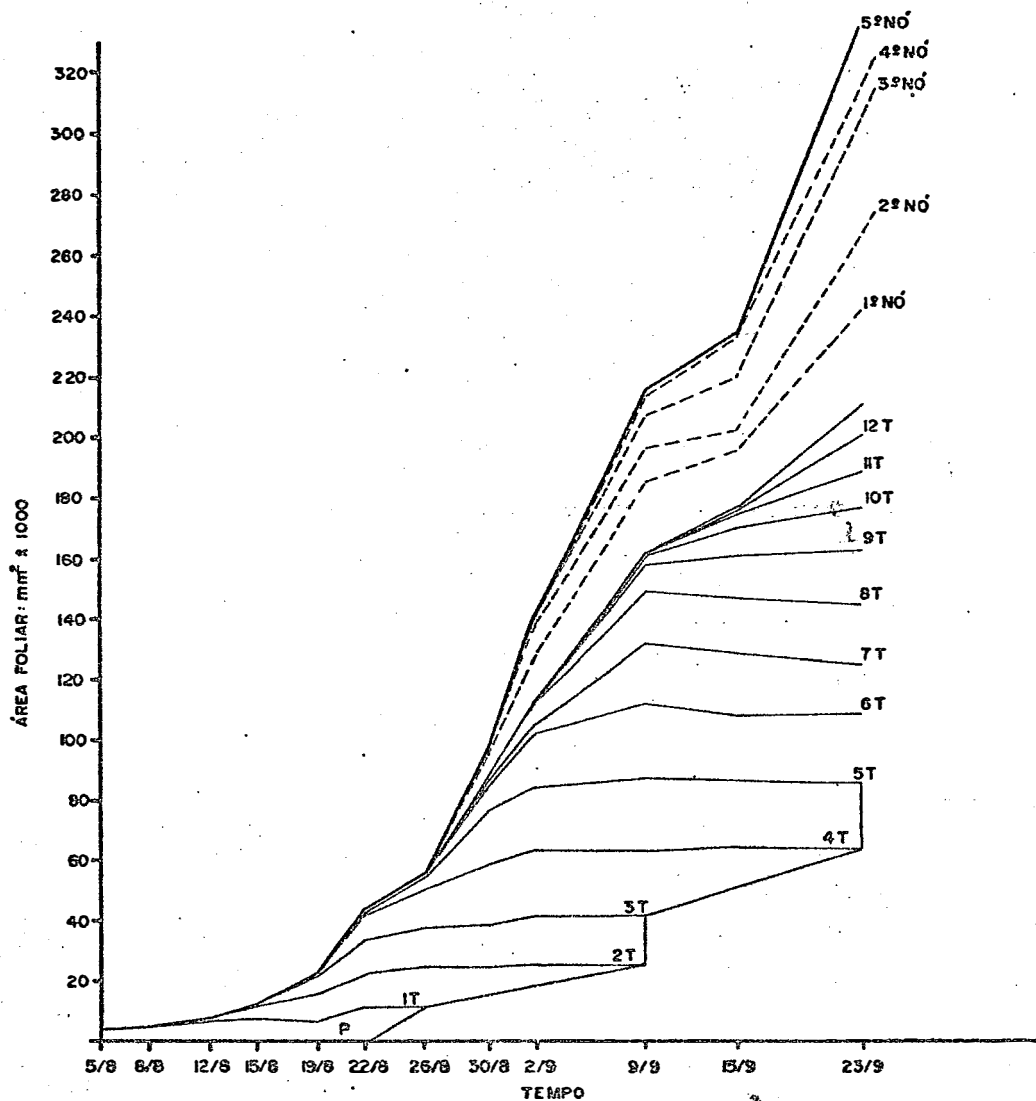


Figura 8. Curva de crescimento do feijoeiro considerando-se a área foliar das folhas primárias (P), trifoliadas da haste principal (T) e trifoliadas dos nós (NÓ); para a linhagem Rosinha

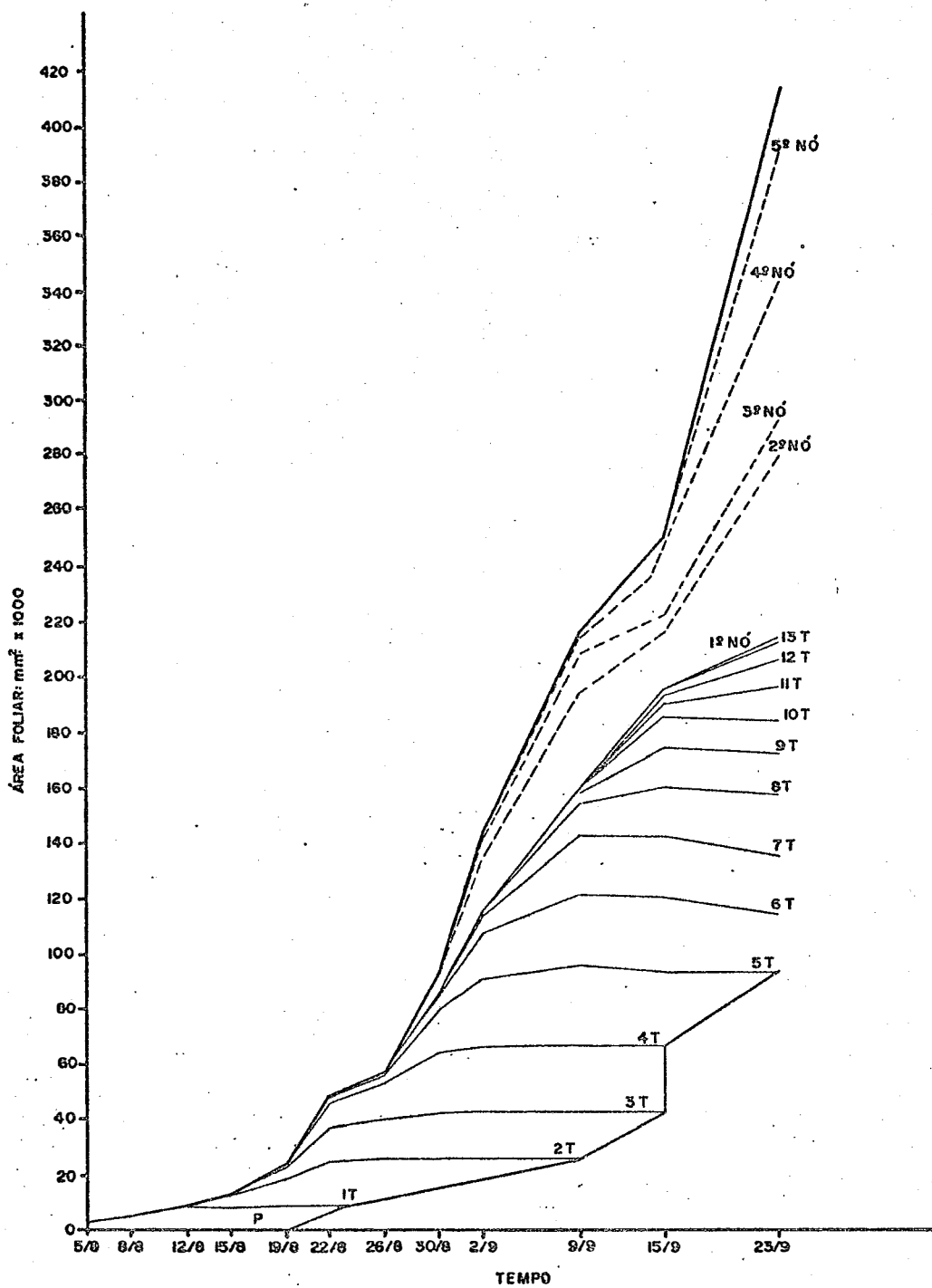


Figura 9. Curva de crescimento do feijoeiro considerando-se a área foliar das folhas primárias (P), trifolioladas da haste principal (T) e trifolioladas dos nós (NÓ), para a linhagem Carioca



#### 4.2.2. Determinação da curva de progresso da doença

A Figura 10 mostra as curvas de progresso da doença, para as linhagens Rosinha e Carioca. O ensaio foi instalado em fim de JUNHO/86, tendo-se iniciado as avaliações em 17 JULHO/86 quando se podia visualizar as primeiras pústulas, prosseguindo-se até 18 AGOSTO/86 quando o número de folhas mortas, nas plantas, já era bastante alto. Também se encontram representados na Figura 10 os valores das temperaturas máxima e mínima diárias, o número de horas de orvalho presente em cada dia e os dias em que ocorreu precipitação pluviométrica com a quantidade (mm) de chuva, no período. Foram calculadas as taxas aparentes de infecção, tendo-se obtido os valores de  $r = 0,0872$  por dia e  $r = 0,0066$  por dia para as linhagens Rosinha e Carioca, respectivamente.

A Figura 11 mostra as curvas de progresso da doença para as linhagens Rosinha e Carioca obtidas no segundo ensaio, SETEMBRO/86. As avaliações iniciaram-se em 13 OUTUBRO/86, prosseguindo até 7 NOVEMBRO/86. O critério para início e término das avaliações foi o mesmo adotado no ensaio anterior. Também se encontram representados na Figura 11 os valores das temperaturas máximas e mínimas diárias, o número de horas de orvalho presente em cada dia e os dias em que ocorreu precipitação pluviométrica, com a respectiva quantidade, em mm, no período. Foram calculadas as taxas aparentes de infecção, tendo-se obtido os valores de  $r = 0,1293$  por dia e  $r = 0,011$  por dia para as linhagens Rosinha e Carioca, respectivamente.

