HERANÇA DA REAÇÃO DE *Capsicum* spp. AO OÍDIO
(*Leveillula taurica* (LEV.) ARN.)

SALLY FERREIRA BLAT

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

PIRACICABA
Estado de São Paulo – Brasil
Fevereiro – 2004

HERANÇA DA REAÇÃO DE *Capsicum* spp. AO OÍDIO
(*Leveillula taurica* (LEV.) ARN.)

SALLY FERREIRA BLAT

Engenheira Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. **CYRO PAULINO DA COSTA**

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

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo – Brasil
Fevereiro - 2004

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Blat, Sally Ferreira
Herança da reação de *Capsicum* spp. ao oídio (*Leveillula taurica* (Lev.) Arn.) /
Sally Ferreira Blat. - - Piracicaba, 2004.
153 p. : il.

Tese (doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004.
Bibliografia.

1. Oídio 2. Pimenta 3. Pimentão 4. Resistência genética vegetal I. Título

CDD 635.643

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Aos meus pais Maria Helena e Salvador

Pela dedicação, incentivo e confiança

A minha irmã Katy e meu cunhado Brito

Pelo carinho em todos os momentos

Ofereço

Ao meu marido Julio Cesar,

Pela compreensão, apoio e amor

Dedico

“Picante, saborosa ...
como a vida deve ser.”

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ser generoso nas minhas conquistas;

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, pela oportunidade de aperfeiçoamento;

À FAPESP, pelo suporte financeiro e concessão da bolsa de doutorado;

Ao Prof. Dr. Cyro Paulino da Costa, pela valiosa orientação, amizade e paciência, as quais jamais serão esquecidas. Tenho a honra de ter sido sua orientada;

Ao Prof. Dr. Roland Vencovsky, pelos seus preciosos ensinamentos, auxílio nas análises e amizade, minha sincera gratidão e admiração;

Ao Fernando C. Sala (Gambé), pelo convívio, apoio e ajuda prestada durante o desenvolvimento da pesquisa;

A minha grande amiga Silvana C. S. Bueno, pelo companheirismo, horas de descontração e carinho;

A todos os meus colegas, em especial, Valéria, Cecília, Sergio e Marcelo Bregagnholi, pelo carinho;

À amiga Juliana Boscariol, pelo apoio em todos os momentos;

Aos professores, funcionários e secretárias do Departamento de Produção Vegetal e do curso de Fitotecnia, especialmente Helena, Célia e Bete, pela colaboração durante o curso;

A secretária de pós-graduação em Fitotecnia, Luciane, pela atenção especial e auxílio;

Aos funcionários temporários, Rogério, Donizete, Francisco e Miguel, pelo auxílio nos experimentos;

Aos funcionários da biblioteca, pelo atendimento prestado;

A todos que tive a oportunidade de conhecer e conviver e que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	viii
SUMMARY.....	x
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 O gênero <i>Capsicum</i>	3
2.2 Importância e ocorrência do oídio (<i>Leveillula taurica</i>).....	4
2.3 Sintomatologia e caracterização.....	5
2.4 Herança e ocorrência de resistência a <i>Leveillula taurica</i> em <i>Capsicum</i>	9
3 HERANÇA DA REAÇÃO DE <i>Capsicum annuum</i> AO OÍDIO.....	14
Resumo.....	14
Summary.....	15
3.1 Introdução.....	16
3.2 Material e Métodos.....	20
3.3 Resultados e Discussão.....	35
3.4 Conclusões.....	66
4 HERANÇA DA REAÇÃO DE <i>Capsicum baccatum</i> AO OÍDIO.....	67
Resumo.....	67
Summary.....	68
4.1 Introdução.....	69

4.2 Material e Métodos.....	71
4.3 Resultados e Discussão.....	82
4.4 Conclusões.....	105
5 HERANÇA DA REAÇÃO DE <i>Capsicum chinense</i> AO OÍDIO.....	106
Resumo.....	106
Summary.....	107
5.1 Introdução.....	107
5.2 Material e Métodos.....	110
5.3 Resultados e Discussão.....	120
5.4 Conclusões.....	138
6 CONCLUSÕES GERAIS.....	139
ANEXOS.....	140
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	147

HERANÇA DA REAÇÃO DE *Capsicum* spp AO OÍDIO (*Leveillula taurica* (LEV.) ARN.)

Autora: SALLY FERREIRA BLAT

Orientador: Prof. Dr. CYRO PAULINO DA COSTA

RESUMO

O oídio do pimentão e pimenteiras, causado pelo fungo *Leveillula taurica*, tem sido considerado atualmente a doença mais séria do cultivo protegido, causando perdas de até 75%. O uso de fungicidas é ineficaz sendo a melhor maneira de controle através da resistência genética. As fontes de resistência ao oídio encontradas em *Capsicum annuum* L., não tem sido satisfatórias por apresentarem resistência parcial e as melhores fontes ocorrem nas espécies *C. baccatum* e *C. chinense*. Existem poucos estudos sobre a herança da resistência nessas espécies. O objetivo deste trabalho foi de triar os acessos da coleção de *Capsicum* da ESALQ/USP, identificando possíveis fontes de resistência nas espécies *C. annuum*, *C. baccatum* e *C. chinense* e obter informações sobre a herança da reação de pimentão e pimentas ao oídio. Para isso 156 acessos de *Capsicum* foram triados e posteriormente cruzamentos entre progenitores resistentes versus suscetíveis e resistentes versus resistentes foram obtidos. As gerações F₂ e alguns retrocruzamentos foram obtidos. As avaliações das reações ao oídio foram feitas na fase de frutificação, através de uma escala de notas de acordo com a severidade da doença de 1 (resistente) a 5 (altamente suscetível). Foram estimados: o número de locos segregantes, os coeficientes de herdabilidade, os progressos esperados na seleção e o tipo de ação gênica envolvida. Foram avaliadas também as reações dos híbridos entre progenitores resistentes. Dentre os materiais triados em *C. annuum* apenas 5% foram considerados

resistentes, em *C. baccatum* 84% e em *C. chinense* 85%. A herança da resistência ao oídio em *Capsicum* mostrou ser poligênica. As herdabilidades e ganhos de seleção estimados foram altos, indicando boas perspectivas de progresso seletivo. Os progenitores resistentes em *Capsicum annuum* possuem diferentes mecanismos genéticos e expressões de resistência. Enquanto em *C. baccatum* e *C. chinense* os mecanismos de resistência mostraram ser os mesmos, havendo alelismo entre as fontes. A fonte de resistência do pimentão HV-12 foi a melhor para o uso no melhoramento.

INHERITANCE REACTION IN *Capsicum* spp. TO POWDERY MILDEW
(*Leveillula taurica* (LEV.) ARN.)

Author: SALLY FERREIRA BLAT

Adviser: Prof. Dr. CYRO PAULINO DA COSTA

SUMMARY

Powdery mildew caused by the fungus *Leveillula taurica*, is considered the most serious greenhouse sweet pepper disease, causing losses up to 75%. Its control by fungicide is ineffective, and the best way to control would be by genetic resistance. Powdery mildew resistance sources identified in *Capsicum annuum* L. have been unsatisfactory because they have partial resistance. The best resistant sources seem to be found in the species *C. baccatum* and *C. chinense*. However, the resistance inheritance has not been studied in these hot pepper species, except for *C. annuum*, with few published papers. The present study aimed to screen the *Capsicum* ESALQ/USP collection accesses, to identify potential resistance sources in *C. annuum*, *C. baccatum* and *C. chinense* and elucidate the reaction inheritance to powdery mildew in sweet pepper and hot pepper. A total 156 *Capsicum* access were tested. Crosses among resistant and susceptible progenitors and among resistant ones were carried out. F₂ and backcrosses generations were obtained. Reactions evaluations to powdery mildew were carried out during the fruit production using rating system based on score disease severity using scale varying from 1 (resistant) to 5 (highly susceptible). Estimation of segregating loci number, heritability and expected selection gains was made, to investigate the gene action and to evaluate the reaction to powdery mildew from resistant versus resistant single hybrids. Only 5% of the *C. annuum* accesses evaluated

were considered to be resistant, in contrast with 84% and 85% obtained for *C. baccatum* and *C. chinense*, respectively. Resistance inheritance to powdery mildew in *Capsicum* spp. was found to be polygenic. In view of the high heritability and selection gains estimates, good selection progresses are expected. The genetic systems controlling resistance in the *Capsicum annuum* progenitors have different genetic mechanisms and expressions of resistance, while in *C. baccatum* and *C. chinense* showed to be the same in each ones with allelism between the sources. The sweet pepper HV-12 was the best source to use in breeding.

1 INTRODUÇÃO

O pimentão pertence à família Solanaceae, gênero *Capsicum* e espécie *Capsicum annuum* L. O gênero é originário da América Tropical e bem distribuído por toda América latina. A produção mundial de pimentas e pimentões ocupa cerca de 1,3 milhão de hectares e a exportação de produtos derivados de pimentas e pimentões nos últimos anos trouxe divisas para o Brasil de US\$ 735,8 mil. Apenas a comercialização de sementes de *Capsicum* no país envolve recursos da ordem de 1,5 milhão de dólares (Bertão, 1993, CNPH, 2001). No Brasil a produção concentra-se principalmente nos estados de São Paulo e Minas Gerais, onde foram cultivados cerca de 5000 ha em 1998, atingindo uma produção de 120 mil toneladas (Souza, 2000).

O cultivo de pimentão em estufa e o uso híbridos têm sido os fatores responsáveis pelo incremento na produtividade e qualidade. Junto a essa demanda crescente pela plasticultura, surgiu uma nova doença a partir de 1994, a qual vem preocupando os produtores pelos seus enormes danos causados e seu difícil controle; o oídio, causado pelo fungo *Leveillula taurica*. O uso de fungicidas sistêmicos e com especificidade para o controle não tem funcionado. Além do mais o uso de fungicidas sistêmicos de maneira indiscriminada poderá induzir e promover o surgimento de raças resistentes do patógeno ao fungicida (Palti, 1988, Bergamin Filho et al., 1995).

A melhor maneira de controlar *L. taurica* é através de variedades com resistência genética. Existem relatos na literatura com referência a resistência de pimentão e pimentas ao patógeno (Shifriss et al., 1992, Daubeze, et al., 1995). Tudo parece indicar que as melhores fontes de resistência foram identificadas nas espécies de *Capsicum chinense* e *C. baccatum*. A resistência ao oídio encontrada em *Capsicum annuum* L., não tem sido satisfatória por apresentar resistência parcial (Shifriss et al., 1992).

Postulou-se que a coleção de germoplasma de *Capsicum* da ESALQ/USP constituída de mais de 200 acessos poderia ser triada para identificação de fontes de resistência à *Leveillula taurica*. O objetivo dessa pesquisa foi: identificar fontes de resistência nas diferentes espécies de *Capsicum* e obter informações sobre a herança da resistência, podendo através dessas contribuir para programas de melhoramento genético de pimentão e pimentas resistentes ao oídio.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O gênero *Capsicum*

Todas as formas de pimentão e pimentas utilizadas pelo homem pertencem ao gênero *Capsicum*. O nome científico do gênero deriva segundo alguns autores de Kapso (picar) e outros Kapsakes (cápsula). Inclui-se na família das solananceas.

Existem várias hipóteses sobre o local e modo de evolução das espécies de *Capsicum*. A mais aceita é a de McLeod et al. (1982) que sugeriram que uma porção importante do gênero se originou em uma área nuclear na Bolívia Sul-Central com subseqüentes migrações aos Andes e terras baixas da Amazônia acompanhada pela radiação e especialização. Segundo Costa (1977), os pimentões e as pimentas têm sua origem na América tropical, na mesma região do milho, tendo pelo menos um centro de origem na América do Sul, outro no México e distribuição por toda América Latina.

No gênero *Capsicum* o número de espécies varia entre os autores, sendo cerca de 25 espécies. Porém todos eles concordam na existência de apenas cinco espécies domesticadas: *C. annuum* L. var. *annuum* (pimentão), *C. baccatum* L. var. *pendulum* (Wild.) (pimenta dedo-de-moça), *C. chinense* Jacq (pimenta de cheiro), *C. frutescens* L. (pimenta malagueta) e *C. pubescens* Ruiz & Pavon. As demais espécies são semi-domesticadas e silvestres. *C. annuum* apresenta flores solitárias, corola branca sem manchas difusas na base das pétalas, é a espécie mais domesticada, cultivada e que apresenta maior variabilidade, sendo representada por pimentões e algumas pimentas. *C. chinense* apresenta duas ou mais flores em cada nó, corola branca-esverdeada sem manchas difusas na base das pétalas, possui uma constituição marcante na base do cálice em formato de sino. *C. baccatum* apresenta flores solitárias, corola branca-esverdeada, com manchas amarelas difusas na base das pétalas. *C. frutescens* é semelhante a *C.*

annuum, com a diferença que produz corola branca-esverdeada e frutos de formato diferente e de sabor picante, e *C. pubescens* que apresenta flores solitárias, corola púrpura sem manchas difusas na base das pétalas e sementes de coloração escura. Essas últimas quatro espécies se destacam pela por serem boas fontes de resistência a pragas e doenças (Reifschneider et al., 1998).

Uma das maiores características desse gênero é a sua alta variabilidade de tipos de frutos, cores, formas, tamanhos e intensidade de sabor picante (Capsaicina).

2.2 Importância e ocorrência do oídio (*Leveillula taurica*)

Os agentes causais de oídios são fungos parasitas biotróficos obrigatórios, que dependem do hospedeiro vivo para seu crescimento e reprodução, e não possuem fase saprófita. Em razão de ser um patógeno obrigatório, o mesmo deve se adaptar constantemente ao hospedeiro, implicando uma alta especificidade na relação patógeno-hospedeiro, caracterizando um relacionamento altamente evoluído e complexo (Stadnik & Rivera, 2001).

O oídio da pimenta e pimentão tem uma ampla gama de distribuição. Ocorre na região Mediterrânea e Asiática (Palti, 1988; Sulinam et al. 1999), mas o pimentão é o único hospedeiro entre as solanáceas em que o oídio tem sido registrado nos países na África (região do Saara), bem como em muitas regiões da América do Sul e Central, e da Austrália.

O primeiro relato de ocorrência de *Leveillula taurica* em pimentão no Brasil foi na região do DF (Boiteux¹ et al., 1994 citados por Souza, 2000). Alguns autores citam o gênero *Oidiopsis*, entretanto outros se referem ao fungo como provável anamorfo de *L. taurica* (Braun², 1987; citados por Souza, 2000). Sinagaglia et al. (1995), encontrou *L. taurica*, na sua forma anamórfica de *Oidiopsis taurica* causando sérios prejuízos em plantio de pimentão no sistema de plasticultura na região de Itupeva-SP.

¹ BOITEUX, L.S.; SANTOS, J.R.M.; LOPES, C.A. First record of powdery of sweet pepper *Capsicum annuum* incited by *Leveillula taurica* in Brazil. **Fitopatologia Brasileira**, 19 (supl.), p. 304, 1994.

² BRAUN, U. A monograph of the Erysiphales (powdery mildew). Nova Hedwigia (suppl), n. 89. Stuttgart, Germany; J. Craner, 1987. 700p.

Plantios sucessivos de pimentão e tomate nas regiões Sudeste, Centro-oeste e Nordeste do Brasil resultaram no estabelecimento desta forma de oídio, que atualmente é responsável por elevados danos econômicos à cultura.

Atualmente o oídio ocorre nas principais áreas produtoras da América, desde cultivos em campo em regiões tropicais até em cultivos protegidos em regiões de clima temperado (Damicone & Sutherland, 1999). Estes autores citam que o aumento do cultivo de pimentão em hidroponia poderia estar favorecendo a ocorrência do *Leveillula*.

L. taurica é um patógeno que pode também infectar vários grupos de plantas como o tomate (Correl et al., 1987) e outras solanaceas (Palti, 1988), alcachofra, pepino (Molot & Lecoq, 1986), quiabo, algodão, fava (Nour, 1958), alho porro, cebola e muitas outras (Palti, 1988, Daubeze et al., 1995).

Desconhece-se a existência de raças de *O. taurica* (Mulge & Anand, 1997), possivelmente pelo fato da resistência genética ser rara. Quatro hospedeiros específicos de isolados de *L. taurica* foram estudados por Molot et al. (1990), observou-se que quatro isolados de diferentes espécies hospedeiras foram capazes de infectar os quatro hospedeiros.

O oídio do tomate causado por *L. taurica* foi encontrado em culturas de tomate, pimentão, algodão, alcachofra e cebola da Califórnia. As características morfológicas de *L. taurica* foram similares em todos os hospedeiros. Todos os isolados testados, exceto um para a alcachofra, foram capazes de infectar o tomateiro e aparentemente apresentaram a mesma raça fisiológica do patógeno (Correl et al., 1987).

2.3 Sintomatologia e caracterização

Os agentes causais de oídios são fungos da classe dos Ascomicetos, família Erysiphaceae. *Oidiopsis taurica* (E. S. Salmon) é o estágio, assexual, anamorfo e conidial encontrado nas espécies de *Leveillula*. O fungo produz hifas claras e septadas, que formam um micélio branco ou cinza claro. As hifas dão origem a conidióforos curtos, eretos e não ramificados, a partir dos quais se desenvolvem os conídios, arranjados em cadeia. Os conídios são hialinos, unicelulares, de forma ligeiramente retangular a ovalada ou oblonga. As hifas formam também haustórios, que são estruturas

especializadas na retirada de nutrientes diretamente das células do hospedeiro. Estas estruturas, provenientes do intumescimento das extremidades das hifas que penetram no interior das células, permitem que o fungo exerça uma forma evoluída de parasitismo, proporcionando uma longa convivência entre patógeno e hospedeiro (Bergamin Filho et al., 1995).

O estadio sexual, teleomorfo ou cleistotecial é denominado *Leveillula* (Lév.) G. Arnaud. Neste estadio, o micélio forma corpos de frutificação do tipo cleistotécio, claros no início, posteriormente escuros, de modo a tornarem-se bem visíveis, em contraste com o micélio branco. Segundo Braun (1980) o diâmetro do ascoma de *L. taurica* varia entre 120 e 280µm, possui coloração marrom escura com apêndices bem desenvolvidos e numerosos, com mais de vinte ascas em cada cleistotécio de forma cilíndrica a clavada, variando de 60-120µm x 25-45µm. As ascas frequentemente possuem dois ascósporos. Esta fase perfeita nunca foi encontrada em pimentão (Palti, 1988).

O oídio penetra pelos estômatos e a característica que diferencia dos demais oídios é o fato deste desenvolver micélio interno causando necrose de algumas células, principalmente localizada no parênquima lacunoso. Produzem dois tipos de conídios (primário de formato laceolado e secundário de formato cilíndrico) que ao germinarem produzem tubos germinativos bastante prolongados, que no momento da infecção desenvolvem lobos de adesão na superfície epidérmica do tecido. Após a colonização do tecido de plantas suscetíveis ocorre a emergência de uma grande quantidade de conidióforos através da abertura ostiolar. Esta característica da doença interfere nas trocas gasosas das plantas afetadas (Café Filho et al., 2001)

Em pimentão, antes do surgimento dos sintomas, verificam-se inicialmente sinais do patógeno na região abaxial. Com o desenvolvimento da infecção, as colônias pulverulentas brancas resultantes da massa conidial progridem e coalescem. Concomitantemente, no ponto da face adaxial foliar correspondente surgem manchas cloróticas. Mais tarde, o pecíolo torna-se amarelecido, formando uma zona de abscisão próxima à interseção com o caule, provocando defoliação (Palti, 1988; Daubeze et al., 1995). Deste modo a defoliação é um dos mais marcantes e prejudiciais sintomas de oídio do pimentão.

O fenômeno de abscisão foliar pode ser atribuído a ação de hormônios produzidos pelo patógeno (Wiese & Devay, 1970), hormônios produzidos pelas plantas hospedeiras após infecção pelo patógeno (Williamson, 1950), ou inibidores da ação de enzimas das plantas hospedeiras (Sequeira & Steeves, 1954). No patossistema pimentão versus *O. taurica*, a abscisão foliar pode ainda ser influenciada por manganês e efeito hormonal da auxina (Reuveni et al., 1976), ou por elevada atividade da isoenzimas de peroxidase no pedúnculo foliar (Reuveni & Pearl, 1979).

Os primeiros sintomas e sinais são sempre encontrados em plantas mais adultas e folhas mais velhas, que são mais suscetíveis ao patógeno. Plantas jovens são imunes, independentemente da variedade (Souza & Café Filho, 2000).

Lima (2002), verificou uma correlação negativa, mas altamente significativa entre o número de dias do transplante ao florescimento com os graus de resistência. Existem indícios que a medida que o genótipo floresce mais precocemente ocorre maior predisposição para suscetibilidade. Assim a precocidade no florescimento e frutificação poderá ser considerada na expressão da doença.

Damicone & Sutherland (1999), em pimentão cultivado no sistema de hidroponia em Oklahoma, tiveram níveis de defoliações de 50 a 75% nos cultivares Valência, Lavender Islander, Sweet Chocolate, Aladdin, Purple Beauty, Golden Summer, Chocolate Beauty, Early Sunsation, Fat N'Sassy, Lilac, Sweet Rainbow Mix e Ivory. Conseqüentemente os frutos das plantas infectadas foram pequenos e sem padrão.

Velasquez-Valle & Valle-Garcia (1999) observaram que a incidência de oídio nos campos de pimentão em Zacatecas, México, foi alta onde havia adensamento de plantas e alta umidade. Esta incidência variou de 35 à 80% na cultivar Ancho e de 0 à 55% na pimenta Mirasol. Nos países do mediterrâneo, Ásia Central e oeste e regiões subtropicais, as perdas de produção causadas por *Leveillula taurica* em pimentão em campo chegaram a 30-40% (Palti, 1971³, citado por Daubeze, 1995).

Cerkauskas et al. (1999), em Ontário, Canadá relataram a incidência de oídio do pimentão em casa de vegetação nas cvs. Oberon e Triplo 4, e na cv. Fireflame de

³ PALTÍ, J. Biological characteristics, distribution and control of *Leveillula taurica* (Lev.) Arn. **Phytopathol. Medit.**, v. 10, p. 139-153, 1971.

pimenta. O nível de perdas foi de 10 à 15%. As lesões apareceram das folhas mais velhas para as mais novas em plantas de pimentão, inicialmente como manchas brancas na fase inferior das folhas. Outra ocorrência de *Leveillula taurica* no Canadá, foi relatada também por Cerkauskas (2003) em British Columbia, em um cultivo orgânico em casa de vegetação. Além de perdas foliares da ordem de até 80%, prejuízos na produção de frutos de 2 a 4 quilos por metro quadrado foram notados.

Quanto as condições de umidade e temperatura ideais para o desenvolvimento da epidemia do oídio do pimentão, existem vários relatos de autores.

Segundo Smith et al. (1999), *L. taurica* (= *Oidiopsis taurica*) é o único entre os oídios que tem hábito de crescimento interno. As hifas do fungo crescem dentro do tecido do hospedeiro, preferencialmente mais do que na superfície do tecido das folhas, fato comum aos oídios que infectam a maioria dos hospedeiros. Os esporos do oídio do pimentão, diferente da maioria dos tipos dos oídios contém água suficiente para seu crescimento e podem germinar em condições de umidade relativamente baixa. A germinação pode ocorrer na faixa de 40 a 90%, com o ótimo a 90%. Essa água adicional que os esporos contém, torna-os suscetíveis a romper-se na presença de água livre, como em chuvas e irrigação por aspersão.

Segundo Molot et al. (1990), contrariamente às espécies de *Erysiphe* e *Sphaerotheca*, *L. taurica* necessita de alta umidade relativa para a germinação e crescimento do tubo germinativo. Reuveni & Rotem (1973) estudando os efeitos das combinações de temperaturas e umidade relativa no desenvolvimento da doença em pimentão e tomate verificou que em pimentão a epidemia foi favorecida pela alta umidade relativa (85-95%), enquanto o oídio do tomateiro se desenvolveu mais em baixa umidade relativa (50%).

Já segundo Shifriss et al. (1992) em cultivo protegido, a ausência de precipitação, baixa umidade e a temperatura em torno de 32°C favoreceram o estabelecimento do patógeno. Do mesmo modo, no cultivo de campo, a doença foi favorecida em época seca (Chen⁴ et al., 1996, citados por Souza, 2000).

⁴ CHEN, Y.K.; CHEIN, C.C.; CHEN, L.C. Occurrence of powdery mildew on golden callo lily in Taiwan. Ann. **Phytopathol. Soc. Jap.**, v. 62, p.580-83, 1996.

Com relação a temperatura Reuveni et al. (1974) observaram que a maior taxa de defoliação em pimentão ocorreu na temperatura de 20°C, sendo esta a temperatura ótima para o desenvolvimento da doença e que além da abscisão em folhas com alta taxa de esporulação, o patógeno pode também induzir um desbalanço hormonal, possivelmente relacionado com a síntese de etileno, ocasionando a queda de folhas sem sintomas aparentes.

2.4 Herança e ocorrência de resistência a *Leveillula taurica* em *Capsicum*

A resistência a Oídios pode ser vista como a capacidade do hospedeiro em evitar ou atrasar a penetração e/ou o subsequente desenvolvimento do patógeno. Resumidamente, os hospedeiros podem reagir ao patógeno pela formação de papilas, reações de hipersensibilidade, síntese de compostos antimicrobianos e/ou por alterações metabólicas em seus tecidos. A reação de resistência ou suscetibilidade do hospedeiro a determinado patógeno é característica geneticamente herdada. Análises genéticas da resistência do hospedeiro e avirulência do patógeno confirmam para interações entre oídios e seus hospedeiros, a teoria gene-a-gene (Flor 1942). Segundo esta teoria, para cada gene de resistência (R) no hospedeiro existe um gene de avirulência no patógeno (AVR). A teoria gene-a-gene é comum em interações planta-patógeno e reflete a capacidade das plantas em reconhecerem o patógeno invasor (Stadnik & Rivera, 2001).

Variações na resistência a um patógeno podem ser expressas contínua ou descontinuamente em uma população segregante, dependendo do número de genes de resistência que estão envolvidos. Se a variação é contínua, ocorre um gradiente entre suscetibilidade e resistência e muitos genes de resistência estão envolvidos, sendo a resistência poligênica. Caso a variação seja descontínua, os indivíduos de uma população segregante enquadram-se em classes bem definidas de resistência ou suscetibilidade, e admite-se que a resistência é controlada por um (monogênica) ou poucos genes (oligogênica) (Mather & Jinks, 1984).

Outro fator de fundamental importância na caracterização de grupos de resistência é o período de latência, pois corresponde ao tempo dispendido pelo patógeno nos processos de infecção e colonização. O processo do oídio do pimentão obedece as

características do processo temporal típicas de doenças policíclicas sensu Van Der Plank (1963). Neste tipo de doenças, o período de latência é uma das variáveis que mais influencia a velocidade de crescimento da epidemia; quanto maior o tempo decorrido entre a inoculação e a reprodução, menor o número de gerações produzidas por ciclo do hospedeiro reduzindo a taxa de infecção (Amorim, 1995).

Chander (1994), verificou através de seus estudos que a atividade da fenilalanina amônia-lise (PAL) e níveis de fenóis totais e flavonoides, bem como a atividade da peroxidase, estavam presentes em maiores proporções na cv. IHR 517 de *Capsicum* que mostrou-se resistente a *L. taurica* do que na cv suscetível IHR 423.

As melhores fontes de resistência no gênero *Capsicum* foram identificadas nas espécies de *Capsicum chinense* e *C. baccatum*. O tipo de resistência encontrada em *Capsicum annuum* L., não tem sido satisfatória por apresentar resistência parcial (Shifriss et al., 1992). Ullasa et al. (1981) testaram a resistência de 300 acessos e variedades de *Capsicum*, à *Leveillula taurica* na Índia. Eles encontraram três espécies sendo resistentes, *C. microcarpum*, *C. pendulum* e *C. pubescens* e treze linhagens não melhoradas de *Capsicum annuum* sendo moderadamente resistentes.

Blazquez (1976), testou pimentas do tipo pungente e não pungente, das quais quatro do tipo não pungente foram completamente resistentes e somente Jalapeño do tipo pungente, foi suscetível. Bidari et al. (1985), testaram 60 variedades, somente Puri Orange 2, mostrou-se tolerante.

Blancard et al. (1995), avaliando a espécie *Capsicum annuum*, encontrou uma fonte de resistência no acesso PM687, e verificou que esta resistência pode estar associada à queda das primeiras flores.

Bechir (1993), testou 13 acessos de pimentão para resistência a *Leveillula taurica* sob condições naturais de infecção em casa de vegetação na Tunísia. Todas as folhas de cada planta foram marcadas visualmente seguindo a escala de notas de Molot e Lecoq, 1986, dando uma nota de 0 à 5. O haplodiplóide HV 106 foi suscetível como as variedades Beldi, Semmene e Nabeul 2. Os acessos PM681 e PM 687 foram parcialmente resistentes, enquanto que as linhagens PM803, HV12 e HV13 foram muito resistentes. O crescimento do micélio foi rapidamente restringido em PM803, havendo

coalescência de lesões necróticas que induziram uma queda prematura de folhas como se fosse uma reação de hipersensibilidade. Contudo, na área foliar de HV12 e HV13 ocorreram somente algumas manchas cloróticas pequenas.

Sulinam et al. (1999), objetivando testar a agressividade de muitos isolados de *L. taurica* em diferentes locais, testaram duas variedades de pimentão “Vania e PM687”. Plantas com cinco semanas de idade foram inoculadas com suspensão de 10^5 conídios/ml. A reação varietal foi avaliada com base na escala da severidade da doença com notas de 0 à 5. A avaliação foi feita em intervalos de 7 dias após a inoculação até 49 dias. Todos os isolados de *L. taurica* foram patogênicos considerando o padrão suscetível. As menores notas somente foram observadas na linhagem parcialmente resistente, PM687 para quatro dos seis isolados (P45, P46, P31, P49), e nenhum sintoma foi observado para os outros dois isolados (P32 e P38).

Ahmed et al. (1998) avaliaram um total de 36 linhagens de pimentão para resistência a *Leveillula taurica*. A avaliação foi realizada sob condições de infecção natural em dois locais (Nesheshiba e Abu Haraz). Uma escala de notas de 1 (extremamente suscetível) a 9 (altamente resistente) foi usada. As avaliações das reações ocorreram quando as plantas tinham 3 a 4 meses de idade na fase de frutificação. A incidência da doença foi similar nos dois locais, pois em ambos locais as linhagens suscetíveis foram altamente infectadas. Contudo a média da primeira avaliação foi maior que da segunda avaliação, sugerindo que a reação de resistência em estádios mais avançados próximos a maturidade pode ser alterada. Deste modo, a seleção para resistência deve ser realizada na fase final de frutificação do pimentão, para uma melhor identificação da reação do pimentão.