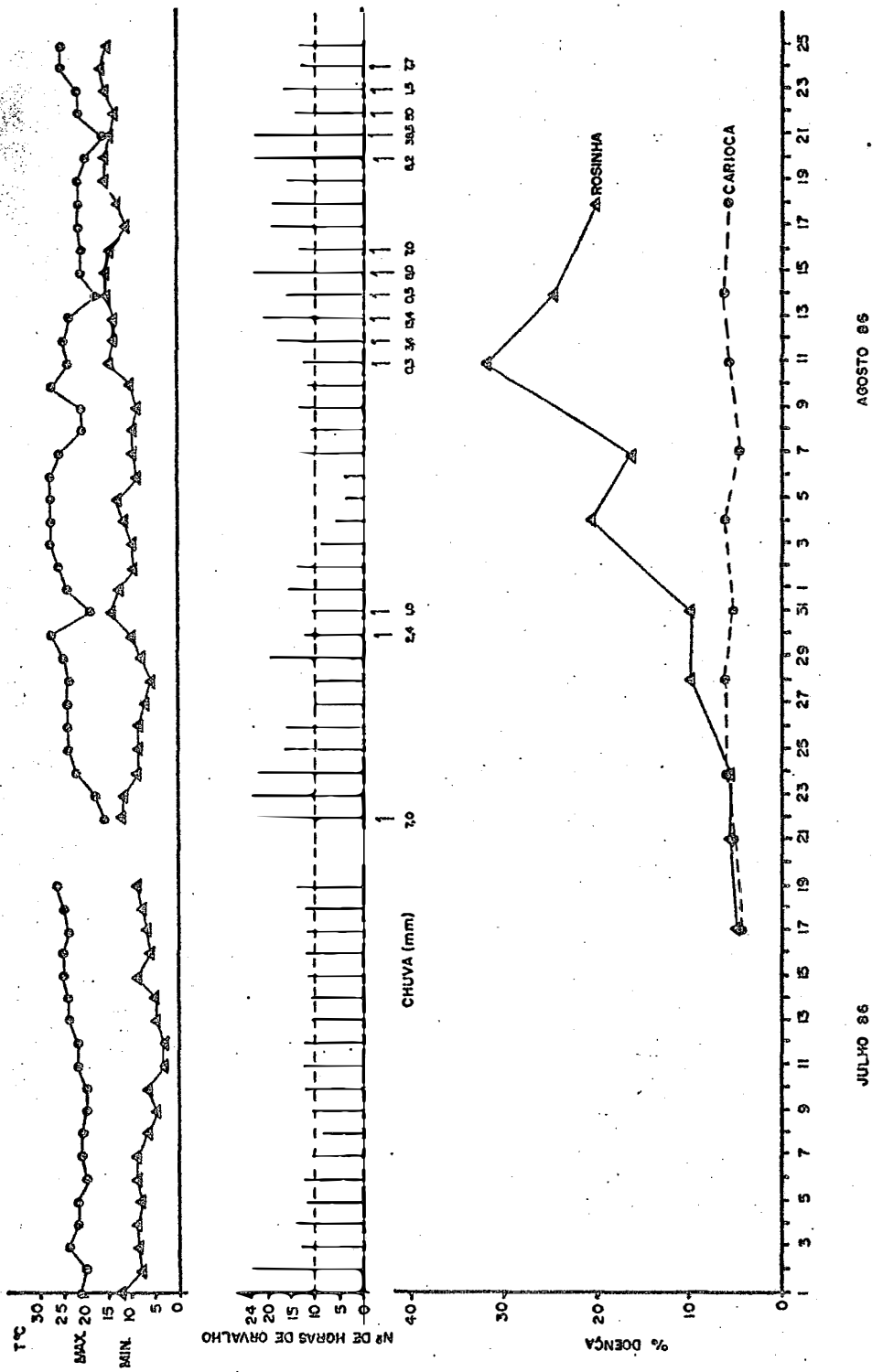


Figura 10. Curvas de progresso da doença para as linhagens Rosinha e Carioca, considerando os valores das temperaturas máxima e mínima diárias, o número de horas de orvalho e a quantidade de chuva, para o plantio de JUNHO/86

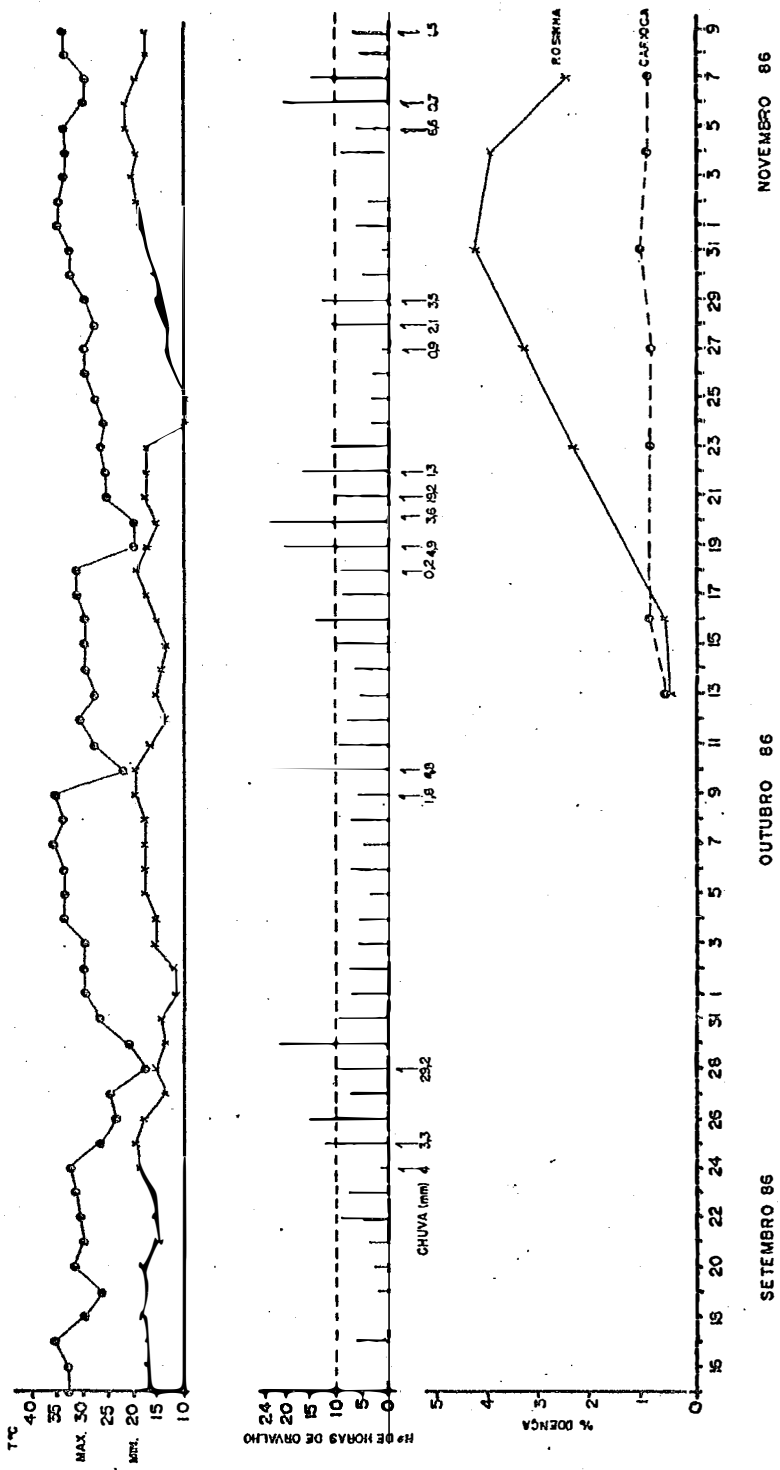


Figura 11. Curvas de progresso da doença para as linhagens Rosinha e Carioca, considerando os valores das temperaturas máxima e mínima diárias, o número de horas de orvalho e a quantidade de chuva, para o plantio de SETEMBRO/86

## 5. DISCUSSÃO

Um sistema é definido como uma série de processos complexos inter-dependentes, que possuem muitas relações de causa - efeito (KRANZ & HAU, 1980), constituindo-se de subsistemas que interagem entre si para a realização de uma determinada função (TENG & ZADOKS, 1980). Uma das maneiras de estudar e entender o comportamento de um sistema é através da identificação dos diferentes subsistemas, que ocorrem em diferentes níveis de organização, de modo que o estudo detalhado dessas partes possibilite a compreensão do processo como um todo (WAGGONER, 1974; TENG, 1985). Numa epidemia, essas partes são representadas pela população do patógeno e pela população do hospedeiro, que interagem sob influência do ambiente dando origem a uma terceira população: a população de lesões (KRANZ, 1974a, 1974b).

Um modelo é a representação simplificada de um sistema (KRANZ & HAU, 1980), constituindo-se de uma série de equações matemáticas que descrevem o sistema quantitativamente (TENG & ZADOKS, 1980). Os modelos de simulação de epidemias seguem o conceito da cadeia de infecção

de GAUMANN (KRANZ, 1979), isto é, a sequência de eventos desde a infecção e manifestação dos sintomas até a esporulação e ocorrência de novas infecções.