Zewdie (1994), avaliaram 44 linhagens para incidência de oídio (0-100%) em Nazareth, Ethiopia. A incidência foi severa na maioria das linhagens. O registro da doença apareceu nas linhagens PBC376, PBC210, PBC233, PBC266, PBC270, PBC374 e PBC378. As folhas colonizadas pelo patógeno caíram após alguns dias. A linhagem PBC376 mostrou maior tolerância na produção do que a padrão suscetível. Os acessos PBC151 e PBC171, pertencentes à espécie *Capsicum baccatum* e *C. chinense*, mostraram alto nível de resistência em condições de campo.

Muneem et al. (1995), avaliaram 150 acessos do Serviço de Introdução de Plantas do USDA, para reação à mancha foliar, oídio e podridão do fruto numa escala de 0-9. Os padrões de suscetibilidade para mancha foliar, oídio e podridão do fruto foram respectivamente: IC92298, IC92299 e P-2072. Os acessos IC99910, IC99912, IC92150, P-1718, P-1939, N-1015, EC362901, EC362910, EC362913, EC362925, EC362934, EC362935 e EEC3637 foram resistentes às manchas foliares, oídio e podridão de fruto.

O oídio em tomate pode ser causado por *Leveillula taurica*. Uma resistência monogênica dominante devido ao gene *Lv* foi identificada na Bulgária a partir de um cruzamento entre *L. esculentum* e *L. chilense*. Mais tarde a resistência foi também demonstrada em uma linhagem na Costa Rica, mas ainda é desconhecido o alelismo com o gene *Lv*. O gene *Lv* até o momento não tem sido incorporado em variedades comerciais (Cuartero, 1999).

Quanto a genética da herança Daubeze et al. (1989) concluíram em seus estudos que pelo menos três genes estariam relacionados no controle da resistência. Shifriss et al. (1992) avaliaram a linhagem HV12, seu cruzamento com o parental 1646 suscetível, híbridos F_1 , geração F_2 e retrocruzamentos e com base nos resultados obtidos concluíram também que a resistência seria controlada por três pares de genes recessivos independentes. Já Daubeze et al. (1995) sugeriram que três fatores estariam envolvidos na fase inicial do ciclo de resistência ao oídio, caracterizando uma ação gênica parcialmente dominante para a suscetibilidade e cinco fatores envolvendo epistasia governariam esta resistência na fase final da epidemia, indicando que a resistência é controlada por vários genes. Mulge & Anand (1997) testaram a resistência de oídio em pimentão usando linhagens e uma variedade comercial como testemunha. Observaram-se os sintomas do oídio nos parentais e híbridos confirmando uma natureza dominante da resistência, a qual pode ser explorada em combinações heteróticas.

Murthy & Deshpande (1997), utilizando-se de fontes indianas na elucidação da herança da resistência ao oídio, relataram que esta seria de natureza dominante e controlada poligenicamente. Efeitos gênicos aditivos x aditivos foram verificados em todos os cruzamentos.

Souza (2000), avaliou a reação a *L. taurica* em acessos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Embrapa Hortaliças, além de híbridos e variedades comerciais. Identificaram-se oito acessos imunes: HV12, 4638 e pimentas como ABE (CNPH 36), Kurimoto (CNPH 38), Nélio redonda (CNPH 50), Nélio Fina 2 (CNPH 52), Escabeche (CNPH 279) e Malagueta (CNPH 288). Um fato interessante observado foi que na espécie *C. annuum* L. 70% dos materiais foi moderadamente suscetível a *L. taurica*. Nas espécies *C. baccatum*, *C. frutescens* e *C. chinense* a situação se inverteu, ocorrendo menor número de acessos suscetíveis e muitos resistentes.

Lima (2002), com o objetivo de identificar fontes de resistência em *Capsicum* ao oídio, em telado e casa de vegetação, testaram 104 genótipos (83 de *C. annuum*, 11 de *C. chinense*, seis de *C. baccatum* e quatro de *C. frutescens*) inoculando artificialmente (10^4 conídios/ml) em telado e naturalmente em casa de vegetação. Cerca de 68% dos genótipos avaliados em telado foram considerados altamente suscetíveis (AS), 8,7% moderadamente suscetíveis (MS), 7,8% moderadamente resistentes (MR), 11,5% resistentes (R) e 4% foram altamente resistentes (AR). Dos genótipos avaliados em casa de vegetação, 56% foram AS; 16% MS, 11% MR, 10% R e 8% foram AR. Observou também que os genótipos resistentes apresentaram período de latência superior aos genótipos suscetíveis e que o genótipo Magali (AS), apresentou média de frequência estomatal e número de estômatos significativamente superior em relação a média do genótipo HV-12 (AR), em ambas as faces foliares.

3 HERANÇA DA REAÇÃO DE *Capsicum annuum* AO OÍDIO

Autora: SALLY FERREIRA BLAT

Orientador: Prof. Dr. CYRO PAULINO DA COSTA

Resumo

O uso de fungicidas no controle do oídio do pimentão tem se mostrado ineficaz. Tudo parece indicar que a resistência genética será a melhor forma de controle dessa doença, porém as fontes de resistência identificadas em *Capsicum annuum* L. são mínimas e não tem sido satisfatórias por apresentarem resistência parcial. Atualmente todos os híbridos disponíveis no mercado mundial de sementes de pimentão são altamente suscetíveis ao oídio e a herança da reação tem sido pouco estudada. Com isso o objetivo deste trabalho foi triar os acessos da coleção de *C. annuum* L. da ESALQ/USP, identificando possíveis fontes de resistência nesta espécie e obter informações sobre a herança da reação de pimentão e pimentas ao oídio. Foram testados 99 acessos de *C. annuum* para identificar fontes de resistência e suscetibilidade. A partir de três acessos resistentes, foram feitos cruzamentos entre si e também com linhagens altamente suscetíveis ao oídio, resistentes ao PVY, TSWV e TMV. Foram obtidas as gerações F₁, F₂ e retrocruzamentos. As avaliações das reações ao oídio foram feitas na fase de frutificação, através de uma escala de notas de acordo com a severidade da doença de 1 (resistente) a 5 (altamente suscetível). Foram estimados: número de locos segregantes, coeficientes de herdabilidade, tipo de ação gênica envolvida nos cruzamentos, progressos esperados e observados na seleção e avaliadas as reações dos híbridos entre progenitores resistentes. Entre os acessos triados apenas 5% foram considerados resistentes; destacando-se as pimentas Chilli e #124, além do pimentão

HV-12. A herança da reação ao oídio no cruzamento HV-12 x 609 mostrou ser de natureza aditiva e para os demais cruzamentos além da ação aditiva, detectaram-se efeitos dominantes e epistáticos. A herança foi caracterizada como recessiva e governada por pelo menos quatro pares de genes. As herdabilidades e ganhos de seleção estimados foram altos e os progressos observados com a seleção na geração F₃ confirmaram esses resultados variando de 34,7% a 45,0%. O mecanismo de resistência dos progenitores resistentes #124, Chilli e HV-12 têm diferenças de expressão e possivelmente de natureza genética.

INHERITANCE REACTION IN *Capsicum annuum* TO POWDERY MILDEW

Author: SALLY FERREIRA BLAT

Adviser: Prof. Dr. CYRO PAULINO DA COSTA

Summary

The use of fungicides to control powdery mildew in sweet pepper has been ineffective. Genetic resistance is the best way to control this disease. However, resistance sources identified in *Capsicum annuum* L. are rare and most of them are showed partial resistance. Up to now, all sweet pepper hybrids available in worldwide are highly susceptible to powdery mildew. There have been few studies about resistance reaction inheritance. Therefore, this study aimed to screen the *C. annuum* L. ESALQ/USP collection to identify potential resistance source and to elucidate inheritance sweet and hot pepper reaction to powdery mildew. Ninety-nine access of *C. annuum* L. were evaluated and screened. Crossings were carried out among three identified resistant accesses, and with lines highly susceptible to powdery mildew, but resistant to viruses. F₁, F₂ and backcross generations were obtained. Reaction evaluations of powdery mildew were carried out during the fruit production by using a rating system based on score disease severity using scales varying from 1 (resistant) to 5 (highly susceptible). Estimation of segregating loci number, heritability and expected and actual selection gains was made, to investigate the gene action involved in the

crosses and to evaluate the reaction to powdery mildew of hybrids obtained from crossing between resistant progenitors. Considering the evaluated materials, only 5% were considered resistant, being Chilli and #124 hot peppers and HV-12 sweet pepper the best ones. It could be concluded that the powdery mildew reaction based on HV-12 x 609 crossing is of additive nature, while the others crossings showed dominant and epistatic effects, besides the additive action. Resistance was characterized as being recessive and due to at least four pairs of genes. The heritability and selection gains estimates were high, and F₃ generation selection progresses observed range, from 34.7% to 45.0%, supporting such results. The resistance mechanisms of #124, Chilli and HV-12 showed differences in their expression.

3.1 Introdução

O pimentão foi desenvolvido na Europa após a descoberta da América, através da introdução de inúmeras amostras de germoplasma de pimenta. Deve ter sido selecionado pela ausência de pungência, frutos maiores e maior capacidade de autofecundação. Os pimentões que foram introduzidos no Brasil vieram da Espanha e constituíram o tipo Casca Dura (Costa, 1977). Foi domesticado na América Central, provavelmente no México e se expandiu rapidamente pelo mundo, sendo difícil encontrar algum lugar onde não se utiliza algum de seus produtos (Nuez, 1996, Bertão, 1993). É uma hortaliça rica em vitamina C, A, B1 e B2 e minerais como cálcio, ferro e fósforo.

Pertencente ao gênero *Capsicum* e espécie *C. annuum* L. está entre as 10 hortaliças mais consumidas no mercado brasileiro e mundial. Estima-se que dos 13 mil hectares de área cultivada no Brasil, 1000ha são destinados ao cultivo protegido. O mercado de sementes de pimentão no Brasil é estimado em US\$ 3 milhões/ano, dos quais US\$ 600 a 900 mil estão relacionados ao segmento de pimentão de estufa. Na Europa (Espanha e Itália) e no nordeste dos Estados Unidos e Canadá onde predomina o cultivo protegido de pimentão, o mercado de sementes é estimado respectivamente em US\$ 38 milhões e US\$ 4 milhões. Nos últimos anos a exportação de produtos derivados de pimentas e pimentões gerou divisas para o Brasil da ordem de US\$ 735,8 mil (CNPQ, 2001).

A produtividade média brasileira no período de 1996 a 2000 teve um aumento médio de 300%, passando de 10,4 para 32,6 toneladas por hectare. A distribuição do plantio de pimentão concentra-se na região sudeste, sendo que os estados de São Paulo e Minas Gerais, representam 43% do plantio nacional, sendo seguidos pela região nordeste (31%), sul (20%), centro-oeste (5%) e norte (1%). (CNPH, 2001). Na região sudeste, São Paulo destaca-se como o maior produtor com 8.291 hectares, produzindo 70 mil toneladas e gerando 4.543 empregos.

Existem inúmeras doenças que limitam a produção de pimentão. Atualmente o Oídio, causado por *Leveillula taurica* tem sido a doença mais destrutiva e preocupante para os produtores dessa cultura em estufa, pois além de causar enormes perdas, seu controle com uso de fungicidas não tem sido eficaz. O uso de controles alternativos como leite de vaca, fosfato monopotássico, tem sido testado, porém com efeitos limitados. A melhor maneira de controle do oídio do pimentão seria através de variedades com resistência genética.

Daubeze et al. (1989), avaliando a evolução da doença em acessos e gerações de *C. annuum*, cruzaram a linhagem resistente H3 com a suscetível Vania. Di-haploides foram obtidos de F₁s por cultura “in vitro” e tratados com colchicina. Quando 77 linhagens dihaploides foram comparadas com os parentais e respectivas gerações F₁ em condições de infecção artificiais, aproximadamente 18 foram equivalentes ao parental resistente. Pelo menos três genes estariam relacionados no controle da resistência.

Shifriss et al. (1992) avaliaram a linhagem HV-12, seu cruzamento com o parental 1646 suscetível, obtendo híbridos F₁, geração F₂ e retrocruzamentos. As reações dos materiais genéticos foram avaliadas sob condições epidêmicas de oídio na fase de frutificação. Os sintomas das plantas nas gerações F₁, F₂ e retrocruzamentos apareceram um mês mais tarde do que no parental suscetível. Postulou-se que a linhagem HV-12 teria dois mecanismos de resistência sendo um de restrição a colonização e disseminação do patógeno e outro de retenção foliar. As plantas híbridas F₁ foram todas intermediárias, sendo classificadas como moderadamente resistentes. Na geração F₂ num total de 410 plantas, 194 foram suscetíveis, 202 moderadamente resistentes e 14 foram resistentes. Quando o retrocruzamento foi feito para o parental suscetível, todas as

plantas se mostraram suscetíveis, já o retrocruzado para o parental resistente HV-12 aumentou a frequência gênica para resistência, sendo num total de 72 plantas avaliadas, cinco suscetíveis, 40 moderadamente resistentes e 27 resistentes. O autor concluiu que a resistência é controlada por três pares de genes recessivos independentes.

Daubeze et al. (1995) avaliaram a linhagem H3 resistente, seu híbrido obtido com a linhagem suscetível Vania, geração F_2 e retrocruzamentos. O experimento foi conduzido em campo sob condições naturais de infecção na França e na Sicília (Itália). Foi avaliada a intensidade de esporulação com uma escala de 0 a 5 e a proporção da área foliar doente por planta de acordo com uma escala quantitativa de 0 a 5. Os resultados mostraram que o F_1 teve nota intermediária em relação a seus parentais indicando uma herança quantitativa. A análise genética sugeriu que três fatores estariam envolvidos na fase inicial do ciclo de resistência do H3 ao oídio, caracterizando uma ação gênica parcialmente dominante para a suscetibilidade e cinco fatores envolvendo epistasia governariam esta resistência na fase final da epidemia. Estes resultados indicaram que a resistência é controlada por vários genes. Nas gerações F_2 , e nos retrocruzamentos com o parental resistente foi observado um aumento da frequência de plantas resistentes evidenciando que a resistência a *L. taurica* é oligogênica e de dominância incompleta.

Mulge & Anand (1997) testaram a resistência ao oídio do pimentão usando linhagens e uma variedade comercial como testemunha. Observaram-se sintomas de oídio nos parentais e seus híbridos confirmando uma natureza dominante da resistência, a qual pode ser explorada em combinações heteróticas para produção.

Murthy & Deshpande (1997), estudando a herança da resistência ao oídio, utilizaram cinco progenitores na produção de quatro híbridos; dois progenitores resistentes (PMR-10/95 K e II HR-1238), um moderadamente resistente (II HR-2200) e dois suscetíveis ao oídio (II HR-2881 e II HR-1515). As seis gerações desses cruzamentos foram reavaliadas para reação ao oídio sob alta pressão de inóculo. Os dados das reações foram sujeitos a um teste X-quadrado, teste de epistasia e análise de variância com base na média das seis gerações. A resistência ao oídio destas fontes indianas foi dominante mas controlada poligenicamente. Detectaram-se efeitos gênicos

aditivos x aditivos em todos os quatro cruzamentos. Houve diferenças de alelismo quanto a resistência de PMR-10/95 K e II HR-1238.

Souza (2000), avaliou a reação a *L. taurica* em acessos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Embrapa Hortaliças, além de híbridos e variedades comerciais. Identificaram-se oito acessos imunes: HV-12, 4638 e pimentas como ABE (CNPH 36), Kurimoto (CNPH 38), Nélio redonda (CNPH 50), Nélio fina 2 (CNPH 52), Escabeche (CNPH 279) e Malagueta (CNPH 288). Estabeleceu também uma hierarquia da reação de materiais comerciais sendo o híbrido Reinger foi classificado com medianamente resistente, Magnata, Elisa e Margarita suscetíveis, enquanto que Magali e California Wonder foram altamente suscetíveis. A maioria dos materiais (70%) de *Capsicum annuum* foi moderadamente suscetível a *L. taurica*. Nas espécies *C. baccatum*, *C. frutescens* e *C. chinense* a situação foi diferente, ocorrendo maior número de acessos resistentes.

Lima (2002) verificou que na espécie *C. annuum* sob telado, 85% dos acessos testados foram altamente suscetíveis e 10% foram moderadamente suscetíveis. Um acesso foi moderadamente resistente (Sweet Pepper Blue Star), dois foram resistentes (MC-5 e WIR 2370), um foi altamente resistente (Pimenta) e apenas o HV-12 foi considerado imune. Em condições de casa de vegetação 68% dos acessos foram altamente suscetíveis e 20% moderadamente suscetível. Oito foram moderadamente resistentes (PI 187331, PI 1750, Myr 10, Hyb. Pepper- pep 1226-VP, 4090-P, 4109-P, 4665-P e Tico), um foi resistente (Bell Boy) e o acesso CNPH 1424, foi considerado altamente resistente.

Como revisado, existem relatos na literatura com referência a resistência de *C. annuum* ao patógeno, porém as poucas fontes de resistência encontradas não tem sido satisfatórias por apresentarem resistência parcial (Shifriss et al., 1992). Observou-se também que a herança da resistência nessa espécie não foi completamente elucidada. Devido a grande importância dessa doença e sabendo-se que atualmente 100% dos híbridos encontrados no mercado são altamente suscetíveis ao oídio visou-se através desse estudo: (a) triar os acessos da coleção de *C. annuum* da ESALQ/USP, identificando possíveis fontes de resistência nesta espécie e (b) obter maiores

informações sobre a herança dessa resistência, para auxiliar programas de melhoramento genético visando obter variedades ou híbridos de pimentão resistentes ao oídio.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Triagem da coleção de *Capsicum annuum* L.

Visando fazer uma triagem da coleção de *Capsicum* da ESALQ/USP para identificar os materiais resistentes e os suscetíveis ao oídio, foram testados 99 acessos de *C. annuum*. Nas Tabelas 7 e 8, constam as identificações dos acessos e suas respectivas origens.

3.2.1.1 Produção de mudas, condução, inoculação e avaliação

O experimento foi instalado e conduzido em túnel de plástico alto, no Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no município de Piracicaba, SP, que está a uma latitude de 22° 42’30” sul, longitude 47° 38’00” oeste e uma altitude de 546 m (Kuabara, 1984). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é Cwa: subtropical úmido, com três meses mais secos (jun./jul./ago.), chuvas de verão e seca de inverno, temperatura do mês mais quente maior que 22° C e média de 21,4° C.

A semeadura foi realizada em setembro de 2000, em bandejas de poliestireno expandido de 128 células, contendo substrato para hortaliças (Gioplant®). Posteriormente as mudas foram transplantadas em dezembro de 2000 para vasos plásticos de oito litros contendo uma mistura na proporção de 3:2:1 de areia lavada, vermiculita e turfa.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcelas de uma planta por vaso e quatro repetições, totalizando 396 plantas.

A irrigação foi feita através de um sistema fechado de gotejamento no sistema intermitente, sendo acionado eletronicamente por um temporizador, regulado para atender o tempo de irrigação necessitado pelas plantas. Para o tutoramento das plantas foram instalados mourões de madeira de 2,0m de altura, onde foram esticados fitilhos ao

longo das linhas de cultivo e as plantas foram presas a uma haste de bambu de 1m em cada vaso.

A adubação foi feita através de fertirrigação usando na fase de muda o adubo Kristalon® 13-40-13, 1g/l visando um bom enraizamento das mesmas. Após o transplante foi usado o adubo Kristalon® 12-12-36 mais micronutrientes, nitrato de cálcio, Ca/B e sulfato de magnésio, diluídos em 250 litros de água, aplicados duas vezes por semana. A adubação foi monitorada através da condutividade elétrica permanecendo em 1,7 EC (1g/1L).

No controle preventivo de pragas e doenças foi utilizado Confidor® (Imidacloprid), Vertimec® (Abamectina) e Aplaud® (Buprofezin) nas dosagens recomendadas. Nenhum tipo de fungicida foi usado para não interferir na reação do hospedeiro ao patógeno.

O inóculo inicial foi obtido e mantido em plantas de pimentão suscetíveis e com alto grau de esporulação. As plantas disseminadoras e com inóculo primário de oídio foram intercaladas a cada quinze vasos (1:15) dos acessos de *Capsicum* a serem triados, permitindo assim uma eficiente disseminação e progresso da doença.

A avaliação da reação dos acessos ao oídio foi efetuada a partir do surgimento dos sintomas, iniciando-se na fase de frutificação. Foi utilizada uma escala de notas de acordo com a severidade da doença, proposta por Ullasa et al. (1981) (Tabela 1). O nível de severidade da doença foi estabelecido através do critério visual, folhas com diferentes expressões de sintomas foram coletadas e copiadas por um medidor de área foliar (Leaf Área Meter, modelo LI-3000 da Licor) obtendo-se a área foliar total e lesionada. Com base nessas medidas estimou-se a severidade da doença. Usando estes modelos referenciais, foi possível padronizar a avaliação da reação do hospedeiro através de notas de 1 a 5 (Tabela 1). As avaliações foram feitas a cada sete dias por seis semanas consecutivas.

Para melhor visualização, as fotografias colocadas no anexo B caracterizam as notas utilizadas de acordo com os estágios e severidade da doença.

Tabela 1. Escala de notas para avaliação da reação de *Capsicum* à *Leveillula taurica*

Notas	Sintomas	Reação
1	Resistente, sem sintomas	R
2	Moderadamente resistente, com 10% da área foliar afetada	MR
3	Moderadamente suscetível, com 11-20% da área foliar afetada	MS
4	Suscetível, com 21-50% da área foliar afetada	S
5	Altamente suscetível, com 51% ou mais da área foliar afetada	AS

Adotou-se também testemunhas referenciais, cujas reações ao oídio são conhecidas na literatura e por produtores, para efeito comparativo na avaliação, monitoramento da epidemia e caracterização da reação dos acessos de pimenta e pimentão ao oídio (Tabela 2).

Tabela 2. Testemunhas referenciais de resistência e suscetibilidade de *Capsicum annum* com relação a reação à *Leveillula taurica*

Hospedeiros referenciais	Procedência	Reação
HV12	INRA, França	R
Magali R	Sakata Agroflora	S
Margarita	Syngenta/Rogers	S

3.2.1.2 Análise estatística

Os dados obtidos nas seis avaliações foram submetidos à análise estatística pelo método GLIM, realizado com auxílio do Professor José Eduardo Corrente do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP. O software “GLIM” utiliza-se de um modelo logístico acumulado, onde se supõe que a distribuição original dos dados é Poisson. Deste modo, com as estimativas dos pontos de corte da análise original, caracterizou-se a reação dos acessos resistentes através das estimativas dos efeitos dos parâmetros (os acessos) ajustados e seus respectivos desvios-padrão.

As médias da sexta avaliação final foram submetidas também a Teste de Tukey a 5% de probabilidade, com o objetivo de comparar os resultados das duas análises. A análise de variância consta no anexo A.

3.2.2 Herança da reação

Visando obter informações sobre a herança da reação ao oídio obtiveram-se estimativas do número de locos, coeficiente de herdabilidade, progresso esperado na seleção e o tipo de ação gênica envolvida. Híbridos entre progenitores resistentes também foram feitos com o objetivo de avaliar suas reações e determinar possível alelismo e expressões dos mecanismos de resistência dos progenitores.

3.2.2.1 Estimação de parâmetros genéticos

Com base na reação dos acessos ao oídio feita na primeira etapa de triagem, identificando as fontes de resistência e suscetibilidade, efetuaram-se cruzamentos de acessos resistentes x suscetíveis para determinação do modo de herança (Tabela 3). Na obtenção da geração F_1 foram utilizados seis progenitores os quais diferiram quanto a suas reações e características agronômicas descritas a seguir.

Pimentão HV-12 - Variedade obtida de um cruzamento entre uma cultivar de pimenta Etíope “H3” resistente e um pimentão tipo Lamuyo suscetível, “Vânia”. Plantas haplóides foram obtidas a partir de cultura de anteras de plantas F_1 . Posteriormente os haplóides androgenéticos foram diploidizados com uso de colchicina e selecionadas para resistência ao oídio. Apresenta frutos tipo cônico longo, 2 a 3 lóculos, polpa fina, sem valor comercial. É altamente resistente ao oídio.

Pimenta Chilli – Pimenta de frutos pequenos, com 2 lóculos, cônica vermelha, precoce, altamente pungente. É resistente ao oídio.

Pimenta #124 – Pimenta originária de uma coleção da Filipinas, da Universidade da Filipinas, Los Baños. Possui frutos de formato cônico, bem pequenos, de 5 a 10 cm, cor vermelho, bastante tardia. É resistente ao oídio.

Pimenta 609 – linhagem F_5 derivada pelo método genealógico originalmente do híbrido experimental da Peto Seed PS 374594. É uma linhagem homozigótica para resistência ao PVY/PeMV (gene Pvr4) e TSWV (gene Sw). Possivelmente segrega para o gene Bs2 que confere resistência à Mancha Bacteriana *Xanthomonas axonopodis*, raças 1, 2 e 3). Seus frutos são tipo quadrado (Yolo Wonder), relação comprimento largura 1:1, fruto maduro vermelho, polpa grossa, quatro lóculos. Apresenta coloração amarelada das

antras e hipocótilo verde com completa ausência de antocianina na parte aérea e fruto maduro. É altamente suscetível ao oídio.

Pimentões 428 e 442 – linhagens F₄ derivadas por seleção genealógica do híbrido Commandant da firma Rogers, homozigóticas para resistência ao PVY/PeMV (gene Pvr4). Apresenta frutos tipo retangular, relação comprimento largura 2:1, de três a quatro lóculos e polpa grossa. Possui antocianina no hipocótilo e antras com coloração púrpura. Originalmente o híbrido Commandant era resistente a Mancha bacteriana *Xanthomonas axonopodis*. São altamente suscetíveis ao oídio.

A hibridação foi feita com botões florais no estágio anterior à antese, através da emasculação eliminando-se as pétalas e antras com auxílio de uma pinça histológica e posterior polinização dos botões florais antes da antese (Nuez et al., 1996). Cada botão polinizado foi identificado com uma etiqueta descrevendo o cruzamento. Os frutos resultantes da autofecundação foram eliminados para evitar a concorrência no desenvolvimento dos frutos F₁. Essas sementes híbridas foram produzidas entre os meses de abril e junho de 2001.

Tabela 3. Relação dos híbridos de pimentão e pimenta

Híbridos	Reações dos progenitores
HV-12 x 609	resistente x suscetível
442 x HV-12	suscetível x resistente
428 x HV-12	suscetível x resistente
Chilli x 609	resistente x suscetível
#124 x 609	resistente x suscetível

3.2.2.1.1 Produção de mudas, condução, inoculação e avaliação dos híbridos (F₁) e progenitores

As mudas da geração F₁, progenitores e testemunhas suscetíveis foram obtidas em bandejas de poliestireno expandido usando substrato para hortaliças marca Gioplant®. O transplante das mudas foi realizado no mês de outubro de 2001, para vasos plásticos de oito litros contendo mistura de solo, vermiculita e turfa, na proporção de 3:1:1. Os vasos

foram colocados em quatro linhas duplas , com espaçamento de 1,0m entre linhas na estufa.

Os tratos culturais foram os mesmos que os realizados no experimento de triagem, apresentados no item 3.2.1.1 O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com parcelas de três plantas por vaso, três repetições e 13 tratamentos sendo cinco híbridos, seis progenitores e duas testemunhas suscetíveis, totalizando 117 plantas.

A inoculação, disseminação e avaliação, foram feitas do mesmo modo que o apresentado no item 3.2.1.1. Adotou-se o critério de suspender as avaliações quando as testemunhas referenciais de suscetibilidade, Magali R e Margarita, obtiveram nota máxima 5.

A geração F_1 foi avaliada em duas etapas, sendo a primeira na ocasião de sua obtenção e posteriormente na avaliação da geração F_2 .

3.2.2.1.2 Retrocruzamentos

Visando aumentar a frequência gênica e genotípica de plantas resistentes ao oídio, para finalidade de melhoramento e também contribuir para elucidar a herança da resistência, fez-se retrocruzamentos dos híbridos HV-12 x 609 e 442 x HV-12 para o progenitor resistente HV-12.

Devido à falta de espaço na estufa, a geração de retrocruzamentos foi avaliada concomitantemente junto com a avaliação da espécie *C. baccatum* em janeiro de 2003.

3.2.2.1.3 Produção de mudas, condução, inoculação e avaliação das gerações F_2 , F_1 , retrocruzamentos e progenitores

A geração F_2 foi obtida a partir da autofecundação dos híbridos (F_1).

Segundo a literatura, a herança que governa a resistência em *Capsicum annuum* L. é complexa e poligênica (Daubeze et al., 1995 e Murthy & Deshpande, 1997), sendo controlada por três genes recessivos (Shifriss et al, 1992). Com base nesta informação

postulou-se que o tamanho ideal da população F_2 deveria ser em torno de 600 a 700 plantas para cada população F_2 avaliada.

As sementes foram feitas em bandejas de poliestireno expandido, preenchida com substrato GII, da empresa Gioplanta. O transplante das mudas foi realizado no mês de maio de 2002 para vasos plásticos de oito litros, contendo substrato formulado pela Multiplanta Substrato Agrícola com a seguinte composição: casca de Pinus composta, granulação 10 mm, vermiculita expandida, turfa processada, macro e micro nutrientes, fosfato super simples, Humix, areia (5%) e elemento dispersante de umidade. Os tratamentos culturais realizados foram os mesmos das etapas anteriores. (item 3.2.1.1.).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado usando cinco plantas por vaso, totalizando 4.852 plantas (Tabela 4):

Tabela 4. Número de plantas (n) avaliadas por geração

Gerações	n	Gerações	n
(HV-12 x 609) P_1	40	(Chilli x 609) P_1	45
P_2	39	P_2	39
F_1	72	F_1	25
F_2	589	F_2	735
Retro P_1	200		
(442 x HV-12) P_1	52	(#124 x 609) P_1	40
P_2	40	P_2	39
F_1	65	F_1	23
F_2	700	F_2	1093
Retro P_2	200		
(428 x HV-12) P_1	37	Testemunhas	
P_2	40	Magali R	45
F_1	26	Margarita	45
F_2	633		

A inoculação, disseminação e avaliação, foram feitas do mesmo modo descrito no item 3.2.2.1.1; sendo que a proporção de linhas espalhadoras da doença neste experimento foi de 1:20. Foi feita apenas uma avaliação quando as plantas estavam em plena frutificação, determinando a reação da planta ao patógeno. Adotou-se o critério da avaliação quando as plantas testemunhas, Magali R e Margarita, atingiram nota máxima 5.

3.2.2.1.4 Avaliação da qualidade e características dos frutos

Os frutos das plantas F₂ dos cruzamentos HV-12 x 609, 442 x HV-12 e 428 x HV-12, que tiveram notas entre 1 e 2 para resistência; foram colhidos individualmente e caracterizados quanto suas qualidades, avaliando-se o comprimento em classes, curto, médio e longo; formato de acordo com a relação comprimento/largura, cônico, quadrado e retangular e número de lóculos. Amostras de frutos dos progenitores e geração F₁ correspondentes também foram colhidas e avaliadas quanto a qualidade de seus frutos. De acordo com esses parâmetros os frutos foram subdivididos nos seguintes tipos:

Cônico curto – Frutos de formato cônico com até 10 cm de comprimento e com dois a três lóculos.