Os dados necessários para a construção de um modelo de simulação de epidemias são obtidos através de informações já existentes na literatura e pela condução de ensaios específicos para o estudo dos parâmetros do ambiente, patógeno e hospedeiro importantes para o sistema, incluindo a coleta de dados em experimentos de campo e em condições controladas. Os experimentos de campo fornecem uma visão holística do problema (KRANZ & HAU, 1980) permitindo que se construa a curva de progresso da doença, que representa todas as interações que ocorrem entre o patógeno e o hospedeiro sob a influência do ambiente (TENG & ZADOKS, 1980). Nesses ensaios de campo, além de avaliações periódicas da severidade da doença, devem ser quantificados parâmetros de clima (temperatura, chuva, número de horas de orvalho, etc.), parâmetros do hospedeiro (acompanhamento dos diferentes estádios de desenvolvimento) e parâmetros do patógeno (quantidade e viabilidade dos esporos que chegam à cultura, modo de disseminação, etc.). Os dados obtidos em condições de campo indicam quais os parâmetros relacionados com a ocorrência de epidemias, que devem ser estudados com maior ênfase. Numa etapa futura, utiliza-se os dados de campo para testar a eficiência do modelo.

Os experimentos realizados em condições controladas de ambiente visam determinar a influência de um determinado parâmetro de clima, hospedeiro ou patógeno, na cadeia de infecção de uma maneira mais detalhada (KRANZ & HAU, 1980). Nesses ensaios são determinados, por

exemplo, a influência do estágio de desenvolvimento do hospedeiro na resistência (AUST *et alii*, 1983); a influência da temperatura na germinação dos esporos, infecção e esporulação (TENG & CLOSE, 1978; IMHOFF *et alii*, 1981; HAU *et alii* 1983; PLOETZ & SHOKES, 1986) ou ainda número de horas de orvalho necessárias para infecção (CASTOR *et alii*, 1977; IMHOFF *et alii*, 1982b; ALDERMAN & BEUTE, 1986). Essas informações são normalmente expressas através de componentes da resistência como o período latente, frequência de infecção e produção de esporos, estabelecendo-se os limites de temperatura, umidade e horas de orvalho para ocorrência da infecção ou estágio de desenvolvimento do hospedeiro de maior suscetibilidade (KRANZ, 1979). Esses ensaios em condições controladas podem ser realizados com muitos detalhes, permitindo que se estude as diversas fases da cadeia de infecção como germinação, formação de apressório e liberação dos esporos, sob diferentes condições (IMHOFF *et alii*, 1982a; ALTEN, 1983). No entanto, embora os experimentos realizados em condições controladas sejam de grande utilidade no entendimento das causas da ocorrência de uma epidemia, numa determinada época, eles jamais substituem os ensaios de campo, realizados em condições naturais de infecção (KRANZ & HAU, 1980).

Os primeiros modelos de simulação de epidemias apresentados, aqueles da família EPIDEM (WAGGONER & HORSFALL, 1969; KRANZ, 1979), consideram o sistema epidêmico de uma maneira complexa, incluindo todos os parâmetros de clima, do hospedeiro e do patógeno que interferem na cadeia de infecção. Mais recentemente, estão surgindo novas escolas que recomendam a construção de modelos de simulação mais simples, considerando apenas os fatores que realmente governam a epidemia (AUST *et alii*,

1983). Mesmo assim, as fases de disseminação e dispersão dos esporos continuam sendo as mais difíceis de serem simuladas, sendo que alguns autores preferem quantificar esses dados de uma maneira indireta através da utilização de plantas armadilhas (AUST *et alii*, 1983; HAU *et alii*, 1983).

### 5.1. Temperatura

A influência da temperatura no desenvolvimento de epidemias é um fato comprovado sendo que muitas vezes a temperatura pode se tornar condição limitante ao desenvolvimento do patógeno (ROTEM, 1978; HAU *et alii*, 1983). Quando se estuda as relações entre temperatura e ocorrência da doença, de modo a estabelecer uma equação matemática que descreva essas relações, a avaliação da doença deve ser realizada através de um parâmetro de real importância epidemiológica (ZADOKS & SCHEIN, 1979) e a quantificação deste parâmetro deve ser realizada sob uma série de temperaturas diferentes, em condições controladas. Normalmente, trabalha-se no mínimo com quatro ou cinco temperaturas, que se encontrem dentro dos limites de ocorrência da doença em condições de campo (SHEARER & ZADOKS, 1972; ALLEN *et alii*, 1982; TORMELIN & JONES, 1983).

O período latente (tempo decorrido entre a inoculação e o aparecimento de lesões esporulantes) é um dos parâmetros de maior significado epidemiológico, já que determina a velocidade de aumento da doença, tendo sido escolhido, por diversos autores, como o parâmetro de avaliação de doença nos estudos que visam estabelecer as relações com a temperatura (TOLENAAR & HOUSTON, 1967; SHEARER & ZADOKS, 1972; TENG &

CLOSE, 1978; MCGREGOR & MANNERS, 1985). Em sistemas onde o período de incubação está diretamente correlacionado com o período latente, o estabelecimento das relações entre temperatura e doença poder ser realizado baseando-se neste parâmetro (AUST, 1981). Normalmente, a equação matemática que se adapta a esses dados representa uma curva em forma de U (TOLENAAR & HOUSTON, 1967), em semelhança a uma função parabólica (AUST, 1981). A adaptação dos dados a este tipo de curva indica que o período latente é longo em temperaturas abaixo e acima do ponto ótimo para desenvolvimento da doença, onde o período latente atinge seu valor mínimo, isto é, nesta temperatura a velocidade de desenvolvimento da epidemia é maior (SHEARER & ZADOKS, 1972; ALLEN *et alii*, 1982).

No sistema em estudo, baseando-se em informações da literatura (SCHEIN, 1961) tem-se que temperaturas ao redor de 21°C são favoráveis ao desenvolvimento da doença. Assim, para o estudo do efeito da temperatura no sistema, escolheu-se uma temperatura abaixo, 17°C (MENDES, 1985), e uma acima deste ponto, 25°C, onde realizou-se a quantificação dos parâmetros período de incubação, período latente e frequência de infecção. No ensaio realizado a 25°C pôde-se verificar que os períodos de incubação e latente (Tabela 1) mostravam-se mais longos que a 21°C (Apêndice 1). Porém a maior diferença ocorre na frequência de infecção (Apêndices 1 e 2) que sofreu uma queda brusca em relação aos valores obtidos a 17 e 21°C (MENDES, 1985).

Com os dados já existentes para as temperaturas de 17 e 21°C (MENDES, 1985) e os obtidos agora, a 25°C, foi realizada uma análise estatística conjunta, de modo a determinar as diferenças significativas.



entre as três temperaturas. Assim, obteve-se que os períodos de incubação e latente são mais longos às temperaturas de 17 e 25°C (Tabela 2) quando comparados com os valores obtidos a 21°C. IMHOFF *et alii* (1982b) determinaram que o período latente a 16°C é de 9 dias, enquanto que a 21° e 24°C é de 7,5 e 7 dias, respectivamente, e que em plantas mantidas a 27°C as lesões não produziram esporos, confirmando a tendência de que a temperatura ótima para ocorrência da ferrugem do feijoeiro está ao redor de 21°C. Comparando-se os dados obtidos no sistema em estudo com aqueles obtidos em outros sistemas patógeno-hospedeiro, pode-se incluir a ferrugem do feijoeiro no grupo de patógenos onde um aumento da temperatura, na faixa 10-20°C, provoca uma diminuição no período latente, como para *Septoria nodorum* (SHEARER & ZADOKS, 1972), *Puccinia hordei* (TENG & CLOSE, 1978), *P. recondita tritici* (TORMELIN *et alii*, 1983) e *P. striiformis* (MCGREGOR & MANNERS, 1985).

Um outro parâmetro epidemiológico que pode ser utilizado no estudo das relações entre temperatura e ocorrência da doença é a frequência de infecção (POLITOWSKI & BROWNING, 1975; ALLEN *et alii*, 1982; AUST, 1981). De maneira semelhante ao período latente, deve-se utilizar uma série de temperaturas diferentes, de modo que se possa adaptar uma equação matemática aos dados. Normalmente, a curva que relaciona frequência de infecção e temperatura possui a forma de um U invertido, isto é, temperaturas abaixo e acima do ponto ótimo para o desenvolvimento da doença, possibilitam o desenvolvimento de um número muito pequeno de lesões. No sistema *U. phaseoli* - feijoeiro, detectou-se um maior número de lesões a 17°C (Tabela 2), o qual decresce drasticamente a 25°C.

É necessário que se estude a frequência de infecção sob temperaturas abaixo de 17°C a fim de se determinar qual o limite inferior de ocorrência da doença.

Embora com os dados dos períodos de incubação e latente e frequência de infecção sob três temperaturas diferentes não seja possível, ainda, adaptar uma equação matemática que descreva as relações entre a temperatura e a doença, com eles pode-se certificar que a ferrugem do feijoeiro ocorre em temperaturas baixas, conforme observado por HARTER & ZAUMEYER (1941), e SCHEIN (1961), pois o período latente é mais curto e a frequência de infecção maior a 21 e 17°, respectivamente.

## 5.2. Umidade

Dos fatores que proporcionam umidade à cultura (chuva, orvalho, água de irrigação), a duração do período de orvalho parece ser o que possui maior influência na ocorrência de epidemias de patógenos foliares, pois a grande maioria destes necessita de água livre na superfície foliar para a infecção e, algumas vezes, esporulação (ROTEM; 1978; ROYLE & BUTLER, 1986). A formação de orvalho ocorre à noite, através da condensação de água na superfície foliar (JONES, 1986), coincidindo com as condições de ausência de luz favoráveis para a germinação e esporulação de vários fungos fitopatogênicos (ROTEM, 1978).