Cônico médio (tipo híbrido Nathalie) – Frutos de formato cônico, 11 a 14 cm de comprimento, com dois a três lóculos.

Cônico longo (tipo híbrido Magali R) – Frutos de formato cônico, 14 a 16 cm de comprimento, com dois a três lóculos.

Quadrado (tipo Yolo Wonder) – Frutos de formato quadrado, relação comprimento-largura de 1:1, com quatro lóculos.

Retangular médio (tipo híbrido Máximo ou Margarita) – Frutos de formato retangular, relação comprimento-largura de 2:1, com três a quatro lóculos.

Retangular longo (tipo híbrido Valdor) – Frutos de formato retangular, relação comprimento-largura de 3:1, com três a quatro lóculos.

O anexo C mostra a variabilidade de tipos de frutos obtidos na geração F_2 .

3.2.2.1.5 Seleção

3.2.2.1.5.1 Produção de mudas, condução, inoculação e avaliação de gerações F_3

Progênes F_3 dos cruzamentos HV-12 x 609, 442 x HV-12 e 428 x HV-12, cujas médias das gerações F_1 e F_2 foram melhores para resistência ao oídio, foram obtidas e selecionadas a partir de plantas da geração F_2 . Os caracteres avaliados para a seleção das plantas F_2 foram, plantas resistentes com notas 1 e 2 e tipos de frutos desejáveis nos diversos segmentos do mercado (descritos no item anterior). Os frutos maduros selecionados foram colhidos individualmente e as sementes obtidas constituíram as progênes F_3 . Nas etapas de seleção teve-se a seguinte situação: no cruzamento HV-12 x 609, o número total de plantas avaliadas na geração F_2 foi 589 sendo selecionadas 144, o que corresponde a uma porcentagem de seleção de 24,4%. Para o cruzamento 442 x HV-12 o número total na geração F_2 foi de 700 plantas sendo selecionadas 231, o que corresponde a uma seleção de 33% e para 428 x HV-12 o número total de plantas avaliadas na geração F_2 foi de 633 plantas sendo selecionadas 48, sendo a porcentagem de seleção 7,6%.

A semeadura das progênes foi realizada no mês de janeiro de 2003, em bandejas de 128 células. Com base na genealogia dos progenitores suscetíveis ao oídio 609, 442 e 428 e resistentes ao PVY/PeMV, praticou-se uma triagem prévia das progênes F_3 para resistência ao PVY4m visando-se identificar a homozigosidade e heterozigosidade da reação a virose. Segundo Palloix (1992), Boiteux et al. (1996) e Echer (2001), a herança ao PYY raça M é governada por um gene dominante, o que facilita sua incorporação e agregação com a resistência ao oídio.

O inóculo de PVY raça M para o teste foi obtido e fornecido por Echer (2001) já purificado, filtrado e multiplicado, na variedade de pimentão Magda. As plantas das progênes foram inoculadas duas vezes, nas folhas cotiledonares aos 29 dias após a semeadura e na terceira folha aos 36 dias após a semeadura. O modo de inoculação foi mecanicamente, usando como fonte de inóculo extratos de folhas de pimentão da

cultivar Magda infectada. O extrato foi obtido através da maceração de folhas frescas com solução tampão de fosfato de potássio 0,02M (pH 7). A face superior das folhas a serem inoculadas, foi pulverizada com carborundum, e em seguida o inóculo foi aplicado através da fricção das folhas com algodão umedecido no extrato de folhas. Logo após a inoculação as folhas foram lavadas com água para remoção do excesso de inóculo (Nagai, 1983).

As avaliações foram realizadas aos 17 e 29 dias após a última inoculação, através da contagem das plantas com base na presença ou ausência de sintomas visuais. A reação de suscetibilidade foi caracterizada pela presença de sintoma sistêmico (mosaico ou mosqueado). As mudas que apresentaram sintomas do vírus foram eliminadas na fase de muda e as sem sintomas transplantadas para vasos plásticos de oito litros contendo substrato da Multiplanta Substratos Agrícolas®. A condução e tratos culturais nessa fase foram semelhantes aos descritos nos itens anteriores (item . 3.2.1.1).

Na fase de frutificação, as plantas foram avaliadas para reação ao oídio da mesma forma já descrita nos itens anteriores para as gerações F_1 e F_2 .

3.2.2.1.6 Análise biométrica dos dados

Para a realização das análises biométricas foram utilizados os dados das gerações, P_1 , P_2 , F_1 , F_2 . Como havia sido comentado anteriormente (item 3.2.2.1.1.), os progenitores e as gerações F_1 foram avaliadas em duas etapas, na ocasião de sua obtenção e novamente junto a avaliação da geração F_2 . Para que todas as gerações tivessem influência das mesmas condições ambientais, foram utilizados para o cálculo das análises os dados referentes a segunda avaliação.

O número de plantas dentro de cada classe de notas foi totalizado e a partir disso, estimadas as médias ponderadas [m], o somatório dos efeitos de aditividade [a] e dominância [d], usando o método de escala conjunta proposto por Cavali e descrito por Mather e Jinks (1981), baseado nas médias esperadas do caráter para as gerações, desconsiderando os efeitos epistáticos. Visando determinar os tipos de ação gênica

envolvidas no modelo genético aditivo-dominante, tem-se os seguintes valores esperados:

$$E[\bar{Y}_{(PR)}] = m - [a]$$

$$E[\bar{Y}_{(PS)}] = m + [a]$$

$$E[\bar{Y}_{(F1)}] = m + [d]$$

$$E[\bar{Y}_{(F2)}] = m + (\frac{1}{2})[d]$$

Sendo: m = média geral do caráter;

[a] = somatório dos efeitos aditivos;

[d] = somatório dos efeitos de dominância;

$E[\bar{Y}]$ = esperança matemática da média das gerações P_R (progenitor resistente), P_S (progenitor suscetível), F_1 , F_2 .

Admitindo que a maioria dos genes favoráveis para as características estudadas estão acumuladas em uma das linhagens genitoras e os desfavoráveis na outra e que as médias esperadas são expressáveis conforme acima, foi possível estimar os efeitos de m, [a] e [d] considerando as médias das diversas gerações.

Após o cálculo das variâncias foi feito um ajuste do número de graus de liberdade conjunto, para citações de heterogeneidade nas variâncias das gerações conforme Gomes (1990).

A adequação do modelo genético aditivo-dominante, adotado com base nos três parâmetros, m, [a] e [d] foi verificada pelo teste t por meio de contrastes entre médias segundo Gomes (1990). Nesses testes comparou-se a média observada da geração F_2 com seu valor esperado, conforme o modelo. Em caso de significância do teste t, adotou-se modelo com efeitos epistáticos, componentes das médias das gerações ($PR = m - [a] + [i]$; $PS = m + [a] + [i]$; $F_1 = m + [d] + [I]$ e $F_2 = m + (\frac{1}{2})[d] + (\frac{1}{4})[I]$), além dos efeitos aditivo e dominante. Para mensurar esses efeitos, considerou-se o conteúdo genético do contraste:

$$C = \bar{Y}_{F2} - (\frac{1}{4}) (\bar{Y}_{PR} + \bar{Y}_{PS} + 2 \bar{Y}_{F1})$$

Cuja esperança matemática é

$$E(C) = (1/2)[i] + (1/4)[I]$$

Nesta esperança de C, o parâmetro [i] é a soma dos efeitos epistáticos do tipo aditivo x aditivo e o parâmetro [I] a soma dos efeitos epistáticos do tipo dominante x dominante (Mather e Jinks, 1981). Evidentemente E(C) será nula no caso de ausência de efeitos epistáticos. No modelo epistático não foi usada da geração retrocruzamento, pois esta foi avaliada em época diferente a da geração F₂, além do mais se sabe que o oídio é uma doença bastante influenciada pelo ambiente.

Foram construídos histogramas de distribuição de frequência de plantas para a realização de uma análise exploratória dos dados, com o intuito de visualizar melhor o comportamento das médias dentro de cada classe de notas nas diferentes gerações.

O número de locos segregantes na geração F₂ foi estimado somente para casos onde as reações dos progenitores eram contrastantes, de duas formas. Com base na frequência dos extremos resistentes manifestados no genitor resistente em cada cruzamento e baseado na fórmula para número mínimo de genes segregantes de Burton (1951):

$$n_g = \frac{0,25 (0,75 - \beta + \beta^2) \alpha^2}{\sigma_g^2}$$

Onde, $\alpha = P_2 - P_1$, sendo P₂ a média do progenitor mais alto, $\beta = (F_1 - P_1)/\alpha$, sendo F₁ e P₁, as médias das gerações F₁ e do progenitor 1 e σ_g^2 a variância genética em F₂.

Podem ocorrer diferenças na estimativa do número de genes calculada pela frequência e pela fórmula. Pela fórmula, se está mais sujeito a possibilidade de erros de estimação, pois ela envolve um número de estimativas (médias e variâncias) maior se comparado ao método das frequências. Convém observar que a expressão de n_g subestima o número de locos segregantes na presença de ligação gênica e nos casos em que as linhagens progenitoras não são completamente contrastantes. Apesar disso os dois procedimentos foram usados para confrontar e reforçar os resultados.

Os coeficientes de herdabilidade também foram calculados para cada cruzamento de acordo com Vencovsky & Barriga (1992), conforme segue:

$$h^2 = \sigma_g^2 / \sigma_f^2$$

onde, h^2 = coeficiente de herdabilidade

σ_g^2 = variância genética

σ_f^2 = variância fenotípica

A variância genética e a variância fenotípica foram estimadas por:

$$\sigma_g^2 = \sigma_{F2}^2 - [(\sigma_{P1}^2 + \sigma_{P2}^2 + 2\sigma_{F1}^2)/4]$$

$$\sigma_f^2 = \sigma_{F2}^2$$

A partir dos coeficientes de herdabilidade foram calculados os ganhos de seleção esperados para a geração F_3 . Simulou-se seleção das plantas com notas 1 e 2.

$$Gs \leq ds.h^2$$

Onde, Gs = ganho de seleção

ds = diferencial de seleção

h^2 = coeficiente de herdabilidade

Sendo o diferencial de seleção calculado por:

$$ds = \bar{Y}_s - \bar{Y}_{F2}$$

Onde, $\bar{Y}_s$ = média geral das progênies selecionadas.

$\bar{Y}_{F2}$ = média da geração F_2 .

Os coeficientes de herdabilidade e os ganhos de seleção foram calculados com base na herdabilidade no sentido amplo. Essa estimativa do progresso (Gs) é adequada em casos de ausência de dominância. Havendo evidência de dominância o valor de Gs estará super estimado, servindo apenas como referencial.

O progresso observado na geração F_3 com a seleção de plantas notas 1 e 2 (resistentes) foi calculado pela diferença entre a média observada na geração F_3 com a seleção e a média esperada na geração F_3 sem seleção. Sendo a média esperada na geração F_3 sem seleção dada por:

$$F_3 \text{ (esper).} = MP + [(F_2 - MP)/2] \text{ ou}$$

$$F_3 \text{ (esper).} = MP + \frac{1}{4} H$$

Onde, MP é a média dos progenitores, F_2 é a média da geração F_2 observada e H é heterose.

As análises biométricas foram feitas com auxílio do Prof. Dr. Roland Vencovsky do Departamento de Genética da ESALQ/USP.

3.2.2.2 Reação de híbridos resistentes ao oídio em *C. annuum*

Visando determinar a existência de alelismo ou não entre as fontes de resistência identificadas; foram feitos cruzamentos entre esses progenitores com posterior obtenção das gerações segregantes (Tabela 5). Foram utilizados três progenitores, HV-12, #124 e Chilli. Suas características assim como o modo de hibridação estão descritos no item 3.2.2.1.

Tabela 5. Relação dos híbridos

Híbridos	Reações dos progenitores
#124 x HV-12	resistente x resistente
Chilli x HV-12	resistente x resistente

3.2.2.2.1 Produção de mudas, condução, inoculação e avaliação dos híbridos (F_1) e progenitores

A produção das mudas e tratos culturais foram feitos do mesmo modo que o descrito no item 3.2.1.1. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado usando três plantas por vaso, três repetições e sete tratamentos sendo, dois híbridos, três progenitores e duas testemunhas suscetíveis, totalizando 63 plantas.

Os critérios de inoculação e o modo de avaliação das reações foram os mesmos apresentados no item 3.2.1.1

3.2.2.2.2 Produção de mudas, condução, inoculação e avaliação dos F₂, F₁, e progenitores

A produção das mudas das gerações F₂, F₁ e progenitores e os tratos culturais foram semelhantes ao já relatado no item 3.2.1.1. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado utilizando-se cinco plantas por vaso, totalizando 2.104 plantas: (Tabela 6):

Tabela 6. Número de plantas avaliadas por geração

Gerações	Nº de plantas
(# 124 x HV-12) P ₁	40
P ₂	40
F ₁	55
F ₂	928
(Chilli x HV-12) P ₁	45
P ₂	40
F ₁	61
F ₂	815
Testemunha Magali R	45
Testemunha Margarita	45

A inoculação, disseminação e avaliação, foram feitas do mesmo modo que o descrito no item 3.2.2.1.1.

3.2.2.2.3 Análise biométrica dos dados

Feita as avaliações, o número de plantas dentro de cada classe de notas foi totalizado e estimadas as médias ponderadas [m], o somatório dos efeitos de aditividade [a] e dominância [d] visando verificar a presença dos efeitos envolvidos no modelo genético aditivo-dominante. Verificou-se a adequação do modelo pelo teste t por meio de contrastes entre médias segundo Gomes (1990). Em caso de significância do teste t,

adotou-se modelo com efeitos epistáticos. Um melhor detalhamento dessa análise foi descrito no item 3.2.2.1.5

Histogramas de distribuição das gerações foram feitos para visualizar melhor o comportamento das médias dentro de cada classe de notas nas diferentes gerações.

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Triagem da coleção de *capsicum annuum* L.

Dos acessos de *C. annuum* testados, apenas 5% do total foram considerados resistentes ao oídio (*L. taurica*). Essa baixa frequência de fontes de resistência ao oídio em *C. annuum* concorda com Lima (2002) e Souza & Café-Filho (2003). Pela análise GLIM apenas os acessos que apresentaram as menores notas (1 a 3), e que as mantiveram constantes ao longo das avaliações foram considerados resistentes (Tabela 7, Figura 1). O período de latência é um importante parâmetro na expressão da reação de resistência do hospedeiro. No caso do oídio, o progresso da doença obedece às características de progresso temporal típicas de doenças policíclicas *sensu*. A taxa de progresso é consistentemente reduzida de acordo com o nível de resistência horizontal do hospedeiro (Souza, 2000).

O acesso HV-12, já descrito por Bechir (1993), Shifriss et al., (1992), Daubeze et al., (1995), Souza (2000) e Lima (2002), confirmou-se o mais resistente sem nenhum sintoma, mantendo nota 1 da 1ª até a última avaliação; destacando-se assim como a melhor fonte e tipo de resistência a ser usada no melhoramento de pimentão à *L. taurica* (Tabela 7, Figura 1). Segundo Shifriss et al., (1992), o HV-12 tem dois mecanismos de resistência ao oídio, sendo um de resistência à inoculação e disseminação e outro relacionado com a capacidade de retenção foliar sob alta pressão do patógeno (foto anexo D).

Além do HV-12, dois acessos se destacaram como fontes de resistência na espécie *C. annuum*, Chilli e #124, que apresentaram médias 1,75 e 2,25 (Tabela 7, Figura 1). Além dessas duas pimentas resistentes ao oídio, outras como Jalapeno 2 e Catie 8063, apresentaram uma reação diferenciada do HV-12, denominada “fleck” (manchas necróticas) resultante de um tipo de reação de hipersensibilidade do hospedeiro ao

patógeno, como um possível e efetivo mecanismo de defesa. A planta pode ser infectada pelo patógeno, porém os sintomas se restringem a pontuações, micro-lesões necróticas sem esporulação (foto anexo D). O mecanismo de hipersensibilidade do hospedeiro restringe a esporulação e disseminação do patógeno, como descrito por Carver et al. (1995) e Zeyen et al. (1995). Segundo os mesmos autores, nesta reação ocorre morte celular no local de penetração do patógeno. A morte celular é associada a gene (s) maior (es) condicionando incompatibilidade hospedeiro-patógeno. Esta reação se restringe geralmente à célula epidérmica diretamente colonizada, porém as células adjacentes e do mesófilo também podem morrer em consequência da patogênese. De acordo com Lima (2002), genótipos resistentes apresentam períodos de latência mais prolongados caracterizados pela presença de manchas cloróticas que progridem para necroses bem delimitadas.

Esta reação de manchas necróticas ocorre quando existe uma forte pressão do patógeno. É uma situação experimental quando existe grande proporção de acessos suscetíveis em relação aos resistentes, havendo uma alta pressão de inóculo. Em condições de cultivos isolados, sem pressão de inóculo, esses acessos poderiam exibir resistências equivalentes a do HV-12. Este fenômeno de interferência de parcelas é amplamente conhecido na literatura sobre resistência de hospedeiros à patógenos.

Os demais acessos da coleção foram suscetíveis, geralmente com média de notas 5 a partir da terceira avaliação, concordando com Shifriss et al., (1992), Stadnik & Rivera (2001). Entre os acessos altamente suscetíveis testados neste trabalho, que também foram testados por Lima (2002) com equivalente reação, estão PI 187331, Myr 10 e Myr 29. (Tabela 8).

Entre os híbridos comerciais testados, Reinger, Natalie, Margarita, Magali R e Magda, foram classificados como suscetíveis (nota 4) a altamente suscetíveis (nota 5), concordando com os resultados relatados por Lima (2002) e Souza (2000). Convém destacar que Souza (2000), relatou que o híbrido de pimentão Reinger foi moderadamente resistente, o que não foi observado, pois o mesmo mostrou-se altamente suscetível.

Uma das possíveis explicações do fato de que a suscetibilidade ao oídio é comum em *C. annuum* poderia ser devido ao seu processo de domesticação, onde os genes que conferem resistência foram perdidos durante o processo de seleção (Reifschneider et al., 2000). O desenvolvimento de variedades e híbridos de pimentão restringiram a variabilidade e aumentaram a vulnerabilidade à doenças.

Tabela 7. Relação dos acessos resistentes e médias de suas reações em cada avaliação.
C. annuum. 2001

Acessos	Origem	Média de notas por avaliação ¹ (Dias)					
		7	14	21	28	35	42
HV-12	INRA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00 E
Chilli	Índia	1,00	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75 DE
#124	Filipinas	1,50	2,00	2,00	2,00	2,00	2,25 CDE
Catie 8063	Costa Rica	1,25	1,25	2,25	2,25	2,75	3,00 ABCDE
Jalapeño 2	Brasil	1,25	1,25	2,25	2,75	3,00	3,00 ABCDE

1. Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, ao nível de 5%,1,25 pelo teste de Tukey.

Figura 1 - Progresso da doença dos acessos resistentes de *C. annuum* L

Tabela 8. Relação dos acessos suscetíveis e médias de suas reações. *C. annuum*. 2001

Acessos	Origem	Médias¹
CNPH 32	Brasil	3,00 ABCD
BGH 3884	Brasil	3,00 ABCD
# 138	Filipinas	3,00 ABCD
BGH 3883	Brasil	3,00 ADCD
BGH 3759	Brasil	3,00 ABCD
Morrone	Portugal	3,25 ABCD
Mulato Dulce	Portugal	3,25 ABCD
Calahorra	México	3,50 ABCD
CNPH 185	Brasil	3,50 ABCD
IAC #218	Colômbia	3,50 ABCD
IAC #63	Colômbia	3,50 ABCD
Ají Rojo #258	Bolívia	3,50 ABCD
BGH 3717	Brasil	3,75 ABCD
Mexicana Tosello	México	3,75 ABCD
Arivivi # 142	Bolívia	3,75 ABCD
Magda	Agroflora	3,75 ABCD
# 125	Filipinas	4,00 ABC
Mulato V-2	México	4,00 ABC
Catie 7300 #121	Costa Rica	4,00 ABC
Malagueta	Brasil	4,00 ABC
Argentina #3	Brasil	4,00 ABC
CNPH 40	Brasil	4,00 ABC
Jalapeno 3	Brasil	4,00 ABC
BGH 3886	Brasil	4,00 ABC
Marconi	USA	4,00 ABC
ICA #64	Colômbia	4,00 ABC
Magali R	Agroflora	4,00 ABC
Ano todo	Brasil	4,25 ABC
BGH 3058	Brasil	4,25 ABC
CNPH 144	Brasil	4,25 ABC
Florida VR-4	USA	4,25 ABC
Kancluster	USA	4,25 ABC
PI 187331	USA	4,25 ABC
BGH 3758	Brasil	4,25 ABC
Pimenta verde	Brasil	4,25 ABC
Avelar	Brasil	4,50 AB
BGH 3058	Brasil	4,50 AB
BGH 3464	Brasil	4,50 AB
BGH 3743	Brasil	4,50 AB
BGH 3888	Brasil	4,50 AB
Maalab	Filipinas	4,50 AB
PI 188476	USA	4,50 AB

Tabela 8. Relação dos acessos suscetíveis e médias de suas reações. *C. annuum*. 2001

Acessos	Origem	Médias¹
R-17	Filipinas	4,50 AB
BG 3883	Brasil	4,50 AB
BGH 5112	Brasil	4,50 AB
Ancho	México	4,75 AB
BGH 3756	Brasil	4,75 AB
BGH 4016	Brasil	4,75 AB
IAC 8 Mogi	Colômbia	4,75 AB
IAC # 132	Colômbia	4,75 AB
Myr 29	Brasil	4,75 AB
BGH 3887	Brasil	4,75 AB
Khomernhu	Bolívia	4,75 AB
Locarte	Paraguai	4,75 AB
Reinger	Syngenta	4,75 AB
Natalie	Syngenta	4,75 AB
Margarita	Syngenta	4,75 AB
#132	Filipinas	5,00 A
#36	Filipinas	5,00 A
#5	Brasil	5,00 A
Agronomico 10	Brasil	5,00 A
BGH 3744	Brasil	5,00 A
BGH 3890	Brasil	5,00 A
BGH 3896	Brasil	5,00 A
BGH 3878	Brasil	5,00 A
BGH 3978	Brasil	5,00 A
BGH 3464	Brasil	5,00 A
BGH 3757	Brasil	5,00 A
BGH 3881	Brasil	5,00 A
BGH 3889	Brasil	5,00 A
BGH 3891	Brasil	5,00 A
Caprioglio	Itália	5,00 A
Catarino Cascabel	México	5,00 A
CNPH 145	Brasil	5,00 A
CNPH 146	Brasil	5,00 A
CNPH 162	Brasil	5,00 A
CNPH 294	Brasil	5,00 A
Corno di Toro	Itália	5,00 A
El Saltenito	México	5,00 A
IAC #12	Colômbia	5,00 A
IAC # 131	Colômbia	5,00 A
Jalapeño 1	México	5,00 A
Jalapeño (cica) N°1	México	5,00 A
Myr 10	Brasil	5,00 A

Tabela 8. Relação dos acessos suscetíveis e médias de suas reações. *C. annuum*. 2001

Acessos	Origem	Médias¹
Pimenta Orn. Picante P01	Brasil	5,00 A
Pimenta Picante P001	Brasil	5,00 A
Pimenta Roque	México	5,00 A
#17	Filipinas	5,00 A
BG 3757	Brasil	5,00 A
RFG/FAO #858	Guatemala	5,00 A
Pimenta Doce IH-1744	Brasil	5,00 A
Arivivi #261	Bolívia	5,00 A
Pimenta Ornamental	Brasil	5,00 A
Ají-Rojo 265	Bolívia	5,00 A

1. Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

3.3.2 Herança da reação

3.3.2.1 Estimação de parâmetros genéticos

Os progenitores confirmaram os mesmos tipos de reações já apresentadas na etapa de triagem. O HV-12 comportou-se como altamente resistente (nota 1) e as duas outras fontes de resistência encontradas, Chilli e #124, confirmaram suas reações típicas de hipersensibilidade anteriormente descritas (item 3.3.1) (Tabela 9).

A resistência da variedade HV-12 é duradoura e consistente, sua reação no Brasil funcionou tanto para os isolados de *L. taurica* em Piracicaba/SP (Blat, 2002), como de Brasília/DF (Souza, 2000 e Lima, 2002). Foi também resistente na Tunísia (Bechir, 1993), Israel (Shifriss et al., 1992), França e Itália (Daubeze et al., 1995). É uma forte evidência de que as populações de *L. taurica* não são variáveis em sua patogenicidade e agressividade. A reação do HV-12 até o presente momento tem sido relatada como consistente e estável, sem evidências de que sua resistência tenha sido superada por raças mais patogênicas de *L. taurica*. Esse tipo de resistência é altamente desejável para ser explorada no melhoramento genético visando obter variedades e híbridos resistentes ao oídio.

Os progenitores 609, 442 e 428, mantiveram sua alta suscetibilidade, apresentando nota máxima 5 com médias 5,00 nas primeiras avaliações tanto nos experimento de triagem e de obtenção da geração F₁ e posteriormente 4,64, 4,56 e 4,60 na segunda avaliação na avaliação da geração F₂ (Tabela 10). Todas essas linhagens de pimentão

apresentam resistência às viroses PVYm (gene Pvr4), TSWV (gene Sw) e TMV (gene L1) podendo posteriormente em gerações mais avançadas, serem selecionadas e agregadas concomitantemente com a resistência ao oídio.

As testemunhas suscetíveis, Magali R e Margarita e os progenitores suscetíveis apresentaram intensa esporulação seguida de forte defoliação e queimadura dos frutos pelo sol.

Os híbridos HV-12 x 609, 442 x HV-12 e 428 x HV-12, nas duas avaliações tiveram o maior número de plantas concentrado na nota 3, sendo uma reação intermediária em relação a dos progenitores, (Tabela 9, fig. 2 a 4) com médias 3,00, 3,44 e 3,55 na primeira avaliação e 2,87, 3,00 e 3,58 na segunda avaliação respectivamente (Tabela 10), concordando com Shifriss et al. (1992). Segundo Daubeze et al. (1995), o retardamento na expressão de suscetibilidade das linhagens sugere que a expressão dos genes de resistência incompletos ou de resistência parcial, pode ser progressivamente revelada com o tempo e depende de ocorrência de infecção secundária. Convém destacar que a avaliação precoce pode revelar fenótipos com reação intermediária, mas somente uma avaliação tardia é que pode detectar e identificar acessos altamente resistentes, similares ao HV-12.

São bastante contrastantes as reações intermediárias de resistência desses híbridos quando comparados com o progresso da doença das linhagens suscetíveis que rapidamente chegam à nota máxima 5. Esta reação intermediária observada na geração F₁ poderá ser valiosa no controle integrado do oídio se for associada com o uso de fungicidas ou algum controle alternativo, como leite de vaca, bicarbonato de sódio e fosfato monopotássico.

Nota-se que as reações das plantas dos cruzamentos Chilli x 609 e #124 x 609, cujos progenitores resistentes diferiram do HV-12, foram mais suscetíveis apresentando médias nas gerações F₁ de 4,96 e 4,17 na segunda avaliação, e para as gerações F₂ de 4,74 e 4,00 respectivamente, evidenciando e confirmando com isso que a escolha do progenitor tem grande influência nos resultados dos cruzamentos e no sucesso de um programa de melhoramento (Tabela 10). Ao se observar a distribuição de indivíduos F₂ dentro das diferentes classes verificou-se que para os cruzamentos HV-12 x 609, 442 x

HV-12 e 428 x HV-12 a maior proporção de plantas esteve entre as classes 2 e 3 com 66,8%, 75,6% e 50,7% e para, Chilli x 609 e #124 x 609 a maior proporção mostrou-se na classe 5, com 83,0% e 46,7% respectivamente (Figuras de 2 a 6).

A análise genética das gerações mostrou ausência de dominância no cruzamento HV-12 x 609, indicando ação gênica apenas aditiva, nos locos para os quais as linhagens diferem (Tabela 11). Apesar da falta de manifestação da dominância, não se pode afirmar que ela inexistia. As médias que usamos para determinar a heterose são funções lineares de efeitos genéticos. Portanto, podem existir efeitos de sinais opostos que resultem em cancelamento dos mesmos, não havendo suas manifestações na expressão fenotípica. Os demais cruzamentos 442 x HV-12, 428 x HV-12, Chilli x 609 e #124 x 609 apresentaram um valor de heterose significativo em relação à média dos pais, indicando a manifestação de dominância nos locos cuja atividade interfere no caráter ou que ela ocorre em uma parcela desses locos (Tabela 2). Em todos os cruzamentos que exibiram ação gênica dominante altamente significativa manifestaram na segregação em F_2 efeitos epistáticos, demonstrando interação gênica, quando testados para este modelo, concordando com Daubeze et al. (1995). (Tabela 11). A base genética do caráter de resistência apresentada nos diversos cruzamentos mostra ter locos com graus de dominância variáveis, demonstrando ser uma herança complexa.

A dominância apresentada tendeu à suscetibilidade, indicando que a resistência é recessiva, concordando com os resultados obtidos por Shifriss et al (1992), Daubeze et al (1995). As médias das gerações F_2 foram de 2,79 (442 x HV-12), 3,48 (428 x HV-12), 4,74 (Chilli x 609) e 4,00 (# 124 x 609) (Tabela 10). Desse modo, uma vez que o melhorista seleciona plantas resistentes, automaticamente estará avançando somente plantas homozigóticas, o que torna bastante eficiente o método seletivo.

Com base nestes resultados pode-se concluir que o componente genético da variância do cruzamento HV-12 x 609 ($\sigma^2_g = \sigma^2_a$) é simplesmente aditiva e que nos demais cruzamentos esse componente contém efeitos aditivos, dominantes e epistático. ($\sigma^2_g = \sigma^2_a + \sigma^2_d + \sigma^2_i$).

Se o objetivo for a exploração de híbridos, pode-se afirmar que a dominância e os efeitos epistáticos manifestados agiram desfavoravelmente aos interesses no

melhoramento. Os valores positivos indicaram, no caso da heterose, que a média do caráter na geração F_1 foi maior que a média dos progenitores e no da epistasia, que a média de F_2 observada foi maior do que a esperada.

As médias dos retrocruzamentos HV-12 x (HV-12 x 609) e HV-12 x (442 x HV-12) (2,26 e 2,57) confirmaram os resultados obtidos por Daubeze et al. (1995), apresentando uma menor média de severidade da doença quando comparados as gerações F_2 (Tabela 10). É uma estratégia no melhoramento fazer só o retrocruzamento para o parental resistente, para aumentar a frequência dos genes favoráveis de resistência ao oídio com suficiente variabilidade residual para posterior seleção quanto à qualidade de frutos.

O número de locos segregantes calculado confirmou os resultados obtidos por Shifriss et al. (1992), Daubeze et al. (1995) e Murthy & Deshpande (1997). Para os cruzamentos HV-12 x 609 e #124 x 609 existem no mínimo dois genes segregantes envolvidos na herança, enquanto para os cruzamentos 442 x HV-12 e 428 x HV-12 pelo menos três genes se manifestaram. No cruzamento Chilli x 609 os resultados calculados pela frequência e pela fórmula de Burton (1951) diferiram, pelo cálculo das frequências detectou-se no mínimo quatro genes segregantes, enquanto pela fórmula de Burton (1951), nove genes estariam governando a herança da resistência ao oídio. Nesse último caso, o número de genes estimado pela fórmula foi bem maior que o considerado pelas frequências. Esse fato pode ter ocorrido pela baixa variância observada na geração F_2 ($\sigma^2=0,401$) se comparada a dos progenitores ($\sigma^2_{P1}=0,255$ e $\sigma^2_{P2}=0,289$). Esta pequena variância se deve ao grande número de plantas com nota 5 (610 plantas). Pode-se concluir com isso que os locos das linhagens progenitoras Chilli e 609 são mais divergentes do que o dos progenitores dos demais cruzamentos e que a herança da resistência ao oídio em *C. annuum* é poligênica e governada por pelo menos quatro pares de genes (Tabelas 9 e 10).

A esse respeito, sabe-se que heranças poligênicas geralmente demandam maior número de gerações de seleção para obtenção de homozigose, porém essas resistências são duráveis e mais difíceis de serem superadas pelo surgimento de raças mais patogênicas (Van der Plank, 1968).

Sabe-se que quanto maior for o número de genes maior será a segregação e sua recombinação gênica na geração F_2 a ser explorada pelo melhorista. Os valores de herdabilidade foram altos, acima de 40%, evidenciando uma boa possibilidade de ganho seletivo. Quanto maior for a herdabilidade, menos afetado pelas condições ambientais será o caráter. A população segregante em F_2 do cruzamento 428 x HV-12 apresentou o maior grau de herdabilidade, 76,54% enquanto que o cruzamento 442 x HV-12 apresentou o menor, 54,96%. Os ganhos de seleção estimados para as gerações F_3 , apesar de superestimados também foram altos, evidenciando uma perspectiva favorável de progresso no programa de melhoramento para resistência ao oídio. Os maiores ganhos foram obtidos nos cruzamentos que apresentaram na geração F_2 maior média, ou mais suscetíveis. Esperaria-se um ganho de 35,2% para Chilli x 609 e de 34,8% para a geração F_3 do cruzamento #124 x 609, 34,8% (Tabela 10).

Tabela 9. Número de plantas em cada classe, de acordo com a escala de notas para resistência a *Leveillula taurica* sob condições de casa de vegetação. *C. annuum*. 2002

Gerações ¹		R Nota 1	MR Nota 2	MS Nota 3	S Nota 4	AS Nota 5
HV-12	PR [•]	9	0	0	0	0
	PR ^{••}	40	0	0	0	0
	PR [•]	0	9	0	0	0
Chilli	PR ^{••}	22	23	0	0	0
	PR [•]	0	9	0	0	0
#124	PR ^{••}	17	23	0	0	0
	PS [•]	0	0	0	0	9
609	PS ^{••}	0	0	1	12	26
	PS [•]	0	0	0	0	9
442	PS ^{••}	0	0	7	9	36
	PS [•]	0	0	0	0	9
428	PS ^{••}	0	0	0	15	22
	TS [•]	0	0	0	0	9
Magali R	TS ^{••}	0	0	0	0	45
	TS [•]	0	0	0	0	9
Margarita	TS ^{••}	0	0	0	0	45
	F ₁ [•]	0	0	9	0	0
HV-12 x 609	F ₁ ^{••}	0	25	36	6	5
	F ₂ ^{••}	40	190	204	64	91
	RC PR ^{•••}	55	63	62	14	6
442 x HV-12	F ₁ [•]	0	0	5	4	0
	F ₁ ^{••}	0	21	27	13	4
	F ₂ ^{••}	25	249	280	40	106
428 x HV-12	RC PR ^{•••}	35	51	86	20	8
	F ₁ [•]	0	0	6	1	2
	F ₁ ^{••}	0	0	16	5	5
Chilli x 609	F ₂ ^{••}	18	172	149	75	219
	F ₁ [•]	0	0	0	4	5
	F ₁ ^{••}	0	0	0	1	24
# 124 x 609	F ₂ ^{••}	0	8	52	65	610
	F ₁ [•]	0	0	0	8	9
	F ₁ ^{••}	0	0	3	13	7
	F ₂ ^{••}	1	99	306	176	511

[•] Resultados obtidos em fevereiro de 2002 (primeira avaliação) – na obtenção da geração F₁.

^{••} Resultados obtidos em setembro de 2002 (segunda avaliação) - na obtenção da geração F₂.

^{•••} Resultados obtidos em fevereiro de 2003.

1. PR – Progenitor resistente, PS – progenitor suscetível, RC PR – retrocruzamento, TS – Testemunha suscetível

Tabela 10. Estimativas de médias de notas, variâncias, do número de locos segregantes e da herdabilidade (h^2), nas diferentes gerações de cinco cruzamentos e ganho de seleção esperado em F_3 (Gs). *C. annuum*. 2002

Gerações ¹		n	Médias	Variâncias	Nº locos		h^2 (%)	Gs (%)
					Freq	Form.		
HV-12	PR [•]	9	1,00	0,000				
	PR ^{••}	40	1,00	0,000				
Chilli	PR [•]	9	2,00	0,000				
	PR ^{••}	45	1,51	0,255				
#124	PR [•]	9	2,00	0,000				
	PR ^{••}	40	1,57	0,250				
609	PS [•]	9	5,00	0,000				
	PS ^{••}	39	4,64	0,289				
442	PS [•]	9	5,00	0,000				
	PS ^{••}	52	4,56	0,526				
428	PS [•]	9	5,00	0,000				
	PS ^{••}	37	4,60	0,248				
Magali R	TS [•]	9	5,00	0,000				
	TS ^{••}	45	5,00	0,000				
Margarita	TS [•]	9	5,00	0,000				
	TS ^{••}	45	5,00	0,000				
HV-12 x 609	F ₁ [•]	9	3,00	0,000				
	F ₁ ^{••}	72	2,87	0,702				
	F ₂ ^{••}	589	2,96	1,320	≥ 2	2	67,95	-26,0
	RCPR ^{•••}	200	2,26	1,073				
442 x HV-12	F ₁ [•]	9	3,44	0,278				
	F ₁ ^{••}	65	3,00	0,781				
	F ₂ ^{••}	700	2,93	1,159	≥ 3	3	54,96	-19,1 [▲]
	RCPR ^{•••}	200	2,57	1,040				
428 x HV-12	F ₁ [•]	9	3,55	0,778				
	F ₁ ^{••}	26	3,58	0,654				
	F ₂ ^{••}	633	3,48	1,658	≥ 3	2	76,54	-34,8 [▲]
Chilli x 609	F ₁ [•]	9	4,55	0,278				
	F ₁ ^{••}	25	4,96	0,040				
	F ₂ ^{••}	735	4,74	0,401	≥ 4	9	61,10	-35,2 [▲]
#124 x 609	F ₁ [•]	9	4,11	0,111				
	F ₁ ^{••}	23	4,17	0,423				
	F ₂ ^{••}	1093	4,00	1,119	≥ 2	2	69,08	-34,8 [▲]

[•] Resultados obtidos em fevereiro de 2002 (primeira avaliação) – na obtenção da geração F₁.

^{••} Resultados obtidos em setembro de 2002 (segunda avaliação) - na obtenção da geração F₂.

^{•••} Resultados obtidos em fevereiro de 2003.

[▲] Ganho de seleção superestimado, calculado em função de h^2 no sentido amplo.

1. PR – Progenitor resistente, PS – progenitor suscetível, RC PR – retrocruzamento, TS – Testemunha suscetível

Tabela 11. Estimativas dos valores da heterose (H e H%) e de efeitos da epistasia (C) com significância pelo teste t. *C. annuum*. 2002

Cruzamentos		Estimativas de		C
		H	H%	
HV-12 x 609	F ₁ •	0,00ns	0,0	0,12ns
	F ₁ ••	0,05ns	1,8	
	F ₂ ••			
442 x HV-12	F ₁ •	0,44*	14,7	0,04ns
	F ₁ ••	0,22+	7,9	
	F ₂ ••			
428 x HV-12	F ₁ •	0,55*	18,3	0,29*
	F ₁ ••	0,78***	27,8	
	F ₂ ••			
Chilli x 609	F ₁ •	1,05***	30,0	0,72***
	F ₁ ••	1,88***	61,2	
	F ₂ ••			
#124 x 609	F ₁ •	0,61***	17,4	0,36**
	F ₁ ••	1,06***	34,1	
	F ₂ ••			

* Significância com base no teste t a 5% de probabilidade; ** 1% de probabilidade; *** 0,1% de probabilidade; + entre 5% e 10% de probabilidade; ns- não significativo.

• Resultados obtidos em fevereiro de 2002 (primeira avaliação) – na obtenção da geração F₁.

•• Resultados obtidos em setembro de 2002 (segunda avaliação) - na obtenção da geração F₂.

Figura 2 - Histograma de distribuição de frequência de plantas em cada classe de notas nas gerações P_R, P_S, F₁, F₂, R_{CR} para o cruzamento HV-12 x 609. *Capsicum annuum* L. 2002

Figura 3 - Histograma de distribuição de frequência de plantas em cada classe de notas nas gerações P_R, P_S, F₁, F₂, R_{CR} para o cruzamento 442 x HV-12. *Capsicum annuum* L. 2002

Figura 4 - Histograma de distribuição de frequência de plantas em cada classe de notas nas gerações P_R, P_S, F₁ e F₂ para o cruzamento 428 x HV-12. *Capsicum annuum* L. 2002

Figura 5 - Histograma de distribuição de frequência de plantas em cada classe de notas nas gerações P_R, P_S, F₁ e F₂ para o cruzamento Chilli x 609. *Capsicum annuum* L. 2002

Figura 6 - Histograma de distribuição de frequência de plantas em cada classe de notas nas gerações P_R , P_S , F_1 e F_2 para o cruzamento #124 x 609. *Capsicum annuum* L. 2002

3.3.2.1.1 Avaliação da qualidade dos frutos

O progenitor HV-12 apesar de ser uma excelente fonte de resistência ao oídio, tem frutos do tipo cônico longo, com espessura de polpa fina (3 mm), sem valor comercial. Os progenitores suscetíveis 609, 442 e 428 destacam-se pelo tipo de fruto quadrado, polpa grossa, característica desejada pelo mercado de pimentão. O progenitor 609 apresentou frutos tipo Yolo Wonder ou quadrado, padrão no mercado norte americano e europeu. Os progenitores 428 e 442 apresentam ambos frutos tipo retangular médio, com polpa grossa de até 7 mm (Figuras, 7, 8 e 9).

Observou-se que na geração F_1 os frutos dos cruzamentos HV-12 x 609, 442 x HV-12 e 428 x HV-12 foram 100% tipo retangular médio, mostrando ser um caráter de alta herdabilidade, sem efeito ambiental, onde o fenótipo representa o genótipo. As respectivas gerações F_2 derivadas dos cruzamentos com HV-12, apresentaram também as maiores proporções de frutos tipo retangular médio com 56,5%, 47,7% e 52,2% do total para cada cruzamento respectivamente. As segundas maiores proporções foram tipo cônico médio com 20% e 19,4% para os cruzamentos HV-12 x 609 e 442 x 609 e retangular longo para 428 x HV-12 com 22,1%. Nos retrocruzamentos é interessante notar que quando se comparam os frutos dessa geração com a F_2 , a proporção do tipo retangular médio reduziu de 56,5% para 42,0% no HV-12 x (HV-12 x 609) e de 47,7% para 20,3% no HV-12 x (442 x HV-12) e aumentou em ambos o tipo do progenitor recorrente HV-12, cônico longo, de 9,4 para 14,8 e 9,7 para 25,4% respectivamente (Figuras, 7, 8 e 9). Nesta geração não segregaram plantas com frutos do tipo Yolo Wonder, ou quadrados.

Formato de fruto de pimentão determina importantes segmentos varietais no mercado mundial. O segmento de pimentão quadrado é importante nos EUA, e norte da Europa, Japão e muitos países da América do Sul inclusive na região Nordeste do Brasil. Na Europa, em países como a França, o tipo retangular médio é bastante aceito. Existe ainda demanda do tipo de frutos retangular longo na Espanha e Itália principalmente no cultivo protegido. Os pimentões cônicos tanto longos tipo Italiano como curtos tipo Morrones, tem seus mercados específicos na Europa e na Ásia. No Brasil até o presente momento a preferência é para o tipo Casca Dura semi-cônico longo padronizado pelo

híbrido Magali-R e retangular médio e longo para o cultivo de pimentões de estufas. No nordeste brasileiro a preferência é para o tipo quadrado.

Portanto, ampla variabilidade de tipos e formatos de frutos de pimentão resistentes ao oídio, será muito interessante no desenvolvimento de variedades e híbridos tanto para o mercado brasileiro como internacional.

Figura 7 - Histograma de distribuição de frequência do tipo de frutos nas gerações P_R , P_S , F_1 , F_2 , R_{CR} para o cruzamento HV-12 x 609. *C. annuum*. 2002

Figura 8 - Histograma de distribuição de frequência do tipo de frutos nas gerações P_R , P_S , F_1 , F_2 , R_{CR} para o cruzamento 442 x HV-12. *C. annuum*. 2002

Figura 9 - Histograma de distribuição de freqüência do tipo de frutos das gerações P_R , P_S , F_1 e F_2 para o cruzamento 428 x HV-12. *C. annuum*. 2002

3.3.2.1.2 Seleção

As reações dos progenitores, tanto resistentes HV-12 como suscetíveis 609, 442 e 428 e das testemunhas Magali R e Margarita mostraram que apesar das avaliações das gerações F_2 e F_3 terem sido feitas em épocas diferentes, os resultados podem ser comparados. Pela tabela 12, observa-se que esses progenitores e testemunhas mantiveram médias similares em ambas as avaliações, demonstrando que as pressões de inóculo de oídio utilizadas foram similares nas duas avaliações.

Os cruzamentos HV-12 x 609 e 442 x HV-12 confirmaram na geração F_3 a eficiência seletiva para resistência ao oídio feita na geração F_2 . Apresentaram o maior número de plantas resistentes (nota 1 e 2) na geração F_3 , sendo de 86% para HV-12 x 609 e 78% para 442 x HV-12.

A seleção efetuada para resistência ao oídio foi muito eficiente, com resultados promissores. A média esperada sem seleção para a população F_3 do cruzamento HV-12 x 609 seria de 2,89 e com a seleção foi de 1,59 tendo, portanto, um progresso real em média observado de 1,30 ou 45% da geração F_2 para a F_3 . Para a geração F_3 do cruzamento 442 x HV-12, a média esperada sem seleção seria de 2,85, porém com a seleção foi de 1,80, tendo um progresso em média de 1,05 ou 36,8%. Finalmente para a geração F_3 do híbrido original 428 x HV-12 a média esperada sem seleção seria de 3,14, praticando-se a seleção passou a 2,05, obtendo um progresso de 1,09 em média ou de 34,7% (Tabela 12). As altas porcentagens no progresso de seleção confirmam a alta herdabilidade do caráter já descrita.

As melhores progênies F_3 , mais uniformes e homozigóticas para resistência seriam avançadas e para obtenção das próximas gerações e a partir da geração F_4 e F_5 testadas para suas capacidades de combinação visando-se o desenvolvimento de híbridos de pimentão resistente ao oídio.

Convém destacar com relação à triagem de virose que de um total de 126 progênies F_3 no cruzamento HV-12 x 609, 58 progênies estavam em homozigose para resistência ao PVY/PeMV, 50 estavam heterozigóticas e 23 homozigóticas para suscetibilidade. Para o cruzamento 442 x HV-12 esta proporção foi de 53 progênies homozigóticas resistentes, 52 heterozigóticas e 26 homozigóticas suscetíveis. Para 428 x

HV-12, das 50 progênies avaliadas cerca de 15 apresentaram-se homozigóticas resistentes, 22 heterozogóticas e 13 homozigóticas suscetíveis.

Tabela 12. Número de plantas, médias observadas, médias esperadas sem seleção e progresso observado (%) na geração F₃. *C. annuum*. 2003

Gerações ¹		R	MR	MS	S	AS	Médias	Médias e Progresso	
		1	2	3	4	5	observ.	s/ seleção	c/ seleção
HV-12	PR ^{••}	40	0	0	0	0	1,00		
	PR ^{••••}	40	0	0	0	0	1,00		
609	PS ^{••}	0	0	0	13	26	4,64		
	PS ^{••••}	0	0	1	12	26	4,67		
442	PS ^{••}	0	0	7	8	36	4,56		
	PS ^{••••}	0	0	7	9	36	4,51		
428	PS ^{••}	0	0	0	15	27	4,60		
	PS ^{••••}	0	0	0	15	22	4,64		
Magali R	TS ^{••}	0	0	0	0	40	5,00		
	TS ^{••••}	0	0	0	0	45	5,00		
Margarita	TS ^{••}	0	0	0	0	40	5,00		
	TS ^{••••}	0	0	0	0	45	5,00		
HV-12 x 609	F ₂ ^{••}	40	190	204	64	91	2,96		
	F ₃ ^{••••}	580	259	102	31	6	1,59	2,89	1,30 (45,0%)
442 x HV-12	F ₂ ^{••}	25	249	280	40	106	2,93		
	F ₃ ^{••••}	266	183	103	13	7	1,80	2,85	1,05 (36,8%)
428 x HV-12	F ₂ ^{••}	18	172	149	75	219	3,48		
	F ₃ ^{••••}	93	101	38	14	14	2,05	3,14	1,09 (34,7%)

••Resultados obtidos em setembro de 2002 (segunda avaliação) - na obtenção da geração F₂.

••••Resultados obtidos em maio de 2003 - na obtenção da geração F₃ após seleção em F₂.

1. PR – Progenitor resistente, PS – progenitor suscetível, TS – Testemunha suscetível.

3.3.2.2 Reação de híbridos de pimenta resistentes ao oídio em *C. annuum*

Os tipos de reações dos hospedeiros ao patógeno podem variar grandemente numa mesma espécie, dependendo do número de genes envolvidos. Van Der Plank (1968) relatou a existência de dois tipos de resistência, um controlado por poucos genes atuando contra raças específicas do patógeno e retardando o início de uma epidemia, denominado resistência vertical. O segundo tipo denominado resistência horizontal, é governado por muitos genes, cada qual apresentando pequeno efeito, que atuam contra várias raças do patógeno retardando e diminuindo o progresso da doença. A reação apresentada pela variedade HV-12 evidencia uma resistência tipo vertical, porém é possível a existência

dos dois sistemas de resistência, o vertical e o horizontal, mas que um de seus genes, o principal e mais forte, de natureza oligogênica, determine a resistência. Por outro lado a resistência das fontes Chilli e #124 mostrou-se tipo horizontal. A forte restrição e redução da esporulação, o pequeno número de lesões e o longo período de latência foram sintomas observados que destacaram e indicaram a natureza da resistência tipo horizontal.

Com base nesses tipos diferenciados de reações das fontes de resistência, HV-12, Chilli e #124, têm-se a indicação de que os genótipos dos progenitores resistentes são diferentes.

Resistências do tipo horizontal são mais difíceis de serem superadas por eventuais surgimentos de raças mais patogênicas. No caso de ocorrência de algum tipo de mutação ou mecanismo que interfira na resistência, seriam necessários muitos genes de virulência do patógeno, interferindo em vários sítios de ação do hospedeiro. Outra característica típica da resistência horizontal é a grande influência que o ambiente pode ter sobre as reações, o que se confirmou nos progenitores Chilli e #124, que tiveram suas reações variando entre as classes de notas, 1 e 2 (Tabela 13).

Os resultados obtidos das gerações F_1 e F_2 na segunda avaliação, confirmaram o que foi mencionado anteriormente sobre os sistemas genéticos dos progenitores resistentes. No cruzamento #124 x HV-12, enquanto os progenitores apresentaram médias de 1,57 (#124) e 1,00 (HV-12) as gerações F_1 e F_2 apresentaram médias de 2,71 e 2,88 respectivamente. O mesmo ocorreu cruzando a pimenta Chilli e HV-12 resistentes, com resultados ainda mais substanciais. A média da geração F_1 foi de 4,25, altamente suscetíveis enquanto a dos progenitores foi de 1,51 (Chilli) e 1,00 (HV-12). Na geração F_2 houve grande segregação de reações ao oídio, com média de 3,05 (Tabela 14).

Quando foram testados os modelos aditivo-dominante e epistático, os contrastes envolvendo as médias das gerações P_1 , P_2 , F_1 e F_2 para ambos os cruzamentos, foram significativos pelo teste t, mostrando que houve heterose em F_1 e efeitos epistáticos (Tabela 14). O fato de a heterose ter sido significativa indica que os progenitores são geneticamente diferentes e que há dominância pelo menos em alguns locos.

Com base nos resultados pôde-se concluir que o sistema genético dos progenitores #124, Chilli e HV-12 tem diferenças alélicas, ao menos em alguns locos, concordando com Murthy & Deshpande (1997).

Para completa elucidação sobre o alelismo dessas fontes de resistência mais cruzamentos e gerações (retrocruzamentos) seriam necessários. Verificou-se que os sistemas genéticos são diferentes, porém não se poderia afirmar se seriam devidos a alelismo múltiplo ou diferentes locos (herança multifatorial). A hipótese que mais se enquadra é a segunda. Para melhor explicação tomou-se um exemplo conforme segue:

Loco 1	S	s
Loco 2	T	t
P ₁	ssTT (resistente)	
P ₂	SStt (resistente)	
F ₁	SsTt	
F ₂ :		

Genótipo	Frequência	Genótipo	frequência	genótipo	frequência
SsTt	1/16	ssTt	2/16	ssTT	1/16
SsTt	2/16	SsTt	4/16	SsTT	2/16
SSTt	1/16	SSTt	2/16	SsTT	1/16

Nesse exemplo admitiram-se dois locos com dois alelos cada, com dominância no sentido da suscetibilidade. O progenitor 1 seria resistente por causa do gene ss e epistático pois TT não atuaria por causa de ss. O progenitor 2, seria resistente por causa de tt e epistático pois SS não atuaria diante de tt. O F₁ desse cruzamento teria a constituição genética SsTt, sendo mais suscetível que os progenitores resistentes, explicando assim nesta complementação gênica a suscetibilidade do F₁. Tomando-se o genótipo extremo recessivo (sstt) este teria que ter, no caso do cruzamento #124 x HV-

12, 58 plantas com esse genótipo (resistente, nota 1) e 51 plantas para Chilli x HV-12 e obteve-se 12 e 85 plantas respectivamente.

A primeira hipótese de alelismo múltiplo não explicaria de maneira alguma a epistasia apresentada nos cruzamentos e os tipos na geração F_2 teriam que ser mais próximos aos genótipos dos progenitores correspondentes, o que não ocorreu.

Tabela 13. Número de plantas em cada classe de acordo com a escala de notas para resistência a *Leveillula taurica* sob condições de casa de vegetação. C. *annuum*. 2002

Gerações ¹		R Nota 1	MR Nota 2	MS Nota 3	S Nota 4	AS Nota 5
HV-12	PR [•]	9	0	0	0	0
	PR ^{••}	40	0	0	0	0
	PR [•]	0	9	0	0	0
#124	PR ^{••}	17	23	0	0	0
	PR [•]	0	6	3	0	0
Chilli	PR ^{••}	22	23	0	0	0
	TS [•]	0	0	0	0	9
Magali R	TS ^{••}	0	0	0	0	45
	TS [•]	0	0	0	0	9
Margarita	TS ^{••}	0	0	0	0	45
	F ₁ [•]	0	3	6	0	0
#124 x HV-12	F ₁ ^{••}	0	20	31	4	0
	F ₂ ^{••}	12	366	370	85	95
	F ₁ [•]	0	0	0	6	3
Chilli x HV-12	F ₁ ^{••}	0	0	13	20	28
	F ₂ ^{••}	85	235	200	142	153

[•] Resultados obtidos em fevereiro de 2002 (primeira avaliação) – na obtenção da geração F_1 .

^{••} Resultados obtidos em setembro de 2002 (segunda avaliação) - na obtenção da geração F_2 .

1. PR – Progenitor resistente, TS – Testemunha suscetível

Tabela 14. Número total de plantas (n), estimativas de médias de notas, variâncias, dos valores da heterose (H e H%) e epistasia (C) com significância pelo teste t.

C. annuum, 2002

Gerações ¹		n	Médias	Variâncias	H	H%	C
HV-12	PR [•]	9	1,00	0,000			
	PR ^{••}	40	1,00	0,000			
#124	PR [•]	9	2,00	0,000			
	PR ^{••}	40	1,57	0,250			
Chilli	PR [•]	9	2,30	0,250			
	PR ^{••}	45	1,51	0,255			
Magali R	TS [•]	9	5,00	0,000			
	TS ^{••}	45	5,00	0,000			
Margarita	TS [•]	9	5,00	0,000			
	TS ^{••}	45	5,00	0,000			
#124 x HV-12	F ₁ [•]	9	2,67	0,250	1,17***	78,0	
	F ₁ ^{••}	55	2,71	0,358	1,43***	111,7	
	F ₂ ^{••}	928	2,88	0,933			0,88***
Chilli x HV-12	F ₁ [•]	9	4,3	0,250	2,65***	160,0	
	F ₁ ^{••}	61	4,25	0,622	2,99***	238,2	
	F ₂ ^{••}	815	3,05	1,630			0,30**

** Significância com base no teste t a 1% de probabilidade; *** 0,1% de probabilidade.

• Resultados obtidos em fevereiro de 2002 (primeira avaliação) – na obtenção da geração F₁.

•• Resultados obtidos em setembro de 2002 (segunda avaliação) - na obtenção da geração F₂.

1. PR – Progenitor resistente, TS – Testemunha suscetível

Figura 10 - Histograma de distribuição de frequência do número de plantas em cada classe de notas das gerações PR, PR, F1 e F2 para o cruzamento #124 x HV-12. *C. annuum*. 2002

Figura 11 - Histograma de distribuição de frequência do número de plantas em cada classe de notas das gerações PR, PR, F1 e F2 para o cruzamento Chilli x HV-12. *C. annuum*. 2002

3.4 Conclusões

- Na espécie *C. annuum*, dos 99 acessos triados, apenas três foram considerados resistentes: HV-12, Chilli e #124.
- A base genética da herança mostrou-se complexa com ação gênica de natureza aditiva para o cruzamento HV-12 x 609, aditiva e dominante para 442 x HV-12 e com efeitos dos três componentes de variância genética, aditiva, dominante e epistática, para 428 x HV-12, Chilli x 609 e #124 x 609.
- A resistência ao oídio em *C. annuum* foi caracterizada como uma herança recessiva.
- Pelo menos quatro genes estão envolvidos na herança da reação ao oídio
- Os valores de herdabilidade e ganho de seleção estimado foram altos.
- O progresso de seleção para resistência ao oídio obtido na geração F₃ foi altamente eficiente.
- Os sistemas genéticos dos progenitores #124, Chilli diferem do HV-12 quanto aos seus mecanismos genéticos e expressões de resistência.

4 HERANÇA DA REAÇÃO DE *Capsicum baccatum* AO OÍDIO

Autora: SALLY FERREIRA BLAT

Orientador: Prof. Dr. CYRO PAULINO DA COSTA

Resumo

O uso de variedades com resistência genética seria a melhor forma de controle do oídio (*Leveillula taurica*) e as melhores fontes de resistência foram identificadas na espécie de *Capsicum baccatum*. Apesar disso é desconhecida a genética da herança dessa resistência nessa espécie. O objetivo deste trabalho foi triar os acessos da coleção de *C. baccatum* da ESALQ/USP, identificando as fontes de resistência além de obter informações sobre a herança dessa reação. Foram triados 37 acessos de *C. baccatum*. Posteriormente oito híbridos foram obtidos, sendo cinco feitos a partir de acessos resistentes versus suscetíveis e três feitos entre quatro acessos resistentes. As gerações F₂ e um retrocruzamento também foram obtidos. As avaliações das reações ao oídio foram feitas na época da frutificação, através de uma escala de notas de acordo com a severidade da doença de 1 (resistente) a 5 (altamente suscetível). A partir das reações obtiveram-se: estimativas do número de locos segregantes, dos coeficientes de herdabilidade, dos progressos esperados com a seleção, o tipo de ação gênica envolvida e avaliadas as reações dos híbridos obtidos do cruzamento entre progenitores resistentes. Dentre os materiais triados 84% foram considerados resistentes. A herança em *C. baccatum* mostrou-se ser governada por no mínimo de dois a seis pares de genes com ação gênica envolvendo dominância e epistasia. A dominância e epistasia caracterizadas se mostraram negativas, a favor da resistência. As herdabilidades foram altas variando de 51,58% até 80,78%. As reações dos híbridos e das gerações F₂ nos cruzamentos entre

progenitores resistentes mostraram que os genótipos desses progenitores têm o mesmo sistema genético que controla a resistência, não indicando diferenças alélicas.

INHERITANCE REACTION IN *Capsicum baccatum* TO POWDERY MILDEW

Author: SALLY FERREIRA BLAT

Adviser: Prof. Dr. CYRO PAULINO DA COSTA

Summary

Genetically resistant varieties use is the best way to control powdery mildew (*Leveillula taurica*) and *Capsicum baccatum* is the best hot pepper source of resistance. So far, it is unknown its inheritance of powdery mildew for this specie. The present work aimed to screen 37 *C. baccatum* accesses from the ESALQ/USP *Capsicum* collection, to identify sources and to elucidate reaction inheritance to powdery mildew in this species. Eight hybrids were obtained, five between resistant and susceptible accesses and three from among four resistant parental crosses. F₂ generations and backcrosses was obtained. Reaction evaluations of powdery mildew were carried out during the fruit production using a rating system based on score disease severity using scale varying from 1 (resistant) to 5 (highly susceptible). Reaction to powdery mildew allowed to estimate of segregating loci number, heritability, expected selection gains was made, gene action and to evaluated the reaction to powdery mildew of resistant versus resistant single hybrids. Eighty-four percent of the evaluated materials were considered resistant. Resistance in *C. baccatum* reaction to powdery mildew showed to be due of two to six pairs of genes with negative dominance and epistasis. Heritability estimates were high and ranged from 51.58% to 80.78%. Reactions to powdery mildew of hybrids and their F₂ generations from resistant progenitors crossing showed genetic similarities with no allelic difference among resistant sources.

4.1 Introdução

As formas de pimenta utilizadas pelo homem pertencem ao gênero *Capsicum*, família Solanácea. Flores brancas com manchas amarelas difusas na base das pétalas da corola é a principal característica taxonômica da espécie *C. baccatum*. É originária da Mata Atlântica porém domesticada provavelmente na região das planícies subtropicais da Bolívia (Nuez, 1996). Conhecida como “Aji escabeche” no Peru e na Bolívia, apresenta uma distribuição mais extensiva na América do Sul. Sua ocorrência abrange o Peru Central, Norte da Argentina, Oeste do Paraguai, Sudeste do Brasil, Chile, Equador e Colômbia. É também cultivada na Costa Rica, Hawai, Sul dos EUA e Índia (Nuez, 1996, Bertão, 1993).