As ferrugens se caracterizam por exigirem um período mínimo de três horas de orvalho para o início da germinação dos uredosporos, sendo que para a formação do apressório e infecção são necessários períodos mais longos de molhamento (POLITOWSKI & BROWNING, 1975; HOLLIER

& KING, 1985). Os primeiros estudos sobre a epidemiologia da ferrugem do feijoeiro já mostraram que a doença ocorre sempre associada a condições de alta umidade relativa do ar (acima de 95%), durante pelo menos oito horas por dia (HARTER & ZAUMEYER, 1941). Estudos mais recentes (IMHOFF *et alii*, 1981) demonstraram que são necessárias no mínimo quatro horas de orvalho para que ocorra o início da germinação dos uredosporos na superfície foliar, que atinge um máximo com um período de dez horas de molhamento.

No presente trabalho utilizou-se o parâmetro epidemiológico frequência de infecção (número de lesões/folha) para estabelecer as relações entre quantidade de doença e os diferentes períodos de orvalho. Num experimento preliminar (Tabela 7), realizado à temperatura de 21°C, onde os períodos de molhamento variam de 0 a 48 horas, pôde-se verificar que na ausência de água livre na superfície não ocorre infecção, que com um período de quatro horas ocorre o número mínimo de infecções, o qual atinge um máximo a partir de dez horas de molhamento. Esses dados encontram-se de acordo com aqueles obtidos por IMHOFF *et alii* (1981), existindo uma correlação entre germinação e produção de lesões nestes períodos de molhamento.

No entanto, sabe-se que para ocorrência da doença em proporções epidêmicas é necessário que o período de molhamento da superfície foliar ocorra associado a condições de temperatura favoráveis para o desenvolvimento do patógeno (JONES, 1986), existindo muitas vezes um efeito do tipo compensação entre esses dois fatores, sendo que em muitos sistemas um período de orvalho mais longo aumenta a faixa de temperatura

própria para ocorrência da doença (COHEN, 1977; AUST *et alii*, 1980; HOLLIER & KING, 1985).

No caso da ferrugem do feijoeiro verificou-se que mesmo sob longos períodos de molhamento (13-25 horas) as plantas inoculadas e incubadas a 25°C apresentaram sempre um número baixo de lesões, quando comparado com aqueles obtidos a 17 e 21°C, confirmando assim que a temperatura de 25°C não é favorável à ocorrência da doença. Analisando-se o número de lesões obtidos nos diferentes períodos de molhamento a 25°C tem-se um maior número de lesões em períodos de, no mínimo, 10 horas de orvalho, nas duas linhagens estudadas (Tabelas 8 e 9). Já na análise dos resultados obtidos às temperaturas de 17 e 21°C, as quais são mais favoráveis ao desenvolvimento da doença (Tabela 2), pôde-se verificar um maior número de lesões, em relação a 25°C, já com períodos de sete horas de molhamento (Tabelas 8 e 9), sendo que nos experimentos realizados com a linhagem Rosinha (Tabela 8), a partir deste período o número de lesões sempre foi maior a 17°C. Embora com sete horas de orvalho as diferenças entre as temperaturas de 17 - 21°C e 25°C já possam ser notadas estatisticamente, elas se tornam mais visíveis com períodos de molhamento superiores a 10 horas (Figuras 4 e 5).

Pela análise destes experimentos, simulando as condições de orvalho e temperatura do campo, pôde-se observar que a ferrugem do feijoeiro é uma doença que possui exigências de clima bem definidas para sua ocorrência, isto é, é necessário que ocorra a combinação de condições de temperaturas amenas (na faixa 17-21°C) e longos períodos de molhamento da superfície foliar (acima de 10 horas) para que a velocidade

de aumento da doença e o número de lesões por folha sejam maiores. A combinação destes dois fatores favoráveis não ocorre com frequência em condições naturais o que faz com que a ferrugem do feijoeiro seja uma doença de ocorrência esporádica (HARTER & ZAUMEYER, 1941).

### 5.3. Estágio de Desenvolvimento do Hospedeiro

Existem duas maneiras de se referir à influência do estágio de desenvolvimento do hospedeiro nas reações à presença de um patógeno. A primeira refere-se às variações que ocorrem na resistência em folhas velhas, aquelas totalmente expandidas (BASHI *et alii*, 1983; HAU *et alii*, 1983; REUVENI *et alii*, 1986) e a segunda refere-se às variações que ocorrem em folhas que se formam em estádios mais avançados de desenvolvimento do hospedeiro, como a folha bandeira em gramíneas (AUST *et alii*, 1983; OSMAN-GHANI & MANNERS, 1985; QI & MEW, 1985), sendo este fenômeno denominado de resistência de planta adulta, já que ela se expressa apenas em plantas que se encontram em estádios avançados de desenvolvimento (VANDERPLANK, 1982).

Essas variações na resistência também foram detectadas no sistema *U. phaseoli* - feijoeiro, através de diferentes parâmetros como frequência de infecção (SCHEIN, 1963; 1965; GROTH & URS, 1982), porcentagem de uredosporos que formam apressório (ALTEN, 1983) e tamanho de pústulas (SHAIK & STEADMAN, 1986), sempre demonstrando um aumento na resistência com a idade.

No presente trabalho, fez-se a determinação do período de incubação, período latente e frequência de infecção, em folhas primárias

e trifoliadas, com cinco idades diferentes (Tabelas 3, 4, 5 e 6). Sempre que se detectou diferenças entre os tratamentos, foi no sentido de um aumento na resistência com a idade, independente do tipo de folha ou linhagem utilizada. Assim, verificou-se que o período de incubação e o período latente (Figuras 1 e 2) são mais curtos em folhas jovens em comparação com os valores obtidos em folhas velhas. Embora a literatura não apresente dados referentes a quantificação dos períodos de incubação e latente, em folhas de diferentes idades, neste sistema, SCHEIN (1963; 1965) refere-se a esse fato observando que os sintomas apareciam mais cedo em folhas mais jovens.

Quanto à frequência de infecção verificou-se que o número de lesões que se formam em folhas velhas é menor do que aquele obtido em folhas novas (Figura 3). É interessante notar que as diferenças se acentuam, isto é, a resistência se expressa de maneira mais significativa, em folhas que possuem mais de oito dias de idade. Esses resultados, juntamente com aqueles obtidos por ALTEN (1983), que também verificou uma queda na eficiência de idade, complementam o trabalho de GROTH & URS (1982) que estudaram a relação entre a frequência de infecção e a idade das folhas, apenas no período de um a sete dias de idade. SCHEIN (1963; 1965) demonstrou que embora as folhas se tornem mais resistentes com idade, no início de seu desenvolvimento, até que atinjam aproximadamente 4cm de comprimento, as folhas mostram-se mais suscetíveis ao patógeno. Esse fato não foi observado nos experimentos realizados por GROTH & URS (1982) com folhas primárias e trifoliadas de feijoeiro, que mostraram-se mais suscetíveis no primeiro dia após a emergência, decrescendo com a idade. No presente trabalho, não foi possível observar qual o

nível de resistência das folhas logo após sua emergência, já que as folhas mais jovens foram testadas com três dias de idade, quando já possuem 4cm de comprimento.

As hipóteses para explicar esse fenômeno de aumento da resistência com a idade das folhas, inicialmente baseava-se na dispersão dos estômatos em folhas totalmente expandidas o que diminuiria a probabilidade dos uredosporos encontrarem o estômato para penetração, além de mudanças no metabolismo da folha (SCHEIN, 1965). Mais recentemente, GROTH & URS (1982) comentaram que o aumento da resistência com a idade não deve estar relacionado com a densidade de estômatos nas folhas, já que não existe uma relação linear entre o número de lesões e idade das folhas, tendo sido demonstrado por ALTEN (1983) que a porcentagem de uredosporos que formam apressório em folhas velhas é pequeno, em relação a porcentagem formada em folhas novas.

Para a construção de modelos de simulação é necessário que se obtenha também informações sobre as possíveis variações que possam ocorrer no nível de resistência das folhas dos diferentes estádios de desenvolvimento da planta, pois sabe-se que em diversos sistemas patógeno-hospedeiro, principalmente aqueles que envolvem interações entre parasitas obrigados e gramíneas, existe uma tendência de um aumento no nível de resistência das folhas dos estádios de desenvolvimento mais avançados, como a folha bandeira (AUST *et alii*, 1983; OSMAN-GHANI & MANNERS, 1985). No sistema *U. phaseoli* - feijoeiro, ainda não foram feitos estudos para verificar a existência de variações no nível de resistência das diferentes folhas trifoliadas, existindo apenas observações de que a

folha trifoliada é mais suscetível que a folha primária (MENDES, 1985) e que o fenômeno, já discutido, de aumento no nível de resistência com a idade, também ocorre nas primeira e segunda trifoliadas (SCHEIN, 1965).

Sabe-se que o fenômeno de aumento na resistência com a idade da planta ou de folhas isoladas, não é um fato que ocorre em todos os sistemas patógeno-hospedeiro, existindo também aqueles onde ocorre um aumento na suscetibilidade do hospedeiro com a idade (ALLEN *et alii*, 1982; MILLER, 1983; ALDERMAN & LACY, 1983; GODOY & GIMENES FERNANDES, 1985). No entanto, os dados obtidos para o sistema *U. phaseoli* - feijoeiro vão de encontro à hipótese de ZADOKS & SCHEIN (1979) de que a resistência parcial contra fungos biotróficos aumenta com a idade.