Destaca-se o teor vitamínico das pimentas apresentam valores em média de 11.000UI de vitamina A. Os teores de vitamina C total variam de 160 a 245mg/100g conforme as espécies de pimenta. Quanto à composição mineral, os teores de cálcio, ferro e fósforo são bem inferiores se comparadas a outras hortaliças.

O sabor picante dos frutos provém da ação de uma substância denominada capsaicina que é acumulada pelas plantas no tecido da placenta e liberada pelo dano físico as células quando se extraem sementes ou corta-se o fruto. O princípio pungente varia de acordo com as cultivares, o local de cultivo, o grau de maturação, entre outros. As cultivares de média pungência (30.000 à 75.000 SHU) são empregadas na produção de pickles e de páprica. Pimentas de alta pungência (75 à 120.000 SHU) são usadas na extração de oleoresinas e na produção de molhos caseiros e industrializados. As pimentas também são muito usadas na medicina pelas suas propriedades farmacológicas. Sua propriedade antioxidante pode prevenir doenças degenerativas como o câncer, doenças cardiovasculares, Mal de Parkinson e Mal de Alzheimer, minimizando a ação de radicais livres (Reifschneider, 2000).

No Brasil a área plantada de pimenta e pimentão chega a 12.000ha. O volume comercializado do ano de 1998 no CEASA-MG foi de 170.785 kg, sendo 300 kg de procedência do estado do Espírito Santo, 168.000 de Minas Gerais e 2.485 de São Paulo (FAO, 1999).

Entre as doenças que afetam o gênero *Capsicum* está o oídio, causado por *Leveillula taurica*. Indica-se que as melhores fontes de resistência foram identificadas nas espécies de *C. baccatum* e *C. chinense*. Os acessos da espécie *C. annuum* apresentam baixos níveis de resistência quando comparados a essas duas espécies (Bidari, 1985; Anand et al., 1987; Souza, 2000, Blat, 2002 e Lima, 2002). Segundo Reifschneider et al. (2000), as espécies *C. baccatum* e *C. chinense* são bem menos difundidas do que *C. annuum* e provavelmente os genes que conferem resistência aos patógenos foram mantidos nos acessos durante o processo de domesticação.

Ullasa et al. (1981), testaram a resistência de 300 acessos e variedades de *Capsicum*, à *Leveillula taurica*. Encontraram quatro espécies resistentes, *C. microcarpum*, *C. pendulum*, *C. pubescens* e *C. longidtilium*, e treze linhagens não melhoradas de *Capsicum annuum* sendo moderadamente resistentes.

Blazquez (1976), testou pimentas do tipo pungente e não pungente, quatro do tipo não pungente foram completamente resistentes e somente Jalapeño foi suscetível. Bidari et al. (1985), testaram 60 variedades das quais somente Puri Orange 2, mostrou-se tolerante.

Zewdie (1994), avaliaram 44 linhagens para incidência de oídio. A incidência de oídio foi severa na maioria das linhagens. A linhagem PBC376 mostrou maior tolerância em produção do que o padrão suscetível. Os acessos PBC151 e PBC171, pertencentes à espécie *Capsicum baccatum* e *C. chinense*, mostraram alto nível de resistência em condições de campo.

Souza (2000), avaliou a reação dos acessos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Embrapa hortaliças, híbridos e variedades comerciais à *L. taurica*. Identificaram-se oito acessos imunes: HV12, 4638 e pimentas como ABE (CNPH 36), Kurimoto (CNPH 38), Nélío redonda (CNPH 50), Nélío fina 2 (CNPH 52), Escabeche (CNPH 279) e Malagueta (CNPH 288). A maioria dos materiais (70%) de *Capsicum annuum* foi moderadamente suscetível a *L. taurica*. Nas espécies *C. baccatum*, *C. frutescens* e *C. chinense* a situação se inverteu, ocorrendo menor número de acessos suscetíveis e muitos resistentes.

Lima (2002) verificou em seus estudos que as espécies *C. baccatum*, *C. chinense* e *C. frutescens* foram pouco variáveis quanto a sua morfologia e apresentaram a maior proporção de acessos resistentes ao oídio, sendo assim indicadas na busca de fontes de resistência ao oídio. Entre os acessos testados em *C. baccatum*, um foi altamente resistente, dois foram resistentes e apenas um foi moderadamente resistente.

A reação de acessos de *C. baccatum* tem sido estudada, porém pouco se sabe sobre a herança dessa reação. O presente trabalho visou triar a coleção de *C. baccatum* da ESALQ/USP identificando os acessos resistentes e suscetíveis e obter informações sobre a genética dessa resistência.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Triagem da coleção de *Capsicum baccatum*.

A partir de 37 acessos da coleção de *Capsicum baccatum* da ESALQ/USP foi feita uma triagem visando-se identificar os materiais resistentes e os suscetíveis ao oídio. As Tabelas 7 e 8 mostram as origens de cada acesso testado.

4.2.1.1 Produção de mudas, condução, inoculação e avaliação.

O trabalho foi instalado e conduzido em ambiente protegido, no Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no município de Piracicaba, SP, que está a uma latitude de 22° 42’30” sul, longitude 47° 38’00” oeste e uma altitude de 546 m (Kuabara, 1984). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é Cwa: subtropical úmido, com três meses mais secos (jun./jul./ago.), chuvas de verão e seca de inverno, temperatura do mês mais quente maior que 22° C e média de 21,4° C.

As mudas foram obtidas em bandejas de 128 células cada, preenchidas com substrato para hortaliças (Gioplant®) A semeadura foi realizada no mês de setembro de 2000 sendo o transplantio feito 60 dias após esse para vasos plásticos de oito litros contendo uma mistura na proporção de 3:2:1 de areia lavada, vermiculita e turfa.

Os tratamentos culturais foram os convencionais para a cultura do pimentão em estufa. O sistema de irrigação adotado foi o de gotejamento, acionado eletronicamente por um

temporizador, regulado para atender o tempo de irrigação necessitado pelas plantas. O tutoramento das plantas foi feito através de espaldeira dupla onde as duas linhas de plantas foram tutoradas por fios de arame. A adubação foi feita por fertirrigação, monitorada por um condutivímetro (1.7 EC), usando na fase de muda o produto Kristalon® 13-40-13, 1g/l e após o transplante, o adubo Kristalon® 12-12-36 mais micronutrientes (500g), nitrato de cálcio (300g), Ca/B (70ml) e sulfato de magnésio (400g) em 250 litros de água, fornecidos ao tanque duas vezes por semana.

No controle preventivo de pragas e doenças foi utilizado Confidor® (Imidacloprid), Vertimec® (Abamectina) e Aplaud® (Buprofezin) nas dosagens recomendadas. Nenhum tipo de fungicida foi usado para não afetar a reação do hospedeiro ao patógeno.

Sabe-se que a principal forma de disseminação dos esporos do oídio é através do vento, com isso vasos com plantas de pimentão (*C. annuum* L.) de híbridos comerciais, com alto grau de esporulação foram intercaladas com vasos contendo os acessos a serem testados, na proporção de um vaso contendo plantas suscetíveis para cada 15 de acessos a serem testados, com a finalidade de disseminação da doença. A disseminação natural ocorreu de maneira eficaz e homogênea nas condições do cultivo protegido.

A avaliação da reação dos acessos ao oídio foi feita a cada sete dias por seis semanas consecutivas, iniciando-se na fase de frutificação. Esta foi realizada utilizando uma escala de notas de acordo com a severidade da doença, proposta por Ullasa et al. (1981) (Tabela 1). O nível de severidade da doença foi estabelecido através do critério visual, folhas com diferentes expressões de sintomas foram coletadas e copiadas por um medidor de área foliar (Leaf Área Meter, modelo LI-3000 da Licor) obtendo-se a área foliar total e lesionada. Com base nesta medida estimou-se a severidade da doença. Usando estes modelos referenciais, foi possível padronizar a avaliação da reação do hospedeiro através de notas de 1 a 5 (Tabela 1).

Adotou-se também testemunhas referenciais, cujas reações ao oídio são conhecidas na literatura, para efeito comparativo na avaliação, monitoramento da epidemia e caracterização da reação dos acessos de pimenta ao oídio (Tabela 2).

Tabela 1. Escala de notas para avaliação da reação de *Capsicum* a *Leveillula taurica*

Notas	Sintomas	Reação
1	Resistente, sem sintomas	R
2	Moderadamente resistente, com 10% da área foliar afetada	MR
3	Moderadamente suscetível, com 11-20% da área foliar afetada	MS
4	Suscetível, com 21-50% da área foliar afetada	S
5	Altamente suscetível, com 51% ou mais da área foliar afetada	AS

Tabela 2. Testemunhas referenciais de resistência e suscetibilidade com relação à reação à *Leveillula taurica*

Hospedeiros referenciais	Procedência	Reação
HV12	INRA, França	R
Chapéu de Bispo	Brasil	R
Margarita	Syngenta/Rogers	S
Magali R	Sakata Agroflora	S

4.2.1.2 Análise estatística.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcelas de uma planta por vaso e quatro repetições, totalizando 160 plantas.

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística pelo método “GLIM”, realizado com auxílio do Professor José Eduardo Corrente do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP. Na análise levaram em conta todos os dados das seis avaliações. O software GLIM utiliza-se de um modelo logístico acumulado, onde se supõe que a distribuição original dos dados é Poisson. Deste modo, com as estimativas dos pontos de corte da análise original, caracterizou-se a reação dos acessos resistentes através das estimativas dos efeitos dos parâmetros (acessos) ajustados e dos respectivos desvios-padrão.

Às médias dos tratamentos (acessos) da 6ª avaliação final, foi aplicado teste de Tukey a 5% de probabilidade, apenas para comparação das análises. A análise de variância consta no anexo A.

4.2.2 Herança da reação

4.2.2.1 Estimação de parâmetros genéticos.

Com o objetivo de determinar o modo de herança da reação ao oídio em *C. baccatum*, seis acessos, três com reações de resistência e três de suscetibilidade, foram cruzados entre si no período de abril a junho de 2001, obtendo-se as gerações F₁ (Tabela 3). O processo de hibridação foi feito através da emasculação de botões florais, seguidos de polinização usando flores recém abertas (Nuez et al., 1996). Em cada botão polinizado foi colocada uma etiqueta identificando o cruzamento. Para que os frutos híbridos tivessem seu desenvolvimento normal, os frutos provenientes da autofecundação natural da planta foram eliminados.

Tabela 3. Relação dos híbridos

Híbridos	Reações dos progenitores
Ají # 263 x Chapéu de Bispo	Suscetível x resistente
Ají # 286 x Ají # 263	Resistente x suscetível
Ají Amarillo # 269 x Chapéu de Bispo	Suscetível x resistente
Pimenta x Chapéu de Bispo	Suscetível x resistente
Ají # 263 x BGH 2994	Suscetível x resistente

4.2.2.1.1 Produção de mudas, condução, inoculação e avaliação dos híbridos (F₁) e progenitores.

Na semeadura das gerações F₁, progenitores e testemunhas suscetíveis foram utilizadas bandejas de poliestireno expandido de 128 células, usando substrato para hortaliças marca Gioplant®. O transplante das mudas foi realizado no mês de outubro de 2001, para vasos plásticos de oito litros contendo mistura de solo, vermiculita e turfa (turfa) na proporção de 3:1:1; colocadas em fileiras duplas, num total de quatro fileiras com espaçamento de 1,0m entre elas.

Os tratos culturais foram os tradicionais do cultivo em estufa, já descritos no item 4.2.1.1. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três plantas por vaso, três repetições e 13 tratamentos sendo cinco híbridos, seis progenitores e duas testemunhas suscetíveis, totalizando 117 plantas.

A obtenção do inoculo, sua disseminação e as avaliações das gerações, foram semelhantes a da etapa de triagem, descrita no item 4.2.1.1, com a diferença de que se tomou como base para a finalização das avaliações as reações das testemunhas suscetíveis (Magali R e Margarita). Quando essas obtiveram nota máxima 5, foram suspensas as avaliações, considerando assim a nota dada naquele momento a cada acesso, sua reação final.

A geração F_1 foi avaliada em duas etapas, sendo a primeira na ocasião de sua obtenção e posteriormente na avaliação da geração F_2 .

4.2.2.1.2 Retrocruzamento

O híbrido Ají # 286 x Ají # 263 foi retrocruzado para seu progenitor resistente, Ají # 286, com o objetivo de aumentar a frequência gênica e fenotípica de plantas resistentes, para fins de melhoramento e auxiliar no estudo da herança da reação ao oídio.

4.2.2.1.3 Produção de mudas, condução, inoculação e avaliação dos F_2 , F_1 , retrocruzamento e progenitores.

A geração F_2 foi obtida a partir da autofecundação dos híbridos (F_1).

A semeadura das gerações foi realizada no mês de setembro de 2002 e o transplante no mês de novembro de 2002 para vasos plásticos de oito litros, contendo substrato formulado pela Multiplanta Substrato Agrícola com a seguinte composição: casca de Pinus composta, granulação 10 mm, vermiculita expandida, turfa processada, macro e micro nutrientes fosfato super simples e Humix, areia (5%) e elemento dispersante de umidade. Os tratos culturais realizados foram os mesmos das etapas anteriores. (item 4.2.1.1).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com cinco plantas por vaso, totalizando 3.724 plantas (Tabela 4):

Tabela 4. Número de plantas avaliadas por geração

Gerações	n	Gerações	n
(Ají # 263 x Chapéu de Bispo) P ₁	60	(Pimenta x Chapéu de Bispo) P ₁	48
P ₂	48	P ₂	48
F ₁	57	F ₁	60
F ₂	518	F ₂	590
(Ají # 286 x Ají # 263) P ₁	50	(Ají # 263 x BGH 2994) P ₁	60
P ₂	60	P ₂	20
F ₁	25	F ₁	60
F ₂	574	F ₂	577
Retro P ₁	56		
(Ají Amarillo # 269 x C. de Bispo) P ₁	40	Testemunhas	
P ₂	48	Magali R	40
F ₁	45	Margarita	40
F ₂	600		

O estabelecimento da doença foi feito através de plantas de pimentão com alta esporulação, servindo como linhas espalhadoras da doença, na proporção de 1:20, como já descrito no item 4.2.2.1.1. Uma única avaliação diagnosticando a reação da planta ao patógeno foi realizada, quando as plantas estavam em plena frutificação. Adotou-se o critério da avaliação quando as plantas testemunhas, Magali R e Margarita, atingiram nota máxima 5.

4.2.2.1.4 Análise biométrica dos dados.

Para a realização das análises biométricas foram utilizados os dados das gerações, P₁, P₂, F₁ e F₂ e retrocruzamento. Como havia sido comentado anteriormente, os progenitores e as gerações F₁ foram avaliadas em duas etapas, na ocasião de sua obtenção e novamente junto a avaliação da geração F₂. Para que todas as gerações

tivessem influência das mesmas condições ambientais utilizaram-se para o cálculo das análises os dados referentes a segunda avaliação.

O número de plantas dentro de cada classe de notas foi totalizado e a partir disso, estimadas as médias ponderadas [m], o somatório dos efeitos de aditividade [a] e dominância [d], usando o método de escala conjunta proposto por Cavali e descrito por Mather e Jinks (1984), baseado nas médias esperadas do caráter para as gerações, desconsiderando os efeitos epistáticos. Visando determinar os tipos de ação gênica envolvidas no modelo genético aditivo-dominante, tem-se os seguintes valores esperados:

$$E[\bar{Y}_{(PR)}] = m - [a]$$

$$E[\bar{Y}_{(PS)}] = m + [a]$$

$$E[\bar{Y}_{(F1)}] = m + [d]$$

$$E[\bar{Y}_{(F2)}] = m + (1/2)[d]$$

$$E[\bar{Y}_{(RCPR)}] = m - (1/2)[a] + (1/2)[d]$$

Sendo: m = média geral do caráter;

[a] = somatório dos efeitos aditivos;

[d] = somatório dos efeitos de dominância;

$E[\bar{Y}]$ = esperança matemática da média das gerações P_R , P_S , F_1 , F_2 , RC_{PR} .

Admitindo que a maioria dos genes favoráveis para as características estudadas estão acumuladas em uma das linhagens genitoras e os desfavoráveis na outra e que as médias esperadas são expressáveis conforme acima, foi possível estimar os efeitos de m, [a] e [d] considerando as médias das diversas gerações.

Após o cálculo das variâncias foi feito um ajuste do número de graus de liberdade conjunto, para citações de heterogeneidade nas variâncias das gerações conforme Gomes (1990).

A adequação do modelo genético aditivo-dominante, adotado com base nos três parâmetros, m, [a] e [d] foi verificada pelo teste t por meio de contrastes entre médias

segundo Gomes (1990). Nesses testes comparou-se a média observada da geração F_2 com seu valor esperado, conforme o modelo. Em caso de significância do teste t, adotou-se modelo com efeitos epistáticos, componentes das médias das gerações ($PR = m - [a] + [i]$; $PS = m + [a] + [i]$; $F_1 = m + [d] + [I]$; $F_2 = m + (\frac{1}{2})[d] + (\frac{1}{4})[I]$ e $RC_{PR} = m - (\frac{1}{2})[a] + (\frac{1}{2})[d] + (\frac{1}{4})[I]$), além dos efeitos aditivo e dominante. Para mensurar esses efeitos, considerou-se o conteúdo genético do contraste:

$$C = \bar{Y}_{F_2} - (\frac{1}{4}) (\bar{Y}_{PR} + \bar{Y}_{PS} + 2 \bar{Y}_{F_1})$$

Cuja esperança matemática é

$$E(C) = (\frac{1}{2})[i] + (\frac{1}{4})[I]$$

Nesta esperança de C, o parâmetro $[i]$ é a soma dos efeitos epistáticos do tipo aditivo x aditivo e o parâmetro $[I]$ a soma dos efeitos epistáticos do tipo dominante x dominante (Mather e Jinks, 1984). Evidentemente $E(C)$ será nula no caso de ausência de efeitos epistáticos.

Histogramas de distribuição de frequências de plantas foram construídos, com o intuito de visualizar melhor o comportamento das gerações em cada classe de notas.

O número de locos segregantes na geração F_2 foi estimado somente para casos onde as reações dos progenitores eram contrastantes, de duas formas. Com base na frequência dos extremos resistentes manifestados no genitor resistente em cada cruzamento e baseado na fórmula para número mínimo de genes segregantes de Burton (1951) citado por Vencovsky & Barriga (1992):

$$ng = \frac{0,25 (0,75 - \beta + \beta^2) \alpha^2}{\sigma_g^2}$$

Onde, $\alpha = P_2 - P_1$, sendo P_2 a média do progenitor mais alto, $\beta = (F_1 - P_1)/\alpha$, sendo F_1 e P_1 , as médias das gerações F_1 e do progenitor 1 e σ_g^2 a variância genética em F_2 .

Podem ocorrer diferenças na estimativa do número de genes calculada pela frequência e pela fórmula. Pela fórmula, se está mais sujeito a possibilidade de erros de

estimação, pois ela envolve um número de estimativas (médias e variâncias) maior se comparado ao método das frequências. Convém observar que a expressão de n_g subestima o número de locos segregantes na presença de ligação gênica e nos casos em que as linhagens progenitoras não são completamente contratantes. Apesar disso os dois procedimentos foram usados para confrontar e reforçar os resultados.

Os coeficientes de herdabilidade também foram calculados para cada cruzamento conforme segue:

$$h^2 = \sigma_g^2 / \sigma_f^2$$

onde, h^2 = coeficiente de herdabilidade

σ_g^2 = variância genética

σ_f^2 = variância fenotípica

A variância genética e a variância fenotípica foram estimadas por:

$$\sigma_g^2 = \sigma_{F2}^2 - [(\sigma_{P1}^2 + \sigma_{P2}^2 + 2\sigma_{F1}^2)/4]$$

$$\sigma_f^2 = \sigma_{F2}^2$$

A partir dos coeficientes de herdabilidade foram calculados os ganhos de seleção esperados para a geração F_3 . Simulou-se seleção das plantas com notas 1 e 2.

$$Gs \leq ds.h^2$$

Onde, Gs = ganho de seleção

ds = diferencial de seleção

h^2 = coeficiente de herdabilidade

Sendo o diferencial de seleção calculado por:

$$ds = \bar{Y}_s - \bar{Y}_{F2}$$

Onde, $\bar{Y}_s$ = média geral das progênies selecionadas.

$\bar{Y}_{F2}$ = média da geração F_2 .

Os coeficientes de herdabilidade e os ganhos de seleção foram calculados com base na herdabilidade no sentido amplo. A estimativa do progresso (Gs) é adequada em

casos de ausência de dominância. Havendo evidência de dominância o valor de Gs estará super estimado, servindo apenas como referencial.

As análises biométricas foram feitas com auxílio do Prof. Dr. Roland Vencovsky do Departamento de Genética da ESALQ/USP.

4.2.2.2 Reação de híbridos resistentes ao oídio em *C. baccatum*.

Cruzamentos entre quatro progenitores resistentes foram realizados com o objetivo de avaliar as reações das gerações obtidas desses cruzamentos, verificando se os mecanismos genéticos de resistência desses progenitores são similares (Tabela 5).

A técnica de hibridação já descrita no item 4.2.2.1 foi de emasculação seguida de polinização.

Tabela 5. Relação dos híbridos

Híbridos	Reações
Ají # 284 x Chapéu de Bispo	Resistente x resistente
Ají Amarillo # 267 x Chapéu de Bispo	Resistente x resistente
BGH 0620 x Chapéu de Bispo	Resistente x resistente

4.2.2.2.1 Produção de mudas, condução, inoculação e avaliação dos híbridos (F₁) e progenitores.

A produção das mudas, tratos culturais, inoculação e as avaliações foram realizadas da mesma maneira já descrita na etapa de triagem (item 4.2.1.1). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três plantas por parcela, três repetições e 9 tratamentos sendo três híbridos, quatro progenitores e duas testemunhas suscetíveis, totalizando 81 plantas.

4.2.2.2.2 Produção de mudas, condução, inoculação e avaliação dos F₂, F₁, e progenitores.

Os procedimentos metodológicos para a realização das etapas, desde a produção de mudas até as avaliações, foram realizadas da mesma forma já relatada no item 4.2.2.1.3.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com cinco plantas por vaso, compondo um total de 2244 plantas: (Tabela 6).

Tabela 6. Número de plantas avaliadas por geração de *C. baccatum* avaliadas segundo escala de notas

Gerações	Nº de Plantas
(Ají # 284 x Chapéu de Bispo) P ₁	42
P ₂	48
F ₁	30
F ₂	560
(Ají Amarillo # 267 x Chapéu de Bispo) P ₁	46
P ₂	48
F ₁	53
F ₂	586
(BGH 0620 x Chapéu de Bispo) P ₁	56
P ₂	48
F ₁	59
F ₂	588
Testemunhas	
Magali R	40
Margarita	40

4.2.2.2.3 Análise biométrica dos dados.

Para a realização das análises biométricas foram utilizados os dados das gerações, P₁, P₂ F₁ e F₂. Como havia sido comentado anteriormente, os progenitores e as gerações F₁ foram avaliadas em duas etapas, na ocasião de sua obtenção e novamente junto a avaliação da geração F₂. Para que todas as gerações tivessem influência das mesmas condições ambientais utilizaram-se para o cálculo das análises os dados referentes a 2ª avaliação.

Feita as avaliações, o número de plantas dentro de cada classe de notas foi totalizado e estimadas as médias ponderadas [m], o somatório dos efeitos de aditividade [a] e dominância [d] visando verificar se havia ou não diferenças entre os mecanismos genéticos dos progenitores. A adequação do modelo foi verificada pelo teste t por meio de contrastes entre médias segundo Gomes (1990). Em caso de significância do teste t, adotou-se modelo com efeitos epistáticos. Um melhor detalhamento dessa análise foi descrito no item 4.2.2.1.4.

Após o cálculo das variâncias foi feito um ajuste do número de graus de liberdade conjunto, para citações de heterogeneidade nas variâncias das gerações conforme Gomes (1990).

Histogramas de distribuição das gerações foram feitos para visualizar melhor o comportamento das médias dentro de cada classe de notas nas diferentes gerações.

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Triagem da coleção de *Capsicum baccatum*.

Ao contrário do que ocorreu na espécie *C. annuum* pode-se observar que em *C. baccatum* 84% dos acessos testados foram considerados resistentes (Tabela 7). Esta proporção de alta incidência de acessos resistentes ao oídio na espécie *C. baccatum* também foi confirmada por Shifriss et al. (1992), Daubeze et al. (1995), Souza & Café Filho (2000) e Lima (2002).

De acordo com a escala de notas utilizada na avaliação da doença, dentre os 37 acessos testados, 31 foram considerados de resistentes a moderadamente resistentes (médias 1 a 2,50), cinco foram moderadamente suscetíveis (de 2,75 a 3,50) e um foi suscetível (4,50) (Tabelas 7 e 8). Esses resultados concordam na proporção de acessos resistentes obtidos por Lima (2002), em que entre os cinco acessos de *C. baccatum* testados, um foi altamente resistente, três foram resistentes e um foi moderadamente resistente.

O grau de esporulação verificado nos acessos de *C. baccatum* caracterizou-se por ser mais reduzido quando comparado com *C. annuum*. O único acesso que mais se destacou pela sua alta suscetibilidade foi o Aji # 263 com média de 4,50 e grande

esporulação. Segundo Reifschneider et al. (1998), o fato de as espécies *C. baccatum*, *C. chinense* e *C. frutescens* serem altamente resistentes deve-se ao processo de domesticação. Estas espécies são bem menos cultivadas do que *C. annuum* e possivelmente os genes de resistência a pragas e doenças foram preservados em sua domesticação.

Os acessos suscetíveis apresentaram médias relativamente baixas, variando de 2,75 à 3,50, com exceção do Aji#263 que obteve médias de 4,50 (Tabela 8). A figura 1 mostra a evolução da infecção de oídio nos acessos de *C. baccatum* no período de avaliação. Se comparado aos acessos suscetíveis na espécie *C. annuum*, o período de latência desses acessos foi relativamente lento.

Um relato interessante que se pôde obter neste primeiro experimento foi que o acesso SGMO (tipo Chapéu de Frade), cedido pelo Dr. Robert Heyser¹, melhorista de pimentão da Semins Vegetable Seeds, como padrão referencial de resistência ao oídio em *C. baccatum*, mostrou-se moderadamente suscetível, com média 3,5. Uma hipótese para explicar essa reação diferencial do acesso SGMO seria que a patogenicidade poderia ser devida a eventuais raças de *Leveillula taurica*, sendo as da Califórnia diferentes das que ocorrem no Brasil. Contudo, até o presente momento, não se acredita na existência de raças para o oídio do pimentão, sugerindo a explicação mais provável que os resultados seriam devidos as diferentes condições ambientais, conforme Lima (2002). Observou-se também que até a quarta avaliação o acesso SGMO obteve média 1,50 e somente nas duas últimas avaliações é que essa reação mudou drasticamente passando a 3,50 (Tabela 8). Variações de condições ambientais podem ter influenciado nessa mudança.

O sintoma de “flecks” observado em alguns acessos de *C. annuum* também ocorreu em *C. baccatum* com maior frequência. É um tipo de reação de hipersensibilidade da planta ao patógeno, como um mecanismo de defesa. A planta é infectada pelo oídio, porém os sintomas restringem-se a pontuações, micro-lesões sem esporulação. Este sintoma também foi verificado por Lima (2002) que criou dentro da sua escala de avaliação de 0 a 5, a nota 2 (manchas cloróticas restritas, sem

¹ Dr. Robert Heyser, comunicação pessoal (2001).

esporulação), específica para este tipo de sintoma. De acordo com este autor, acessos resistentes apresentam períodos de latência mais prolongados, caracterizados pela presença de manchas cloróticas que progridem para necroses bem delimitadas. Posteriormente ocorre o amarelecimento dessas folhas, possivelmente pela ação da biossíntese de etileno e conseqüentemente ocorre a defoliação. É um mecanismo válido e funcional porque elimina a fonte de inoculo reduzindo a epidemia. Este tipo de sintoma é muito comum quando ocorre o fenômeno da adjacência de uma fonte esporulante e disseminadora de oídio próxima aos acessos resistentes.

Esse tipo de reação de hipersensibilidade é geralmente controlado por genes maiores e parece estar ligado a raça específica. Um conceito desenvolvido e estendido por Russel (1976) estudando a resistência de cultivares a ferrugem do trigo, mostrou que seis diferentes mecanismos de resistência podem operar em plantas adultas. (a) Um de resistência à deposição do esporo na planta, (b) resistência à germinação dos esporos em função da inibição dessa pela superfície da folha, (c) resistência à penetração do patógeno, (d) hipersensibilidade ocorrendo morte das células do hospedeiro no local de penetração, (e) resistência ao crescimento do patógeno, no qual o desenvolvimento do fungo é inibido reduzindo a infecção e esporulação, e (f) prolongamento do período de latência.

Tabela 7. Listagem dos acessos resistentes pela análise GLIM e médias de suas reações, por avaliação. *C. baccatum*. 2001

Acessos	Origem	Médias
Murupi IH 1492	Manaus – PA	1,00 E
ICA #60	Colômbia	1,00 E
Pimenta II	Várzea Grande – MT	1,00 E
Habanera BG 592	México	1,00 E
BGH 5025	Viçosa – MG	1,00 E
BGH 4301	Viçosa – MG	1,00 E
BGH 4176	Viçosa – MG	1,00 E
BGH 2994	Viçosa – MG	1,00 E
BGH 1603	Viçosa – MG	1,00 E
RFG/FAO 553	Gatemala	1,00 E
Chapéu de Bispo	Brasil	1,25 DE
Pim. Piranga	Brasil	1,25 DE
Pimenta Bode	Brasil	1,25 DE
ICA # 65	Colômbia	1,25 DE
Guarnica 243	Bolívia	1,25 DE
BGH 4366	Viçosa – MG	1,25 DE
BGH 1037	Viçosa – MG	1,25 DE
BGH 1022	Viçosa – MG	1,25 DE
Aji Amarillo #67	Bolívia	1,25 DE
Aji #286	Bolívia	1,25 DE
Yerba Mala 251	Bolívia	1,50 DE
Pimenta Cambuci	Caraguatatuba-SP	1,50 DE
Aji Limo	Bolívia	1,50 DE
Aji Amarillo #267	Bolívia	1,75 CDE
Aji Hojo #268	Bolívia	2,00 BCDE
BGH 1675	Viçosa – MG	2,25 BCDE
BGH 0620	Viçosa – MG	2,25 BCDE
Arivivi #212	Bolívia	2,25 BCDE
Aji Amarillo #60	Bolívia	2,25 BCDE
Aji #284	Bolívia	2,50 BCDE
Pimenta Coração	Cuiabá – MT	2,50 BCDE

1. Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 8. Listagem dos acessos suscetíveis pela análise GLIM e médias de suas reações.