#### 5.4. Desenvolvimento do feijoeiro

A preocupação em estudar o desenvolvimento do hospedeiro, de modo a relacionar o tipo de folha e seu estágio de desenvolvimento com a presença do patógeno, é recente em epidemiologia de doenças de plantas (KUSHALAPPA & LUDWIG, 1982; AUST *et alii*, 1983; WAGGONER, 1986), apesar de VANDERPLANK (1963) já ter discutido o fato do crescimento do hospedeiro causar uma diluição na quantidade de tecido infectado no campo. Se a taxa de crescimento do hospedeiro for maior do que a taxa de aumento da doença, a quantidade de doença no campo (porcentagem de área atacada) não vai aumentar até que o crescimento do hospedeiro diminua, isto é, até que o número de folhas novas que se formam seja pequeno (WAGGONER, 1986). Antes de se atingir esse ponto, onde a velocidade crescimento do



hospedeiro é baixa, é possível que a severidade da doença no campo diminua com o tempo, já que muitas folhas novas estão completamente sadias (VANDERPLANK, 1963; WAGGONER, 1986).

A influência do crescimento do hospedeiro no desenvolvimento de uma epidemia varia nos diferentes sistemas patógeno-hospedeiro. Assim, no caso da requeima da batatinha (VANDERPLANK, 1963) o crescimento do hospedeiro parece não ter grande influência na curva de progresso da doença pois a taxa  $r$  de aumento da doença, neste caso, é bastante elevada e o patógeno normalmente infecta o hospedeiro em estádios avançados de desenvolvimento, quando a taxa de crescimento do hospedeiro é baixa. No sistema *Erysiphe graminis* f.sp. *hordei* -- cevada (AUST *et alii*, 1983) a influência do hospedeiro parece ser maior já que folhas mais velhas e aquelas que se formam em estádios mais avançados de desenvolvimento são mais resistentes à presença do patógeno.

A análise do crescimento do feijoeiro foi realizada neste trabalho com o objetivo de obter informações sobre o desenvolvimento da planta, como por exemplo o número médio de folhas que são formadas durante o ciclo da cultura e a velocidade de aparecimento dessas folhas. Assim, foi possível verificar que o desenvolvimento do feijoeiro inicia-se com duas folhas primárias, que permanecem vivas por um período de 15-20 dias (Tabelas 10, 11, 12 e 13). As folhas seguintes são do tipo trifoliadas, isto é, possuem três folíolos, que começam a se desenvolver seis a sete dias após o aparecimento das folhas primárias. Essas folhas trifoliadas desenvolvem-se na haste principal da planta, sendo formadas de 13-15 folhas por planta, nos primeiros 45 dias do ciclo da cultura.

Além das folhas trifoliadas que se desenvolvem na haste principal, foi observado que 20-25 dias após a emergência, inicia-se o desenvolvimento de novas folhas trifoliadas (Tabelas 12 e 13), fazendo com que a área foliar aumente, significativamente, após essa fase.

IMHOFF *et alii* (1982a) mostram uma curva de crescimento do feijoeiro, baseada no número de folhas por planta e na área dessas folhas, onde a área foliar máxima é obtida aos 30-40 dias após a emergência o que coincide com os valores encontrados neste trabalho, principalmente quando não se considera as folhas que se desenvolvem nos nós (Tabelas 10 e 11).

As variações que ocorrem no desenvolvimento do hospedeiro que afetam a curva de progresso da doença não são apenas devido à emissão de novas folhas mas também devido à senescência de folhas velhas (WAGGONER, 1986). A remoção de folhas velhas que se encontram altamente infectadas faz com que ocorra uma diminuição na severidade média da doença (IMHOFF *et alii*, 1982a). No caso do feijoeiro, verificou-se que, em condições de campo, as folhas trifoliadas permanecem vivas por um período de 20-30 dias, após sua emergência.

A construção do gráfico de crescimento do feijoeiro considerando as diferentes folhas que estão se desenvolvendo, a área foliar destas folhas e as folhas que foram eliminadas (Figuras 6, 7, 8 e 9), permite que se obtenha informações sobre o número de folhas existentes e qual a idade dessas folhas numa determinada data, informações estas de grande importância para a simulação de doenças já que o nível de resistência das folhas varia conforme a idade e que a quantidade

de doença pode ser diluída numa fase de alta taxa de desenvolvimento do hospedeiro (AUST *et alii*, 1983; WAGGONER, 1986).

### 5.5. Análise do Progresso da Doença no Campo

A curva de progresso da doença, também denominada de gráfico de uma epidemia (KRANZ, 1974b), representa todas as interações que ocorrem entre o patógeno e o hospedeiro sob a influência do ambiente (TENG & ZADOKS, 1980). Existem vários motivos para se estudar o progresso da doença no campo, como o controle da doença, a identificação de um fungicida eficiente ou de uma variedade resistente ao patógeno, mas a principal razão para a determinação da curva de progresso da doença é o estudo das causas da ocorrência da epidemia (WAGGONER, 1986).

A construção da curva de progresso da doença é feita através de uma série de avaliações da severidade da doença no campo, durante um determinado período, obtendo-se informações sobre a quantidade inicial de doença e dos valores alcançados no fim do período. A necessidade de se fazer uma série de observações no período estudado, e não apenas duas avaliações, uma no início e outra no final do período, está baseada no fato de que raramente ocorre na natureza uma multiplicação constante do patógeno, pois o clima e a qualidade e quantidade do tecido do hospedeiro, disponível à infecção, mudam constantemente (WAGGONER, 1986).

Estudos que visam diferenciar o nível de resistência de variedades através da taxa aparente de infecção têm sido apresentados com frequência na literatura (RIBEIRO, 1978; MENTEN, 1980; BERGAMIN FILHO, 1983; 1984). Neste trabalho foi possível diferenciar o nível de

resistência das linhagens Rosinha e Carioca à ferrugem do feijoeiro, onde a linhagem Rosinha apresentou uma taxa aparente de infecção(r) treze e onze vezes maiores que a linhagem Carioca, nos ensaios de JUNHO/86 (Figura 10) e SETEMBRO/86 (Figura 11), respectivamente, demonstrando que a doença cresce mais rápido na linhagem Rosinha.

No entanto, uma simples análise da curva de progresso da doença não permite que se identifique quais são as causas da ocorrência da epidemia, naquele período, sendo necessário para isto que os dados de severidade da doença estejam associados a dados sobre o clima e/ou crescimento do hospedeiro, já que estes são os principais parâmetros responsáveis pelas variações nos valores da taxa aparente de infecção (KRANZ, 1968; WAGGONER, 1986).

Para a ferrugem do feijoeiro sabe-se que existem dois parâmetros importantes que condicionam a ocorrência da doença; temperatura e umidade (SCHEIN, 1961; 1965; IMHOFF *et alii*, 1981; 1982a, 1982b). Desses dois parâmetros a umidade, através da formação de orvalho, parece ser crítica para a ocorrência da doença, já que a presença ou ausência de um filme de água na superfície foliar determina a possibilidade de ocorrência da infecção (ver item 5.2). Os dados da literatura (SCHEIN, 1961; IMHOFF *et alii*, 1981; 1982a; 1982b) e aqueles obtidos neste trabalho (ver item 5.1) indicam a necessidade de temperaturas, ao redor de 17-21°C, para a infecção. Mas, não existem ainda informações sobre a influência da temperatura na colonização dos hospedeiro pelo patógeno, isto é, se temperaturas elevadas impedem a manifestação dos sintomas, quando a penetração do patógeno no hospedeiro já ocorreu. Assim, com base nos dados disponíveis sobre a epidemiologia desta doença

temos que a presença de orvalho é um parâmetro determinante da doença, sem o qual o patógeno não infecta o hospedeiro. É interessante ressaltar que a formação do orvalho ocorre à noite ou ao amanhecer, períodos do dia onde a temperatura é mais baixa, favorável à infecção.

Analisando-se os dados obtidos nos ensaios de campo e relacionando-os com os dados obtidos nos ensaios em condições controladas, tem-se que no primeiro ensaio, JUNHO/86 (Figura 10), as condições climáticas foram favoráveis para a ocorrência da doença durante todo o período, pois a temperatura máxima não excedeu 30°C nenhuma vez e a formação de orvalho ocorreu todos os dias, sendo que na maioria deles por um período de mais de dez horas. Quando ocorreu precipitação pluviométrica, as temperaturas máxima e mínima mantiveram-se próximas, evitando que os baixos valores da temperatura mínima, que normalmente ocorrem à noite, prejudicassem a infecção (IMHOFF *et alii*, 1981). Assim, os dias com chuva, que ocorreram no período, favoreceram a infecção tanto pela permanência de água livre na superfície foliar como pela manutenção da temperatura mínima em valores mais elevados.

No segundo ensaio, SETEMBRO/86 (Figura 11), as condições climáticas não eram tão favoráveis a ocorrência da infecção, como no anterior, pois o número de horas de orvalho manteve-se na maioria dos dias inferior a dez horas e a temperatura máxima atingiu valores acima de 30°C vários dias, durante o período. Com isso, a doença iniciou-se mais tarde e a severidade máxima foi, consideravelmente, mais baixa do que no ensaio anterior.

No segundo ensaio é possível identificar os dias onde as condições foram favoráveis à infecção, demonstrando o fato, já discutido por WAGGONER (1986), de que na análise do progresso da doença num período, os valores de severidade obtidos numa semana indicam a ocorrência de condições favoráveis à infecção na semana anterior. Este atraso na manifestação da doença em relação à infecção é devido ao período latente, isto é, o intervalo de tempo entre a inoculação do patógeno e a manifestação dos sintomas, que no caso da ferrugem do feijoeiro é de, aproximadamente, uma semana (PARLEVLIT, 1979; MENDES, 1985). Assim, na semana de 17-23/10, a ocorrência de cinco dias com chuva fez com que a temperatura máxima abaixasse e o período de molhamento das folhas se prolongasse, condições estas favoráveis à infecção da ferrugem do feijoeiro, que resultou num índice de severidade da doença mais alto nos dias 29-30/10 (Figura 11). Pode-se verificar ainda, que no início do período (24-28/09) ocorreram alguns dias com chuva e conseqüentemente a temperatura se manteve mais baixa, não sendo no entanto detectada a presença de doença no campo. Este fato pode ser explicado pela alta taxa de crescimento do hospedeiro no início do ciclo (ver item 5.4), a qual, provavelmente, era mais alta que a taxa de aumento da doença, causando uma diluição da doença no campo (KRANZ, 1975; SALGADO, 1983; WAGGONER, 1986).