C. baccatum. 2001

Acessos	Origem	Média de notas por avaliação ¹ (Dias)					
		7	14	21	28	35	42
Pimenta	Mogi Guaçu- SP	1,00	1,00	1,75	2,50	2,75	2,75 BCD
Aji Amarillo #264	Bolívia	1,00	1,00	1,75	2,25	2,50	2,75 BCD
Aji Amarillo #269	Bolívia	1,00	1,00	1,75	2,00	2,75	3,25 ABC
SGMO	Seminis	1,00	1,00	1,00	1,50	2,75	3,50 AB
ICA #146	Colômbia	1,00	1,50	2,50	3,00	3,25	3,50 AB
Aji #263	Bolívia	1,00	1,25	2,00	3,00	4,50	4,50 A

1. Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Figura 1 - Progresso da doença dos acessos suscetíveis de *C. baccatum*

4.3.2. Herança da reação

4.3.2.1. Estimação de parâmetros genéticos.

Os progenitores foram consistentes quanto suas reações de resistência ou suscetibilidade anteriormente devidamente discriminadas na etapa de triagem. É interessante notar que a reação de suscetibilidade em *C. baccatum* é diferente dos sintomas de oídio em *C. annuum* sendo menos acentuada e com menor esporulação. Com exceção do acesso Aji # 263, cujas médias nas duas avaliações foram de 4,00 e 4,42, os outros dois progenitores apresentaram reações de moderadamente suscetível a

suscetível, com médias de 2,78 e 3,37 para Aji Amarillo # 269; 2,55 e 3,52 para pimenta, diferindo bem dos materiais suscetíveis de *C. annuum* que rapidamente alcançaram a nota 5 (Tabela 10, Figuras de 2 a 6).

As médias das reações dos progenitores suscetíveis e das gerações F_1 diferiram um pouco nas duas avaliações. As épocas para cada avaliação foram distintas, inclusive em anos diferentes, sugerindo efeitos ambientais diferentes. Segundo Lima (2002), as condições ambientais podem influenciar fortemente na infecção e colonização do hospedeiro. Daubeze et al. (1995), também obtiveram reações diferenciadas nas gerações F_1 nos seus dois anos de experimento, sugerindo que a intensidade da doença nesses dois anos foi diferente.

Observou-se também na espécie *C. baccatum*, tanto para os progenitores quanto para as gerações F_1 , uma acentuada defoliação mesmo com baixos índices de suscetibilidade. Esse fenômeno foi também observado por Lima (2002), não somente em *C. baccatum*, como em *C. chinense* e *C. frutescens*, atribuindo tal fato à característica fenológica da planta e a variações de umidade e temperatura.

Analisando-se as médias obtidas na segunda avaliação principalmente, nota-se que as plantas da geração F_1 e F_2 tenderam a resistência, tendo a geração F_1 do cruzamento Aji #263 x Chapéu de Bispo a maior média, 2,47 (Tabela 10). Pode-se observar que as maiores proporções de plantas da geração F_2 estão entre as notas 1 e 2, representando 51,9% no cruzamento Aji #263 x Chapéu de Bispo; 90,2% em Aji #286 x Aji # 263; 59,2% em Aji Amarillo # 269 x Chapéu de Bispo; 72,6% em Pimenta x Chapéu de Bispo e 92,7% em Aji # 263 x BGH 2994, respectivamente (Tabela 9, Figuras 2 a 6).

Entre os híbridos que mais se destacaram pela maior frequência de plantas resistentes estão, Aji #286 x Aji #263, com médias de 1,36 e na geração F_2 média de 1,53 e também Aji #263 x BGH 2994 com média de 1,07 na geração F_1 e 1,45 na geração F_2 (Tabela 10).

Desconhece-se na literatura a herança da resistência e o tipo de ação gênica em relação ao oídio nas espécies de pimenta, *C. baccatum* e *C. chinense*. Pode-se dizer, com isso, que este estudo é inédito e de grande importância, pois são espécies que se destacam por suas fontes de resistência a várias doenças de doenças de *Capsicum*.

Os resultados da análise genética indicaram que houve manifestação de dominância em quase todos os cruzamentos realizados. A heterose foi significativamente negativa em todos os cruzamentos; com exceção do Aji Amarillo # 269 x Chapéu de Bispo, mostrando que houve diferenças entre a média dos pais e a da geração F_1 , sendo essa inferior com menor severidade de oídio do que os progenitores (Tabela 11). Este fato é vantajoso quando o melhorista pretende explorar híbridos. O efeito da dominância da resistência em *C. baccatum* mostrou ser diferente e ao contrário da espécie *C. annuum* que foi recessiva. Esse tipo de resultado era esperado, pois na etapa de triagem notou-se que as espécies reagiram ao oídio de forma completamente oposta. Enquanto 84% dos acessos de *C. baccatum* foram resistentes, somente 5% dos acessos de *C. annuum* apresentaram a mesma reação de resistência. É valioso lembrar que a espécie de pimenta *C. baccatum*, assim como *C. chinense* e *C. frutescens* são espécies cujo melhoramento tem sido praticado de maneira menos intensiva pelo homem, sem erosão genética de genes valiosos.

Nos cruzamentos em que houve manifestação de dominância, também apresentaram na geração F_2 epistasia altamente significativa e útil para um programa de melhoramento, pois assim como a heterose, a epistasia também foi negativa, indicando menor frequência observada de plantas doentes na geração F_2 .

Quando se fez o retrocruzamento de Aji #286 x Aji #263 para o respectivo progenitor resistente, observou-se que o número de plantas resistentes (nota 1) aumentou muito, tendo uma média de 1,07. Confirmando os resultados apresentados pela geração F_2 , houve manifestação de epistasia significativa na geração do retrocruzamento.

Pode-se dizer que nos cruzamentos Ají # 263 x Chapéu de Bispo, Ají # 286 x Ají # 263, Pimenta x Chapéu de Bispo e Ají # 263 x BGH 2994, o tipo de ação gênica detectada foi aditiva, dominante e epistática enquanto que para Ají Amarillo # 269 x Chapéu de Bispo foi somente aditiva.

O número de genes segregantes variou conforme o cruzamento e estimativas, mas de maneira geral as estimativas baseadas pelas frequências foram próximas às calculadas pela fórmula de Burton (1951). No Aji #263 x Chapéu de Bispo pelo menos dois locos segregantes manifestaram-se, para Aji # 263 x BGH 2994, de três a cinco pares de genes

mostraram-se envolvidos e para Aji # 286 x Aji # 263 no mínimo de quatro a seis genes governam a herança da resistência ao oídio (Tabela 10). Convém lembrar que heranças envolvendo vários genes são difíceis de serem interpretadas no modelo mendeliano. Infere-se que quanto maior o número de genes maior será a dificuldade seletiva, maior influência ambiental. Além do mais características poligênicas, com quatro a cinco locos, implicam em estratégias de melhoramento com seleção recorrente para aumentar a frequência de alelos favoráveis relacionados com maior resistência ao oídio.

Verificou-se que os valores de herdabilidade foram altos, acima de 50% para todos os cruzamentos, indicando que provavelmente este caráter possa ser selecionado em gerações menos avançadas, utilizando-se de alta pressão de seleção. O cruzamento que mais se destacou foi Aji # 263 x BGH 2994, mostrando que 80,78% da superioridade da planta mãe foi retida na descendência. Esses resultados e parâmetros genéticos são de fundamental importância para o melhorista, pois mostram a grande variabilidade encontrada e que pode ser explorada na geração F_2 (Tabela 10).

A alta herdabilidade com relação a resistência ao patógeno indica que o processo seletivo será eficiente nesta espécie de pimenta. O maior ganho de seleção foi estimado para a geração F_3 do cruzamento Aji # 263 x Chapéu de Bispo, esperando-se uma diminuição no valor da média de 27,6%. Para as gerações F_3 de Aji # 286 x Aji # 263 e Aji # 263 x BGH 2994, cujas médias das gerações F_1 e F_2 foram as menores, a expectativa será de um menor ganho, 7,2% e 7,6% respectivamente (Tabela 10).

Tabela 9. Número de plantas em cada classe, de acordo com a escala de notas para resistência a *Leveillula taurica* em condições de casa de vegetação. *C. baccatum*. 2003

Gerações ¹		R	MR	MS	S	AS
		Nota 1	Nota 2	Nota 3	Nota 4	Nota 5
Chapéu de Bispo	PR [•]	4	5	0	0	0
	PR ^{••}	24	24	0	0	0
	PR [•]	9	0	0	0	0
Ají # 286	PR ^{••}	50	0	0	0	0
	PR [•]	9	0	0	0	0
BGH 2994	PR ^{••}	20	0	0	0	0
	PS [•]	0	0	0	9	0
Ají # 263	PS ^{••}	0	0	0	35	25
	PS [•]	0	2	7	0	0
Ají Amarillo # 269	PS ^{••}	0	0	25	15	0
	PS [•]	0	4	5	0	0
Pimenta	PS ^{••}	0	0	23	25	0
	TS [•]	0	0	0	0	9
Magali R	TS ^{••}	0	0	0	0	40
	TS [•]	0	0	0	0	9
Margarita	TS ^{••}	0	0	0	0	40
	F ₁ [•]	0	5	4	0	0
Ají # 263 x Ch. de Bispo	F ₁ ^{••}	0	30	27	0	0
	F ₂ ^{••}	115	154	148	79	22
	F ₁ [•]	0	9	0	0	0
Ají # 286 x Ají # 263	F ₁ ^{••}	16	9	0	0	0
	F ₂ ^{••}	333	185	50	6	0
	RC PR ^{••}	52	4	0	0	0
Ají Amarillo # 269 x Ch. de Bispo	F ₁ [•]	0	0	9	0	0
	F ₁ ^{••}	0	28	17	0	0
	F ₂ ^{••}	113	242	180	65	0
Pimenta x Chapéu de Bispo	F ₁ [•]	0	1	4	4	0
	F ₁ ^{••}	0	43	14	3	0
	F ₂ ^{••}	154	274	149	13	0
Ají # 263 x BGH 2994	F ₁ [•]	6	3	0	0	0
	F ₁ ^{••}	56	4	0	0	0
	F ₂ ^{••}	371	164	32	8	2

[•]Resultados obtidos em fevereiro de 2002 (primeira avaliação) – na obtenção da geração F₁.

^{••}Resultados obtidos em setembro de 2002 (segunda avaliação) - na obtenção da geração F₂.

1. PR – Progenitor resistente, PS – progenitor suscetível, RC PR – retrocruzamento, TS – Testemunha suscetível.

Tabela 10. Estimativas de médias, variâncias, do número de locos segregantes e da herdabilidade (h^2) nas diferentes gerações de cinco cruzamentos e ganho de seleção esperado em F_3 (Gs), *C. bacatum*. 2003

Gerações ¹	n	Médias	Variâncias	Nº locos		h^2 (%)	Gs (%)
				Freq	Fórm.		
Chapéu de Bispo	PR [•]	9	1,55				
	PR ^{••}	48	1,50				
	PR [•]	9	1,00				
Ají # 286	PR ^{••}	50	1,00				
	PR [•]	9	1,00				
BGH 2994	PR ^{••}	20	1,00				
	PS [•]	9	4,00				
	PS ^{••}	60	4,42				
Ají # 263	PS [•]	9	2,78				
	PS ^{••}	40	3,37				
Ají Amarillo # 269	PS [•]	9	2,55				
	PS ^{••}	48	3,52				
	TS [•]	9	5,00				
Magali R	TS ^{••}	40	5,00				
	TS [•]	9	5,00				
Margarita	TS ^{••}	40	5,00				
	F ₁ [•]	9	2,44				
Ají # 263 x Ch. de Bispo	F ₁ ^{••}	57	2,47				
	F ₂ ^{••}	518	2,50	≥ 2	2	79,90	-30,0 [▲]
	F ₁ [•]	9	2,00				
Ají # 286 x Ají # 263	F ₁ ^{••}	25	1,36				
	F ₂ ^{••}	574	1,53	≥ 4	6	62,63	-7,2 [▲]
	RCPR ^{••}	56	1,07				
Ají Amarillo # 269 x Ch. de Bispo	F ₁ [•]	9	3,00				
	F ₁ ^{••}	45	2,37				
	F ₂ ^{••}	600	2,33			70,06	-19,3
Pimenta x Chapéu de Bispo	F ₁ [•]	9	3,33				
	F ₁ ^{••}	60	2,33				
	F ₂ ^{••}	590	2,04			51,58	-10,3 [▲]
Ají # 263 x BGH 2994	F ₁ [•]	9	1,33				
	F ₁ ^{••}	60	1,07				
	F ₂ ^{••}	577	1,45	≥ 3	5	80,78	-7,6 [▲]

• Resultados obtidos em fevereiro de 2002 (primeira avaliação) – na obtenção da geração F_1 .

•• Resultados obtidos em setembro de 2002 (segunda avaliação) - na obtenção da geração F_2 .

▲ Ganho de seleção superestimado, calculado em função de h^2 no sentido amplo.

1. PR – Progenitor resistente, PS – progenitor suscetível, RC PR – retrocruzamento, TS – Testemunha suscetível

Tabela 11. Estimativas dos valores da heterose (H e H%) e de efeitos da epistasia (C) com significância pelo teste t. *C. baccatum*. 2003

Cruzamentos		Estimativas de		
		H	H%	C
Ají # 263 x Ch. de Bispo	F ₁ [•]	-0,33+	-12,1	
	F ₁ ^{••}	-0,49***	-16,5	
	F ₂ ^{••}			-0,21*
Ají # 286 x Ají # 263	F ₁ [•]	0,000ns	0,0	
	F ₁ ^{••}	-1,35***	-49,8	
	F ₂ ^{••}			-0,50***
Ají Amarillo # 269 x Ch. de Bispo	RC PR ^{••}			-0,11*
	F ₁ [•]	0,83***	38,3	
	F ₁ ^{••}	-0,06ns	-2,5	
Pimenta x Chapéu de Bispo	F ₂ ^{••}			-0,07ns
	F ₁ [•]	1,28***	62,4	
	F ₁ ^{••}	-0,18*	-7,2	
Ají # 263 x BGH 2994	F ₂ ^{••}			-0,38***
	F ₁ [•]	-1,17***	-46,8	
	F ₁ ^{••}	-1,64***	-60,5	
	F ₂ ^{••}			-0,44***

* Significância com base no teste t a 5% de probabilidade; ** 1% de probabilidade; *** 0,1% de probabilidade; + entre 5% e 10% de probabilidade; ns- não significativo.

[•] Resultados obtidos em fevereiro de 2002 (primeira avaliação) – na obtenção da geração F₁.

^{••} Resultados obtidos em setembro de 2002 (segunda avaliação) - na obtenção da geração F₂.

Figura 2 - Histograma de distribuição de frequência do número de plantas em cada classe de notas nas gerações P_R , P_S , F_1 , F_2 para o cruzamento Ají # 263 x Chapéu de Bispo. *Capsicum baccatum*. 2003

Figura 3 - Histograma de distribuição de frequência do número de plantas em cada classe de notas nas gerações P_R , P_S , F_1 , F_2 e retrocruzamento para o cruzamento Ají # 286 x Ají # 263. *Capsicum baccatum*. 2003

Figura 4 - Histograma de distribuição de frequência do número de plantas em cada classe de notas nas gerações P_R , P_S , F_1 , F_2 para o cruzamento Ají Amarillo # 269 x Chapéu de Bispo. *Capsicum baccatum*. 2003

Figura 5 - Histograma de distribuição de frequência do número de plantas em cada classe de notas nas gerações P_R , P_S , F_1 , F_2 para o cruzamento Pimenta x Chapéu de Bispo. *Capsicum baccatum*. 2003

Figura 6 - Histograma de distribuição de frequência do número de plantas em cada classe de notas nas gerações P_R , P_S , F_1 , F_2 para o cruzamento Ají # 263 x BGH 2994. *Capsicum baccatum*. 2003

4.3.2.2 Reação de híbridos obtidos de cruzamentos entre progenitores resistentes

A reação ao oídio apresentada pela espécie *C. baccatum*, tem uma característica fenológica muito diferenciada de *C. annuum*. Ocorreu uma intensa defoliação em consequência da reação de hipersensibilidade (descrita no item 4.3.1). Uma grande parte dos acessos resistentes dessa espécie, na presença das linhas espalhadoras, ou seja, em condições de alta pressão de inóculo, apresentaram pequenas lesões necróticas que coalesceram e posteriormente causaram queda das folhas. Esse sintoma de defoliação também foi observado por Lima (2002) nesta espécie. Todos os progenitores apresentaram variações de graus de resistência entre as notas 1 e 2 (Tabelas 12 e 13).

O mecanismo de resistência dessa espécie não é similar ao da fonte HV-12 de *C. annuum* L, que além de não permitir a penetração do patógeno, não ocorre defoliação. Segundo Tokeshi², o tipo de reação apresentado pela espécie *C. baccatum* é tipicamente relacionada com resistência horizontal. De acordo com Van Der Plank (1968), a resistência horizontal é governada por muitos genes, cada qual apresentando um pequeno efeito, retardando e diminuindo o progresso da doença.

Observou-se pelos resultados nas reações dos progenitores e híbridos que a severidade do oídio na segunda avaliação foi menor que na primeira avaliação (Tabela 13). Essas diferenças podem ser explicadas pelos efeitos ambientais em cada época de avaliação e diferenças nas pressões de inóculo, sendo maior na primeira avaliação.

Apesar das médias da geração F₁ apresentarem-se ligeiramente superiores às médias dos seus respectivos progenitores, ocasionando uma heterose de efeito positivo, essa não foi significativa, indicando que os efeitos de dominância não se manifestaram para estes cruzamentos. O mesmo ocorreu na geração F₂, apesar da média observada ter sido maior que a esperada, levando a um valor de epistasia positivo, também não se detectou significância (Tabela 13). Assim esses resultados indicam que essa maior severidade foi de efeito ambiental e não genético.

O fato de a dominância e epistasia não terem se manifestado nos cruzamentos entre acessos resistentes, evidencia que a herança que governa a resistência em *C. baccatum* não é tão complexa e indica maior similaridade genética dos progenitores.

² TOKESHI, H. Comunicação pessoal, 2003.

O uso de híbridos de pimenta nas espécies *C. baccatum* e *C. chinense* ainda não é uma prática explorada como no caso de *C. annuum*. A qualidade de frutos de pimenta não depende do seu tamanho e formato, o que facilita e viabiliza o uso de híbridos, associando resistência ao oídio com outras resistências à patógenos. O segmento de pimenta baseado em *C. baccatum* e *C. chinense* é restrito só para a América do Sul. No restante do mundo, como Índia, Coréia, México e EUA, este segmento é dominado preferencialmente por variedades e híbridos de *C. annuum*, sendo essas todas suscetíveis ao oídio. Portanto o fato de ter sido encontrado um grande número de acessos e híbridos em *C. baccatum* com resistência ao oídio, evidencia a possibilidade de se desenvolver pimentas resistentes ao oídio em curto prazo.

Tabela 12. Número de plantas em cada classe, de acordo com a escala de notas para resistência a *Leveillula taurica* em condições de casa de vegetação. *C. baccatum*. 2003

Gerações ¹		R	MR	MS	S	AS
		Nota 1	Nota 2	Nota 3	Nota 4	Nota 5
Aji # 284	PR [•]	1	8	0	0	0
	PR ^{••}	8	34	0	0	0
	PR [•]	4	5	0	0	0
Chapéu de Bispo	PR ^{••}	24	24	0	0	0
	PR [•]	9	0	0	0	0
Aji Amarillo #267	PR ^{••}	41	5	0	0	0
	PR [•]	2	7	0	0	0
BGH 0620	PR ^{••}	17	29	10	0	0
	TS [•]	0	0	0	0	9
Magali R	TS ^{••}	0	0	0	0	40
	TS [•]	0	0	0	0	9
Margarita	TS ^{••}	0	0	0	0	40
	F ₁ [•]	0	7	2	0	0
Aji # 284 x Ch. de Bispo	F ₁ ^{••}	10	19	1	0	0
	F ₂ ^{••}	197	290	70	3	0
	F ₁ [•]	4	5	0	0	0
Aji Amarillo #267 x Ch. de Bispo	F ₁ ^{••}	33	20	0	0	0
	F ₂ ^{••}	373	170	43	0	0
	F ₁ [•]	1	8	0	0	0
BGH 0620 x Chapéu de Bispo	F ₁ ^{••}	16	42	1	0	0
	F ₂ ^{••}	220	266	95	7	0

[•]Resultados obtidos em fevereiro de 2002 (primeira avaliação) – na obtenção da geração F₁.

^{••}Resultados obtidos em setembro de 2002 (segunda avaliação) - na obtenção da geração F₂.

1. PR – Progenitor resistente, TS – Testemunha suscetível.

Tabela 13. Número total de plantas (n), estimativas de médias, variâncias, valores da heterose (H e H%) e epistasia (C) com significância pelo teste t. *C.bacatum*, 2003

Gerações ¹		n	Médias	Variâncias	H	H%	C
Aji # 284	PR [•]	9	1,87	0,111			
	PR ^{••}	42	1,81	0,158			
	PR [•]	9	1,55	0,278			
Chapéu de Bispo	PR ^{••}	48	1,50	0,255			
	PR [•]	9	1,00	0,000			
	PR ^{••}	46	1,11	0,099			
Aji Amarillo #267	PR [•]	9	1,78	0,194			
	PR ^{••}	56	1,87	0,475			
	TS [•]	9	5,00	0,000			
Magali R	TS ^{••}	40	5,00	0,000			
	TS [•]	9	5,00	0,000			
	TS ^{••}	40	5,00	0,000			
Margarita	F ₁ [•]	9	2,22	0,194	0,50*	29,07	
	F ₁ ^{••}	30	1,70	0,286	0,05ns	3,03	
	F ₂ ^{••}	560	1,78	0,452			0,10ns
Aji # 284 x Chapéu de Bispo	F ₁ [•]	9	1,55	0,278	0,27ns	21,18	
	F ₁ ^{••}	53	1,38	0,239	0,07ns	5,38	
	F ₂ ^{••}	586	1,43	0,393			0,09ns
Aji Amarillo #267 x Ch. de Bispo	F ₁ [•]	9	1,89	0,111	0,22ns	13,21	
	F ₁ ^{••}	59	1,75	0,227	0,07ns	4,17	
	F ₂ ^{••}	588	1,81	0,549			0,09ns

* Significância com base no teste t a 5% de probabilidade; ns- não significativo.

• Resultados obtidos em fevereiro de 2002 (primeira avaliação) – na obtenção da geração F₁.

•• Resultados obtidos em setembro de 2002 (segunda avaliação) - na obtenção da geração F₂.

1. PR – Progenitor resistente, TS – Testemunha suscetível.

Figura 7 - Histograma de distribuição de frequência do número de plantas em cada classe de notas nas gerações P_R , P_R , F_1 , F_2 para o cruzamento Aji # 284 x Chapéu de Bispo. *Capsicum baccatum*. 2003

Figura 8 - Histograma de distribuição de frequência do número de plantas em cada classe de notas nas gerações P_R , P_R , F_1 , F_2 para o cruzamento Aji Amarillo #267 x Chapéu de Bispo *Capsicum baccatum*. 2003

Figura 9 - Histograma de distribuição de frequência do número de plantas em cada classe de notas nas gerações P_R , P_R , F_1 , F_2 para o cruzamento BGH 0620 x Chapéu de Bispo *Capsicum baccatum*. 2003

4.4 Conclusões

- Dentre os acessos triados, 84% foram resistentes ao oídio.
- A queda foliar, como resultado de uma reação de hipersensibilidade ao fungo ocorreu em quase todos os acessos.
- A resistência mostrou-se dominante em todas as gerações (F_1 e F_2) de cada cruzamento. As variâncias genéticas aditivas, dominante e epistáticas manifestaram-se para todos os cruzamentos com exceção de Aji Amarillo # 269 x Chapéu de Bispo, no qual somente a ação aditiva ocorreu.
- A herança da resistência ao oídio mostrou ser controlada por no mínimo de 2 a 6 pares de genes segregantes.
- Os valores de herdabilidade foram altos, acima de 50% em todos os cruzamentos, indicando que o desenvolvimento de variedades resistentes ao oídio em *C. baccatum* é promissor.
- Tanto as reações de resistência quanto os mecanismos de resistência dos progenitores são similares, não indicando diferenças alélicas.

5 HERANÇA DA REAÇÃO DE *Capsicum chinense* AO OÍDIO

Autora: SALLY FERREIRA BLAT

Orientador: Prof. Dr. CYRO PAULINO DA COSTA

Resumo

As espécies *C. chinense* e *C. baccatum* tem sido consideradas as melhores fontes de resistência ao oídio, porém a herança dessa resistência não tem sido estudada nessas espécies. O objetivo deste trabalho foi triar os acessos da coleção de *C. chinense* da ESALQ/USP, identificando as fontes de resistência e obter informações sobre a herança dessa reação. Um total de 20 acessos de *C. chinense* foi avaliado quanto a suas reações ao oídio. A partir dessas reações seis híbridos foram obtidos sendo três realizados a partir de acessos resistentes versus suscetíveis e os outros três entre quatro acessos resistentes. As gerações F₂ também foram avaliadas. As avaliações das reações ao oídio foram feitas na época da frutificação, através de uma escala de notas de acordo com a severidade da doença de 1 (resistente) a 5 (altamente suscetível). A partir das reações obtiveram-se: estimativas do número de locos segregantes, dos coeficientes de herdabilidade, dos progressos esperados com a seleção, o tipo de ação gênica envolvida e avaliadas as reações dos híbridos entre progenitores resistentes. Dentre os materiais triados 85% foram considerados resistentes. A segregação transgressiva em F₂ indicou que a herança é poligênica e o tipo de ação gênica envolveu os componentes aditivos, dominantes e epistáticos. A dominância e epistasia detectadas nos cruzamentos se mostraram negativas, a favor da resistência. As reações dos híbridos e das gerações F₂ e a análise genética dos cruzamentos entre progenitores resistentes mostraram a similaridade genética dos progenitores, não indicando diferenças alélicas.

INHERITANCE REACTION IN *Capsicum chinense* TO POWDERY MILDEW

Author: SALLY FERREIRA BLAT

Adviser: Prof. Dr. CYRO PAULINO DA COSTA

Summary

The species *Capsicum chinense* and *C. baccatum* has been the best sources of resistance to powdery mildew, but their resistance inheritance is unknown. The present work aimed to screen 20 *C. chinense* the ESALQ/USP *Capsicum* collection, to identify resistant sources and to elucidate the powdery mildew inheritance reaction for this species. Six hybrids were obtained, three between resistant and susceptible accesses and three from among four resistant parental crosses. F₂ generations and one backcross was obtained. Reaction evaluations to powdery mildew were carried out during the fruit production using a rating system based on score disease severity using scale varying from 1 (resistant) to 5 (highly susceptible). Estimations of segregating loci number, heritability and expected selection gains was made, to investigate the gene action and to evaluate hybrid powdery mildew reaction obtained from crossing between resistant progenitors. Eighty-five percent of the evaluated accesses were considered resistant. The transgressive segregation in F₂ indicated polygenic inheritance and additive, dominant and epistatic gene action. Reactions to powdery mildew of hybrids resistant versus resistant and their respectively F₂ showed genetic similarities with no allelic difference.

5.1 Introdução

O Brasil é considerado um importante centro secundário e de diversidade das espécies domesticadas de pimenta *Capsicum annuum*, *C. baccatum* e *C. frutescens*. Estas teriam sido introduzidas no país a partir dos centros de diversidade andinos e o processo seletivo criou novos tipos morfológicos diferentes daqueles encontrados nas áreas originais. Em relação a espécie *C. chinense* a história é diferente. *C. chinense* é provavelmente, a mais importante espécie cultivada ao Leste dos Andes. A área de maior diversidade é a bacia Amazônica. Deste fato pode-se concluir que foi domesticada

pelos indígenas amazônicos e, portanto, trata-se da mais brasileira dentre as espécies domesticadas. Possui flores brancas esverdeadas sem manchas difusas na base das pétalas da corola. É morfológicamente similar a espécie *C. frutescens*. Encontra-se distribuída pela América Central, Caribe e região central da América do Sul e tem seu centro de maior diversidade na região Amazônica. Ocorre também no Peru e Bolívia se sobrepondo aos limites geográficos de *C. annuum* e *C. baccatum* (Nuez, 1996, Bertão, 1993).

Dentro da espécie *C. chinense* os tipos mais consumidos são a pimenta de cheiro e pimenta de bode. A pimenta de cheiro é encontrada em tons amarelo-leitoso, amarelo-claro, amarelo forte, alaranjado, salmão, vermelho, até preto e predomina no nordeste, norte e centro-oeste do Brasil. Na região sudeste é mais comum o cultivo da pimenta de bode, cujas plantas produzem frutos arredondados com cerca de 1cm de diâmetro, e as cores creme e vermelho dos frutos maduros são as mais comuns. Tanto a pimenta de cheiro quanto a de bode possuem pungência e um aroma característico que permite sua diferenciação das demais pimentas, sendo a razão da preferência dos consumidores que a apreciam.

No Brasil a área plantada de pimenta e pimentão chega a 12.000ha. O volume comercializado do ano de 1998 no CEASA-MG foi de 170.785 kg, sendo 300 kg de procedência do estado do Espírito Santo, 168.000 de Minas Gerais e 2.485 de São Paulo (FAO, 1999).

Atualmente uma das mais preocupantes e importantes doenças do gênero *Capsicum* é o oídio, causado pelo fungo *Leveillula taurica* e segundo a literatura as melhores fontes de resistência se encontram nas espécies *C. chinense* e *C. baccatum* (Bidari, 1985; Anand et al., 1987; Souza, 2000, Blat, 2002 e Lima, 2002). Segundo Reifschneider et al. (2000), por serem espécies menos trabalhadas pelo homem seus genes que conferem resistência foram mantidos durante o processo de domesticação.

Zewdie (1994), avaliaram 44 linhagens para incidência de oídio (0-100%). A incidência de oídio foi severa na maioria das linhagens. O registro da doença apareceu nas linhagens PBC376, PBC210, PBC233, PBC266, PBC270, PBC374 e PBC378 e as folhas colonizadas pelo patógeno caíram após alguns dias. A linhagem PBC376 mostrou

maior tolerância em produção do que o padrão suscetível. Os acessos PBC151 e PBC171, pertencentes à espécie *Capsicum baccatum* e *C. chinense*, mostraram alto nível de resistência em condições de campo.

Daubeze et al. (1995) avaliando acessos de *Capsicum* quanto as suas reações ao oídio identificaram resistência parcial ao oídio em condições de campo nos acessos ‘PM 803’ (*C. chinense*), ‘PEN 26’ (*C. baccatum*) e particularmente nos acessos ‘PI 322719’ e ‘H3’ (*C. annuum*).

Souza (2000), avaliou a reação de acessos de *Capsicum* do Banco de germoplasma da Embrapa hortaliças a *L. taurica*. Identificaram-se oito acessos imunes: HV12, 4638 e pimentas como ABE (CNPH 36), Kurimoto (CNPH 38), Nélío redonda (CNPH 50), Nélío fina 2 (CNPH 52), Escabeche (CNPH 279) e Malagueta (CNPH 288). A maioria dos acessos de *C. baccatum*, *C. frutescens* e *C. chinense* foi resistente.