Sabe-se que o gráfico do progresso da doença nem sempre mostra uma curva ascendente, podendo existir períodos onde a quantidade de doença diminui, resultando numa curva descendente (KRANZ, 1968). Isso se deve a variações que ocorrem nos valores da taxa aparente de infecção(r) (WAGGONER, 1986), que são devidas a diversos fatores como

esgotamento do inóculo, isto é, a maioria das lesões não estão produzindo esporos; a eliminação de tecido doente da epidemia (desfolha); a taxa de crescimento do hospedeiro ser maior que a taxa de aumento da doença e a períodos onde as condições climáticas são desfavoráveis (KRANZ, 1975; WAGGONER, 1986).

Destes fatores, a alta taxa de crescimento do hospedeiro combinada à ocorrência de períodos onde as condições climáticas são desfavoráveis à infecção, parecem ser os responsáveis pelas quedas na severidade de doença durante as epidemias da ferrugem do feijoeiro (Figura 10). Esses decréscimos na severidade da doença também foram verificados nas curvas de progresso da ferrugem do feijoeiro apresentadas por IMHOFF *et alii* (1982a), e a análise destes dados por WAGGONER (1986) mostra que a ocorrência de condições não favoráveis à doença durante uma semana, no período estudado, fez com que o valor de  $r$  caísse de 0,3 por dia para zero, enquanto que o hospedeiro mantinha seu crescimento normal, resultando num decréscimo de severidade da doença.

Estudos para construção de um modelo de simulação de epidemias do sistema *Erysiphe graminis* f.sp. *hordei* - cevada (AUST *et alii*, 1983; HAU *et alii*, 1983) têm demonstrado a dificuldade em simular epidemias de sistemas que não possuem um fator determinante para ocorrência da doença. As simulações de epidemias de oídio da cevada são realizadas com base nas relações existentes entre a ocorrência da doença e temperatura, a qual não é um fator crítico para a infecção, já que a faixa de temperatura de ocorrência da doença é ampla. 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 serem realizados do que aqueles que vêm sendo desenvolvidos em sistemas patógeno-hospedeiro, que não possuem fatores críticos que interferem diretamente na cadeia de infecção.



## 6. CONCLUSÕES

1. Os parâmetros epidemiológicos monocíclicos são influenciados pela temperatura, sendo que a frequência de infecção é maior em temperaturas ao redor de  $17^{\circ}\text{C}$ , e os períodos de incubação e latente são mais curtos em temperaturas mais elevadas, ao redor de  $21^{\circ}\text{C}$ .
2. A presença de água livre na superfície foliar é essencial para a ocorrência de infecção, sendo necessário um período mínimo de quatro horas. O número máximo de infecções ocorre a partir de dez horas de molhamento.
3. Os parâmetros epidemiológicos monocíclicos são influenciados pela idade da folha do feijoeiro (primária e trifoliada), com as folhas mais velhas se mostrando mais resistentes.
4. O feijoeiro cresce rapidamente nos primeiros quarenta e cinco dias após o plantio. Este fato deve ser levado em consideração quando se faz a avaliação da área foliar infectada durante este período.
5. Os dados de campo confirmam que a ocorrência de longos períodos de molhamento associados a temperaturas ao redor de  $17-21^{\circ}\text{C}$ , favorecem o desenvolvimento da doença.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDERMAN, S.C. & BEUTE, M.K. Influence of temperature and moisture on germination and germ tube elongation of *Cercospora arachidicola*. *Phytopathology*, St. Paul, 76:715-9, 1986.
- ALDERMAN, S.C. & LACY, M.L. Influence of dew period and temperature on infection of onion leaves by dry conidia of *Botrytis squamosa*. *Phytopathology*, St. Paul, 73:1020-3, 1983.
- ALDERMAN, S.C. & LACY, M.L. Influence of leaf position and maturity on development of *Botrytis squamosa* in onion leaves. *Phytopathology*, 74:1461-3, 1984.
- ALEXOPOULOS, C.J. *Introductory mycology*. 3<sup>a</sup> ed. New York, John Wiley & Sons, 1979. 632 p.
- ALLEN, S.J.; BROWN, J.F.; KOCHMAN, J.K. Effects of temperature, dew period, and light on the growth and development of *Alternaria helianthi*. *Phytopathology*, St. Paul, 73:793-6, 1982.

- ALLEN, S.J.; BROWN, J.F.; KOCHMAN, J.K. Effects of leaf age, host growth stage, leaf injury, and pollen on the infection of sunflower by *Alternaria helianthi*. *Phytopathology*, St. Paul, 73:896-8, 1983.
- ALTEN, H. von. The effect of temperature, light and leaf age on the frequency of appressoria formation and infection with *Uromyces phaseoli*. *Phytopath. 2.*, Berlin, 107:327-35, 1983.
- ASHER, M.J.C. & THOMAS, C.E. The expression of partial resistance to *Erysiphe graminis* in spring barley. *Plant Pathology*, London, 32: 79-89, 1983.
- ASHER, M.J.C. & THOMAS, C.E. Components of partial resistance to *Erysiphe graminis* in spring barley. *Plant Pathology*, London, 33: 123-30, 1984.
- AUST, H.J. Über den Verlauf von Mehltau epidemien innerhalb des Agro-Ökosystems Gerstenfeld. *Acta Phytomedica* 7, 76 p, 1981.
- AUST, H.J. & HAU, B. Einflub kompensatorischer Wirkungen auf die Dauer der Latenzzeit von *Septoria nodorum*. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, Stuttgart, 88:655-64, 1981.
- AUST, H.J.; BASHI, E.; ROTEM, J. Flexibility of plant pathogens in exploiting ecological and biotic conditions in the development of epidemics. In: PALTÍ, J. & KRANZ, J. ed. *Comparative epidemiology*, Wageningen, Pudoc, 1980, p. 46-69.

- AUST, H.J.; BERGAMIN FILHO, A.; MENTEN, J.O.M. Resistance of three bean cultivars to *Uromyces phaseoli* expressed through sporulation of the fungus. *Phytopathologische Zeitschrift*, Berlin, 10:30-6, 1984.
- AUST, H.J.; HAU, B.; KRANZ, J. Epigram a simulator of barley powdery mildew. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, Stuttgart, 90(3):244-50, 1983.
- 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, 1986.
- BASHI, E. Quality of spores produced in cucumber powdery mildew compensates for their quantity. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, Stuttgart, 87:594-9, 1980.
- BASHI, E. & ROTEM, J. Adaptation of four pathogens to semi-arid habitats as conditioned by penetration rate and germinating spore survival. *Phytopathology*, St.Paul, 64:1035-9, 1974.
- BASHI, E.; ROTEM, J.; RUTTER, J. Effect of wetting duration and of other environmental factors on the development *Stemphylium botryosum* f. sp. *lycopersici* in tomatoes. *Phytoparasitica*, 1:87-94, 1973.
- BASHI, E.; ROTEM, J.; PINNSCHMIDT, H.; KRANZ, J. Influence of controlled environment and age on development of *Alternaria macrospora* and on shedding of leaves in cotton. *Phytopathology*, 73:1145-7, 1983.

- BERGAMIN FILHO, A. Análise matemática de epidemias. In: GALLI, F., coord. *Manual de Fitopatologia*. São Paulo, Ceres, 1978. v.1, p.242-56.
- BERGAMIN FILHO, A. Consequências epidemiológicas da resistência no sistema *Coffea arabica* - *Hemileia vastatrix*. Piracicaba, 1983. 111p. (Livre-docência - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- BERGAMIN FILHO, A. Disease progress of south american leaf blight of rubber in different brasilian region. *European Journal Forestry Pathology*, Berlin, 14:386-91, 1984.
- BERGAMIN FILHO, A.; FEGIES, N.C.; MENDES, B.M.J. Different patterns of spore production during the infections period: a simulation study. In: THE FIFTH INTERNACIONAL WORKSHOP ON EPIDEMIOLOGY OF PLANT DISEASES, Jerusalem, 1986.
- CASTOR, L.L.; AYRES, J.E.; NELSON, R.R. Controlled environment studies of the epidemiology of yellow leaf blight of corn. *Phytopathology*, St. Paul, 67:85-90, 1977.
- CASTRO, H.A.; BERGAMIN FILHO, A.; KRÜGNER, T.L. Padrão de produção de uredosporos em mudas de *Eucalyptus* spp inoculadas artificialmente com *Puccinia psidii*. *Summa Phytopathologica*, Piracicaba, 10:155-70, 1984.