Lima (2002) avaliando a reação de acessos de *Capsicum* ao oídio em telado e casa de vegetação verificou que as espécies *C. baccatum*, *C. chinense* e *C. frutescens* foram pouco variáveis quanto a sua morfologia e apresentaram a maior proporção de acessos resistentes ao oídio, sendo assim indicadas na busca de fontes de resistência ao oídio. Em *C. chinense*, nenhum acesso foi considerado suscetível, o acesso Pimenta peixe-de-boi (CNPH 434) foi altamente resistente, os acessos Pimenta Olho de Ganso (CNPH 289), Pimenta de Cheiro (CNPH 55), Pimenta do Maranhão (CNPH 436), Pimenta do Maranhão (CNPH 503) e Pimenta Picante (CNPH 573) foram resistentes e os acessos Pimenta de Cheiro (CNPH 600) e Pimenta (CNPH 670) foram moderadamente resistentes.

A reação de resistência ao oídio na espécie *C. chinense* tem sido estudada e mostra grande potencial a ser explorado, porém o modo de herança dessa reação é ainda desconhecido. A coleção de *C. chinense* da ESALQ/USP foi triada identificando-se os acessos resistentes e suscetíveis e posteriormente cruzamentos entre acessos resistentes versus suscetíveis e resistentes versus resistentes foram realizados visando obter maiores informações sobre a genética dessa resistência.

5.2 Material e Métodos

5.2.1 Triagem da coleção de *Capsicum chinense*.

A reação ao oídio de um total de vinte acessos de *Capsicum chinense* da coleção da ESALQ/USP foram triadas para identificar fontes de resistência. As respectivas origens de cada germoplasma constam nas Tabelas 7 e 8.

5.2.1.1 Produção de mudas, condução, inoculação e avaliação.

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação junto ao Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no município de Piracicaba, SP, que está a uma latitude de 22° 42’30” sul, longitude 47° 38’00” oeste e uma altitude de 546 m (Kuabara, 1984). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é Cwa: subtropical úmido, com três meses mais secos (jun./jul./ago.), chuvas de verão e seca de inverno, temperatura do mês mais quente maior que 22° C e média de 21,4° C.

A semeadura dos acessos foi feita no mês de setembro de 2000 em bandejas de poliestireno expandido de 128 células. Quando as mudas apresentavam de 3 a 5 pares de folhas verdadeiras, foi realizado o transplante para vasos plástico de oito litros contendo três partes de areia lavada, duas de vermiculita e uma de condicionador de solo.

O sistema de irrigação adotado foi o de gotejamento, regulado eletronicamente por um temporizador. A adubação foi feita utilizando-se Kristalon® 13-40-13, 1g/l na fase de muda e após o transplante Kristalon® 12-12-36 mais micronutrientes, nitrato de cálcio (300g/250l), Ca/B (70ml/250l) e sulfato de magnésio (400g/250l) fornecidos via fertirrigação, monitorados por um condutivímetro.

O tutoramento das plantas foi feito através de espaldeira dupla onde as duas linhas de plantas foram tutoradas por fios de arame. No controle preventivo de pragas e doenças foi utilizado Confidor® (Imidacloprid), Vertimec® (Abamectina) e Aplaud® (Buprofezin) nas dosagens recomendadas. Visando não interferir a reação natural de cada acesso nenhum fungicida foi aplicado.

Para estabelecer e promover a epidemia de oídio no processo de triagem dos acessos de *C. chinense*, utilizou-se uma relação de uma planta altamente suscetível de pimentão híbrido (*C. annuum*) previamente infectada, servindo como linha espalhadora da doença, para cada 15 acessos a serem triados.

As avaliações semanais das reações foram feitas com o surgimento dos sintomas, iniciando-se na fase de frutificação, totalizando seis avaliações. Foi utilizada uma escala de notas de 1 a 5, de acordo com a severidade da doença, proposta por Ullasa et al. (1981) (Tabela 1). Com o objetivo de treinar a reconhecer e efetuar o critério visual, folhas com diferentes níveis de sintomas foram coletadas e passadas por um medidor de área foliar (Leaf Área Meter, modelo LI-3000 da Licor) obtendo-se a área foliar total e lesionada. Com base nesta medida estimou-se a severidade da doença. Usando estes modelos referenciais, foi possível padronizar a avaliação. Para monitorar a expressão da doença foram usadas testemunhas referenciais com reações conhecidas baseadas tanto por produtores quanto pela literatura (Tabela 2).

Tabela 1. Escala de notas para avaliação da reação de *Capsicum* a *Leveillula taurica*

Notas	Sintomas	Reação
1	Resistente, sem sintomas	R
2	Moderadamente resistente, com 10% da área foliar afetada	MR
3	Moderadamente suscetível, com 11-20% da área foliar afetada	MS
4	Suscetível, com 21-50% da área foliar afetada	S
5	Altamente suscetível, com 51% ou mais da área foliar afetada	AS

Tabela 2. Testemunhas referenciais de resistência e suscetibilidade com relação à reação a *Leveillula taurica*

Hospedeiros referenciais	Espécie	Procedência	Reação
HV12	<i>C. annuum</i>	SVS, Paulínia	R
PI 152225	<i>C. chinense</i>	USDA-USA	R
Margarita	<i>C. annuum</i>	Syngenta	S
Magali R	<i>C. annuum</i>	Sakata	S

5.2.1.2 Análise estatística.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro plantas por vaso, totalizando 80 plantas.

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística pelo método GLIM, realizado com auxílio do Professor José Eduardo Corrente, Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP. Na análise levaram em conta todos os dados das seis avaliações. O programa GLIM utiliza-se de um modelo logístico acumulado, onde se supõe que a distribuição original dos dados é Poisson. Deste modo, com as estimativas dos pontos de corte da análise original, pôde-se caracterizar a reação dos acessos resistentes através das estimativas dos efeitos dos parâmetros (acessos) ajustados e dos respectivos desvios-padrão.

Visando-se comparar os resultados obtidos na primeira análise foi aplicado Teste de Tukey a 5% de probabilidade aos dados coletados. A análise de variância consta no anexo A.

5.2.2 Herança da reação

5.2.2.1 Estimação de parâmetros genéticos.

Após a etapa de triagem, dois acessos identificados como moderadamente suscetíveis e dois resistentes foram usados como progenitores obtendo-se de três cruzamentos (Tabela 3). O processo de hibridação foi feito através da emasculação de botões florais eliminando-se as anteras, seguida de polinização usando flores recém abertas (Nuez et al., 1996). Cada cruzamento foi devidamente identificado através de etiquetas amarradas ao pedicelo da flor e os frutos resultantes da autofecundação foram eliminados.

Tabela 3. Relação dos híbridos de pimenta

Híbridos	Reações
Pimenta Doce IH-1761 x Pimenta Cheiro 1	Moderadamente suscetível x resistente
Pimenta Índio x PI 152225	Moderadamente suscetível x resistente
Pimenta Doce IH-1761 x PI 152225	Moderadamente suscetível x resistente

5.2.2.1.1 Produção de mudas, condução, inoculação e avaliação dos híbridos (F_1) e progenitores.

A semeadura das gerações F_1 , progenitores e testemunhas foi feita em bandejas de poliestireno expandido de 128 células, preenchidas com substrato para hortaliças (Gioplant®). O transplante para vasos plásticos de oito litros contendo mistura de solo, vermiculita e condicionador de solo (3:1:1) foi realizado no mês de outubro de 2001. As plantas foram dispostas em fileiras duplas espaçadas de 1,0 m entre elas.

Os tratos culturais foram os tradicionais do cultivo em estufa, já descritos no item 5.2.1.1. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três plantas por vaso (parcela), três repetições e nove tratamentos, sendo três híbridos, quatro progenitores e duas testemunhas suscetíveis, totalizando 81 plantas.

A técnica de inoculação e estabelecimento da epidemia de oídio foi feita através plantas de pimentão com alta incidência e esporulação, que funcionaram como linhas espalhadoras da doença. As avaliações das reações dos acessos de *C. chinense* foram feitas por meio de escala de notas de acordo com a severidade da doença como descrito por proposta por Ullasa et al. (1981) (idem item 5.2.1.1). Adotou-se o critério de encerrar as avaliações quando as testemunhas referenciais de suscetibilidade, Magali R e Margarita, obtiveram nota máxima 5, considerando assim a reação de cada acesso referente a nota dada nessa avaliação.

A geração F_1 foi avaliada em duas etapas, na ocasião de sua obtenção e junto a geração F_2 onde esta foi plantada novamente, visando-se ter as mesmas condições ambientais de avaliação da geração F_2 .

5.2.2.1.2 Retrocruzamento

O híbrido Pimenta Índio x PI 152225 foi retrocruzado para seu progenitor resistente, PI 152225, com o objetivo de aumentar a frequência gênica da resistência para fins de melhoramento e auxiliar na elucidação da herança da resistência.

5.2.2.1.3 Produção de mudas, condução, inoculação e avaliação dos F₂, F₁, retrocruzamentos e progenitores.

A semeadura das gerações F₂, F₁, retrocruzamento e progenitores, foi realizada no mês de abril de 2003 e o transplante no mês de junho de 2003 para vasos plásticos de oito litros, contendo substrato formulado pela Multiplanta Substrato Agrícola com a seguinte composição: casca de Pinus composta, granulação 10 mm, vermiculita expandida, turfa processada, macro e micro nutrientes (fosfato super simples e Humix), areia (5%) e elemento dispersante de umidade.

Os tratos culturais realizados foram os usualmente utilizados para a cultura: irrigação, tutoramento e tratos fitossanitários prevenindo pragas e doenças, já detalhados nas etapas anteriores. (item 5.2.1.1).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com cinco plantas por vaso, totalizando 2.203 plantas (Tabela 4).

A inoculação e disseminação foram feitas através de plantas de pimentão com alta intensidade de esporulação, servindo como linhas espalhadoras da doença, na proporção de 1:20 como já descrito no item 5.2.2.1.1. Quando as plantas testemunhas, Magali R e Margarita, atingiram nota máxima 5 foi realizada a avaliação das gerações a serem testadas, fazendo a leitura da reação da planta ao patógeno. A avaliação foi feita através da escala de notas de acordo com a severidade da doença como descrito nas etapas anteriores.

Tabela 4. Número de plantas avaliadas por geração

Gerações	Nº de Plantas
(Pimenta Doce IH-1761 x Pimenta Cheiro 1) P ₁	55
P ₂	55
F ₁	50
F ₂	522
(Pimenta Índio x PI 152225) P ₁	60
P ₂	50
F ₁	55
F ₂	540
Retro P ₁	106
(Pimenta Doce IH-1761 x PI 152225) P ₁	55
P ₂	50
F ₁	55
F ₂	470
Testemunha Magali R	40
Testemunha Margarita	40

5.2.2.1.4 Análise biométrica dos dados.

Para a realização das análises biométricas foram utilizados os dados das gerações, P₁, P₂, F₁ e F₂ e retrocruzamento. Como havia sido comentado anteriormente, os progenitores e as gerações F₁ foram avaliadas em duas etapas, na ocasião de sua obtenção e novamente junto a avaliação da geração F₂. Para que todas as gerações tivessem influência das mesmas condições ambientais utilizaram-se para o cálculo das análises os dados referentes a segunda avaliação.

O número de plantas dentro de cada classe de notas foi totalizado e a partir disso, estimadas as médias ponderadas [m], o somatório dos efeitos de aditividade [a] e dominância [d], usando o método de escala conjunta proposto por Cavali e descrito por Mather e Jinks (1984), baseado nas médias esperadas do caráter para as gerações, desconsiderando os efeitos epistáticos. Visando determinar os tipos de ação gênica

envolvidas no modelo genético aditivo-dominante, tem-se os seguintes valores esperados:

$$E[\bar{Y}_{(PR)}] = m - [a]$$

$$E[\bar{Y}_{(PS)}] = m + [a]$$

$$E[\bar{Y}_{(F1)}] = m + [d]$$

$$E[\bar{Y}_{(F2)}] = m + (\frac{1}{2})[d]$$

$$E[\bar{Y}_{(RCPR)}] = m - (\frac{1}{2})[a] + (\frac{1}{2})[d]$$

Sendo: m = média geral do caráter;

[a] = somatório dos efeitos aditivos;

[d] = somatório dos efeitos de dominância;

$E[\bar{Y}]$ = esperança matemática da média das gerações P_R , P_S , F_1 , F_2 e RC_{PR}

Admitindo que a maioria dos genes favoráveis para as características estudadas estão acumuladas em uma das linhagens genitoras e os desfavoráveis na outra e que as médias esperadas são expressáveis conforme acima, foi possível estimar os efeitos de m, [a] e [d] considerando as médias das diversas gerações.

Após o cálculo das variâncias foi feito um ajuste do número de graus de liberdade conjunto, para citações de heterogeneidade nas variâncias das gerações conforme Gomes (1990).

A adequação do modelo genético aditivo-dominante, adotado com base nos três parâmetros, m, [a] e [d] foi verificada pelo teste t por meio de contrastes entre médias segundo Gomes (1990). Nesses testes comparou-se a média observada da geração F_2 com seu valor esperado, conforme o modelo. Em caso de significância do teste t, adotou-se modelo com efeitos epistáticos, componentes das médias das gerações ($PR = m - [a] + [i]$; $PS = m + [a] + [i]$; $F_1 = m + [d] + [l]$, $F_2 = m + (\frac{1}{2})[d] + (\frac{1}{4})[l]$ e $RC_{PR} = m - (\frac{1}{2})[a] + (\frac{1}{2})[d] + (\frac{1}{4})[l]$), além dos efeitos aditivo e dominante. Para mensurar esses efeitos, considerou-se o conteúdo genético do contraste:

$$C = \bar{Y}_{F2} - (\frac{1}{4})(\bar{Y}_{PR} + \bar{Y}_{PS} + 2\bar{Y}_{F1})$$

Cuja esperança matemática é

$$E(C) = (1/2)[i] + (1/4)[I]$$

Nesta esperança de C, o parâmetro [i] é a soma dos efeitos epistáticos do tipo aditivo x aditivo e o parâmetro [I] a soma dos efeitos epistáticos do tipo dominante x dominante (Mather e Jinks, 1984). Evidentemente E(C) será nula no caso de ausência de efeitos epistáticos.

Foram construídos histogramas de distribuição de frequência de plantas para a realização de uma análise exploratória dos dados, com o intuito de visualizar melhor o comportamento das médias dentro de cada classe de notas nas diferentes gerações.

Como na coleção de *C. chinense* da ESALQ/USP não foram identificados acessos que pudessem ser considerados suscetíveis, sendo, portanto a reação dos progenitores usados nos cruzamentos não contratantes, o número de locos segregantes não pode ser calculado.

Os coeficientes de herdabilidade também foram calculados para cada cruzamento conforme segue:

$$h^2 = \sigma_g^2 / \sigma_f^2$$

onde, h^2 = coeficiente de herdabilidade

σ_g^2 = variância genética

σ_f^2 = variância fenotípica

A variância genética e a variância fenotípica foram estimadas por:

$$\sigma_g^2 = \sigma_{F2}^2 - [(\sigma_{P1}^2 + \sigma_{P2}^2 + 2\sigma_{F1}^2)/4]$$

$$\sigma_f^2 = \sigma_{F2}^2$$

A partir dos coeficientes de herdabilidade foram calculados os ganhos de seleção esperados para a geração F₃. Simulou-se seleção das plantas com notas 1 e 2.

$$Gs \leq ds.h^2$$

Onde, Gs = ganho de seleção

ds = diferencial de seleção

h^2 = coeficiente de herdabilidade

Sendo o diferencial de seleção calculado por:

$$ds = \bar{Y}_s - \bar{Y}_{F2}$$

Onde, $\bar{Y}_s$ = média geral das progênies selecionadas.

$\bar{Y}_{F2}$ = média da geração F_2 .

Os coeficientes de herdabilidade e os ganhos de seleção foram calculados com base na herdabilidade no sentido amplo. Essa estimativa do progresso (Gs) é adequada em casos de ausência de dominância. Havendo evidência de dominância o valor de Gs estará super estimado, servindo apenas como referencial.

As análises biométricas foram feitas com auxílio do Prof. Dr. Roland Vencovsky do Departamento de Genética da ESALQ/USP.

5.2.2.2 Reação de híbridos de pimenta resistentes ao oídio em *C. chinense*

Nesta etapa, visando-se verificar se os genes que controlam a resistência ao oídio, nos diferentes progenitores resistentes teriam os mesmos mecanismos, quatro progenitores identificados como resistentes na etapa de triagem foram cruzados entre si dando origem a três gerações F_1 e F_2 e suas reações avaliadas (Tabela 5).

Tabela 5. Relação dos híbridos

Híbridos	Reações
Habanera x Pimenta Cheiro Laranja	Resistente x resistente
Habanera x PI 152225	Resistente x resistente
Santarém #50 x PI 152225	Resistente x resistente

5.2.2.2.1 Produção de mudas, condução, inoculação e avaliação dos híbridos (F_1) e progenitores.

A produção das mudas, tratos culturais, inoculação e as avaliações foram realizadas da mesma maneira já descrita no item 5.2.1.1. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três plantas por parcela, três repetições e 9 tratamentos (três híbridos, quatro progenitores e duas testemunhas suscetíveis), totalizando 81 plantas.

5.2.2.2.2 Produção de mudas, condução, inoculação e avaliação dos F₂, F₁, e progenitores.

As metodologias para a realização das etapas, desde a produção de mudas até as avaliações, foram realizadas da mesma forma já relatada no item 5.2.2.1.3. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com cinco plantas por vaso, compondo um total de 1903 plantas: (Tabela 6).

Tabela 6. Número de plantas por geração de *C. chinense* avaliadas segundo escala de notas

Gerações	Nº de Plantas
(Habanera x Pimenta Cheiro Laranja) P ₁	45
P ₂	50
F ₁	20
F ₂	527
(Habanera x PI 152225) P ₁	45
P ₂	50
F ₁	50
F ₂	527
(Santarem #50 x PI 152225) P ₁	45
P ₂	50
F ₁	30
F ₂	384
Testemunhas	
Magali R	40
Margarita	40

5.2.2.2.3 Análise biométrica dos dados.

Para a realização das análises biométricas foram utilizados os dados das gerações, P₁, P₂ F₁ e F₂. Como havia sido comentado anteriormente, os progenitores e as gerações

F₁ foram avaliadas em duas etapas, ou seja, em dois ensaios, na ocasião de sua obtenção e novamente quando a geração F₂ foi avaliada. Para que todas as gerações tivessem influência das mesmas condições ambientais utilizaram-se para o cálculo das análises os dados referentes a segunda avaliação.

Feita as avaliações, o número de plantas dentro de cada classe de notas foi totalizado e estimadas as médias ponderadas [m], o somatório dos efeitos de aditividade [a] e dominância [d] visando verificar se havia ou não diferenças entre os mecanismos genéticos dos progenitores. A adequação do modelo foi verificada pelo teste t por meio de contrastes entre médias segundo Gomes (1990). Em caso de significância do teste t, adotou-se modelo com efeitos epistáticos. Após o cálculo das variâncias foi feito um ajuste do número de graus de liberdade conjunto, para citações de heterogeneidade nas variâncias das gerações conforme Gomes (1990). Um melhor detalhamento dessa análise foi descrito no item 5.2.2.1.4.

Histogramas de distribuição das gerações foram feitos para visualizar melhor o comportamento das médias dentro de cada classe de notas nas diferentes gerações.

5.3 Resultados e Discussão

5.3.1 Triagem da coleção de *Capsicum chinense*.

Assim como em *C. baccatum*, e mais uma vez confirmando os resultados obtidos por Shifriss et al. (1992), Daubeze et al. (1995), Souza & Café Filho (2000) e Lima (2002), a espécie *C. chinense* foi altamente resistente, representando 85% dos acessos testados (Tabela 7). Pela análise GLIM apenas os acessos Pimenta Índio, Pimenta Doce IH-1761 e Pimenta Doce IH-1763, cujas médias foram 2,50, 2,25 e 2,75, apresentaram reações diferenciadas da resistência dos demais acessos, sendo consideradas moderadamente suscetíveis.

Como já havia sido comentado nos capítulos anteriores, as reações dos acessos nas espécies *C. baccatum* e também em *C. chinense* foram diferentes das observadas em *C. annuum*. Nessas espécies a esporulação foi mínima e o sintoma de “fleck” típico de reação de hipersensibilidade ao fungo foi freqüente, como exemplo no acesso Pimenta Índio (foto anexo E). A espécie *C. chinense* se comparada a *C. baccatum* apresenta uma

proporção ainda maior de acessos resistentes. Mesmo os três acessos diferenciados, considerados moderadamente suscetíveis apresentaram menor intensidade de esporulação quando comparada aos acessos com notas similares de *C. annuum*. Segundo Reifschneider et al. (1998), nas espécies *C. baccatum*, *C. chinense* e *C. frutescens* os genes de resistência a pragas e doenças foram altamente preservados em sua domesticação. Nessas espécies é bastante comum a resistência ao crescimento do patógeno, descrita por Russel (1976), no qual o desenvolvimento do fungo é inibido afetando a patogênese, aumentando o período de latência (Figura 1).

Os acessos da espécie *C. chinense*, mostraram-se com altos níveis de resistência e, portanto excelentes fontes de resistência a ser explorada.

Tabela 7. Listagem dos acessos resistentes e médias de suas reações, por avaliação. *C. chinense*. 2001

Acessos	Origem	Médias
PI 152225	USDA – USA	1,00 B
Pimenta Cheiro Laranja	Belém – PA	1,00 B
Pimenta Cheiro 2	Belém – PA	1,00 B
Pimenta Doce IH-1749	Benjamin Constant – AM	1,00 B
Pimenta Doce	Belém – PA	1,00 B
Muripi IH-1477	Manaus – AM	1,00 B
Pimenta n 2	Manaus – AM	1,25 B
Bode	Recife – PE	1,25 B
Rabo de Macaco	Piauí – PI	1,50 AB
Pimenta n 5	Manaus – AM	1,50 AB
Muripi IH-1490	Manaus – AM	1,50 AB
Pimenta Cheiro 1	Belém – PA	1,75 AB
Pimenta Doce IH-1750	Benjamin Constant – AM	1,75 AB
Pimenta Doce IH-1766	Benjamin Constant – AM	1,75 AB
Santarem #50	Santarém – PA	2,00 AB
ICA #39	Colômbia	2,00 AB
Habanera	México	2,00 AB

1. Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 8. Listagem dos acessos moderadamente suscetíveis e médias de suas reações. *C. chinense*. 2001

Acessos	Origem	Média de notas por avaliação (dias) ¹					
		7	14	21	28	35	42
Pimenta Índio	Belém - PA	1,00	1,00	1,50	2,00	2,50	2,50 AB
Pimenta Doce IH-1761	Benj. Constant - AM	1,00	1,50	2,00	2,25	2,25	2,25 AB
Pimenta Doce IH-1763	Benj. Constant - AM	1,50	2,00	2,25	2,25	2,75	2,75 A

1. Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Figura 1 - Progresso da doença dos acessos moderadamente suscetíveis de *C. chinense*

5.3.2 Herança da reação

5.3.2.1 Estimação de parâmetros genéticos.

Os progenitores resistentes e moderadamente suscetíveis mantiveram suas reações apenas com pequenas variações nos valores se comparados aos mesmos na etapa de triagem. Os progenitores resistentes Pimenta cheiro 1 e PI 152225 que apresentaram na etapa de triagem realizada no ano de 2001, médias de 1,75 e 1,00, na última avaliação (junto as gerações F₂) em 2003, apresentaram médias de 1,45 e 1,24 respectivamente. Do mesmo modo ocorreu com os progenitores moderadamente suscetíveis Pimenta Doce IH-1761 e Pimenta Índio, que na primeira etapa de triagem apresentaram médias de 2,25 e 2,50 e na última avaliação médias de 2,56 e 2,63 respectivamente (Tabela 10). Essas variações são normais e de influência ambiental (Lima, 2002, Reuveni 1974).

Um fato interessante observado nos acessos e gerações posteriores nesta espécie foi a constante defoliação como reação ao oídio mesmo nos acessos resistentes (Foto anexo F). Segundo Lima (2002) esse fenômeno ocorre também nas espécies *C. baccatum* e *C. frutescens* e está atribuindo à característica fenológica da planta e a variações de umidade e temperatura. Sugere-se uma outra explicação relacionada ao tipo de mecanismo de resistência da planta, sendo uma reação de hipersensibilidade tanto ao patógeno em si, como a intensidade ou pressão de inóculo presente durante o experimento (Russel, 1976; Carver et al., 1995 e Zeyen et al., 1995). Acredita-se que em situação de cultivo em larga escala, sem adjacência de fonte de inóculo do patógeno, haja maior retenção foliar.

Os resultados observados na segunda avaliação da geração F_1 mostram que para todos os cruzamentos o número de plantas se encaixam nas classes 1 e 2, indicando alta resistência com médias de 1,74 para o cruzamento Pim. Doce IH-1761 x Pim. Cheiro 1, 1,73 para Pimenta Índio x PI 152225 e 1,18 para Pimenta Doce IH-1761 x PI 152225. O mesmo ocorreu para as respectivas gerações F_2 , onde a proporção de plantas com notas 3 e 4 foi de apenas 4,0%, 6,6% e 4,8% respectivamente e plantas com nota 5 foram inexistentes (Tabela 9, Figuras de 2 a 4).

Os resultados dos parâmetros heterose e epistasia mostraram que a herança da resistência em *C. chinense* é dominante quanto a reação de resistência, concordando com *C. baccatum*. Os resultados da análise genética indicaram que houve manifestação de dominância e de epistasia em todos os cruzamentos realizados, sendo essas negativamente significativas. O fato de esses parâmetros terem se apresentado significativos é extremamente valioso para o melhoramento em questão, pois mostra, no caso dos valores de heterose, que as gerações F_1 apresentaram menor severidade da doença do que a média da severidade dos progenitores. No caso dos valores de epistasia em F_2 , mostraram que a frequência de plantas F_2 suscetíveis observada foi menor que a esperada. Quando se pretende explorar o vigor híbrido esse fator é muito útil e vantajoso para o melhorista (Tabela 11).

A epistasia apresentada no retrocruzamento (Pimenta Índio x PI 152225) x PI 152225 confirmou os resultados obtidos na geração F_2 tendo também sido significativa.

O número de plantas com notas 1 e 2 aumentou em 2,9% no retrocruzamento e a média ponderada passou de 1,56 para 1,32.

A análise genética realizada para o germoplasma utilizado neste trabalho em questão, mostrou que os componentes que envolvem a variância genética nos cruzamentos foram aditivos, dominantes e epistáticos ($\sigma^2_g = \sigma^2_a + \sigma^2_d + \sigma^2_i$).

Apesar dos materiais utilizados neste germoplasma não permitirem a identificação do número de locos segregantes, devido à proximidade nas reações entre os progenitores resistentes e suscetíveis, não sendo contrastantes. Poderíamos afirmar que essa herança, assim como em *C. annuum* e *C. baccatum*, é de natureza poligênica sendo governada por mais de dois genes. Tal afirmação pode ser feita em função da ocorrência de tipos transgressivos apresentados na geração F₂. Para todos os cruzamentos avaliados, enquanto os progenitores resistentes apresentam reações dentro das notas 1 e 2 e suscetíveis entre as notas 2 e 3, os indivíduos da geração F₂ apresentam variações de até nota 4, ou seja, além das médias de seus progenitores, caracterizando uma herança poligênica (Tabela 9).

Os valores de herdabilidades e ganhos de seleção foram moderados, sendo de 35,5% e 1,7% para o cruzamento Pimenta Doce IH-1761 x Pimenta Cheiro 1, de 50,4% e 3,5% para Pimenta Índio x PI 152225 e de 49,0% e 2,7% para Pimenta Doce IH-1761 x PI 152225 (Tabela 10). Como não se realizou retrocruzamentos para ambos os progenitores, resistentes e suscetíveis, calculando-se a herdabilidade apenas no sentido amplo, pode-se inferir que estes valores estão superestimados. Os valores de herdabilidade fornecem importantes informações sobre a genética da resistência. Quanto maior for o valor de herdabilidade, menor será a possibilidade de interferências ambientais, facilitando o progresso seletivo para a resistência.

Os resultados observados em *C. chinense* são similares aos apresentados em *C. baccatum*. Poderia-se postular que a herança da resistência nessas espécies são semelhantes. Esse fato já era imaginado já que elas parecem ter mecanismos de resistência parecidos. Convém ressaltar que o número de acesos resistentes (notas 1 e 2) em *C. chinense* e *C. baccatum* é notadamente maior que em *C. annuum*. Infelizmente essas espécies têm limitações no uso de híbridos interespecíficos. Só existe a

possibilidade de usar *C. chinense* em cruzamentos interespecíficos com *C. annuum* desde que sejam identificadas combinações varietais compatíveis em ambas as espécies.

Tabela 9. Número de plantas em cada classe, de acordo com a escala de notas para resistência a *Leveillula taurica* em condições de casa de vegetação. *C. chinense*. 2003

Gerações ¹		R	MR	MS	S	AS
		Nota 1	Nota 2	Nota 3	Nota 4	Nota 5
Pimenta Cheiro 1	PR [•]	0	6	3	0	0
	PR ^{••}	30	25	0	0	0
	PR [•]	9	0	0	0	0
PI 152225	PR ^{••}	38	12	0	0	0
	PMS [•]	0	2	7	0	0
Pimenta Doce IH-1761	PMS ^{••}	0	24	31	0	0
	PMS [•]	0	3	6	0	0
Pimenta Índio	PMS ^{••}	0	22	38	0	0
	TS [•]	0	0	0	0	9
Magali R	TS ^{••}	0	0	0	0	40
	TS [•]	0	0	0	0	9
Margarita	TS ^{••}	0	0	0	0	40
	F ₁ [•]	0	5	4	0	0
Pim. Doce IH-1761 x Pimenta Cheiro 1	F ₁ ^{••}	13	37	0	0	0
	F ₂ ^{••}	298	203	19	2	0
	F ₁ [•]	0	9	0	0	0
Pimenta Índio x PI 152225	F ₁ ^{••}	15	40	0	0	0
	F ₂ ^{••}	277	227	31	5	0
	RC PR ^{••}	76	26	4	0	0
Pimenta Doce IH-1761 x PI 152225	F ₁ [•]	9	0	0	0	0
	F ₁ ^{••}	45	10	0	0	0
	F ₂ ^{••}	291	156	21	2	0

[•] Resultados obtidos em fevereiro de 2002 (primeira avaliação) – na obtenção da geração F₁.

^{••} Resultados obtidos em setembro de 2002 (segunda avaliação) - na obtenção da geração F₂.

1. PR – Progenitor resistente, PMS – progenitor moderadamente suscetível, RC PR – retrocruzamento, TS – Testemunha suscetível

Tabela 10. Estimativas de médias, variâncias e da herdabilidade (h^2) nas diferentes gerações de cinco cruzamentos e ganho de seleção esperado em F_3 (Gs). C. *chinense*. 2003

Gerações ¹		η	Médias	Variâncias	h^2 (%)	Gs (%)
Pimenta Cheiro 1	PR [•]	9	2,33	0,250		
	PR ^{••}	55	1,45	0,252		
	PR [•]	9	1,00	0,000		
PI 152225	PR ^{••}	50	1,24	0,186		
Pimenta Doce IH-1761	PMS [•]	9	2,78	0,194		
	PMS ^{••}	55	2,56	0,250		
	PMS [•]	9	2,67	0,250		
Pimenta Índio	PMS ^{••}	60	2,63	0,236		
	TS [•]	9	5,00	0,000		
Magali R	TS ^{••}	40	5,00	0,000		
	TS [•]	9	5,00	0,000		
Margarita	TS ^{••}	40	5,00	0,000		
	F ₁ [•]	9	2,44	0,278		
Pim. Doce IH-1761 x	F ₁ ^{••}	50	1,74	0,196		
Pim. Cheiro 1	F ₂ ^{••}	522	1,47	0,346	35,5	-1,70 [▲]
Pimenta Índio x PI 152225	F ₁ [•]	9	1,78	0,194		
	F ₁ ^{••}	55	1,73	0,202		
	F ₂ ^{••}	540	1,56	0,417		-3,53 [▲]
	RCPR ^{••}	106	1,32	0,296	50,4	
Pimenta Doce IH-1761 x PI 152225	F ₁ [•]	9	1,00	0,000		
	F ₁ ^{••}	55	1,18	0,151		
	F ₂ ^{••}	470	1,43	0,361	49,0	-2,73 [▲]

[•] Resultados obtidos em fevereiro de 2002 (primeira avaliação) – na obtenção da geração F_1 .

^{••} Resultados obtidos em setembro de 2002 (segunda avaliação) - na obtenção da geração F_2 .

[▲] Ganho de seleção superestimado, calculado em função de h^2 no sentido amplo.

1. PR – Progenitor resistente, PMS – progenitor moderadamente suscetível, RC PR – retrocruzamento, TS – Testemunha suscetível

Tabela 11. Estimativas dos valores da heterose (H e H%) e de efeitos da epistasia (C) com significância pelo teste t. *C. chinense*. 2003

Cruzamentos		Estimativas de		
		H	H%	C
Pim. Doce IH-1761 x Pim. Cheiro 1	F ₁ •	-0,11ns	-4,3	
	F ₁ ••	-0,26***	-13,0	
	F ₂ ••			-0,40***
Pimenta Índio x PI 152225	F ₁ •	-0,05ns	-2,7	
	F ₁ ••	-0,20***	-10,4	
	F ₂ ••			-0,27***
	RCPR••			-0,16*
Pimenta Doce IH-1761 x PI 152225	F ₁ •	-0,89***	-47,1	
	F ₁ ••	-0,72***	-37,9	
	F ₂ ••			-0,11*

* Significância com base no teste t a 5% de probabilidade; ** 1% de probabilidade; *** 0,1% de probabilidade; + entre 5% e 10% de probabilidade; ns- não significativo.

• Resultados obtidos em fevereiro de 2002 (primeira avaliação) – na obtenção da geração F₁.

•• Resultados obtidos em setembro de 2002 (segunda avaliação) - na obtenção da geração F₂.

Figura 2 - Histograma de distribuição de frequência do número de plantas em cada classe de notas nas gerações P_R , P_{MS} , F_1 , F_2 para o cruzamento Pim. Doce IH-1761 x Pim. Cheiro 1. *C. chinense*. 2003

Figura 3 - Histograma de distribuição de frequência do número de plantas em cada classe de notas nas gerações P_R , P_{MS} , F_1 , F_2 para o cruzamento Pimenta Índio x PI 152225. *C. chinense*. 2003

Figura 4 - Histograma de distribuição de frequência do número de plantas em cada classe de notas nas gerações P_R , P_{MS} , F_1 , F_2 para o cruzamento Pimenta Doce IH-1761 x PI 152225. *C. chinense*. 2003

5.3.2.2 Reação de híbridos de pimenta resistentes ao oídio em *C. chinense*

A principal característica observada nesta espécie e também em *C. baccatum* foi a reação de hipersensibilidade através de defoliação, já mencionada no item 5.3.2.1. Este mecanismo observado em todos os progenitores e gerações seguintes ocorre em condições de alta pressão de inóculo adjacente e representa o tipo de mecanismo de resistência expressado para essa espécie na presença do patógeno. Acredita-se que este mecanismo seja fisiológico e associado a produção de etileno induzida pela presença do patógeno. Este tipo de mecanismo se comparado ao da fonte HV-12 de *C. annuum* é bem distinto, pois este na presença de fontes de oídio não permite sua penetração e apresenta grande retenção foliar. As fontes de resistência encontradas na espécie *C. chinense* demonstram ter uma herança do tipo horizontal onde a forte restrição e redução da esporulação, o pequeno número de lesões e o longo período de latência foram sintomas marcantes e que caracterizam esse tipo de resistência.

Os progenitores, gerações F_1 e F_2 mantiveram suas reações apenas com pequenas variações nos valores, nas duas avaliações (Tabelas 12 e 13). Essas pequenas variações são normais e de natureza ambiental caracterizadas pelas avaliações em anos diferentes. A característica primordial para se dar início a um programa de melhoramento de resistência ao oídio é identificar e distinguir as reações de cada acesso ou híbrido de maneira adequada: resistentes variando entre notas 1 e 2, moderadamente suscetível com nota 3 e suscetível, notas 4 e 5. Um outro fator de fundamental importância quando se pratica seleção visando resistência, é a pressão de inóculo utilizada nos experimentos, devendo ser igual, na mesma proporção em todas as etapas do programa de melhoramento.

As gerações F_2 derivadas tanto de cruzamentos entre progenitores resistentes versus suscetíveis quanto de resistentes versus resistentes resultaram na ocorrência de indivíduos transgressivos em relação aos progenitores. No caso dos cruzamentos entre progenitores resistentes, enquanto os progenitores se classificaram entre as notas 1 e 2, a geração F_2 apresentou plantas com notas de 1 a 5 (Tabela 12, Figuras 5 à 7)).

Quando se cruzou dois progenitores resistentes, observou-se nos três cruzamentos que tanto a média da geração F_1 , como da F_2 foram relativamente superiores a médias de

seus respectivos progenitores. Quando essas médias foram comparadas pelo teste t, verificou-se que elas não têm diferenças significativas, mostrando que essas diferenças são de natureza ambiental e não genética, indicando que a herança não é tão complexa e que há certa relação alélica entre os progenitores. Para o cruzamento Habanera x Pimenta Cheiro Laranja, a média da geração F_1 foi de 1,55 e a média dos pais de 1,43, sem diferenças; a média da geração F_2 observada foi de 1,60 e a esperada seria de 1,49, também em diferenças estatísticas. O mesmo ocorreu para o cruzamento Habanera x PI 152225, onde média do híbrido foi 1,38 enquanto a dos progenitores foi de 1,28, na geração F_2 observada em estufa a média foi de 1,43, enquanto a esperada seria de 1,33. Para o cruzamento Santarem #50 x PI 152225 apesar das diferenças numéricas nas médias, estas não diferiram estatisticamente, sendo a média da geração F_1 foi 1,33 e a dos progenitores 1,22, em F_2 a média observada foi de 1,32 e a esperada seria de 1,27, (Tabela 13).

Essa semelhança estatística entre as médias, mostrou que não houve manifestação de heterose e nem de efeitos epistáticos significativos nas gerações dos cruzamentos. Portanto com base nos sintomas de reação de resistência apresentados pelos progenitores como reação de hipersensibilidade com defoliação e ausência e manifestação de heterose e epistasia apresentadas para os cruzamentos, pode-se concluir que os sistemas genéticos dos progenitores em questão são semelhantes.

Esses resultados indicam que seria interessante se desenvolver o primeiro híbrido de pimenta *C. chinense* resistente ao oídio, o que seria inédito mercado de pimentas. Como os dois progenitores seriam resistentes para oídio poderíamos com o híbrido estar agregando vigor em produtividade, homeostase, precocidade e combinar características de frutos e qualidade. A seleção para características desejáveis nos progenitores, como tipos de frutos, cores, seria muito importante visando obtenção de combinações para a demanda do segmento de pimentas.

A espécie *Capsicum chinense* é uma pimenta tropicalizada, adaptada as regiões Norte, Nordeste e regiões do Caribe. O uso de híbridos resistentes ao oídio poderia ser uma alternativa para o cultivo intensivo em estufas de plástico ou telado, ambientes favoráveis quanto à ocorrência de oídio.

Tabela 12. Número de plantas em cada classe, de acordo com a escala de notas para resistência a *Leveillula taurica* em condições de casa de vegetação. *C. chinense*. 2003

Gerações ¹		R	MR	MS	S	AS
		Nota 1	Nota 2	Nota 3	Nota 4	Nota 5
Habanera	PR [•]	9	0	0	0	0
	PR ^{••}	30	15	0	0	0
	PR [•]	0	9	0	0	0
Pimenta Cheiro Laranja	PR ^{••}	23	27	0	0	0
	PR [•]	9	0	0	0	0
	PR ^{••}	38	12	0	0	0
PI 152225	PR [•]	5	4	0	0	0
	PR ^{••}	36	9	0	0	0
	TS [•]	0	0	0	0	9
Magali R	TS ^{••}	0	0	0	0	40
	TS [•]	0	0	0	0	9
	TS ^{••}	0	0	0	0	40
Margarita	F ₁ [•]	3	6	0	0	0
	F ₁ ^{••}	9	11	0	0	0
	F ₂ ^{••}	277	193	50	5	2
Habanera x Pimenta Cheiro Laranja	F ₁ [•]	9	0	0	0	0
	F ₁ ^{••}	31	19	0	0	0
	F ₂ ^{••}	346	145	29	7	0
Habanera x PI 152225	F ₁ [•]	9	0	0	0	0
	F ₁ ^{••}	20	10	0	0	0
	F ₂ ^{••}	289	78	9	4	4

[•]Resultados obtidos em fevereiro de 2002 (primeira avaliação) – na obtenção da geração F₁.

^{••}Resultados obtidos em setembro de 2002 (segunda avaliação) - na obtenção da geração F₂.

1. PR – Progenitor resistente, TS – Testemunha suscetível

Tabela 13. Número total de plantas (n), estimativas de médias, variâncias, valores da heterose (H e H%) e epistasia (C) com significância pelo teste t. *C. chinense*, 2003

Gerações		n	Médias	Variâncias	H	H%	C
Habanera	PR [•]	9	1,00	0,000			
	PR ^{••}	45	1,33	0,227			
Pimenta Cheiro Laranja	PR [•]	9	2,00	0,000			
	PR ^{••}	50	1,54	0,253			
PI 152225	PR [•]	9	1,00	0,000			
	PR ^{••}	50	1,24	0,186			
Santarem #50	PR [•]	9	1,33	0,250			
	PR ^{••}	45	1,20	0,164			
Magali R	TS [•]	9	5,00	0,000			
	TS ^{••}	40	5,00	0,000			
Margarita	TS [•]	9	5,00	0,000			
	TS ^{••}	40	5,00	0,000			
Habanera x Pimenta Cheiro Laranja	F ₁ [•]	9	1,67	0,250	0,17ns	11,3	
	F ₁ ^{••}	20	1,55	0,353	0,12ns	8,4	
	F ₂ ^{••}	527	1,60	0,533			0,11ns
Habanera x PI 152225	F ₁ [•]	9	1,00	0,000	0,00ns	0,0	
	F ₁ ^{••}	50	1,38	0,240	0,10ns	7,8	
	F ₂ ^{••}	527	1,43	0,435			0,10ns
Santarem #50 x PI 152225	F ₁ [•]	9	1,00	0,000	-0,16ns	-13,8	
	F ₁ ^{••}	30	1,33	0,230	0,11ns	9,0	
	F ₂ ^{••}	384	1,32	0,454			0,05ns

* Significância com base no teste t a 5% de probabilidade; ns- não significativo.

• Resultados obtidos em fevereiro de 2002 (primeira avaliação) – na obtenção da geração F₁.

•• Resultados obtidos em setembro de 2002 (segunda avaliação) - na obtenção da geração F₂.

1. PR – Progenitor resistente, TS – Testemunha suscetível

Figura 5 - Histograma de distribuição de frequência do número de plantas em cada classe de notas nas gerações P_R , P_R , F_1 , F_2 para o cruzamento Habanera x Pimenta Cheiro Laranja. *C. chinense*. 2003

Figura 6 - Histograma de distribuição de frequência do número de plantas em cada classe de notas nas gerações P_R , P_R , F_1 , F_2 para o cruzamento Habanera x PI 152225 *C. chinense*. 2003

Figura 7 - Histograma de distribuição de frequência do número de plantas em cada classe de notas nas gerações P_R , P_R , F_1 , F_2 para o cruzamento Santarem #50 x PI 152225. *C. chinense*. 2003

5.4 Conclusões

- Dentre os acessos triados, 85% foram resistentes ao oídio. Apenas os acessos Pimenta Índio, Pimenta Doce IH-1761 e Pimenta Doce IH-1763 apresentaram-se como moderadamente suscetíveis.
- Uma intensa defoliação, como resultado de uma reação de hipersensibilidade ao fungo foi característica marcante na expressão de resistência tanto dos progenitores quanto das suas gerações.
- Os resultados da análise genética indicaram que houve manifestação de dominância e de epistasia na expressão da resistência, em todos os cruzamentos realizados. Constatou-se envolvimento de variâncias aditivas, dominantes e epistáticas.
- A presença de indivíduos transgressivos na geração F_2 indicou uma herança poligênica.
- Os valores de herdabilidades e ganhos de seleção foram moderados, numa amplitude de 35,5% à 50,4% e de 1,70% à 3,53% respectivamente.
- As reações apresentadas pelas gerações obtidas nos cruzamentos entre progenitores resistentes e a análise genética mostraram que os genótipos desses progenitores têm o mesmo sistema genético que controla a resistência, não indicando diferenças alélicas.

6 CONCLUSÕES GERAIS

- A porcentagem de acessos resistentes identificada nas espécies *C. baccatum* e *C. chinense* foi contrastante a de *C. annuum*. Em *C. annuum* esta proporção foi de apenas 5% enquanto em *C. baccatum* foi de 84% e em *C. chinense* de 85%.
- A fonte HV-12 teve um tipo de mecanismo de resistência diferenciado. Apresentou uma forte resistência a penetração do patógeno e uma alta retenção foliar, enquanto as demais fontes de *C. annuum*, *C. baccatum* e *C. chinense* mostraram uma de reação de hipersensibilidade ao patógeno com conseqüente defoliação.
- A herança da resistência ao oídio em *Capsicum* mostrou ser poligênica. Em *Capsicum annuum* pelo menos quatro pares de genes governam a herança, enquanto em *C. baccatum* de dois a seis pares de genes segregantes mostraram-se envolvidos e em *C. chinense* a segregação em F₂ com indivíduos transgressivos indicam que a herança também é poligênica.
- A ação gênica envolvida para a maioria dos cruzamentos de *C. annuum*, *C. baccatum* e *C. chinense* envolveram as variâncias aditivas, dominantes e epistáticas. A diferença foi que em *C. annuum* estas estimativas caracterizaram uma herança recessiva e em *C. baccatum* e *C. chinense* dominante.
- Os valores de herdabilidade foram altos indicando boas perspectivas no progresso de seleção para todas as espécies de *Capsicum*. Em *Capsicum annuum* o progresso observado na geração F₃ confirmou a eficiência seletiva para resistência ao oídio.
- Os sistemas genéticos dos progenitores resistentes em *Capsicum annuum* possuem diferentes mecanismos genéticos e expressões de resistência. Enquanto em *C. baccatum* e *C. chinense* os mecanismos de resistência mostraram serem similares, havendo alelismo entre as fontes.

ANEXOS

Anexo A. Resumo da análise de variância da reação dos acessos da coleção de *Capsicum* ao oídio (*Leveillula taurica*).

Fontes de Variação	G.L.			Quadrados Médios		
	<i>C. annuum</i>	<i>C. chinense</i>	<i>C. baccatum</i>	<i>C. annuum</i>	<i>C. chinense</i>	<i>C. baccatum</i>
Blocos	3	3	3	0,0057 ^{NS}	0,0192 ^{NS}	0,0125 ^{NS}
Acessos	22	20	35	0,2811**	0,1232**	0,2975**
Erro	66	60	105	0,0985	0,0853	0,0866
CV%				9,91	12,07	11,83

(NS) Não significativo, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F.

(**) Significativo, ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F.

Anexo B. Escala de notas de 1 à 5 de acordo com os níveis de severidade ao oídio.

Anexo C. Segregação para tipos de frutos na geração F_2 .

Anexo D. Reações ao oídio: a esquerda Magali R (altamente suscetível), no centro HV-12 (resistente) e a direita Chilli (resistente com manchas cloróticas – “fleck”).

Anexo E. Sintoma de oídio em *Capsicum chinense*.

Anexo F. Desfolha em *Capsicum chinense*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, A.E.; ELJACK, A.E.; SULIMAN, M.E.; MOHAMED, Y.F. Evaluation of hot peppers (*Capsicum annuum* L.) local gerplasm for powdery mildew (*Leveillula taurica* (lev.) arn.) resistance in the Sudan. (Compact disc). **Sudan Journal of Agricultural Research**, v.1, n.1, p.53-55, 1998.
- AMORIM, L. Colonização e reprodução. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H; AMORIN, L. (Ed). **Manual de Fitopatologia, princípios e conceitos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. p. 316-319.
- ANAND, N.; DESPHANDE, A.A.; SRIDHART, T.S. Resistance to powdery mildew in a accession of *Capsicum frutescens* and its inheritance pattern. **Capsicum and Eggplant Newsletter**, v.6, p.77-78, 1987.
- BECHIR, A.M. Evaluation of pepper genotypes to *Leveillula taurica* Lev. (Arn.) resistance in Tunisia. **Capsicum and Eggplant Newsletter**, v.12, p.81-82, 1993.
- BERGAMIN FILHO, A., KIMATI, H., AMORIM L. **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 3 ed. São Paulo: Ceres, v.1, 1995. 919p.
- BERTÃO, M.R. Evolução Cariotípica no gênero *Capsicum* (Solanaceae). Piracicaba, 1993. 148p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- BIDARI, V.B.; BHAT, B.N.; HEDGE, R.K. Reaction of different genotypes of chilli against *Leveillula taurica* (Lev.) Arn. **Indian Journal of Agricultural Science**, v.55, n.9, p.557-559, 1985.
- BLANCARD, D.; ROUXEL, F.; LAFON, R. **Endermidades de las hortalizas**. Madrid: Ed. Mundi-Prensa, 1995. 576p.

- BLAT, S.F.; COSTA, C.P.; SALA, F.C. Reação de pimentão e pimenteiras à *Leveillula taurica*. **Horticultura Brasileira**, v.20, n.2, p.346, 2002. Suplemento 1.
- BLAZQUEZ, C.H. A powdery mildew of chilli caused by *Oidiopsis* sp. **Phytopathology**, v.66, p.1155-1157, 1976.
- BOITEUX, L.S.; CUPERTINO, F.P.; SILVA, C.; DUSI, A.N.; MONTE-NESHICH, D.C. Resistance to potato vírus Y (pathotype 1-2) in *Capsicum annuum* and *Capsicum chinense* is controlled by two independent major genes. **Euphytica**, v.87, p.53-58, 1996.
- BRAUN, U. **The genus *Leveillula taurica* – A preliminary study.** *Nova Hedwigia*, v.32, p.565-583. 1980.
- BURTON, G.M. Quantitative inheritance in pearl millet (*Penisetum glaucum*). **Agronomy Journal**, v.43, p.409-417, 1951.
- CAFÉ FILHO, A.C.; COELHO, M.V.S.; SOUZA, V.L. Oídios em hortaliças. In: STADINIK, M.J., RIVERA, M.C (Ed.). **Oídios**. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, p. 285-302, 2001.
- CARVER, T.L.W.; ZEYEN, R.J.; LYNGKJAER, M.F. Plant cell defences to powdery mildew of Graminae. **Aspects of Applied Biology**, v.42, p. 257-266, 1995.
- CERKAUSKAS, R.F. First report of powdery mildew of greenhouse pepper caused by *Leveillula taurica* in British Columbia, Canada. **Plant Disease**, v.87, p.1151, 2003.
- CERKAUSKAS, R.F.; BROWN, J.; FERGUSON, G.; KHOSLA, S. First report of powdery mildew of greenhouse pepper caused by *Leveillula taurica* in Canada. **Plant Disease**, v.83, n.8, p.781, 1999.
- CHANDER, M.S. Biochemical properties associated with resistance to powdery mildew in chillies. **Plant Disease Research**, v.9, n.1, p.103-104, 1994.
- CNPH, Projeto *Capsicum*. Embrapa Hortaliças. <http://www.cnph.embrapa.br/projetos/capsicum/index.html>, 2001.
- CORRELL, J.C.; GORDON, T.R.; ELLIOTT, V.J. Host range, specificity, and biomatrerial measurements of *Leveillula taurica* in California. **Plant Disease**, v.71, n.3, p.248-251, 1987.
- COSTA, C.P. **Melhoramento de Hortaliças**. Piracicaba: Fealq, 1977. 319p. (Apostila).

- CUARTERO, J.S. Breeding new tomato cultivars for protected cultivation in winter climates. In: COCKSHULL, K.E.; TUZEL, Y.; GUL, A. **Acta Horticulturae**, n.366, p.209-220,1999. /Second symposium on protected cultivation of solanaceae in mild winter climates. Netherlands/.
- DAMICONE, J.P.; SUTHERLAND, A.J. First report of pepper powdery mildew caused by *Leveillula taurica* in Oklahoma. **Plant Disease**, v.83, p. 1072, 1999.
- DAUBEZE, A.M.; HENNART, J.W., PALLOIX, A. Resistance to taurica in pepper (*Capsicum annuum*) is ologogenically controled and stable in Mediterranean regions. (Compact disc). **Plant Breeding**, v.114, v.4, p.327-332, 1995.
- DAUBEZE,A.M.; POCHARD, E.; PALLOIX. Inheritance of resistance to *Leveillula taurica* and relation to other phenotypic characters in the haplodiploid progeny issued from na African pepper line. (Compact disc) **Eucarpia VIIth meeting on genetics and breeding on capsicum and eggplant**, 27-30, p.229-32, 1989.
- ECHER, M.de M. Reação de pimentão (*Capsicum annuum* L.) a *Phytophthora capsici* e Potato Vírus Y (PVY^m). Piracicaba, 2001. 62p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- FAO. FAOSTAT – Database Results. URL: <http://apps.fao.org/Lim500/nph-?Production.crops.Primary&Domain=Sua>. Fao Org (abr. 1999).
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 13. ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 467p.
- KUABARA, M.Y. Reação de abobrinha (*Cucurbita moschata* Duchesne) ao vírus do mosaico da melancia raça-1 (WMV-1). Piracicaba, 1984. 69p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- LIMA, M.L.P Resistência genética e aspectos epidemiológicos, fisiológicos e anatômicos da infecção de *Oidiopsis taurica* em *Capsicum* spp. Brasília, 2002. 130p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências, Universidade de Brasília.
- MATHER, K.; JINKS, J.L. **Biometrical genetics**. 3. ed. Greath Britain: Butler & Tanner, 1981. 382p.

- MATHER, K.; JINKS, J.L. **Introdução à genética biométrica**. São Paulo, Sociedade Brasileira de genética, 1984. 242p.
- MC LEOD, M.J.; GUTTMAN, S.I.; ESHBAUGH, W.H. Early evolution of chille peppers (*Capsicum*). **Economic Botany**, v.36, n.4, p.361-368, 1982
- MOLOT, P.M., LECOQ, H. Les Oïdiums des Cucurbitacées. Données bibliographiques. Travaux préliminaires. **Agronomie**, v. 6, p. 355-362, 1986.
- MOLOT, P.M.; LEROUX, J.P.; DIOP-BRUCKLER, M. *Leveillula taurica* (Lev.) Arn: Culture axénique, biologie et spécificité parasitaire. **Agronomie**, v.10, p. 551-559, 1990.
- MULGE, R.; ANAND, N. Identification of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) lines to develop F₁ hybrids resistant to powdery mildew. **The Indian Journal of Genetics & Plant Breeding**, v. 57, n.2, p.193-199, 1997.
- MUNEEM, K.C.; VERMA, S.K.; PANT, K.C. Performance of some chillies against leaf spot, powdery mildew and fruit rot in Kumaon Hills. **Indian Phytopathology**, v.48, n.2, p.206, 1995.
- MURTHY, H.M.K.; DESHPANDE, A.A. Studies on genetics of powdery mildew (*Leveillula taurica* (Lév.) Arn.) resistance in chilli (*Capsicum annuum* L.). **Vegetable Science**, v.24, n.2, p. 127-131, 1997.
- NAGAI, H. Melhoramento de pimentão (*Capsicum annuum* L.) visando resistência ao vírus Y. **Horticultura Brasileira**, v.1, n.2, p.3-9, 1983.
- NOUR, M.A. Studies on *Leveillula taurica* (Lév.) Arn. and other powdery mildews. **Transactions of the British Mycological Society**. V.41, p.17-38, 1958.
- NUEZ, F.; ORTEGA, R.G.; COSTA, J. **El cultivo de pimientos, chiles y ajies**. Madrid: Mundi-Prensa, 1996. 607p.
- PALLOIX, A. Disease of pepper and perspectives for genetic control. In: EUCARPIA MEETING ON GENETICS AND BREEDING ON CAPSICUM AND EGGPLANT, 8., **Meeting** Rome, 1992. p. 120-126.
- PALTI, J. The *Leveillula* mildews. **Botanical Review**, v.54, p.423-535, 1988.
- REIFSCHNEIDER, F.J.B. **Capsicum: Pimentas e pimentões no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2000. 113p.

- REIFSCHNEIDER, F.J.B.; RIBEIRO, C.S.C.; LOPES, C.A. Pepper production and breeding in Brazil, and a Word on eggplants. **Capsicum and Eggplant Newsletter**, v.17, p.13-18, 1998.
- REUVENI, R., ROTEM, J. Epidemics of *Leveillula taurica* on tomatoes and peppers as affected by conditions of humidity. **Phytopathologische Zeitschrift.**, v.76, p.153-157, 1973.
- REUVENI, R.; PERL, M. Peroxidase isoenzyme specificity in abscission zone fragments of pepper leaves affected by powdery mildew or stress condition. **Phytopathologische Zeitschrift**, v.96, p.208-214, 1979.
- REUVENI, R.; PERL, M.; ROTEM, J. The effect of *Leveillula taurica* on leaf abscission in peppers. **Phytopathologische Zeitschrift**, v.80, p.79-84, 1974.
- REUVENI, R.; PERL, M.; ROTEM, J. Inhibition of shedding of pepper leaves infected with powdery mildew (*Leveillula taurica*) by application of auxins. **Phytoparasitica**, v.4, p. 197-199, 1976.
- RUSSELL, G.E. **Characterisation of adult-plant resistance to yellow rust in wheat.** In EUROPEAN AND MEDITERRANEAN CEREAL RUSTS CONFERENCE, 4., Proceedings Switzerland, 1976. p.21.
- SEQUEIRA, L.; STEEVES, T.A. Auxin inactivation and its relation to leaf drop caused by the fungus *Omphalia flavida*. **Plant Physiology**, v.29, p.11-16. 1954.
- SHIFRISS, C.; PILOWSKY, M.; ZACKS, J.M. Resistance to *Leveillula taurica* mildew (= *Oidiopsis taurica*) in *Capsicum annuum*. **Phytoparasitica**, v.20, n.4, p.279-283, 1992.
- SINAGAGLIA, C.; COUTINHO, L.N.; CARVALHO, J.R.FIGUEIREDO, M.B. Primeira constatação do mildeo pulverulento do pimentão (*Capsicum annuum*) causado por *Leveillula taurica* (Erysiphaceae), um fungo pouco estudado no Brasil. **Arquivos do Instituto de Biologia**, v.62, p.57, 1995. (Suplemento).
- SMITH, R.; KOIKE, S.T.; DAVIS, M.; SUBBARAO, K.; LAEMMLEN, F. Several fungicides control powdery mildew in peppers. **California Agriculture**, v.53, n.6, p.40-43, 1999.

- SOUZA, V.L. Epidemiologia e controle de oídio *Oidiopsis taurica* (Lév.) Salmon em genótipos de *Capsicum*. Brasília, 2000. 117p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília.
- SOUZA, V.L.; CAFÉ FILHO, A.C. Efeito do estágio fenológico e da pressão de inóculo na reação de genótipos de *Capsicum* a *Oidiopsis taurica*, **Fitopatologia Brasileira**, v.25, p.404, 2000. (resumo).
- SOUZA, V.L.; CAFÉ-FILHO, A.C. Resistance to *Leveillula taurica* in genus *Capsicum*. **Plant Pathology**, v.52, p.613-619, 2003.
- STADNIK, M.J.; RIVERA, M.C. **Oídios**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 2001. 484p.
- SULINAM, M.E., BARDIN, M., DAUBÉZE, A.M., MOHAMED, Y.F., NICOT, P. Aggressiveness of *Leveillula taurica* on pepper. **Capsicum and Eggplant Newsletter**, v.18, p.83-86, 1999.
- ULLASA, B.A.; RAWAL, R.D.; SOHI, H.S.; SINGH, D.P. Reaction of sweet pepper genotypes to Anthracnose, Cercospora leaf spot, and Powdery Mildew. **Plant Disease**, v.65, n.7, p.600-601, 1981.
- VAN DER PLANK, J.C. **Plant Diseases: epidemics and control**. London: Academic Press, 1963. 349p.
- VAN DER PLANK, J.E. **Disease resistance in plants**. New York: Academic Press, 1968. 206p.
- VELÁSQUEZ, V.; VALLE G. First report of powdery mildew of pepper in North-Central Mexico. **Plant Disease**, v.83, n. 3, p.302, 1999.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Revista Brasileira de Genética, 1992. 496p.
- WIESE, M.V.; DEVAY, J.E. Growth regulator changes in cotton associated with defoliation caused by *Verticillium albo-atrum*. **Plant Physiology**, v.45, p.304-309, 1970.
- WILLIAMSON, C.E. Ethylene, a metabolic product of diseased or injured plants. **Phytopathology**, v.40, p.205-208, 1950.

- ZEYEN, R.J.; BUSHNELL, W.R.; CARVER, T.L.W.; ROBBINS, M.P.; CLARK, T.A.; BOYLES, D.A.; VANCE, C.P. Inhibiting phenylalanine ammonia lyase and cinnamyl alcohol dehydrogenase suppresses *Mla1* (HR) but not *mlo5* barley powdery mildew resistances. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v.47, p.119-140, 1995.
- ZEWDIE, Y. International hot pepper trial network (Inthope) at Nazareth, Ethiopia. **Capsicum and Eggplant Newsletter**, v.13, p.40-43, 1994.