- COHEN, Y. The combined effects of temperature, leaf wetness, and inoculum concentration on infection of cucumbers with *Pseudoperonospora cubensis*. *Canadian Journal of Botany*, Ottawa, 55:1478-87, 1977.
- DICKINSON, C.H. & SINGH, H. Colonization and Sporulation of *Peronospora viciae* on cultivars of *Pisum sativum*. *Plant Pathology*, London, 31:333-41, 1982.
- ECHANDI, E. Principales enfermedades de hongo del frijol (*Phaseolus vulgaris*) en los tropicos americanos y su distribucion en diferentes zonas ecologicas. *Fitopatologia Brasileira*, Brasilia, 1:171-7, 1976.
- EMBRAPA. Programa Nacional de Pesquisa de Feijão. Brasilia, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria. 117p. 1981.
- ESKES, A.B. & TOMA-BRACHINI, M. The effect of leaf age on incomplete resistance of coffee to *Hemileia vastatrix*. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, Wageningen, 88:219-30, 1982.
- EYAL, Z. & PETERSON, J.L. Uredospore production of five races of *Puccinia recondita* as affected by light and temperature. *Canadian Journal of Botany*, Ottawa, 45:537-40, 1967.
- GÄUMANN, E. *Pflanzliche Infektionslehre*. 2<sup>a</sup> ed. Basel: Birkhäuser, Switzerland, 1951, 361 p.

- GODOY, J.R. de & GIMENES FERNANDES, N. Epidemiologia da mancha de Alternaria em girassol. *Summa Phytopathologica*, Piracicaba, 11:198-214, 1985.
- GROTH, J.V. & MOGEN, B.C. Completing the life cycle of *Uromyces phaseoli* var. *typica* on bean plants. *Phytopathology*, St. Paul, 68:1674-7, 1978.
- GROTH, J.V. & URS, N.V.R.R. Differences among bean cultivars in receptivity to *Uromyces phaseoli* var. *typica*. *Phytopathology*, St. Paul, 72:374-8, 1982.
- GROVE, G.G.; MADDEN, L.V.; ELLIS, M.A.; SCHMITTHENNER, A.F. Influence of temperature and wetness duration of infection of immature strawberry fruit by *Phytophthora cactorum*. *Phytopathology*, St. Paul, 75:165-6, 1985a.
- GROVE, G.G.; MADDEN, L.V.; ELLIS, M.A. Influence of temperature and wetness duration on sporulation of *Phytophthora cactorum* on infected strawberry fruit. *Phytopathology*, St. Paul, 75:700-3, 1985b.
- HARTER, L.L. & ZAUMEYER, W.J. Differentiation of physiologic races of *Uromyces phaseoli* var. *typica* on bean. *Journal of Agricultural Research*, Washington, 62:717-31, 1941.
- HAU, B.; AUST, H.J.; KRANZ, J. Problems in Modeling Powdery Mildew Epidemics. *European Plant Protection Bulletin*, 13:259-63, 1983.

- HOLLIER, C.A. & KING, S.B. Effect of dew period and temperature on infection of seedling maize plants by *Puccinia polysora*. *Plant Disease*, Beltsville, 69:219-20, 1985.
- 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, 71:577-83, 1981.
- 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, 72:441-6, 1982b.
- JEFFREY, K.K.; LIPPS, P.E.; HERR, L.J. Effects of isolate virulence, plant age, and crop residues on seedlings blight on sunflower caused by *Alternaria helianthi*. *Phytopathology*, St. Paul, 74:1107-10, 1984.
- JEGER, M.J. The potential of analytic compared with simulation approaches to modeling in plant disease epidemiology. In: LEONARD, K.J. & FRY, W.E. ed. *Plant Disease Epidemiology - Population dynamics and management*, New York, MacMillan, 1986, p.255-81.



- JONES, A.L. Role of wet periods in predicting foliar diseases. In: LEONARD, K.I. & FRY, W.E. *Plant Disease Epidemiology - Population dynamics and management*, New York, MacMillan, 1986, p.87-100.
- KAMPMEIJER, P. & ZADOKS, J.C. EPIMUL, a simulator of foci and epidemics in mixtures of resistant and susceptible plants, mosaics and multilines. Ctr. Agric. Publ. Doc., Wageningen, 50p, 1977.
- KIMATI, H. Doenças do Feijoeiro. In: GALLI, F., coord. *Manual de Fitopatologia*. São Paulo. Ceres, 1980. v.2, p.297-318.
- KRANZ, J. Eine analyse von annuellen epidemien pilzlicher parasiten. I. Die befallskurven und ihre abhangigkeit von einigen umwelfaktoren. *Phytopathologische Zeitschrift*, Berlin, 61:59-86, 1968.
- KRANZ, J. The role and scope of mathematical analysis and modeling in epidemiology. In: KRANZ, J., ed. *Epidemics of plant disease, mathematical analysis and modeling*, New York, Springer-Verlag, 1974a p.7-50.
- KRANZ, J. Comparison of epidemics. *Annual Review of Phytopathology*, Palo Alto, 12:355-74, 1974b.
- KRANZ, J. Das abklingen von befallskurven. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, Stuttgart, 82:169-73, 1975.
- KRANZ, J. Simulation of epidemics caused by *Venturia inaequalis* (Cooke) Aderh. *European Plant Protection Bulletin*, 9:235-42, 1979.

- KRANZ, J. & HAU, B. Systems analysis in epidemiology. *Annual Review of Phytopathology*, Palo Alto, 18:67-83, 1980.
- KRANZ, J.; MOGK, M.; STUMPF, A. EPIVEN - ein simulator für apfelschorf. Z. Pflkrankh Pflhath Pflschutz, Berlin, 80:181-7, 1973.
- KUSHALAPPA, A.C. & LUDWIG, A. Calculation of apparent infection rate in plant diseases: development of a method to correct for host growth. *Phytopathology*, St. Paul, 72:1373-7, 1982.
- MACKENZIE, D.R. Scheduling fungicide applications for potato late blight with blitecast. *Plant Disease*, Beltsville, 65:394-9, 1981.
- MAFFIA, L.A.; BERGER, R.D.; KHURI, A.I.; DAVOLI, T.A. Progresso da ferrugem do feijoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 199, Brasília, 1986, *Fitopatologia Brasileira*, 11:383 (Abst.).
- MASSIE, L.B.; NELSON, R.R.; TUNG, G. Regression equations for predicting sporulation of on isolate of race T of *Helminthosporium maydis* on a susceptible male-sterile corn hybrid. *Plant Disease Reporter*, Beltsville, 57:730-4, 1973.
- MCGREGOR, A.J. & MANNERS, J.G. The effect of temperature and light intensity on growth and sporulation of *Puccinia striiformis* on wheat. *Plant Pathology*, London, 34:263-71, 1985.

McRAE, C.F.; HARRIGAN, E.K.S.; BROWN, J.F. Effect of temperature, dew period e inoculum density on blight of safflower caused by *Alternaria carthami*. *Plant Disease*, Betsville, 68:408-10, 1984.

MELCHING, J.S.; BROMFIELD, K.R.; KINGSOLVER, C. H. Infection, colonization, and uredospore production on wayne soybean by four cultures of *Phakopsora pachyrhizi*, the cause of soybean rust. *Phytopathology*, St. Paul, 69:1262-5, 1979.

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. & BERGAMIN FILHO, A. Influência da temperatura e do tipo de folha na quantificação dos parâmetros monocíclicos, período de incubação, período latente e frequência de infecção da ferrugem do feijoeiro. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, 10:247, 1985a. (Res.)

MENDES, B.M.J. & BERGAMIN FILHO, A. Influência da temperatura e do tipo de folha na quantificação dos parâmetros monocíclicos, período infeccioso e produção de esporos da ferrugem do feijoeiro. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, 10:248, 1985b (Res.)

- 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).
- MILLER, M.E. Relationships between onion leaf age and susceptibility to *Alternaria porri*. *Plant Disease*, Betsville, 67:284-6, 1983.
- OSMAN-GHANI, N. e MANNERS, J.G. Components of partial resistance to *Puccinia striiformis* in barley. *Plant Pathology*, London, 34:75-82, 1985.
- 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, 179. São Paulo, 1984. *Fitopatologia Brasileira*, 9:333 (Abst.).
- PARLEVLIET, J.E. Components of resistance that reduce the rate of epidemic development. *Annual Review of Phytopathology*, Palo Alto, 17:203-22, 1979.
- PLOETZ, R.C. & SHOKES, F.M. Influence of temperature inoculum density and cultivar susceptibility on the infection of soybean seedlings by southern *Diaporthe phaseolorum*. *Phytopathology*, St. Paul, 76:1082, 1986 (Abst.).
- POLITOWSKI, K. & BROWNING, J.A. Effect of temperature light and dew duration on relative numbers of infection structures of *Puccinia coronata avenae*. *Phytopathology*, St. Paul, 65:1400-4, 1975.

- QI, Z. & MEW, T.W. Adult-plant resistance of rice cultivars to bacterial blight. *Plant Disease*. Betsville, 69:896-8, 1985.
- RAMSEY, G.R. & LORBEER, I.W. The role of temperature and free moisture in onion flower blight. *Phytopathology*, St. Paul, 76:612-6, 1986.
- REUVENI, M.; TUZUN, S.; COLE, J.S.; SIEGEL, M.R.; KUC, J. The effects of plant age and leaf position on the susceptibility of tobacco to blue mold caused by *Peronospora tabacina*. *Phytopathology*, St. Paul, 76:455-8, 1986.
- RIBEIRO, I.J.A. Avaliação da resistência horizontal a *Hemileia vastatrix* em cultivares de *Coffea arabica* em condições naturais de epidemia. Piracicaba, 1978, 77p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- RODRIGUES, C.H. Controle químico da ferrugem (*Uromyces phaseoli* var. *tytica* Arth) e da mancha angular (*Isariopsis griseola* Sacc.) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Viçosa, 1984. 64p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).
- ROTEM, J. Climatic and weather influences on epidemics. In: HORSFALL, J. G. & COWLING, J.L., ed. *Plant Disease an Advanced Treatise*. New York, Academic Press, 1978. v.2, p.317-37.
- ROTEM, J. & REICHERT, I. Dew - A principal moisture factor enabling early blight epidemics in a semiarid region of Israel, *Plant Disease Report*; Betsville, 48:211-5, 1964.

ROYLE, D.J. & BUTLER, D.R. Epidemiological significance of liquid water in crop canopies and its role in disease forecasting. In: AYRES, P.G. & BODDY, L. ed. *Water, Fungi and Plants*, Cambridge University Press, 1986. p.139-56.

SALGADO, C.L. Análise da fase decrescente da curva epidemiológica da ferrugem do feijoeiro (*Hemileia vastatrix*) em três cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica*). Piracicaba, 1983. 147p. (Livre-docência - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

SCHEIN, R.D. Some effects of temperature during the colonization period of bean rust. *Phytopathology*, St. Paul, 51:674-80, 1961.

SCHEIN, R.D. Leaf age and susceptibility. *Phytopathology*, St. Paul, 53: 351-2, 1963. (Abst.).

SCHEIN, R.D. Age - correlated changes in susceptibility of bean leaves to *Uromyces phaseoli* and Tobacco mosaic virus. *Phytopathology*, St. Paul, 55:454-7, 1965.

SCHWARTZ, H.F. & GALVEZ, G.E. Problemas de producción del frijol: enfermedades, insectos, limitaciones edáficas y climáticas de *Phaseolus vulgaris*. Cali, Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1980. 424p.

SCOTT, K.J. & CHAKRAVORTY, A.K. *The rust fungi*. New York, Academic Press, 1982. 287p.

- SHAIK, M. & STEADMAN, J.R. Correlations between leaf age and susceptibility of *Phaseolus vulgaris* to *Uromyces appendiculatus*. *Phytopathology*, St. Paul, 76:1105, 1986. (Abst.).
- SHEARER, B.L. & ZADOKS, J.C. The latent period of *Septoria nodorum* in wheat. I. The effect of temperature and moisture treatments under controlled conditions. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, Wageningen, 78:231-41, 1972.
- SHRUM, R. Simulation of wheat stripe rust (*Puccinia striiformis*) using EPIDEMIC, a flexible plant disease simulator. Penn. State Univ. Coll. Agric., Agric. Exp. Str. Prog. Rep. 347, 1975.
- SUBRAHMANYAM, P.; McDONALD, D.; GIBBONS, R.W.; SUBBA RAO, P.V. Components of resistance to *Puccinia arachidis* in peanuts. *Phytopathology*, St. Paul, 73:253-6, 1983a.
- SUBRAHMANYAM, P.; McDONALD, D.; SUBBA RAO, P.V. Influence of host genotype on uredospore production and germinability in *Puccinia arachidis*. *Phytopathology*, St. Paul, 73:726-9, 1983b.
- TANNER, M.R. & SUTTON, J.C. Effect of leaf wetness duration and temperature on infection of onion leaves by *Botrytis squamosa*. *Phytopathology*, St. Paul, 71:565, 1985. (Abst.).
- TENG, P.S. System modeling in plant disease management. Barley leaf rust as a case study. 1978. 395p. (Ph.D. -- University of Canterbury, Lincoln College).

TENG, P.S. A comparison of simulation approaches to epidemic modeling. *Annual Review of Phytopathology*, Palo Alto, 23:351-79, 1985.

TENG, P.S. & CLOSE, R.C. Effect of temperature and uredinium density on urediniospore production, latent period, and infections period of *Puccinia hordei*. *New Zealand Journal of Agriculture Research*. Wellington, 21:287-96, 1978.

TENG, P.S. & ZADOKS, J.C. Computer simulation of plant disease epidemics. In: MCGRAW-HILL YEARBOOK OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, 1980, New York: p.23-31.

TENG, P.S.; BLACKIE, M.I.; CLOSE, R.C. A simulation analysis of crop yield loss due to rust disease. *Agricultural Systems*, Reading, 2:189-98, 1977.

• THORNLEY, J.H.M. Research strategy in the life sciences. *Plant Cell Environmental*, 3:233-6, 1980.

TOLLENAAR, H. & HOUSTON, B.R. A study on the epidemiology of stripe rust *Puccinia striiformis* West., in California, *Canadian Journal of Botany*, Ottawa, 45:291-307, 1967.

TORMELIN, J.R. & JONES, A.L. Effect of temperature and relative humidity on the latent period of *Venturia inaequalis* in apple leaves. *Phytopathology*, St. Paul, 73:51-4, 1983.



- TORMELIN, J.R.; EVERSMEYER, M.G.; KRAMER, C.L.; BROWDER, L.E. Temperature and host effects on latent and infections periods and on urediniospore production of *Puccinia recondita* f.sp. *tritici*. *Phytopathology*, St. Paul, 73:414-9, 1983.
- TORMELIN, J.R.; EVERSMEYER, M.G.; KRAMER, C.L.; BROWDER, L.E. Environmental and host effects on colony development of *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*. *Phytopathology*, St. Paul, 74:225-9, 1984.
- TULMANN NETO, A.; MENTEN, J.O.M.; ANDO, A. Bean breeding program at CENA. VII Selection of improved lines by the multiple crosses method. Ann. Rep. Bean Improv. Coop., Viena, 22:8-9, 1979.
- VAN DER WAL, A.F. Moisture as a factor in epidemiology and forecasting. In: KOZLOWSKI, T.T. Ed., *Water Deficits and Plant Growth*. Academic Press, 1978, p.253-93.
- VANDERPLANK, J.E. *Plant diseases: epidemics and control*. New York, Academic Press, 1963. 349p.
- VANDERPLANK, J.E. *Host-pathogen interactions in plant disease*. New York, Academic Press, 1982. 207p.
- VIEIRA, C. *Doenças e pragas do feijoeiro*. Viçosa, Imprensa Universitária, 1983. 213p.

- WAGGONER, P.E. Simulation of epidemics. In: KRANZ, J. ed. *Epidemics of Plant Disease*. Mathematical analysis and modeling. Berlin, Verlag, 1974. p.137-60.
- WAGGONER, P.E. Progress curves of foliar diseases: their interpretation and use. In: LEONARD, K.J. & FRY, N.E. ed. *Plant Disease Epidemiology; population dynamics and management*. New York, MacMillan, 1956. v.1, p.3-54.
- WAGGONER, P.E. & HORSFALL, J.G. EPIDEM, a simulator of plant disease written for a computer. *Bull. Conn. Agric. Exp. Stn.*, New Haven, 698, 1969, 80p.
- WAGGONER, P.E.; HORSFALL, J.G.; LUKENS, R.J. EPIMAY, a simulator of southern corn leaf blight. *Bull. Conn. Agric. Exp. Stn.*, New Haven, 729, 1972, 84p.
- YARWOOD, C.E. Uredospore production by *Uromyces phaseoli*. *Phytopathology*, St. Paul, 51:22-7, 1961.
- ZADOKS, J.C. Systems analysis and dynamics of epidemics. *Phytopathology*, St. Paul, 61:600-10, 1971.
- ZADOKS, J.C. Simulation of epidemics: problems and applications. *European Plant Protection Bulletin*, 9;227-34, 1979.

ZADOKS, J.C. & SCHEIN, R.D. *Epidemiology and Plant Disease Management*.  
Oxford, Oxford University Press, 1979. 389p.

ZADOKS, J.C. & SCHEIN, R.D. Epidemiology and plant disease management,  
the known and the needed. In: PALTÍ, J. & KRANZ, J. ed. *Comparative  
epidemiology*, Wageningen, Pudoc, 1980, p.1-17.

ZAUMEYER, W.J. & THOMAS, H.R. *A monographic study of bean diseases and  
methods for their control*. Washington, U.S.D.A., 255p. (Tech.Bull n<sup>o</sup>  
868), 1957.

## APÊNDICE 1

Período de incubação (horas), período latente (horas) e frequência de infecção (pústulas/folha ou folíolo), considerando as linhagens Rosinha e Carioca, em folhas primárias e trifoliadas jovens, a 21°C (média de 5 repetições).

	Tipo de folha	Linhagem		Média
		Rosinha	Carioca	
Período de Incubação(1)	Primária	122,98	124,68	123,83a
	Trifoliada	120,52	121,56	121,04a
Média		121,75A	123,12A	
Período Latente(2)	Primária	175,60aA	181,06aB	178,33
	Trifoliada	173,52aA	174,70bA	174,11
Média		174,56	177,88	
Frequência de Infecção(3)	Primária	139,45	23,70	81,57a
	Trifoliada	172,18	126,68	149,43b
Média		155,81A	75,19B	

CV(1) = 2,74%; CV(2) = 1,24%; CV(3) = 35,59%

OBS.: Letras minúsculas diferentes na mesma coluna e letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade.

Período de incubação (horas), período latente (horas) e frequência de infecção (pústulas/folha ou folíolo), considerando as linhagens Rosinha e Carioca, em folhas primárias e trifoliadas jovens, a 17°C (média de 5 repetições).

	Tipo de folha	Linhagem		Média
		Rosinha	Carioca	
Período de Incubação(1)	Primária	148,80	152,36	150,58a
	Trifoliada	139,20	145,26	142,23b
Média		144,00A	148,81A	
Período Latente(2)	Primária	219,64	222,24	220,94a
	Trifoliada	200,72	206,84	203,78b
Média		210,18A	214,54B	
Frequência de Infecção(3)	Primária	234,45aA	79,00aB	156,73
	Trifoliada	323,80bA	281,44bA	302,62
Média		279,13	180,22	

CV(1) = 5,98%; CV(2) = 1,80%; CV(3) = 18,16%

OBS.: Letras minúsculas diferentes na mesma coluna e letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade.