



**DANILO GUSTAVO NOGUEIRA**

**CAPACIDADE COMBINATÓRIA E HETEROSE  
EM HÍBRIDOS DE PIMENTÃO COM  
RESISTÊNCIA MÚLTIPLA A DOENÇAS**

**LAVRAS – MG**

**2014**

**DANILO GUSTAVO NOGUEIRA**

**CAPACIDADE COMBINATÓRIA E HETEROSE EM HÍBRIDOS DE  
PIMENTÃO COM RESISTÊNCIA MÚLTIPLA A DOENÇAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Wilson Roberto Maluf

**LAVRAS - MG**

**2014**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e  
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Nogueira, Danilo Gustavo.

Capacidade combinatória e heterose em híbridos de pimentão  
com resistência múltipla a doenças / Danilo Gustavo Nogueira. –  
Lavras : UFLA, 2014.

81 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Wilson Roberto Maluf.

Bibliografia.

1. Nematóide. 2. Potyvirus. 3. Phytophthora capsici. 4.  
Resistência genética. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 635.6433

**DANILO GUSTAVO NOGUEIRA**

**CAPACIDADE COMBINATÓRIA E HETEROSE EM HÍBRIDOS DE  
PIMENTÃO COM RESISTÊNCIA MÚLTIPLA A DOENÇAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 19 de fevereiro de 2014.

Dr. Luiz Antônio Augusto Gomes	UFLA
Dra. Luciane Vilela Resende	UFLA
Dra. Mariney de Menezes	UFLA
Dr. Sebastião Márcio de Azevedo	SAKATA

Dr. Wilson Roberto Maluf  
Orientador

**LAVRAS – MG**  
**2014**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por abençoar os meus caminhos.

Aos meus pais, Eliana e Maurício, que me dão forças para continuar lutando pelos meus objetivos de vida.

Aos meus queridos irmãos, Douglas e Artur Miguel, e aos meus familiares.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), em especial aos Departamentos de Biologia, Fitopatologia e Fitotecnia.

Ao professor Wilson Roberto Maluf, pela confiança, orientação e amizade durante toda a vida acadêmica.

Aos professores da área de Genética e Melhoramento de Plantas, pela amizade e ensinamentos transmitidos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à empresa HortiAgro Sementes S.A.

Aos técnicos Paulo Moretto e Vicente Licursi, pelo apoio e grande amizade.

Aos funcionários da HortiAgro S.A, pela grande ajuda.

Aos amigos do Núcleo de Estudo em Genética (GEN), em especial, os amigos Ranoel, Lidiane, Izabel, Monik, Carol, Davi, Igor e Fernando.

Aos colegas de orientação: Celso, Régis, César, Gabriel, Álvaro, Marcela, Aline, Alex, Eva, André, Thiago, Gabriela e Luis Felipe.

À querida Nair.

Aos meus queridos afilhados, Isadora e Pedro Henrique.

Aos bons e velhos amigos, Maia, Aline, Valéria, Tio Luiz, Vera, Márcio, Júlio, Neide, Camila, Lúcia, Marcelo, Velma, Edirlei, Flávia, Luciana, Rodrigo, Léo e Ana, pelos momentos de descontração.

Aos amigos do Futebol.

Enfim, a todos que contribuíram, de certa forma, para esta conquista.

**Muito Obrigado!!!**

## RESUMO

O pimentão é a terceira solanácea mais cultivada, ocupando uma área de cerca de 12.000 hectares com produção de, aproximadamente, 350 mil toneladas. A produção nacional concentra-se nos estados de São Paulo e Minas Gerais. Nos últimos anos, tem sido observado um aumento significativo na produtividade, principalmente após a utilização de cultivares híbridas e a intensificação do uso de estufas. Um dos principais problemas do cultivo do pimentão no Brasil é a ocorrência de doenças, destacando-se a requeima, as viroses e os nematoides. O presente trabalho foi realizado com os objetivos de: (i) inferir sobre a capacidade combinatória de linhagens de pimentão resistentes a um ou mais patógenos (*Pepper yellow mosaic virus*, *Phytophthora capsici* e *Meloidogyne incognita*); (ii) estimar a heterose e suas componentes em híbridos entre estas linhagens e (iii) desenvolver híbridos de pimentão com resistência múltipla a doenças e identificar os que venham a ser competitivos com as testemunhas comerciais. Os trabalhos foram realizados em casa de vegetação na área experimental da empresa HortiAgro Sementes S.A. Foram utilizadas dez linhagens e trinta híbridos experimentais; vinte desses híbridos foram obtidos a partir do cruzamento de dois grupos de genitores (grupo I - genitores femininos: 1=PIX-044B-01-01, 2=PIX-044B-13-01, 3=PIX-045B-27-02, 4=PIX-045B-32-03 e 5=PIX-052B-06-01; grupo II - genitores masculinos: 1'=Carolina Wonder, 2'=Charleston Belle, 3'=MYR-29-09-05 e 4'=MYR-29-11-08) e dez foram híbridos experimentais adicionais. Foram ainda utilizados seis híbridos comerciais como testemunhas (Konan-R, Magali-R, Martha-R, Stephany, Mallorca, Magnata Super), além do acesso (Criollo de Morellos-334). Foram conduzidos dois grupos de experimentos: no primeiro (em que foram testados os 30 híbridos experimentais e 6 híbridos comerciais) avaliaram-se as características agrônômicas, enquanto um segundo conjunto consistiu de 3 experimentos independentes, cada um deles destinado a avaliar as reações a um dos três patógenos (PepYMV, *P. capsici*, *M. incognita*). As heteroses e suas componentes foram avaliadas para os caracteres percentagem de plantas assintomáticas a PepYMV e a *P. capsici*, índice de reprodução (IR) e fator de reprodução (FR) de *M. incognita*. Para capacidade combinatória avaliaram-se os seguintes caracteres: produção total de frutos, massa média de fruto total, produção precoce de frutos, espessura do pericarpo, profundidade de inserção do pedúnculo floral e relação comprimento/diâmetro. Os efeitos gênicos aditivos foram importantes para todos os caracteres avaliados e, para percentagem de plantas resistentes a PepYMV e *Phytophthora capsici*, os não aditivos foram também de importância. Quanto à capacidade geral de combinação destacaram-se as linhagens 2= PIX-044B-13-01, 1'= Carolina Wonder, 2'= Charleston Belle, e 3'= MYR-29-09-05 para os caracteres da produção (total e precoce) de frutos. Entre os híbridos experimentais destacaram-se os híbridos 2x1' =

F<sub>1</sub>(PIX-044B-13-01 x Carolina Wonder), 2'x3' = F<sub>1</sub>(Charleston Belle x MYR-29-09-05), 4x1' = F<sub>1</sub>(PIX-045B-32-03 x Carolina Wonder) e 5'x3' = F<sub>1</sub>(PIM-013 x MYR-29-09-05), que têm resistência múltipla a doenças e apresentaram desempenho agrônômico médio superior ou equivalente ao das testemunhas.

Palavras-chave: Nematóide. Potyvirus. *Phytophthora capsici*. Resistência genética.

## ABSTRACT

Sweet pepper ranks third among the most cultivated solanaceous vegetables, and occupies in Brazil an area of ca. 12000 ha with a total yearly production of 350 thousand metric tonnes. In the past few years there has been a significant increase in pepper yields, especially after the more widespread use of hybrid cultivars and of protected cultivation. One major problem of the sweet pepper crops is the incidence of diseases, especially the *Phytophthora capsici* blight, viral diseases and root knot nematodes. The continuous search for new hybrids with multiple disease resistance is thus a major research priority. The objectives of the present work were therefore: (i) to estimate the combining ability of sweet pepper lines with resistance to one or more pathogens (*Pepper yellow mosaic virus*, *Phytophthora capsici*, *Meloidogyne incognita*); (ii) to estimate heterosis and its components in hybrids between these lines; (iii) to develop multiple-disease resistant hybrids and to identify those that are competitive with current commercial hybrid checks. The experiments were carried out in plastic houses at the experimental farm of HortiAgro Sementes S.A. Ten sweet pepper breeding lines and thirty experimental hybrids were used in the study; 20 of these hybrids were obtained by crossing two groups of parental lines (group I= seed parents 1=PIX-044B-01-01, 2=PIX-044B-13-01, 3=PIX-045B-27-02, 4=PIX-045B-32-03 and 5=PIX-052B-06-01; group II – pollen parents: 1'=Carolina Wonder, 2'=Charleston Belle, 3'=MYR-29-09-05 and 4'=MYR-29-11-08), and 10 were additional experimental hybrids. In addition, six commercial hybrids (Konan-R, Magali-R, Martha-R, Stephany, Mallorca, Magnata Super) and the accession Criollo de Morellos-334 were used as checks. Two sets of experiments were carried out: one (which included the 30 experimental hybrids and the 6 hybrid checks) evaluated agronomic traits, and the second set was comprised of three different trials for evaluation the reaction to each of the three pathogens (PepYMV, *P. capsici*, *M. incognita*). Estimates of heterosis and their components were obtained for the traits total fruit yield, mean fruit mass, early yield, pericarp thickness, depth of insertion of fruit peduncle, and fruit length/diameter ratio. Additive gene effects were important in the expression of all traits under evaluation. Non-additive effects were also of importance in the expression of percent of plants without symptoms of PepYMV or *Phytophthora capsici*. Lines Carolina Wonder, Charleston Belle, PIM-013 e MYR-29-03-02 were found to have good general combining ability for traits total and early fruit yield. The experimental hybrids 2x1' = F<sub>1</sub>(PIX-044B-13-01 x Carolina Wonder), 2'x3' = F<sub>1</sub>(Charleston Belle x MYR-29-09-05), 4x1' = F<sub>1</sub>(PIX-045B-32-03 x Carolina Wonder) and 5'x3' = F<sub>1</sub>(PIM-013 x MYR-29-09-05) were considered promising as putative commercial releases, because they present both multiple disease resistance and horticultural traits comparable to the commercial checks.

Keywords: Nematode. Potyvirus. *Phytophthora capsici*. Genetic resistance.

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE</b> .....	10
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	13
<b>2.1</b>	<b>Origem e importância econômica do pimentão</b> .....	13
<b>2.2</b>	<b>O melhoramento do pimentão no Brasil</b> .....	14
<b>2.3</b>	<b>Heterose e híbridos de pimentão</b> .....	16
<b>2.4</b>	<b>Doenças do pimentão</b> .....	18
<b>2.4.1</b>	<b>PepYMV (<i>Pepper yellow mosaic virus</i>)</b> .....	18
<b>2.4.2</b>	<b><i>Phytophthora capsici</i> Leonian</b> .....	20
<b>2.4.3</b>	<b>Nematoides (<i>Meloidogyne</i> spp)</b> .....	22
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS</b> .....	24
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	25
	<b>SEGUNDA PARTE - ARTIGOS</b> .....	32
	<b>ARTIGO 1 Capacidade combinatória e heterose quanto a resistência em híbridos de pimentão</b> .....	32
	<b>ARTIGO 2 Capacidade de combinação em híbridos de pimentão com resistência múltipla a doenças</b> .....	56

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) é uma das espécies do grupo das hortaliças mais difundidas e consumidas, no Brasil, na forma *in natura* e encontra-se entre as dez olerícolas de maior importância econômica nesse mercado. A produção de pimentão é, predominantemente, em campo aberto e a área cultivada com a cultura é de, aproximadamente, de 12.000 hectares (MOURA et al., 2012). A cultura existe em todos os estados, concentrando-se nos estados de São Paulo e Minas Gerais. Somente o estado de São Paulo, em 2012, produziu 65.637,27 toneladas e a área cultivada foi de 2.276,78 hectares, alcançando produtividade média de 28,83 toneladas por hectare (INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA, 2014).

O cultivo do pimentão no Brasil apresenta excelentes perspectivas de expansão, pois, além de serem consumidos frescos, têm sido processados industrialmente. A utilização de cultivares híbridas e a intensificação do uso de estufas têm sido os principais responsáveis pelo incremento de produtividade nos últimos anos. As vantagens da utilização dos híbridos estão fundamentadas na combinação de caracteres que estão, normalmente, em genitores separados, em um único genótipo. Pode-se associar, por exemplo, genes de resistência a doenças com a heterose para caracteres importantes como produtividade e qualidade final do produto (NASCIMENTO, 2005; BLAT; BRAZ; ARRUDA, 2007).

Apesar dos avanços na melhoria dos sistemas produtivos, a ocorrência de doenças têm sido um dos principais entraves a um aumento mais expressivo da produção. Entre essas doenças destaca-se a murcha, ou requeima, do pimentão, causada pelo fungo *Phytophthora capsici* Leonian, uma

das doenças fúngicas mais destrutivas dessa cultura em todo o mundo (CANDOLE; CONNER; JI, 2012; MCGREGOR et al., 2011). O patógeno pode infectar todos os órgãos da planta, causando podridão da raiz e do colo, lesões negras no caule, lesões circulares amarronzadas em folhas, podridão de frutos e morte da planta.

As viroses, em especial o mosaico amarelo causado pelo potyvirus *Pepper yellow mosaic vírus* (PepYMV), agente causal da principal doença virótica de pimentão no Brasil (ECHER; COSTA, 2002; LUCINDA et al., 2012) e os nematoides, especialmente os do gênero *Meloidogyne*, causadores de galhas nas raízes, podem causar elevadas perdas em hortaliças. A espécie *M. incognita* provoca maiores danos no pimentão (GISBERT et al., 2013).

A resistência genética é uma forma eficiente, econômica e de menor impacto ambiental no controle desses fitopatógenos (BENTO et al., 2009; WOO et al., 2005). A presença de variabilidade genética no gênero *Capsicum* tem permitido encontrar e introduzir fontes de resistência a esses patógenos em cultivares e isso tem sido prioridade nos programas de melhoramento de pimentão (CANDOLE; CONNER; JI, 2010; NOGUEIRA et al., 2012). A resistência genética a esses fitopatógenos é favorecida nas combinações híbridas, pois, de forma geral, os estudos demonstram a presença de alelos dominantes, com herança do tipo monogênica (ECHER; COSTA, 2002; MONROY-BARBOSA; BOSLAND, 2008; THIES; ARISS, 2009).

Os objetivos, no presente trabalho, foram : (a) inferir sobre a capacidade combinatória de linhagens de pimentão resistentes a um ou mais patógenos (PepYMV, *P. capsici* e *M. incognita*) potencialmente úteis na obtenção de híbridos; (b) desenvolver híbridos de pimentão com resistência múltipla a doenças e identificar os que venham a ser competitivos com as testemunhas comerciais e (c) inferir sobre os componentes da heterose em híbridos obtidos a

partir de linhagens presumivelmente resistentes a PepYMV, *P. capsici* e *M. incognita*.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Origem e importância econômica do pimentão

O pimentão e as pimentas pertencem à família *Solanaceae* e ao gênero *Capsicum*, originário das regiões tropicais e subtropicais da América. Após o processo de domesticação, foram levados para as demais regiões do mundo, principalmente Europa, África e Ásia, sendo, atualmente, utilizados por um quarto da população mundial (MOREIRA et al., 2006).

O gênero *Capsicum* tem, pelo menos, 32 espécies, das quais somente cinco são mais amplamente cultivadas: *C. annuum*, *C. frutescens*, *C. chinense*, *C. baccatum* e *C. pubescens* (PARSONS et al., 2013). As espécies cultivadas são diploides, com  $2n=24$  cromossomos, autocompatíveis, em que a autofecundação é comum, portanto, são classificadas como plantas preferencialmente autógamas. Embora, botanicamente, seja considerada uma espécie perene, do ponto de vista agrícola, o pimentão é tratado como anual (BERGAMIN FILHO; KIMATI; AMORIM, 1995). *Capsicum annuum* é a espécie mais importante e difundida no mundo e a que apresenta a maior variabilidade (MIMURA et al., 2012), compreendendo os pimentões, as pimentas para pápricas e as pimentas picantes, além de variedades ornamentais.

Dentre as hortaliças cultivadas no Brasil, o pimentão está entre as principais (RUFINO; PENTEADO, 2006), sendo a terceira solanácea mais cultivada, superada apenas pelo tomate e pela batata. No Brasil, o pimentão é, em grande parte, consumido verde, imaturo (90%) e, em menor escala (10%), é consumido também no estágio de frutos maduros (em geral, vermelhos ou amarelos, dependendo da cultivar).

A área cultivada com pimentão é de, aproximadamente, 12.000 hectares (MOURA et al., 2012) e a cultura existe em todos os estados, concentrando-se

nos estados de São Paulo e Minas Gerais. Somente no estado de São Paulo, em 2012, foram produzidas 65.637,27 toneladas e a área cultivada foi de 2.276,78 hectares, alcançando produtividade média de 28,83 toneladas por hectare (IEA, 2014). O mercado de sementes de pimentão no Brasil é estimado em torno de R\$ 18 milhões/ano, dos quais aproximadamente R\$ 3 milhões estão relacionados ao segmento de pimentão cultivado em estufa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS- ABCSEM, 2009).

## **2.2 O melhoramento do pimentão no Brasil**

O pimentão passou a ser cultivado no Brasil, em escala comercial, provavelmente na década de 1920, pelo agricultor Carlos Junger, em Mogi das Cruzes, SP. As primeiras variedades cultivadas foram pimentões com frutos de formato cônico e eram, supostamente, de origem espanhola (SILVA, 2002). Estes tipos foram cultivados ali intensamente entre os anos de 1920 e 1950, de onde se espalharam por outras regiões de São Paulo e para a Baixada Fluminense.

Os produtores, provavelmente, fizeram seleções nessas populações iniciais, das quais se originaram cultivares de polinização aberta, como ‘Moura’, ‘Avelar’, ‘Casca Dura’ e ‘Ikeda’, entre outras, e que predominaram em plantios comerciais de pimentão no país. Produtores do centro-sul, que cultivavam pimentão, especialmente o ‘Califórnia Wonder’, de frutos quadrados, sofriam devido a uma virose denominada mosaico-do-pimentão (causada por estirpes de potyvirus).

O primeiro programa de melhoramento de pimentão foi implantado no início da década de 1960, sob a coordenação do pesquisador Hiroshi Nagai, no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e visava localizar fontes de resistência a potyvirus (*Potato virus Y*), o agente causal da principal doença da época

(ECHER; COSTA, 2002), além de combinar resistência a potyvirus em cultivar de características desejáveis e prevenir a "quebra" da resistência, por meio da caracterização de estirpes do patógeno e de genótipos que conferissem resistência. Foram identificadas várias fontes de resistência a estirpes de vírus em cultivares locais, como 'Casca Dura', 'Ikeda', 'Avelar' e 'Moura' (todas de frutos cônicos). Essas cultivares substituíram, em pouco tempo, todas as de frutos quadrados (tipo 'Califórnia Wonder').

Por meio de cruzamentos seguidos de seleções para resistência a estirpes de PVY, H. Nagai lançou a série Agrônômico, da qual a cultivar Agrônômico 10 G foi, durante muitos anos (até meados da década de 1980), a principal no sudeste do país. Nessa mesma década, foram registrados, em plantações comerciais nos estados de Minas Gerais e São Paulo, surtos de novas estirpes de potyvirus infectando as cultivares de pimentão Agrônômico 10G, Magda, Margareth, Ikeda e Magnata (ECHER; COSTA, 2002). Essa nova estirpe, capaz de quebrar as fontes de resistência até então utilizadas, foi primeiramente denominada de PVY<sup>M</sup> e, posteriormente, passou a ser considerada como uma nova espécie, conhecida como *Pepper yellow mosaic virus* (PepYMV) (INOUE-NAGATA et al., 2001). Desde então, o mosaico-amarelo passou a predominar nos principais polos de produção, ocasionando elevadas perdas econômicas em cultivares suscetíveis.

As primeiras cultivares híbridas utilizadas pelos produtores foram desenvolvidas em países de clima temperado, adaptando-se às condições brasileiras apenas para o cultivo em estufas, a única situação em que superavam as cultivares de polinização livre (LORENTZ et al., 2005). Somente nos anos 1990 é que surgiram os primeiros híbridos comerciais de pimentão desenvolvidos em condições brasileiras, com a introdução e a fixação de novos padrões heteróticos nos programas de melhoramento genético das

empresas privadas e, posteriormente, também com resistência a doenças, como as viroses causadas por potyvirus.

Atualmente, os programas de melhoramento têm se dedicado, em sua maioria, à obtenção de híbridos que aliem, além de produtividade, qualidade de frutos e resistência múltipla a doenças.

### **2.3 Heterose e híbridos de pimentão**

Heterose, também denominada vigor de híbrido, é o termo utilizado para descrever a ocorrência de um aumento no valor de um caráter quantitativo em híbridos de animais ou de plantas (NASCIMENTO, 2005). A heterose se manifesta quando o caráter avaliado no híbrido é maior (heterose positiva) ou menor (heterose negativa) do que a média dos genitores. Na prática, é mais comum o cálculo da heterose em relação ao genitor superior (heterobelitose) ou a uma cultivar de importância econômica (heterose padrão).

Em geral, o termo heterose tem sido utilizado para denotar o aumento no tamanho, no vigor, no crescimento e no rendimento que se observa em certas combinações híbridas, em função da presença de alelos com efeitos não aditivos (dominância e/ou epistasia). Embora seja, há muito tempo, explorada entre as espécies alógamas, a heterose tem se mostrado importante também entre as espécies autógamias (HOLLAND, 2001).

Em *Capsicum annuum* propriamente dito, Ikuta e Venkovsky (1970) verificaram a presença de heterose positiva, sendo, portanto, possível produzir híbridos mais produtivos do que cultivares de polinização aberta. A preferência pela utilização de cultivares híbridas reflete a existência e a importância da presença de heterose significativa para os principais caracteres sob seleção no pimentão, como a produtividade e a qualidade dos frutos (NASCIMENTO, 2005).

Alguns autores consideram que o trabalho pioneiro no Brasil, que documenta o melhor desempenho dos híbridos frente às cultivares de polinização aberta no pimentão, foi apresentado por Miranda (1987). Neste trabalho ficou comprovada a existência de heterose passível de exploração econômica em combinações híbridas nas condições brasileiras. Mais tarde, outros autores, utilizando padrões heteróticos distintos, corroboraram esses resultados (TAVARES; MALUF, 1994; SILVA, 2002; NASCIMENTO, 2005; BLAT; BRAZ; ARRUDA, 2007; NASCIMENTO, 2010).

Para a obtenção de híbridos, torna-se necessária a obtenção prévia de linhagens homozigotas especificamente para esse fim, as quais serão avaliadas quanto ao desempenho *per se* e testadas nas diferentes combinações híbridas para os caracteres desejáveis. Além disso, a utilização de híbridos permite associar resistências às doenças presentes nos diferentes genitores, principalmente aquelas controladas por alelos dominantes (NOGUEIRA, 2011).

No caso do pimentão, os trabalhos têm demonstrado uma grande influência dos efeitos gênicos não aditivos no controle dos caracteres de interesse, principalmente naqueles relacionados à produção (NASCIMENTO, 2002; SILVA, 2002; NASCIMENTO, 2005). Diante desses resultados fica impossível prever o comportamento prévio de uma linhagem quando em combinação híbrida.

Para atenderem às exigências atuais de mercado “in natura” de pimentão no Brasil, as cultivares híbridas devem aliar maior produção (rendimento e qualidade), de preferência com frutos quadrados (nova tendência do mercado), com maior comprimento e largura, polpa espessa, coloração verde intensa e progressiva (sem estrias), e resistência às principais doenças.

## 2.4 Doenças do pimentão

Apesar de, nos últimos anos, ter havido um aumento na produção de pimentão devido a avanços na melhoria dos sistemas produtivos da cultura, problemas fitossanitários têm sido os principais entraves a um aumento mais expressivo (NOGUEIRA et al., 2012). Os problemas fitossanitários assumem diferentes graus de importância, dependendo do estágio fenológico em que a planta foi infectada, do genótipo utilizado, da época de plantio e do nível de infestação.

Entre os fitopatógenos, destacam-se o potyvirus *Pepper yellow mosaic virus* (PepYMV), causador da doença conhecida como mosaico-amarelo-do-pimentão, o fungo *Phytophthora capsici* Leonian, causador da murcha também conhecida como requeima ou podridão da raiz, e os nematoides, especialmente os causadores de galhas nas raízes (*Meloidogyne* spp.).

### 2.4.1 PepYMV (*Pepper yellow mosaic virus*)

Os esforços no manejo de doenças viróticas têm sido direcionados para a eliminação de vetores e a erradicação de plantas hospedeiras que constituem fonte de inóculos. Tais medidas, muitas das vezes, são provisórias, onerosas e pouco eficientes. No Brasil, os estudos de viroses em pimentão são quase todos relacionados ao gênero *Potyvirus*, o maior e mais importante gênero de fitovírus, que pode causar perdas econômicas significativas também em outras espécies da família solanáceas, como a batata e o tomate (LUCINDA et al., 2012). Os sintomas ocasionados por potyvirus variam com a espécie de vírus, com a estirpe, com o genótipo do hospedeiro e com as condições ambientais, variando desde infecção latente, seguida ou não por deformação foliar, até necrose

pronunciada de folhas e do caule, que pode culminar com a morte da planta (MURPHY, 2002).

Na década de 1980 foi identificada, em plantações comerciais de pimentão em São Paulo e em Minas Gerais, uma nova estirpe de vírus, denominada, primeiramente, de PVY<sup>M</sup> (NAGAI, 1983), infectando as cultivares então resistentes Agrônomo 10G, Magda, Margareth e Ikeda (ECHER; COSTA, 2002). A partir de plantas infectadas da cultivar Magda, coletadas em lavouras dessa região, Inoue-Nagata et al. (2001) verificaram que se tratava de uma nova espécie de potyvírus. A clonagem e a análise da sequência da capa proteica do novo vírus revelaram uma proteína de 278 aminoácidos com homologia de 77,4% da capa proteica do *Pepper severes mosaic virus*, a espécie mais próxima do gênero. Devido a esses resultados, os autores propuseram um novo nome para o vírus: *Pepper yellow mosaic virus* (PepYMV).

A espécie PepYMV, causadora da principal doença virótica de pimentão no Brasil (ECHER; COSTA, 2002; LUCINDA et al., 2012), é de ocorrência natural nas regiões produtoras, provocando a doença conhecida vulgarmente como mosaico-amarelo-do-pimentão. No Espírito Santo, essa espécie foi relatada também em plantios comerciais de tomateiro (MACIEL-ZAMBOLIM et al., 2004).

Os potyvirus podem ser transmitidos por meio da inoculação mecânica e por muitas espécies de insetos vetores, entre eles os afídeos. No caso de estirpes comuns de PVY e PepYMV, o pulgão *Mizus persicae* Sulz. tem sido considerado um dos mais importantes (GIORIA et al., 2009).

A existência de variabilidade genética no gênero *Capsicum* tem permitido controlar com eficiência, via resistência genética, as doenças viróticas causadas pelo complexo potyvirus. Fontes de resistência têm se mostrado eficientes e duradouras em condições de inoculação artificial e no campo

(CARANTA; THABUIS; PALLOIX, 1999; ECHER; COSTA, 2002; LUCINDA et al., 2012).

#### **2.4.2 *Phytophthora capsici* Leonian**

A murcha do pimentão, ou podridão da raiz causada por *Phytophthora capsici* Leonian, é uma das doenças fúngicas mais destrutivas desta cultura em todo o mundo (HAUSBECK; LAMOUR, 2004). O fungo pode também causar doença em espécies de outros quarenta gêneros de plantas (LUZ et al., 2003). O patógeno pode infectar todos os órgãos da planta, causando podridão da raiz e do colo, lesões negras no caule, lesões circulares amarronzadas em folhas e podridão de frutos. Em frutos, podem ser comumente encontrados cobertos com esporângios do patógeno. Em razão dos sintomas na parte aérea, a doença é também conhecida como requeima do pimentão (KUROZAWA; PAVAN, 1997).

A doença inicia-se no campo por meio da infecção das raízes pelo inóculo primário presente no solo, progredindo para a infecção do coleto, cujos sintomas se caracterizam por podridão de raízes, murcha repentina, necrose de coloração marrom-escura na altura do colo e posterior morte das plantas (KUROZAWA; PAVAN, 1997). No campo, a doença é devastadora, mas pode provocar prejuízos também no armazenamento.

Práticas que reduzem o acúmulo de água no solo, normalmente, têm contribuído para o controle de *P. capsici*, no entanto, essa prática, associada ao uso de fungicidas, por si, não tem sido suficiente para o controle do patógeno. Como a umidade do solo é muito difícil de ser controlada, principalmente em cultivos a céu aberto e considerando os problemas associados ao uso dos fungicidas, normalmente sistêmicos, a utilização de genótipos com diferentes

níveis de resistência tem sido uma importante alternativa para o controle de *P. capsici*.

A busca por fontes de resistência a *P. capsici* iniciou-se na década de 1960, com os trabalhos de Kimble e Grogan (1960). A partir daí, inúmeros trabalhos têm sido desenvolvidos na tentativa de encontrar fontes de resistência duradoura (MATSUOKA, 1984; KUROZAWA; PAVAN, 1997). Apesar dos avanços obtidos em relação ao controle genético desse patógeno, híbridos plantados no país ainda são, em grande parte, suscetíveis. Alguns híbridos foram lançados no mercado com certo grau de resistência, porém, nem sempre tiveram boa aceitação por parte dos produtores (ECHER, 2001).

Várias fontes de resistência genética para controle da doença têm sido testadas. Os acessos mexicanos de *Capsicum annuum* Criollo de Morellos (CM) 331 e 334 têm, consistentemente, apresentado o maior nível e a fonte de resistência mais promissora, dentre os germoplasmas comumente utilizados como resistência a *P. capsici* (CANDOLE; CONNER; JI, 2012; MONROY-BARBOSA; BOSLAND, 2008). Em relação aos estudos de herança, é comum encontrar, na literatura, discordância sobre o número e a independência dos genes que controlam a resistência a *P. capsici*. Resistência do tipo completa, conferida por alelos de poucos genes, alguns de natureza dominante sob efeito de modificadores, tem sido relatada no acesso Criollo de Morellos 334 (CANDOLE; CONNER; JI, 2012; WANG; BOSLAND, 2006; SY; STEINER; BOSLAND, 2005). Linhagens provenientes de cruzamentos com CM-334 constituem importantes fontes de resistência genética a *P. capsici*, para serem exploradas em combinações híbridas.

### 2.4.3 Nematoides (*Meloidogyne* spp.)

O pimentão é tido como a espécie que mais bem se adaptou ao sistema produtivo sob cobertura plástica no Brasil, o que tem contribuído para regularizar a oferta do produto ao longo do ano (OLIVEIRA, 2007). Porém, o cultivo repetido na mesma área, como geralmente acontece em ambiente protegido, ou quando se faz rotação com outra cultura suscetível, pode elevar o nível de população de nematoides, especialmente os do gênero *Meloidogyne*, causadores de galhas nas raízes, e limitar a cultura do pimentão.

No gênero *Meloidogyne* existem mais de 69 espécies, entre as quais se destacam as espécies *M. javanica* e *M. incognita*. Esta última provoca maiores danos no pimentão (GISBERT et al., 2013; LOPES; ÁVILA, 2003).

A doença causada pelo nematoide se manifesta, normalmente, em reboleiras. As plantas afetadas apresentam sintomas que sugerem a deficiência de água e de nutrientes, ou seja, desenvolvimento abaixo do normal, amarelecimento das folhas e murcha. Estes sintomas se devem à formação de galhas (engrossamentos) e ao apodrecimento das raízes (LOPES; ÁVILA, 2003).

O processo curativo inclui o uso de produtos químicos, como os nematicidas que, no entanto, além de elevarem os custos da produção, trazem outros inconvenientes, como a poluição ambiental. Medidas de caráter preventivo têm sido adotadas, como a rotação de cultura com plantas tóxicas aos nematoides, pousio, aração profunda, solarização e, até mesmo, inundação da área. O uso de material resistente seria, contudo, o método mais eficaz e menos oneroso.

Os primeiros trabalhos que tratam da resistência ao *Meloidogyne* em *Capsicum annuum* L. datam da década de 1950. Hare (1957) descreveu o primeiro gene de resistência ao nematoide, denominado *N*. Atualmente, este

gene está presente nas cultivares americanas Charleston Belle e Carolina Wonder (FERY; DUKES; THIES, 1998). O gene *N* confere alta resistência a *M. javanica*, *M. incognita* e *M. arenaria* raças 1 e 2 (THIES; FERY, 2000).

Os acessos de *Capsicum annuum* PM217, PM687 e PM702 (Criollo de Morellos 334), que correspondem aos códigos de acesso do INRA (França), todos de frutos pungentes, constituem importantes fontes de resistência a espécies de *Meloidogyne*. Estudos revelaram a existência de três genes dominantes em PM217 (*Me1*, *Me2* e *Mech1*), dois em PM687 (*Me3* e *Me4*) e em PM702 (*Me7* e *Mech2*). A cultivar Yolo Wonder constitui outra fonte de resistência. Ela tem os genes *Me5* e *Me6*, este último identificado em populações francesas. O gene *Me1* confere resistência a *M. javanica*, *M. incognita* e *M. arenaria* e o *Me2*, a *M. javanica* e *M. 'Seville'* (SOUZA-SOBRINHO et al., 2002 apud WANG; BOSLAND, 2006). O gene *Me3* confere resistência a *M. javanica*, *M. incognita* e *M. arenaria* e *Me4*, a *M. arenaria* (PEIXOTO, 1995; SOUZA-SOBRINHO et al., 2002 apud WANG; BOSLAND, 2006); *Me5* confere resistência a *M. javanica* (SOUZA-SOBRINHO et al., 2002 apud WANG; BOSLAND, 2006); *Me6* confere resistência a *M. arenaria* e a *M. javanica* (DJIAN-CAPORALINO apud WANG; BOSLAND, 2006); *Me7* confere resistência a *M. incognita*, *M. arenaria* e *M. javanica* (PEGARD et al., 2005 apud WANG; BOSLAND, 2006) e os genes *Mech1* e *Mech2* conferem resistência a *M. chitwoodi* (DJIAN-CAPORALINO et al., 2007). Não se sabe se o gene *N* e os genes da série *Me* são alélicos ou não, porém, Thies e Ariss (2009) demonstraram que os genes *Me3* e *N* são independentes.

### 3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Em pimentão, o simples fato de ser mais produtivo não é a única condição a ser considerada na seleção de linhagens ou de combinações híbridas superiores. Além da produção, vários outros aspectos devem ser considerados, destacando-se a resistência a doenças, principalmente o potyvirus *Pepper yellow mosaic vírus* (PepYMV), o fungo *Phytophthora capsici* Leonian e os nematoides, especialmente os causadores de galhas nas raízes (*Meloidogyne* spp.), os quais são de difícil controle devido à alta incidência e severidade em áreas tropicais e subtropicais do mundo. O controle desses fitopatógenos está associado a um conjunto de medidas preventivas que, na maioria das vezes, não são eficientes. Um dos métodos mais promissores para o controle desses patógenos é o uso de cultivares resistentes.

A presença de variabilidade genética no gênero *Capsicum* tem permitido encontrar e introduzir resistência a esses patógenos em cultivares e isto tem sido prioridade nos programas de melhoramento de pimentão. A resistência genética a esses fitopatógenos é favorecida nas combinações híbridas, pois, de forma geral, os estudos de herança mostram a presença de alelos dominantes, com herança do tipo monogênica. O desenvolvimento de híbridos com resistência a dois ou aos três patógenos considerados e que aliem boas características agronômicas representará uma evolução nos cultivos de pimentão, principalmente os resistentes ao nematoide *Meloidogyne incognita*.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS. **Pesquisas de mercado de sementes de hortaliças**. [S.l.: s.n], 2009. Disponível em: <[http://www.abcsem.com.br/docs/pesquisa\\_mercado\\_2009.pdf](http://www.abcsem.com.br/docs/pesquisa_mercado_2009.pdf)>. Acesso em: 29 nov. 2013.

BENTO, C. S. et al. Sources of resistance against the *Pepper yellow mosaic virus* in chili pepper. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 196-201, Abr./June 2009.

BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos: volume 1**. 3. ed. São Paulo: Ceres, 1995.

BLAT, S. F.; BRAZ, L. T.; ARRUDA, A. S. Avaliação de híbridos duplos de pimentão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 350-354, July/Sept. 2007.

CANDOLE, B. L.; CONNER, P. J. Screening *Capsicum annuum* accessions for resistance to six isolates of *Phytophthora capsici*. **Hortscience**, Alexandria, v. 45, n. 2, p. 254-259, 2010.

CANDOLE, B. L.; CONNER, P. J.; JI, P. Evaluation of phytophthora root rot-resistant *Capsicum annuum* accessions for resistance to phytophthora foliar blight and phytophthora stem blight. **Agricultural Sciences**, Gainesville, v. 3, n. 5, p. 732-737, Sept. 2012.

CARANTA, C.; THABUIS, A.; PALLOIX, A. Development of a CAPS marker for the *Pvr4* locus: a tool for pyramiding potyvirus resistance genes in pepper. **Genome**, Ottawa, v.42, n. 6, p. 1111-1116, Dec. 1999.

DJIAN-CAPORALINO, C. et al. Root-knot nematode (*Meloidogyne* spp.) Me resistance genes in pepper (*Capsicum annuum* L.) are clustered on the P9 chromosome. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 114, n. 3, p. 473-486, Feb. 2007.

DJIAN-CAPORALINO, C. et al. The reproductive potential of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* is affected by selection for virulence against major resistance genes from tomato and pepper. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 131, n. 3, p. 431-440, Nov. 2011.

ECHER, M. M.; COSTA, C. P. Reaction of sweet pepper to the *potato virus Y* (PVY<sup>M</sup>). **Scientia Sgricola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 309-314, Apr./June 2002.

ECHER, M.M. **Reação de pimentão (*Capsicum annuum* L.) a *Phytophthora capsici* e Potato virus Y (PVY<sup>M</sup>)**. 2001. 62 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz, Piracicaba, 2001.

FERY, R. L.; DUKES, P. D.; THIES, J. A. Carolina Wonder and Charleston Belle: southern root-knot nematode resistant bell peppers. **Hortscience**, Alexandria, v. 33, n. 5, p. 900-902, 1998.

GIORIA, R. et al. Breakdown of resistance in sweet pepper against Pepper yellow mosaic virus in Brazil. **Scientia Sgricola**, Piracicaba, v. 66, n. 2, p. 267-269, Mar./Apr. 2009.

GISBERT, C. et al. Resistance of pepper germplasm to *Meloidogyne incognita*. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 162, n. 1, p. 110-118, Jan. 2013.

HARE, W. W. Inheritance of resistance to root-knot nematodes in pepper. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 47, p. 455-459, 1957.

HAUSBECK, M. K.; LAMOUR, K. H. *Phytophthora capsici* on vegetable crops: research progress and management challenges. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 88, n. 12, p. 1292-1303, Dec. 2004.

HOLLAND, J. B. Epistasis and plant breeding. In: JAHICK J. (Ed.). **Plant breeding reviews**: volume 21. New York: John Wiley & Sons. 2001. p. 27-92.

IKUTA, H.; VENCOVSKY, R. Ensaio de híbridos F<sub>1</sub> de variedades de pimentão resistentes a virose. In: **Relatório Científico**, Piracicaba, 1970, p. 62-65.

INOUE-NAGATA, A. K. et al. Pepper yellow mosaic virus (PVY<sup>m</sup>), a new species of *potyvirus* in sweet-pepper. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 2, p. 218, Aug. 2001.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Estatísticas de produção da agropecuária paulista**. São Paulo: IEA, 2013. Disponível em: <[http://ciagri.iea.sp.gov.br/νια1/subjetiva.aspx?cod\\_sis=1&idioma=1](http://ciagri.iea.sp.gov.br/νια1/subjetiva.aspx?cod_sis=1&idioma=1)>. Acesso em: 30 jan. 2014.

KIMBLE, K. A.; GROGAN, R. G. Resistance to Phytophthora root rot in pepper. **Plant Disease Reporter**, Washington, v. 44, p. 872-873, 1960.

KUROZAWA, C.; PAVAN, M. A. Doenças das solanáceas (beringela, jiló, pimentão e pimenta). In: KIMATI, H. et al. (Ed.). **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas: volume 2**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1997. p. 665-675.

LOPES, C. A.; ÁVILA, A. C. **Doenças do pimentão: diagnose e controle**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2003.

LORENTZ, L. H. et al. Variabilidade de produção de frutos de pimentão em estufa plástica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 316-326, mar./abr. 2005.

LUCINDA, N. et al. Complete genome sequence of pepper yellow mosaic virus, a potyvirus, occurring in Brazil. **Archives of Virology**, New York, v. 157, n. 7, p. 1397-401, July 2012.

LUZ, E. D. M. N. et al. Diversidade genética de isolados de *Phytophthora capsici* de diferentes hospedeiros com base em marcadores RAPD, patogenicidade e morfologia. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 5, p. 559-564, set./out. 2003.

MACIEL-ZAMBOLIM, E. et al. Surto epidemiológico do vírus do mosaico amarelo do pimentão em tomateiro na região serrana do Espírito Santo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 325-327, maio/jun. 2004.

MATSUOKA, K. Melhoramento do pimentão e pimenta visando a resistência a doenças fúngicas. **Informe Agropecuário**, Belo horizonte, v. 10, n. 113, p. 49-52, 1984.

MCGREGOR, C. et al. Genotypic and Phenotypic variation among pepper accessions resistant to phytophthora capsici. **Hortscience**, Alexandria, v. 46, n. 9, p. 1235-1240, 2011.

MIMURA, Y. et al. An SSR based genetic map of pepper (*Capsicum annuum* L.) serves as an anchor for the alignment of major pepper maps. **Breeding Science**, Tokyo, v. 62, n. 1, p. 93-98, Mar. 2012.

MIRANDA, J. E. C. **Análise genética de um cruzamento dialélico em pimentão (*Capsicum annuum* L.)**. 1987. 159 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MONROY-BARBOSA, A.; BOSLAND, P. W. Genetic analysis of phytophthora root rot race-specific resistance in Chile pepper. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 133, n. 6, p. 825-829, Nov. 2008.

MOREIRA, G. R. M. et al. **Espécies e variedades de pimenta**: volume 27. Belo Horizonte: EPAMIG, 2006. (Informe Agropecuário).

MOURA, M. F. et al. Análise comparativa da região codificadora para a proteína capsial de isolados de PepYMV e PVY coletados em pimentão . **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 38, n. 1, p. 93-96, jan./mar. 2012.

MURPHY, J. F. The relationship between Pepper motle virus source leaf and spread of infeccion through the stem of *Capsicum* sp. **Archives of Virology**, New York, v. 147, n. 9, p. 1789-1797, Sept. 2002.

NAGAI, H. Melhoramento de pimentão (*Capsicum annuum* L.) visando resistência ao vírus Y. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 1, n. 2, p. 3-9, Nov. 1983.

NASCIMENTO, I. R. **Avaliação da capacidade combinatória de linhagens e potencial agrônomo de híbridos de pimentão**. 2002. 82 p. Tese (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

NASCIMENTO, I. R. et al. Capacidade combinatória de linhagens de pimentão a partir de análise dialélica multivariada. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 235-240, Apr. 2010.

NASCIMENTO, I. R. **Heterose e capacidade combinatória de linhagens de pimentão resistentes ao mosaico amarelo causado por PepYMV (*pepper yellow mosaic virus*)**. 2005. 101 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

NOGUEIRA, D. W. et al. Seleção assistida com uso de marcador molecular para resistência a potyvírus em pimentão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 7, p. 955-963, jul. 2012.

NOGUEIRA, D. W. **Seleção assistida por marcadores moleculares e capacidade combinatória de linhagens de pimentão com resistência múltipla a doenças**. 2011. 81 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

OLIVEIRA, C. D. **Enxertia de plantas de pimentão em *capsicum spp.* no manejo de nematoides de galha.** 2007. 134 p. Tese (Doutorado Agronomia, Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

PARSONS, E. P. et al. Fruit cuticle lipid composition and water loss in a diverse collection of pepper (*Capsicum*). **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 149, n. 2, p. 120-135, Oct. 2013.

PEGARD, A. et al. Histological characterization of resistance to different root-knot nematode species related to phenolics accumulation in *Capsicum annuum*. **Phytopathology**. Saint Paul, v. 95, n. 2, p. 158-165, Feb. 2005.

PEIXOTO, J. R. **Melhoramento do pimentão (*Capsicum annuum* L.) visando a resistência aos nematoides do gênero *Meloidogyne spp.*** 1995. 103p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

RUFINO, J. L. dos S.R; PENTEADO, D. C. S. **Importância econômica, perspectivas e potencialidades de mercado para a pimenta:** volume 27. Belo Horizonte: EPAMIG, 2006. (Informe agropecuário).

SILVA, L. L. **Heterose e capacidade de combinação em cruzamentos dialélicos parciais em pimentão.** 2002. 82 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

SOUZA-SOBRINHO, F. et al. Inheritance of resistance to *Meloidogyne incognita* race 2 in the hot pepper cultivar Carolina Cayenne (*Capsicum annuum* L.). **Genetics and Molecular Research**, Oxford, v. 1, n. 3, p. 271-279, Sept. 2002.

SY, O.; STEINER, R.; BOSLAND, P. W. Inheritance of Phytophthora stem blight resistance as compared to Phytophthora root rot and Phytophthora foliar blight resistance in *Capsicum annuum* L. **Journal da Sociedade Americana para a Ciência Hortícola**, Amsterdam, v. 130, n. 1, p. 75–78, Jan. 2005.

TAVARES, M.; MALUF, W. R. Vigor de híbrido na geração F1 de pimentão (*Capsicum annuum* L.). **Ciência e Prática**, Lavras, v. 18, n. 2, p. 171-177, 1994.

THIES, J. A.; ARISS, J. J. Comparison between the *N* and *Me3* genes conferring resistance to the root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in genetically different pepper lines (*Capsicum annuum*). **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 125, n. 4, p. 545–550, Dec. 2009.

THIES, J. A.; FERY, R. L. Characterization of resistance conferred by the *N* gene to *Meloidogyne arenaria* races 1 and 2, *M. hapla*, and *M. javanica* in two sets of isogenic lines of *Capsicum annuum* L. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 125, n. 1, p. 71–75, 2000.

WANG, D.; BOSLAND, P. W. The genes of capsicum. **Hortscience**, Alexandria, v. 41, n. 5, p. 1169-1187, Aug. 2006.

WOO, J. et al. Changes in pathogenesis-related proteins in pepper plants with regard to biological control of phytophthora blight with *Paenibacillus illinoisensis*. **BioControl**, Dordrecht, v. 50, n. 1, p. 165-178, 2005.

**SEGUNDA PARTE - ARTIGOS**

**ARTIGO 1**

**CAPACIDADE COMBINATÓRIA E HETEROSE QUANTO À  
RESISTÊNCIA EM HÍBRIDOS DE PIMENTÃO**

**Artigo redigido conforme norma da revista Pesquisa Agropecuária  
Brasileira – PAB  
(Versão preliminar)**

### Capacidade combinatória e heterose quanto à resistência em híbridos de pimentão

Danilo Gustavo Nogueira<sup>(1)</sup>, Wilson Roberto Maluf<sup>(2)</sup>, Douglas Willian Nogueira<sup>(2)</sup>, César Augusto Ticona Benavente<sup>(2)</sup>, Régis de Castro Carvalho<sup>(1)</sup>.

<sup>(1)</sup>Universidade Federal de Lavras (UFLA), Departamento de Biologia, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000. Lavras, MG. E-mail: asp.nogueira@yahoo.com.br, regiscarvalho@hotmail.com <sup>(2)</sup>UFLA, Departamento de Agricultura. E-mail: wrmaluf@dag.ufla.br, douglagen@yahoo.com.br, cesar.benavente@gmail.com

**Resumo** – Este trabalho foi realizado com o objetivo de desenvolver híbridos de pimentão com resistência a múltiplos patógenos e inferir sobre os componentes da heterose em híbridos obtidos a partir de linhagens presumivelmente resistentes ao PepYMV, *Phytophthora capsici* e/ou *Meloidogyne incognita*. Os trabalhos foram realizados em casa de vegetação na área experimental da empresa HortiAgro Sementes S.A. Foram utilizadas dez linhagens, trinta híbridos experimentais e seis testemunhas comerciais (Konan-R, Magali-R, Martha-R, Stephany, Mallorca, Magnata Super), além do acesso (Criollo de Morellos-334). Para cada um dos experimentos, utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com três repetições (com parcelas de 16 plantas). Na avaliação das reações a *P. capsici* e ao PepYMV, foram consideradas as porcentagens de plantas sem os respectivos sintomas. Na avaliação das reações a *M. incognita*, foram calculados o índice de reprodução e o fator de reprodução do nematoide. Os efeitos gênicos aditivos foram importantes para todos os caracteres avaliados e, para porcentagem de plantas resistentes a PepYMV e *Phytophthora capsici*, os não aditivos foram também de importância. Os alelos que controlam resistência a PepYMV, a *P. capsici* e a *M. incognita* têm grau de dominância próximo de 1, em valor absoluto, o que indica uma situação favorável à obtenção de híbridos que acumulam resistência múltipla a estes patógenos.

**Termos para indexação:** *Capsicum annuum*, *Pepper yellow mosaic virus*, *Phytophthora capsici*, *Meloidogyne incognita*.

## Combining ability and heterosis as much as resistance in sweet pepper hybrids

**Abstract** - The objective of this work was to develop pepper hybrids with resistance to multiple pathogens and to infer about the components of heterosis in hybrids derived from resistant strains presumably to *Pepper yellow mosaic virus*, *Phytophthora capsici* and *Meloidogyne incognita*. The trials were carried out in plastic houses in the HortiAgro Sementes experiment station, county of Ijaci, state of Minas Gerais. Ten parental breeding lines, thirty experimental hybrids and six commercial checks (Konan-R, Magali-R, Martha-R, Stephany, Mallorca, Magnata Super), and accession Criollo de Morellos-334 were tested for resistance to the pathogens. Each of the experiments was set up in accordance to a randomized complete block design with three replications. Upon evaluating reactions to inoculations with *P. capsici* or with PepYMV, we recorded percentages of symptomless plants. In the experiment with *M. incognita*, we calculated both the nematode reproduction indices and the reproduction factor. Additive effects were important for all traits and for percentage of plants resistant to *Phytophthora capsici* and PepYMV, non-additives were also of importance. The alleles that control resistance to PepYMV, *P. capsici* and *M. incognita* have degree of dominance close to 1 in absolute value, which indicates a favorable situation for obtaining hybrids accumulate multiple resistance to these pathogens.

**Index terms:** *Capsicum annuum*, *Pepper yellow mosaic virus*, *Phytophthora capsici*, *Meloidogyne incognita*.

### Introdução

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) é uma das hortaliças mais difundidas e consumidas no Brasil, na forma *in natura* e encontra-se entre as dez olerícolas de maior importância econômica nesse mercado. A produção de pimentão é, predominantemente, em campo aberto e o estado de São Paulo abrange cerca de 23,70% da área cultivada brasileira, que é de 12.000 hectares (Moura et al., 2012). Um dos principais fatores do aumento da área plantada e da produtividade é a utilização de cultivares híbridas mais produtivas e com resistência a um número maior de doenças (Nascimento, 2005; Nascimento et al., 2010; Nogueira, 2011).

Apesar dos avanços na melhoria dos sistemas produtivos, as doenças têm sido os principais entraves a um aumento mais expressivo da produção. Entre as principais doenças da cultura estão as causadas pelo fungo *Phytophthora capsici* Leonian, por potyvirus *Pepper yellow mosaic virus* (PepYMV) e pelo nematoide *Meloidogyne incognita*.

*P.capsici* é o agente causal da doença conhecida como murcha, requeima ou podridão da raiz, uma das doenças fúngicas mais destrutivas desta cultura em todo o mundo (McGregor et al., 2011). O patógeno pode infectar todos os órgãos da planta, causando podridão da raiz e do colo, lesões negras no caule, lesões circulares amarronzadas em folhas, podridão de frutos e morte da planta (Foster; Hausbeck, 2010). O potyvirus *Pepper yellow mosaic virus* (PepYMV), causador do mosaico-amarelo-do-pimentão, tem ocorrência natural na maioria das regiões produtoras da cultura, causando sérias perdas e, atualmente, é a principal doença virótica da cultura no Brasil (Moura et al., 2011; Lucinda et al., 2012). Outro problema são os nematoides, especialmente os causadores de galhas nas raízes (*Meloidogyne* spp.).

A espécie *Meloidogyne incognita*, por ocorrer com maior frequência nos campos de cultivo, é a que provoca danos em pimentão (Gisbert et al., 2013),

uma vez que a maioria dos pimentões no Brasil é tida como resistente à espécie *M. javanica* (Peixoto, 1995).

A existência de variabilidade genética no gênero *Capsicum* tem permitido encontrar e introduzir resistência a esses patógenos em cultivares, o que tem sido prioridade nos programas de melhoramento de pimentão (Candole et al., 2010; Fazari et al., 2012; Nogueira et al., 2012). A resistência genética a esses fitopatógenos pode ser explorada nas combinações híbridas, que possibilitam a combinação de diferentes caracteres desejáveis, tanto qualitativos quanto quantitativos, num mesmo genótipo.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de desenvolver híbridos de pimentão com resistência a múltiplos patógenos e inferir sobre os componentes da heterose em híbridos obtidos a partir de linhagens presumivelmente resistentes a PepYMV, *Phytophthora capsici* e *Meloidogyne incognita*.

### **Material e Métodos**

Os trabalhos foram conduzidos em casa de vegetação na área experimental da empresa HortiAgro Sementes S.A. (920 m altitude, 21°14' 16''S, 45° 08' 00''W), situada no município de Ijaci, MG .

O material genético testado constituiu-se de 47 genótipos de pimentão, sendo: (a) dez linhagens (utilizadas como genitoras na obtenção de híbridos experimentais); (b) trinta híbridos experimentais, dos quais vinte foram obtidos a partir do cruzamento de dois grupos de genitores (grupo I - genitores femininos: 1=PIX-044B-01-01, 2=PIX-044B-13-01, 3=PIX-045B-27-02, 4=PIX-045B-32-03 e 5=PIX-052B-06-01; grupo II - genitores masculinos: 1'=Carolina Wonder, 2'=Charleston Belle, 3'=MYR-29-09-05 e 4'=MYR-29-11-08) e dez foram híbridos adicionais correspondente aos cruzamentos: F1(PIX-044B-01-01 x PIM-13), F1(PIX-044B-13-01 x PIX-052B-06-01), F1(PIX-045B-27-02 x PIX-052B-06-01), F1(PIX-045B-32-03 x PIX-052B-06-01), F1(PIM-13 x MYR-29-

09-05), F1(PIM-13 x MYR-29-11-08), F1(Carolina Wonder x MYR-29-09-05), F1(Carolina Wonder x MYR-29-11-08), F1(Charleston Belle x MYR-29-09-05) e F1(Charleston Belle x MYR-29-11-08) e (c) seis testemunhas comerciais (Konan-R, Magali-R, Martha-R, Stephany, Mallorca, Magnata Super), além do acesso (Criollo de Morellos-334). Em todos os experimentos, Magnata Super e Criollo de Morellos-334 foram utilizados, respectivamente, como testemunha suscetível e resistente aos patógenos a serem testados - *Phytophthora capsici*, PepYMV e *Meloidogyne incognita*. As linhagens parentais e suas características estão descritas na Tabela 1. Na análise dialélica, apenas dados dos vinte híbridos obtidos a partir dos cruzamentos dos genitores do grupo I com os do grupo II foram utilizados.

As linhagens PIX-044B-01-01, PIX-044B-13-01, PIX-045B-27-02, PIX-045B-32-03, PIX-052B-06-01 originaram-se de programas de melhoramento conduzido na empresa HortiAgro Sementes S.A. e são, dada a sua genealogia e devido aos processos seletivos empregados, presumivelmente resistentes a PepYMV e a *P. capsici*, e suscetíveis ao *M. incognita*. PIM-013 é uma linhagem-elite da HortiAgro com resistência a *P. capsici* e suscetibilidade tanto a PepYMV quanto a *M. incognita*. MYR-29-09-05 e MYR-29-11-08 foram linhagens da HortiAgro selecionadas para maior uniformidade de formatos de fruto, por autofecundações sucessivas a partir da população de polinização aberta MYR-29, considerada resistente ao PepYMV (Nascimento et al., 2007). MYR-29-09-05 e MYR-29-11-08 são sabidamente resistentes ao PepYMV, mas são, *a priori*, presumivelmente suscetíveis tanto a *P. capsici* quanto a *M. incognita*, embora isso ainda necessite de confirmação. Carolina Wonder e Charleston Belle são linhagens obtidas pelo U.S. Vegetable Laboratory, USDA/ARS, Charleston, SC, USA, são homozigotas para o gene N, que confere resistência ao nematoide *M. incognita* (Fery et al., 1998). Suas reações a

PepYMV e a *P. capsici* são, presumivelmente, de suscetibilidade, embora não tenham sido descritas pelos autores, e necessitem, portanto, de confirmação.

As reações dos genótipos de pimentão ao PepYMV, *Phytophthora capsici* e *Meloidogyne incognita* foram avaliadas em experimentos isolados, realizados independentemente.

Em cada um dos três experimentos, os tratamentos foram semeados em bandejas de poliestireno de 128 células, contendo substrato comercial Topstrato®. Em cada célula foram semeadas duas sementes e, após a germinação, procedeu-se ao desbaste, deixando-se apenas uma plântula por célula. Foram utilizados delineamentos em blocos casualizados, com três repetições. O número de plantas testadas por parcela foi de 16, para ambos os experimentos (PepYMV, *P. capsici* e *M. incognita*). Antes e após as inoculações, as bandejas foram mantidas em casa de vegetação, com cobertura plástica e laterais teladas.

No experimento de avaliação das reações ao PepYMV, foi utilizado um isolado de potyvirus, caracterizado sorologicamente como PepYMV, cedido pela empresa Sakata Sudamerica e obtido na região de Lins, SP, oriundo de plantas de pimentão com sintoma sistêmico e naturalmente infectadas. Para a manutenção do isolado em condições de armazenamento, plantas de *Nicotiana tabacum* “TNN” e de pimentão da cultivar Ikeda (suscetível ao PepYMV), previamente infectadas com PepYMV, foram mantidas em dessecadores com sílica-gel e também em nitrogênio líquido, à temperatura controlada de -80 °C (ultrafreezer). A produção de inóculo, para posterior uso nas triagens de resistência, foi realizada a partir de plantas indicadoras de *N. tabacum* “TNN” mantidas em estufas com telas; as plantas foram substituídas a intervalos de, aproximadamente, dois meses.

Para inoculação em pimentão, folhas de fumo infectadas com PepYMV, utilizadas como fonte de inóculo, foram maceradas em tampão fosfato 0,01 M,

pH 7,0. Em seguida, as plantas de pimentão a serem testadas foram aspergidas com carborundum (400 mesh) e, posteriormente, a solução de extrato vegetal foi aplicada por fricção do polegar sobre as folhas. Após a inoculação, as plantas foram irrigadas e mantidas em estufas com cobertura plástica e laterais teladas. Foram realizadas duas inoculações para evitar possíveis escapes: a primeira, quando as plantas atingiram o estágio de primeira folha definitiva plenamente expandida e a segunda, sete dias após a primeira. As avaliações foram feitas semanalmente, do 15º ao 40º dia após a primeira inoculação, totalizando cinco avaliações, sendo tomadas como avaliações definitivas aquelas realizadas no 40º dia. Para cada planta, foram atribuídas notas, variando de 1 a 5, segundo a escala de Nascimento et al. (2007), sendo: 1- sem sintomas; 2- clareamento internerval; 3- mosaico leve; 4- mosaico bem desenvolvido, sem deformação foliar e 5- mosaico amarelo, bolhoso, com deformação foliar. Foram consideradas resistentes as plantas que, na avaliação do 40º dia, tiveram nota igual a 1.

Na avaliação das reações de resistência a *Phytophthora capsici*, os isolados desse patógeno Pc11 e Pc31, cedidos pela empresa Sakata Sudamerica/Agroflora, Bragança Paulista, SP (originalmente coletados na região de Bernardino de Campos, SP e Santa Cruz do Rio Pardo, SP, respectivamente) foram mantidos em tubos de ensaio contendo meio batata-dextrose-ágar (BDA) e armazenados em câmara *Biochemical Oxygen Demand* (BOD). Os isolados foram, primeiramente, repicados para placas de Petri contendo meio BDA, nas quais permaneceram por 4 a 5 dias em BOD, à temperatura de 27 °C (Urban, 1980).

Para a produção de esporângios, esses isolados foram repicados para placas de Petri de 9 cm de diâmetro contendo meio composto por suco de tomate-ágar (200 ml de suco de tomate Superbom<sup>®</sup>, 3 g de carbonato de cálcio, 17g de ágar e 800 ml de água destilada), a 28 °C, sob luz contínua, por sete dias. A seguir, adicionaram-se 10-15 ml de água destilada por placa e efetuou-se uma

leve raspagem com alça de Drigalsky, para destacar os esporângios. Para a liberação de zoósporos, a suspensão de esporângios foi deixada por uma hora, à temperatura ambiente. A seguir, a suspensão foi filtrada em camada dupla de gaze e retirou-se uma alíquota do filtrado para a contagem do número de zoósporos em câmara de Neubauer. Para isso, a suspensão foi agitada em Vortex, por um minuto, para estimular o encistamento dos zoósporos. Depois de realizada a contagem e estabelecida a diluição na concentração desejada ( $10^4$  zoósporos/ml), a suspensão de zoósporos foi utilizada imediatamente. As inoculações foram feitas em mudas mantidas em bandejas de poliestireno, obtidas conforme descrito anteriormente. Foi utilizada a concentração de inóculo de  $10^4$  zoósporos/ml, aplicando-se 5 ml da suspensão em cada célula da bandeja, próximo ao coleto das plantas, aos 40 dias após a germinação. Foram feitas avaliações a partir do terceiro dia após a inoculação, estendendo-se até o 15º dia. Para cada planta, foram atribuídas notas, variando de 1 a 3, segundo a escala de Nascimento et al. (2007), sendo: 1 - sem sintomas; 2- necrose e murcha e 3- desfolhada e seca. Foram consideradas resistentes as plantas que, na avaliação do 15º dia, tiveram nota igual a 1.

Nas reações a *M. incognita*, foram avaliados o índice de reprodução e o fator de reprodutividade do nematoide. Foi utilizado, como fonte de inóculo, isolado conhecido de *Meloidogyne incognita*, previamente multiplicado e mantido em plantas de tomateiro *Solanum lycopersicum* (= *Lycopersicon esculentum*), cultivar Santa Clara. A extração dos ovos dos nematoides foi feita segundo o método de Hussey & Barker (1973), modificado por Bonetti & Ferraz (1981). As raízes contendo galhas de tomateiro foram cortadas em pedaços de, aproximadamente, 0,5 cm de comprimento e trituradas em liquidificador durante 40 segundos, com solução de hipoclorito de sódio a 0,5%. Em seguida, a solução contendo os ovos foi vertida em peneira de malha com abertura de 0,074 mm, sobre peneira de malha com 0,028 mm; os ovos foram submetidos à completa

lavagem sob água corrente. Os ovos dos nematoides, retidos na peneira de malha menor, foram coletados e quantificados em estereomicroscópio.

O substrato foi infestado aos 15 dias após a germinação, utilizando-se uma seringa automática de uso veterinário. Para a infestação do substrato nas bandejas foi utilizada uma alíquota de solução contendo 2.000 ovos (população inicial) de nematoides por planta. A viabilidade do inóculo foi quantificada por meio de câmaras de eclosão. Como o inóculo utilizado apresentou viabilidade de 60,4%, a quantidade de ovos viáveis inoculados em cada planta foi, portanto, de 1.208 ovos.

Foram efetuadas irrigações diárias das mudas até a ocasião das avaliações, iniciadas aos 75 dias de idade das plantas (60 dias após a inoculação), quando o sistema radicular de cada planta foi cortado com tesoura, triturados em liquidificador seguindo a técnica de Hussey & Barker (1973), modificada por Bonetti & Ferraz (1981), seguindo-se a contagem de ovos da população final, utilizando-se câmara de Peters e microscópio estereoscópico.

Foi calculado o número de ovos/grama de raiz dividindo-se o número de ovos pelo peso fresco de raiz. Utilizou-se a cultivar de tomateiro TOM-584 como testemunha padrão suscetível, para a comparação com a reprodução de nematoides nas plântulas de pimentão. O valor do índice de reprodução foi assim calculado: (número de ovos por grama de raiz de cada repetição (parcela)/número médio de ovos por grama de raiz das plantas de TOM-584) x 100. O valor do fator de reprodutividade foi assim calculado: população final/população inicial de ovos viáveis.

As análises genético-estatísticas, para todos os caracteres avaliados, consistiram em análises de variância com desdobramento dos graus de liberdade, segundo o modelo dialélico parcial de Miranda Filho & Geraldi (1984).

### Resultados e Discussão

A análise de variância mostrou diferenças significativas entre os tratamentos para percentagem de plantas assintomáticas ao vírus *Pepper yellow mosaic virus* (PepYMV) (Tabela 2). Na análise dialélica, tanto os efeitos de variedades dos grupos I e II quanto os efeitos de heterose média ( $\bar{h}$ ), heterose varietal ( $h_i$ ,  $h_j$ ) e heterose específica ( $S_{ij}$ ) foram significativos, indicando a existência de efeitos gênicos aditivos e que há também manifestação de heterose significativa em seus cruzamentos (Tabela 2).

As estimativas das capacidades gerais de combinação (CGCs) variaram de -5,46 a 7,04 (amplitude de 12,5), entre as linhagens do grupo I e de -9,85 a 7,05 (amplitude total de 16,9), entre as linhagens do grupo II (Tabela 3). Relativamente à média ( $\mu = 72,62$ ), as amplitudes dos efeitos aditivos (CGC), para os dois grupos de linhagem, representaram, respectivamente, 17,21% e 23,27%, indicando que as linhagens do grupo II são mais divergentes entre si, quanto à percentagem de plantas assintomáticas ao vírus PepYMV, do que as linhagens do grupo I. Já os efeitos não aditivos  $S_{ij}$  (que representam a CEC ou, similarmente, a heterose específica) variaram de -15,74 a 9,84 (amplitude total de 25,58) (Tabela 3). Esse valor indica uma importante contribuição dos efeitos não aditivos, cuja amplitude representa cerca de 35% da média ( $\mu = 72,62$ ) (Tabela 4), em relação aos efeitos aditivos de CGC.

Nos casos em que tanto os genitores do grupo I (genitores 2, 3 e 4), quanto do grupo II (genitores 3' e 4') apresentaram 100% de plantas assintomáticas (Tabela 5), a heterose relativa à média dos pais foi de 0% (Tabela 4), uma consequência da ausência da divergência genética entre os genitores para resistência ao PepYMV. Por outro lado, em cruzamentos envolvendo os mesmos genitores 2, 3 e 4 do grupo I com as linhagens (genitores 1', 2') suscetíveis ao PepYMV, as estimativas da heterose variaram entre valores próximos de 50% a valores próximos a 99%, sempre no sentido de maior

percentagem de plantas assintomáticas, o que é indicativo de que a resistência é controlada por alelos dominantes, cujo grau médio de dominância é próximo, mas não igual a 1. A existência de duas linhagens (1 e 5) no grupo I não totalmente fixadas para o carácter resistência ao PepYMV (Tabela 5) resulta em valores de heterose nos híbridos discrepantes das faixas anteriores, especialmente no caso do genitor 1, no qual a percentagem de plantas assintomáticas é significativamente inferior a 100%.

Para resistência a *P. capsici*, a análise de variância (Tabela 2) revelou que a fonte de variação mais relevante foi o contraste entre as linhagens do grupo I (1, 2, 3, 4, 5) e as do grupo II (1', 2', 3', 4'), refletindo a grande diferença entre os genitores do grupo I (resistentes) relativamente aos do grupo II (Tabela 5). Tanto os efeitos varietais ( $v_i$ ,  $v_j$ ) como os componentes da heterose ( $h$ ,  $h_i$ ,  $h_j$ ,  $S_{ij}$ ) foram significativos (Tabela 2), indicando a importância tanto dos efeitos aditivos quanto dos não aditivos na expressão do carácter.

As estimativas da capacidade geral de combinação (CGC) variaram entre -9,06 e 11,25 (com uma amplitude de 20,31), para  $g_i$  e entre -7,81 e 7,19 (com amplitude de 15,00), para  $g_j$  (Tabela 3). Comparativamente à média ( $\mu = 57,70$ ) de plantas resistentes a *P. capsici*, esses valores representam, respectivamente, 35,19% e 25,99%, o que é bastante considerável, refletindo, por isso, na significância dos efeitos dos componentes que expressam as CGCs na análise de variância (Tabela 2). Amplitude total elevada foi observada também para as estimativas de capacidade específica de combinação (CEC) que variaram de -14,37 a 13,54 (amplitude de 27,91) (Tabela 3). A amplitude dos efeitos não aditivos representou 48,37% do valor da média. Esses resultados reforçam a conclusão da ANAVA (Tabela 2) de que tanto os efeitos aditivos assim como os não aditivos contribuíram para a expressão do carácter.

Todos os híbridos testados no dialelo representaram combinações entre as linhagens resistentes a *P. capsici* (do grupo I), com linhagens menos

resistentes ou suscetíveis (do grupo II). Em combinações das linhagens do grupo I (1, 2, 3, 4, 5) com as linhagens que se mostraram mais suscetíveis do grupo II (3', 4'), as estimativas de heterose relativa à média dos pais (HM%) variaram entre +28,80% e +90,76% (Tabela 4), indicando dominância incompleta dos alelos que controlam maior percentagem de plantas assintomáticas. Em combinações de linhagens do grupo I com as linhagens 1' e 2' do grupo II (níveis intermediários de resistência), os valores de HM% variaram entre +21,14% e +56,93%, para cruzamento com 1' e entre -4,55% e +44,33%, para cruzamentos com 2'. Uma vez que o(s) alelo(s) que condicionam resistência a *P. capsici* no grupo I têm ação dominante, um valor negativo de HM% em combinações com 2' pode ser indicativo de ação gênica recessiva dos alelos que condicionam a resistência intermediária a *P. capsici* em 1' ou 2'. Os dados obtidos, contudo, não esclarecem definitivamente esta suposição, uma vez que não se conhecem os genótipos das linhagens, ou seja, se elas estão totalmente fixadas ou não para o caráter resistência a *P. capsici*.

Para ambas as características que avaliaram resistência ao *M. incognita* (índice de reprodução – IR e fator de reprodução – FR) foram significativas as diferenças entre grupos, entre linhagens dentro de cada grupo ( $v_i$ ,  $v_j$ ), e a heterose (Tabela 2). Dos componentes de heterose, foram significativas, em ambos os casos, a heterose média ( $\bar{h}$ ), as heteroses varietais do grupo II ( $h_j$ ) e, no caso de IR, a heterose varietal do grupo I ( $h_i$ ). Os efeitos de heterose específica não foram significativos em nenhum dos dois casos. Os efeitos aditivos, portanto, foram de maior importância do que os não aditivos na expressão da resistência ao *M. incognita*, de modo que o comportamento dos híbridos relativamente à resposta ao *M. incognita* pode ser predito com base nas reações de seus genitores.

Todas as linhagens do grupo I foram confirmadas como suscetíveis a nematoides (Tabela 5) e as diferenças significativas nos componentes  $v_i$  e  $h_i$

podem, assim, ser atribuídas a pequenas diferenças no *background* genotípico destas linhagens suscetíveis. Já três das linhagens do grupo II (1', 2', 3') foram consideradas resistentes e apenas uma (4') suscetível (Tabela 5), fato que refletiu nos elevados quadrados médios para as diferenças na heterose varietal dentro do grupo II ( $v_j$ ) (Tabela 2).

Os híbridos estudados foram, portanto, de dois tipos: aqueles em que um dos genitores (1', 2', 3') era resistente e aqueles em que ambos os genitores eram suscetíveis. Os híbridos com um genitor resistente apresentaram todas as estimativas de HM% ligeiramente inferiores a 100% (Tabela 4), um indicativo de que o grau médio de dominância do(s) alelo(s) que controlam resistência a *M. incognita* é apenas ligeiramente inferior a 1. Já os híbridos com ambos os genitores suscetíveis foram também todos suscetíveis e os valores de HM% variaram, tanto para IR como para FR, entre valores próximos de zero até < 37% (Tabela 4), refletindo pequenas diferenças de *background* entre os diversos genótipos suscetíveis.

As linhagens 1' e 2' sabidamente possuem o gene N, que confere resistência a *M. incognita* (Fery et al., 1988). Já a linhagem resistente 3' foi obtida por seleção a partir de uma população de polinização aberta (MYR-29), bastante variável, mas, *a priori*, tida como suscetível a *M. incognita*, e também deu origem à linhagem 4', também suscetível. É possível que MYR-29, uma população de polinização aberta não muito uniforme geneticamente, incluísse uma percentagem de plantas resistentes a *M. incognita* ao lado de uma percentagem de plantas suscetíveis, o que pode explicar o fato de que, a partir de MYR-29, pudessem ter sido selecionadas tanto uma linhagem resistente (MYR-29-09-05) quanto uma suscetível (MYR-29-11-08) (Tabela 5). O(s) gene(s) que confere(m) resistência em 3' (MYR-29-09-05) podem ou não ser alelos a N, já que sua origem é obscura. Contudo, nos três casos (1', 2', 3'), o grau de

dominância dos alelos de resistência é próximo, mas não exatamente igual à dominância incompleta.

Com exceção das linhagens PIX-044B-01-01 (quanto à resistência ao PepYMV), Carolina Wonder e Charleston Belle (para resistência a *P. capsici*), e MYR-29-09-05 (quanto ao índice e fator de reprodução de *M. incognita*), todas as demais apresentaram as reações esperadas ou presumidas com relação a PepYMV, *P. capsici* e *M. incognita* (Tabela 5). Os híbridos obtidos a partir das combinações entre as linhagens do grupo I (1, 2, 3, 4, 5), com as linhagens do grupo II (1', 2', 3'), apresentaram resistência múltipla aos três fitopatógenos considerados.

### Conclusões

1. Os efeitos gênicos aditivos foram importantes para todos os caracteres avaliados e, para percentagem de plantas resistentes a PepYMV e *Phytophthora capsici*, os não aditivos foram também de importância.
2. Os valores de heterose relativa à média dos pais (HM%) para resistência a PepYMV e *P. capsici* para a maioria dos híbridos foram no sentido de conferir maior resistência.
3. Para índice de reprodução (IR) e fator de reprodução (FR) de *Meloidogyne incognita*, os valores de heterose relativa à média dos pais (HM%) foram, em sua maioria, negativos, ou seja, no sentido do maior grau de resistência.
4. Os alelos que controlam resistência a PepYMV, a *P. capsici* e a *M. incognita* têm grau de dominância próximo de 1, em valor absoluto, o que indica uma situação favorável à obtenção de híbridos que acumulam resistência múltipla a estes patógenos.

5. Os híbridos obtidos a partir das combinações entre as linhagens do grupo I (1, 2, 3, 4, 5), com as linhagens do grupo II (1', 2', 3'), apresentaram resistência múltipla aos três fitopatógenos considerados.

### Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão de bolsa; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); à Universidade Federal de Lavras - Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão e Fundação de Desenvolvimento Científico e Cultural - pelos recursos financeiros e infraestrutura e à empresa HortiAgro Sementes S.A., pelo apoio na realização do experimento.

### Referências

- BONETTI, J.I.S.; FERRAZ, S. Modificações do método de Hussey & Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* em raízes de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v.6, p. 553-561, 1981.
- CANDOLE, B.L.; CONNER, P.J.; JI, P. Screening *Capsicum annuum* accessions for resistance to six isolates of *Phytophthora capsici*. **HortScience**, v.45, p.254-259, 2010.
- FAZARI, A.; PALLOIX, A.; WANG, L.; HUA, M.Y.; SAGE-PALLOIX, A.; ZHANG, B.X.; DJIAN-CAPORALINO, C. The root-knot nematode resistance *N*-gene co-localizes in the *Me*-genes cluster on the pepper (*Capsicum annuum* L.) P9 chromosome. **Plant Breeding**, v.131, 665-673, 2012.
- FERY, R.L.; DUKES, P.D.; THIES, J.A. ‘Carolina Wonder’ and ‘Charleston Belle’: southern root-knot nematode – resistente bell peppers. **HortScience**, v.33, p.900-902, 1998.
- FOSTER, J. M.; HAUSBECK, M. K. Resistance of pepper to Phytophthora crown, root, and fruit rot is affected by isolate virulence. **Plant Disease**, v. 94, p.24-30, 2010.
- GISBERT, C.; TRUJILLO-MOYA, C.; SÁNCHEZ-TORREZ, P.; SIFRES, A.; SÁNCHEZ-CASTRO, E.; NUEZ, F. Resistance of pepper germplasm to *Meloidogyne incognita*. **Annals of Applied Biology**, v. 162, p. 110-118, 2013.

HUSSEY, R.S.; BARKER, K.R. A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp. including a new technique. **Plant Disease Reporter**, v.57, p.1025-1028, 1973.

LUCINDA, N.; ROCHA, W.B.; INOUE-NAGATA, A.K.; NAGATA, T. Complete genome sequence of pepper yellow mosaic virus, a potyvirus, occurring in Brazil. **Archives of Virology**, v. 157, p. 1397-401, jul 2012.

MCGREGOR, C.; WATERS, V.; NAMBEESAN, S.; MACLEAN, D.; CANDOLE, B.L.; CONNER, P. Genotypic and Phenotypic Variation among Pepper Accessions Resistant to *Phytophthora capsici*. **HortScience**, v.46, p. 1235-1240, 2011.

MIRANDA FILHO, J. B.; GERALDI, I. O. An adapted model for the analysis of partial diallel crosses. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.7, n.4, p.677-688, May 1984.

MOURA, M. F.; MITUTI, T.; MARUBAYASHI, J.M.; GIORIA, R.; KOBORI, R.F.; PAVAN, M.A.; SILVA, N.; KRAUSE-SAKATE, R. A classification of Pepper yellow mosaic virus isolates into pathotypes. **European Journal of Plant Pathology**, v.131, p. 549-552, 2011.

MOURA, M. F. et al. Análise comparativa da região codificadora para a proteína capsidial de isolados de PepYMV e PVY coletados em pimentão. **Summa Phytopathologica**, v.38, p. 93-96, 2012.

NASCIMENTO, I. R. **Heterose e capacidade combinatória de linhagens de pimentão resistentes ao mosaico amarelo causado por PepYMV (*pepper yellow mosaic virus*)**. 2005. 101 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

NASCIMENTO, I. R.; COSTA DO VALE, L. A.; MALUF, W. R.; GONÇALVES, L. D.; GOMES, L. A. A.; MORETO, P.; LOPES, E. A. G. L. Reação de Híbridos, Linhagens e Progenies de pimentão a requeima causada por *Phytophthora capsici* e ao mosaico amarelo causado por *Pepper yellow mosaic virus* (PepYMV). **Ciências e Agrotecnologia**, v.31, p.121-128, 2007.

NASCIMENTO, I. R.; MALUF, W.R.; GONÇALVES, L.D.; FARIA, M.V.; RESENDE, J.T.V.; NOGUEIRA, D.W. Capacidade combinatória de linhagens de pimentão a partir de análise dialélica multivariada. **Acta Scientiarum-Agronomy**, v.32, p.235-240, 2010.

NOGUEIRA, D. W. **Seleção assistida por marcadores moleculares e capacidade combinatória de linhagens de pimentão com resistência múltipla a doenças**. 2011. 81p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

NOGUEIRA, D.W.; NOGUEIRA, D.G.; MALUF, W.R.; MACIEL, G.M.; FIGUEIRA, A.R.; MENEZES, C.B. Seleção assistida com uso de marcador molecular para resistência a potyvírus em pimentão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.955-963, 2012.

PEIXOTO, J. R. **Melhoramento do pimentão (*Capsicum annuum* L.) visando a resistência aos nematoides do gênero *Meloidogyne* spp.** 1995. 103p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

URBEN, A.F. ***Phytophthora capsici* Leonian, agente etiológico da murcha de *Capsicum annuum* L. em Minas Gerais**. 1980. 89p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Tabela 1 Descrição das linhagens parentais quanto a reação aos patógenos PepYMV, *P. capsici* e *M. incognita* em pimentão

Parentais	Reação <sup>1</sup>		
	PepYMV	<i>Phytophthora capsici</i>	<i>Meloidogyne incognita</i>
<b>Grupo I</b>			
1=PIX-044B-01-01	R (?)	R (?)	S (?)
2=PIX-044B-13-01	R (?)	R (?)	S (?)
3=PIX-045B-27-02	R (?)	R (?)	S (?)
4=PIX-045B-32-03	R (?)	R (?)	S (?)
5=PIX-052B-06-01	R (?)	R (?)	S (?)
<b>Grupo II</b>			
1'=Carolina Wonder	S (?)	S (?)	R
2'=Charleston Belle	S (?)	S (?)	R
3'=MYR-29-09-05	R	S (?)	S (?)
4'=MYR-29-11-08	R	S (?)	S (?)
<b>Adicional</b>			
PIM-13	S	R	S

<sup>1</sup> S = Suscetibilidade; R = Resistência

(?) = indica resistência (R) ou suscetibilidade (S), presumidas com base na genealogia e/ou em informações obtidas anteriormente

Tabela 2 Resumo das análises de variâncias para percentagem de plantas assintomáticas ao PepYMV, *Phytophthora capsici*, índice de reprodução (IR) e fator de reprodução (FR) de *Meloidogyne incognita* em pimentão. UFLA, Lavras, MG, 2013

Fonte de variação	GL	QM			
		PepYMV	<i>Phytophthora capsici</i>	Índice de reprodução (IR)	Fator de reprodução (FR)
<b>Blocos</b>	<b>2</b>	<b>85,937</b>	<b>102,246</b>	<b>1640,360</b>	<b>150,397</b>
<b>Tratamentos</b>	<b>28</b>	2077,487 **	2451,634 **	46246,077 **	2215,883 **
Linhagens do grupo I vs grupo II	1	11334,146 **	41669,190 **	296991,606 **	11286,849 **
<i>Entre linhagens do grupo I (v<sub>i</sub>)</i>	4	577,670 **	522,249 **	12242,546 **	438,293 **
<i>Entre linhagens do grupo II (v<sub>j</sub>)</i>	3	8172,877 **	792,488 **	214981,734 **	12179,491 **
Heterose	20	1000,309 **	1125,505 **	15199,158 **	623,312 **
Heterose média (H)	1	8003,729 **	15467,164 **	234021,842 **	7023,348 **
<i>Heterose varietal do grupo I (h<sub>i</sub>)</i>	4	154,806 *	376,416 **	6565,625 *	183,577 <sup>ns</sup>
<i>Heterose varietal do grupo II (h<sub>j</sub>)</i>	3	2899,214 **	792,371 **	8191,634 **	1022,849 **
<i>Heterose específica (S<sub>ij</sub>)</i>	12	223,799 **	263,346 **	1592,159 <sup>ns</sup>	136,670 <sup>ns</sup>
<b>Erro médio</b>	<b>56</b>	<b>41,31</b>	<b>72,08</b>	<b>1686,58</b>	<b>125,24</b>
Média		89,88	75,53	96,76	22,73
CV %		07,15	11,24	42,44	49,22

<sup>ns</sup>, \*\*, \*: não significativo e significativo, a 1 % e a 5 % de probabilidade, pelo teste de F, respectivamente

Tabela 3 Estimativas da variedade “per se” ( $v_i$  e  $v_j$ ), de heterose varietal ( $h_i$  e  $h_j$ ), das capacidades geral ( $g_i$  e  $g_j$ ) e específica ( $s_{ij}$ ) de combinação para percentagem de plantas assintomáticas ao PepYMV, *Phytophthora capsici*, índice de reprodução (IR) e fator de reprodução (FR) de *Meloidogyne incognita* em híbridos de pimentão. UFLA, Lavras, MG, 2013

	PepYMV			<i>Phytophthora capsici</i>			IR			FR		
$\mu$	72,62±1,40			57,70±1,68			168,01±8,44			34,01±2,03		
$d$	22,12±1,40			41,58±1,68			96,42±8,44			18,98±2,03		
$hm$	20,82±1,68			28,94±2,02			-112,58±10,15			-19,50±2,44		
Linhagem do grupo I	$v_i$	$h_i$	$g_i = 1/2v_i$	$v_i$	$h_i$	$g_i = 1/2v_i$	$v_i$	$h_i$	$g_i = 1/2v_i$	$v_i$	$h_i$	$g_i = 1/2v_i$
1-	-15,92	2,50	-5,46	1,21	1,26	1,87	54,64	-32,61	-5,29	14,44	-9,31	-2,09
2-	5,74	4,17	7,04	1,21	-9,66	-9,06	-66,29	22,59	-10,56	-15,34	4,20	-3,47
3-	5,74	3,62	6,49	-4,84	-5,59	-8,01	19,35	8,31	17,99	6,22	1,70	4,81
4-	5,74	-7,72	-4,85	1,21	10,64	11,25	-90,73	37,81	-7,56	-11,00	3,84	-1,66
5-	-1,29	-2,58	-3,22	1,21	3,35	3,95	83,02	-36,10	5,42	5,67	-0,43	2,41
<b>Erro padrão</b>	<b>3,74</b>	<b>2,64</b>		<b>4,48</b>	<b>3,16</b>		<b>22,52</b>	<b>15,92</b>		<b>5,42</b>	<b>3,83</b>	
Linhagem do grupo II	$v_j$	$h_j$	$g_j = 1/2v_j$	$v_j$	$h_j$	$g_j = 1/2v_j$	$v_j$	$h_j$	$g_j = 1/2v_j$	$v_j$	$h_j$	$g_j = 1/2v_j$
1'-	-50,00	20,75	-4,25	11,46	-4,38	1,35	-70,82	-16,91	-52,34	-14,49	-6,13	-13,37
2'-	-50,00	15,15	-9,85	19,75	-10,60	-0,73	-68,36	-19,28	-53,48	-14,20	-6,53	-13,65
3'-	50,00	-17,95	7,05	-15,61	-0,01	-7,81	-70,04	-16,36	-51,38	-14,33	-5,90	-13,05
4'-	50,00	-17,95	7,05	-15,61	14,99	7,19	209,28	52,56	157,20	43,00	18,57	40,07
<b>Erro padrão</b>	<b>3,62</b>	<b>2,43</b>		<b>4,34</b>	<b>2,91</b>		<b>21,80</b>	<b>14,63</b>		<b>5,25</b>	<b>3,52</b>	
	<b>Sij</b>											
1 x 1'	4,83			4,37			4,78			1,96		
1 x 2'	-15,74			6,45			5,37			2,20		
1 x 3'	5,45			-11,45			5,87			2,18		
1 x 4'	5,45			0,63			-16,03			-6,34		
2 x 1'	4,25			6,97			8,10			2,86		
2 x 2'	9,84			-11,77			12,38			3,79		
2 x 3'	-7,04			-4,68			7,90			2,72		

Tabela 3, continuação

	<b>PepYMV</b>	<b><i>Phytophthora capsici</i></b>	<b>IR</b>	<b>FR</b>
2 x 4'	-7,04	9,47	-28,38	-9,39
3 x 1'	4,80	1,77	-18,66	-5,02
3 x 2'	8,18	-0,31	-18,61	-4,96
3 x 3'	-6,49	-3,64	-15,71	-3,98
3 x 4'	-6,49	2,18	52,98	13,97
4 x 1'	-8,97	1,25	11,15	2,62
4 x 2'	-0,72	1,25	6,78	1,50
4 x 3'	4,85	6,25	6,91	1,42
4 x 4'	4,85	-8,75	-24,84	-5,56
5 x 1'	-4,91	-14,37	-5,38	-2,43
5 x 2'	-1,56	4,37	-5,92	-2,54
5 x 3'	3,23	13,54	-4,97	-2,35
5 x 4'	3,23	-3,54	16,28	7,32
<b>Erro padrão</b>	<b>3,24</b>	<b>3,88</b>	<b>19,50</b>	<b>4,69</b>

1=PIX-044B-01-01, 2=PIX-044B-13-01, 3=PIX-045B-27-02, 4=PIX-045B-32-03, 5=PIX-052B-06-01

1'=Carolina Wonder, 2'=Charleston Belle, 3'=MYR-29-09-05, 4'= MYR-29-11-08

Tabela 4 Estimativas dos valores e da porcentagem relativa de heterose em relação à média dos genitores (HM) para percentagem de plantas assintomáticas ao PepYMV, *Phytophthora capsici*, índice de reprodução (IR) e fator de reprodução (FR) de *Meloidogyne incognita* em híbridos de pimentão. UFLA, Lavras, MG, 2013

Identificação dos tratamentos	HM%							
	PepYMV		<i>P.capsici</i>		<i>M. incognita</i>		FR (4)	
	(1)		(2)		IR (3)			
	M <sub>F1</sub> - M <sub>p</sub>	%	M <sub>F1</sub> - M <sub>p</sub>	%	M <sub>F1</sub> - M <sub>p</sub>	%	M <sub>F1</sub> - M <sub>p</sub>	%
1 x 1'	48,91	123,31	30,21	47,17	-157,32	-98,38	-32,99	-97,06
1 x 2'	22,73	57,32	26,06	38,22	-159,10	-98,73	-33,15	-97,16
1 x 3'	10,83	12,08	18,75	37,13	-155,69	-97,12	-32,55	-95,54
1 x 4'	10,83	12,08	45,83	90,76	-108,67	-36,22	-16,59	-26,43
2 x 1'	50,00	99,01	21,87	34,16	-98,80	-99,37	-18,56	-97,21
2 x 2'	50,00	99,01	- 3,10	-4,55	-96,90	-96,24	-18,03	-93,82
2 x 3'	00,00	00,00	14,58	28,88	-98,46	-98,62	-18,48	-96,38
2 x 4'	00,00	00,00	43,75	86,63	-65,81	-27,48	-06,11	-12,76
3 x 1'	50,00	99,01	20,74	33,99	-139,85	-98,31	-28,96	-96,90
3 x 2'	47,77	94,60	12,42	19,07	-142,87	-99,06	-29,29	-97,60
3 x 3'	00,00	00,00	19,69	41,50	-136,35	-95,57	-27,68	-92,40
3 x 4'	00,00	00,00	40,53	85,38	1,27	0,45	14,75	25,14
4 x 1'	24,87	49,25	36,46	56,93	-80,52	-92,33	-19,17	-90,14
4 x 2'	27,52	54,50	30,23	44,33	-87,27	-98,64	-20,69	-96,70
4 x 3'	00,00	00,00	45,83	90,76	-84,22	-96,12	-20,14	-94,38
4 x 4'	00,00	00,00	45,83	90,76	-47,07	-20,70	-02,65	-05,29
5 x 1'	34,07	72,52	13,54	21,14	-170,99	-98,22	-28,50	-96,28
5 x 2'	31,82	67,74	26,06	38,22	-173,91	-99,18	-29,01	-97,58
5 x 3'	03,52	03,63	45,83	90,76	-170,03	-97,44	-28,20	-94,99
5 x 4'	03,52	03,63	43,75	86,64	-79,84	-25,41	05,96	10,20
<b>DMS</b>	<b>23,27</b>		<b>27,85</b>		<b>139,90</b>		<b>33,78</b>	

1=PIX-044B-01-01, 2=PIX-044B-13-01, 3=PIX-045B-27-02, 4=PIX-045B-32-03, 5=PIX-052B-06-01, 1'=Carolina Wonder, 2'=Charleston Belle, 3'=MYR-29-09-05, 4'= MYR-29-11-08. Mp= Média dos genitores; M<sub>F1</sub>= Média do híbrido; HM%= heterose relativa à média dos genitores, expressa em %. (1) % plantas assintomáticas após inoculação com PepYMV; (2) % plantas assintomáticas após inoculação com *P. capsici*; (3) índice de reprodução do nematoide; (4) fator de reprodução do nematoide

Tabela 5 Porcentagem (%) de plantas assintomáticas ao PepYMV, *P. capsici*, índice e fator de reprodução de *M. incognita* em pimentão

Parentais	PepYMV	<i>P. capsici</i>	<i>M. incognita</i>	
	% <sup>1</sup>	% <sup>1</sup>	IR <sup>1</sup>	FR <sup>1</sup>
<b>Grupo I</b>				
1= PIX-044B-01-01	78,3 bcd	100,0 a	318,5 de	66,9 cd
2= PIX-044B-13-01	100,0 a	100,0 a	197,6 bcd	37,1 abcd
3= PIX-045B-27-02	100,0 a	93,9 ab	283,3 cde	58,7 cd
4= PIX-045B-32-03	100,0 a	100,0 a	173,2 bc	41,5 cd
5= PIX-052B-06-01	92,9 abc	100,0 a	346,9 e	58,2 cd
<b>Grupo II</b>				
1'= Carolina Wonder	00,0 e	27,1 ef	0,2 a	0,0 a
2'= Charleston Belle	00,0 e	35,4 e	2,7 a	0,3 a
3'= MYR-29-09-05	100,0 a	00,0 g	1,0 a	0,2 a
4'= MYR-29-11-08	100,0 a	00,0 g	280,3 cde	57,6 cd
<b>Adicional</b>				
PIM-013	00,0 e	100,0 a	159,0 bc	34,7 abcd
<b>Testemunhas</b>				
Criollo de Morellos	100,0 a	100,0 a	1,6 a	0,2 a
Magnata Super	00,0 e	2,1 fg	157,0 bc	37,1 abcd

<sup>1</sup>Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de *Tukey*, a 5% de probabilidade

**ARTIGO 2**

**CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO EM HÍBRIDOS DE PIMENTÃO  
COM RESISTÊNCIA MÚLTIPLA A DOENÇAS**

**Artigo redigido conforme norma da revista Pesquisa Agropecuária  
Brasileira – PAB  
(Versão preliminar)**

## Capacidade de combinação em híbridos de pimentão com resistência múltipla a doenças

Danilo Gustavo Nogueira<sup>(1)</sup>, Wilson Roberto Maluf<sup>(2)</sup>, Douglas Willian Nogueira<sup>(2)</sup>, César Augusto Ticona Benavente<sup>(2)</sup>.

<sup>(1)</sup>Universidade Federal de Lavras (UFLA), Departamento de Biologia, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000. Lavras, MG. E-mail: asp.nogueira@yahoo.com.br,

<sup>(2)</sup>UFLA, Departamento de Agricultura. E-mail: wrmaluf@dag.ufla.br, douglagen@yahoo.com.br, cesar.benavente@gmail.com,

**Resumo** – Este trabalho foi realizado com os objetivos de inferir sobre a capacidade combinatória de linhagens de pimentão com resistência múltipla a doenças a serem utilizadas na obtenção de novos híbridos. O material genético foi constituído por seis testemunhas (híbridos comerciais) e 30 híbridos experimentais, sendo 20 deles obtidos a partir do cruzamento de dois grupos de genitores (grupo I: 1=PIX-044B-01-01, 2=PIX-044B-13-01, 3=PIX-045B-27-02, 4=PIX-045B-32-03, 5=PIX-052B-06-01; grupo II: 1'=Carolina Wonder, 2'=Charleston Belle, 3'=MYR-29-09-05 e 4'=MYR-29-11-08) e 10 híbridos experimentais adicionais. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com três repetições (com parcelas de 14 plantas). Avaliaram-se os seguintes caracteres: produção (total e precoce) de frutos, massa média de fruto, espessura do pericarpo, profundidade de inserção do pedúnculo e relação comprimento/diâmetro do fruto. Destacam-se as linhagens PIX-044B-13-01, no grupo I, e Carolina Wonder, Charleston Belle e MYR-29-09-05, no grupo II, pelos altos valores da capacidade geral de combinação para os principais caracteres. Os efeitos gênicos aditivos foram importantes para todos os caracteres avaliados, mas os efeitos não aditivos foram também relevantes para os caracteres relacionados à produção e à profundidade de inserção do pedúnculo. Os híbridos 2x1', 2'x3', 4x1' e 5'x3', que têm resistência múltipla a doenças, apresentaram desempenho médio superior ou equivalente ao das testemunhas.

**Termos para indexação:** Nematóide, Potyvirus, *Phytophthora capsici*, Híbridos.

### **Combining ability of sweet pepper hybrids with multiple disease resistance**

**Abstract** - The objectives of the present work were to assess the combining ability of sweet pepper lines with multiple disease resistances to attainment news hybrids. Tested genotypes included six commercial hybrids (Magnata Super, Konan R, Mallorca, Martha R, Stephany and Magali R), used as check treatments, and 30 experimental hybrids: 20 hybrids comprising a partial diallel among two groups of parental lines (group I: 1=PIX-044B-01-01, 2=PIX-044B-13-01, 3=PIX-045B-27-02, 4=PIX-045B-32-03, 5=PIX-052B-06-01; grupo II: 1'=Carolina Wonder, 2'=Charleston Belle, 3'=MYR-29-09-05 e 4'=MYR-29-11-08), and 10 experimental hybrids. The genotypes were tested in a randomized complete block design with three replications, and the following traits were assessed: total fruit yield, mean fruit mass, early yield, pericarp thickness, depth of peduncle insertion, and fruit length/diameter ratio. Lines PIX-044B-13-01, in group I, and Carolina Wonder, Charleston Belle, e MYR-29-09-05, in group II, were found to have good general combining ability for the majority of the traits under study. Additive genetic effects were important for all traits evaluated, but non-additive effects also appeared to be relevant for yield related traits and depth of peduncle insertion. Hybrids 2x1', 2'x3', 4x1' e 5'x3' had multiple disease resistances, and performances equivalent to or superior to the check treatments.

**Index terms:** nematode, potyvirus, *Phytophthora capsici*, hybrids.

## Introdução

Nos últimos anos, a cultura do pimentão (*Capsicum annuum* L.) tem se destacado como uma das hortaliças mais importantes do país. Superado apenas pelo tomate e pela batata, o pimentão é a terceira solanácea de maior importância econômica no mercado de hortaliças. Um importante fator para o incremento da produtividade da cultura tem sido a utilização de cultivares híbridas pelos produtores.

Assim, em razão da existência de heterose em níveis economicamente viáveis (Pereira et al., 2004; Nascimento et al., 2004), os programas de melhoramento de pimentão têm buscado obter cultivares híbridas que aliem, além de maior produtividade e melhor qualidade de fruto (notadamente, formato, tamanho e espessura da polpa), maior resistência às principais doenças limitantes à produção (Rêgo et al., 2009).

Entre os fitopatógenos desta cultura de importância no Brasil, destacam-se: i) potyvirus, especialmente o *Pepper yellow mosaic virus* (PepYMV), causador da doença conhecida como mosaico-amarelo-do-pimentão, atualmente a principal doença virótica da cultura no Brasil (Inoue-Nagata et al., 2002; Lucinda et al., 2012); ii) o fungo *Phytophthora capsici* Leonian, agente causal da doença conhecida como murcha, requeima ou podridão da raiz e uma das doenças fúngicas mais destrutivas desta cultura em todo o mundo (Hausbeck & Lamour, 2004) e iii) os nematoides, especialmente os causadores de galhas nas raízes (*Meloidogyne* spp.), os quais podem atacar quase todas as plantas cultivadas em climas tropicais e subtropicais (Djian-Caporalino et al., 1999). Dentre os nematoides, *M. incognita* é a espécie que pode provocar maiores danos em pimentão (Lopes & Ávila, 2003), pois ocorre com maior frequência nos campos de cultivo, enquanto boa parte dos genótipos é resistente a *M. javanica* (Peixoto, 1995).

A presença de variabilidade genética no gênero *Capsicum* tem permitido encontrar e introduzir resistência a esses patógenos em cultivares e esta tem sido uma prioridade nos programas de melhoramento de pimentão (Echer & Costa, 2002; Candole & Conner, 2010; Fazari et al., 2012). A resistência genética é uma forma eficiente, econômica e de menor impacto ambiental no controle de fitopatógenos (Bento et al., 2009; Woo et al., 2005; Djian-Caporalino et al., 1999) e é passível de ser mais facilmente explorada nas combinações híbridas, pois, em grande parte, os estudos mostram a presença de alelos dominantes, com herança do tipo monogênica, no controle dessas resistências (Echer & Costa, 2002; Monroy-Barbosa & Bosland, 2008; Thies & Ariss, 2009).

Atualmente, há, no mercado, um grande número de híbridos, em boa parte importados, que têm resistência a algumas poucas doenças de importância econômica. Porém, alguns deles ainda apresentam defeitos que impedem seu emprego em maior escala (notadamente, menor tamanho de frutos). O desenvolvimento de híbridos nacionais com boas características agronômicas e resistentes a dois ou aos três patógenos considerados, especialmente a *M. incognita* (para o qual não há, atualmente, disponíveis híbridos comerciais resistentes), representará uma evolução nos cultivos de pimentão.

Para o desenvolvimento de combinações híbridas, é necessária a identificação de linhagens genitoras com boa capacidade combinatória, baseada na obtenção de estimativas da capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação. Entre os delineamentos genéticos para a avaliação de novos híbridos, os cruzamentos dialélicos têm se destacado, provendo também estimativas de parâmetros úteis na seleção de genitores para hibridação (Cruz & Carneiro, 2003).

O presente trabalho foi realizado com os seguintes objetivos: (i) inferir sobre a capacidade combinatória de linhagens de pimentão resistente a um ou

mais patógenos (PepYMV, *P. capsici* e *M. incognita*) potencialmente úteis na obtenção de híbridos e (ii) desenvolver híbridos de pimentão com resistência múltipla a doenças e identificar os que venham a ser competitivos com as testemunhas comerciais.

### Material e Métodos

O material genético foi constituído de 36 genótipos de pimentão, sendo seis testemunhas comerciais (híbridos Magnata Super, Konan R, Mallorca, Martha R, Stephany e Magali R) e 30 híbridos experimentais. Dos híbridos experimentais, 20 foram obtidos num esquema dialélico North Carolina II, a partir do cruzamento de dois grupos de genitores (grupo I - genitores femininos: 1=PIX-044B-01-01, 2=PIX-044B-13-01, 3=PIX-045B-27-02, 4=PIX-045B-32-03 e 5=PIX-052B-06-01; grupo II - genitores masculinos: 1'=Carolina Wonder, 2'=Charleston Belle, 3'=MYR-29-09-05 e 4'=MYR-29-11-08) e dez híbridos foram híbridos adicionais obtidos a partir do cruzamento entre as seguintes linhagens: F1(PIX-044B-01-01 x PIM-13), F1(PIX-044B-13-01 x PIX-052B-06-01), F1(PIX-045B-27-02 x PIX-052B-06-01), F1(PIX-045B-32-03 x PIX-052B-06-01), F1(PIM-13 x MYR-29-09-05), F1(PIM-13 x MYR-29-11-08), F1(Carolina Wonder x MYR-29-09-05), F1(Carolina Wonder x MYR-29-11-08), F1(Charleston Belle x MYR-29-09-05) e F1(Charleston Belle x MYR-29-11-08).

As reações das linhagens parentais ao PepYMV, a *P. capsici* e ao *M. incognita* estão listadas na Tabela 1, obtida a partir de Carvalho (2013). Todas as resistências consideradas são controladas por alelos dominantes (Carvalho, 2013).

Durante o processo de obtenção das linhagens de códigos PIX e MYR, foi utilizada seleção fenotípica, quanto à reação de resistência ao PepYMV e/ou a *P. capsici* (Nascimento et al., 2007). Também se utilizou, durante este

processo, a seleção assistida por marcador molecular para a obtenção dos genótipos resistentes ao PepYMV (Nogueira et al., 2012), utilizando-se o marcador CAPS, desenvolvido por Caranta et al. (1999), ligado ao alelo *Pvr4*, que confere resistência ao potyvirus. Carolina Wonder e Charleston Belle, por outro lado, são linhagens obtidas pelo USDA, homozigotas para o gene *N*, que confere resistência ao nematoide *M. incognita* (Fery et al., 1998). PIM-013 é uma linhagem elite do programa de melhoramento da HortiAgro Sementes S.A/UFLA, resistente a *P. capsici*; PIX-044B-01-01 e PIX-044B-13-01 são linhagens endogâmicas, selecionadas a partir de autofecundações sucessivas do híbrido comercial Mônica R, resistentes a PepYMV e a *P. capsici*; PIX-045B-27-02 e PIX-045B-32-03 são linhagens endogâmicas, selecionadas a partir de autofecundações sucessivas do híbrido comercial Martha R, resistentes a PepYMV e a *P. capsici*; PIX-052B-06-01 é uma linhagem endogâmica, selecionada a partir de retrocruzamento e autofecundações sucessivas, em que o genitor recorrente foi PIM-023 (linhagem resistente a PepYMV) e o genitor não recorrente foi PIM-013 (linhagem resistente a *P. capsici*), resistente a PepYMV e a *P. capsici*; MYR-29-09-05 e MYR-29-11-08 são linhagens endogâmicas resistentes a PepYMV, selecionadas a partir de autofecundações sucessivas dentro da cultivar comercial de polinização aberta MYR-29; MYR-29-09-05 é, ainda, resistente ao nematoide *M. incognita* (Carvalho, 2013). As linhagens PIX-044B-01-01, PIX-044B-13-01, MYR-29-09-05 e MYR-29-11-08, resistentes a PepYMV, apresentam a banda de 444 bp associada ao alelo *Pvr-4*, que controla resistência (Caranta et al., 1999), enquanto as linhagens PIX-045B-27-02, PIX-045B-32-03 e PIX-052B-06-01, também resistentes, não a apresentam (Nogueira et al., 2012).

Os híbridos experimentais foram obtidos a partir de cruzamentos controlados, com emasculação de botões florais na linhagem materna e polinização manual com pólen de outro genitor. O experimento foi conduzido na

estação experimental da HortiAgro Sementes S.A., (920 m altitude, 21° 14' 16''S, 45° 08' 00''W) situada no município de Ijaci, MG. As mudas foram produzidas em bandejas de poliestireno de 128 células, contendo substrato comercial Topstrato®. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados com três repetições. Cada bloco correspondia a uma diferente estufa tipo capela, de dimensões 6 m largura x 32 m de comprimento, com três canteiros de 1,5 m de largura em cada uma. As plantas foram transplantadas para estufas no estágio de 4 a 6 folhas definitivas. Cada parcela experimental constou de 14 plantas espaçadas de 0,75 m entre fileiras e 0,35 m entre plantas na fileira, e duas fileiras por canteiro, correspondendo a uma população equivalente a 38.095 plantas/ha.

Foram realizadas oito colheitas, compreendendo um período de 52 dias, entre as datas de 31/01/2012 e 22/03/2012, e os frutos foram colhidos na fase de coloração verde final (ponto comercial). As avaliações e análises foram realizadas em parcelas. Foram avaliados os seguintes caracteres:

- produção total de frutos: foram somadas as produções de frutos colhidos em cada parcela durante as colheitas e os dados foram expressos em  $t.ha^{-1}$ ;
- massa média de fruto, expressos em  $gramas.fruto^{-1}$ ;
- produção precoce de frutos, correspondente às produções das três primeiras colheitas (primeiros 16 dias de colheita), expressa em  $t.ha^{-1}$ ;
- espessura do pericarpo, expressa em mm, medida em frutos cortados na região de maior diâmetro;
- profundidade de inserção do pedúnculo floral e
- relação comprimento/diâmetro (C/D), como indicativo do formato de fruto, sendo o formato ideal para o comércio aquele de valor aproximado a 2:1.

Para espessura do pericarpo, profundidade de inserção do pedúnculo floral e relação comprimento/diâmetro, foram avaliados 20 frutos, tomados aleatoriamente ao longo das colheitas. Notas de 1 a 5 foram atribuídas para avaliar o caráter profundidade de inserção do pedúnculo, conforme a seguinte

escala: nota 1 = pedúnculo inserido no nível da base do fruto; nota 2 = pedúnculo inserido de 0 a 0,5 cm abaixo do nível da base do fruto; nota 3 = de 0,5 a 1,0 cm abaixo do nível da base do fruto; nota 4 = de 1,0 a 1,5 cm abaixo do nível da base do fruto e nota 5 = mais de 1,5 cm abaixo do nível da base do fruto. Notas menores são consideradas desejáveis.

Foram realizadas análises de variância para todos os caracteres avaliados. Os quadrados médios da capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação foram obtidos para as  $pq=20$  combinações híbridas resultantes do cruzamento entre  $p=5$  (genitores do grupo I) e  $q=4$  (genitores do grupo II), segundo o modelo estatístico  $y_{ij} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + e_{ij}$ , em que  $\mu$  = média geral;  $g_i$  (efeito da CGC do parental do grupo I);  $g_j$  (efeito da CGC do parental do grupo II);  $s_{ij}$  (efeito da CEC entre os genitores  $i$  e  $j$ ) e  $e_{ij}$  = erro experimental. As médias foram comparadas por meio do teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

### **Resultados e Discussão**

Foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para todas as características avaliadas (Tabela 2). A significância dos tratamentos para todas as características analisadas deve-se tanto às diferenças existentes entre os 20 híbridos do dialelo quanto entre os 10 híbridos adicionais.

Os efeitos de capacidade geral de combinação (CGC) entre linhagens do grupo I foram significativos para todas as características analisadas, exceto produção total (Tabela 2), o que indica alto grau de divergência entre estas linhagens para a maioria das características analisadas. Já os efeitos de CGC no grupo II foram significativos para todas as características analisadas, indicando maior variação entre as linhagens deste grupo, quando comparadas com a variação encontrada entre linhagens do grupo I. Não houve significância para capacidade específica de combinação (CEC) para massa média dos frutos e

espessura do pericarpo. Dessa maneira, estes últimos caracteres são os únicos que podem ser preditos com base apenas na média das linhagens parentais.

As estimativas de CGC's ( $g_i$ ,  $g_j$ ) para produção total variaram, nas linhagens do grupo I, entre -4,47 e 4,64 [amplitude total de 9,11 t.ha<sup>-1</sup>], enquanto, nas linhagens do grupo II, as  $g_j$  variaram entre -7,58 e 3,86 (amplitude total de 11,44 t.ha<sup>-1</sup>, valores consideráveis, quando comparados à média geral  $\mu = 64,06$  t.ha<sup>-1</sup>) (Tabela 3). Esses valores indicam que os efeitos aditivos podem ter alguma importância na expressão da produção total, principalmente no grupo II, no qual os efeitos de CGC foram significativos (Tabela 2). Já os efeitos não aditivos  $S_{ij}$  (que representam a CEC) variaram de -8,31 a 10,61, com amplitude total de 18,92 t.ha<sup>-1</sup>, o que representa cerca de 30% do valor representado pela média  $\mu = 64,06$  t.ha<sup>-1</sup> (Tabela 3). Isso indica que, mais do que os efeitos gênicos aditivos, os não aditivos (dominância e/ou epistasia) também podem ser de importância na expressão do caráter, o que é indicado pela detecção de efeitos significativos de CEC (Tabela 2).

Com estimativas positivas de  $g_i$  para produção total, as linhagens 2 = PIX-044B-13-01, 3 = PIX-045B-27-02 e 4 = PIX-045B-32-03 (grupo I) e 1' = Carolina Wonder, 2' = Charleston Belle e 3' = MYR-29-09-05 (grupo II) contribuem favoravelmente para o caráter (Tabela 3), em especial as linhagens PIX-044B-13-01 (no grupo I) e Carolina Wonder (no grupo II). O fato de os maiores valores de  $g_j$  no grupo II, 3,86, 2,36 e 1,35 t.ha<sup>-1</sup> estarem associados às linhagens 1' = Carolina Wonder, 2' = Charleston Belle e 3' = MYR-29-09-05, respectivamente, todas resistentes a *M. incognita*, pode refletir a importância desta resistência para a produção nas condições de altas populações de nematoides no solo prevalentes no presente experimento.

Os maiores efeitos positivos de CECs ( $S_{ij}$ ) foram apresentados pelas combinações 1x4' = F<sub>1</sub>(PIX-044B-01-01 x MYR-29-11-08), 2x1' = F<sub>1</sub>(PIX-

044B-13-01 x Carolina Wonder),  $5x3' = F_1(\text{PIX-052B-06-01} \times \text{MYR-29-09-05})$ ,  $4x1' = F_1(\text{PIX-045B-32-03} \times \text{Carolina Wonder})$  e  $5x2' = F_1(\text{PIX-052B-06-01} \times \text{Charleston Belle})$ , com valores de 10,61; 9,87; 6,65; 6,35 e 6,32 t.ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 3). A melhor combinação híbrida deve ser aquela com maior  $S_{ij}$ , cujos parentais apresentam alta CGC. Neste caso, as melhores combinações no dialelo foram  $2x1'$  e  $4x1'$ . A maioria dos genitores das combinações híbridas  $1x4'$ ,  $5x2'$  e  $5x3'$  apresenta valores negativos de CGC, presumindo-se que os efeitos gênicos não aditivos (CECs) foram mais importantes para a superioridade desses híbridos. Outros autores (Nascimento, 2005, Silva, 2002) relataram efeitos gênicos não aditivos para caracteres relacionados à produção, resultando em heterose significativa.

As estimativas da CGC para massa média por fruto variaram entre -6,29 e 8,92 g.fruto<sup>-1</sup> (amplitude de 15,21 g.fruto<sup>-1</sup>), entre as linhagens do grupo I e entre -6,77 e 5,13 g.fruto<sup>-1</sup> (amplitude de 11,90 g.fruto<sup>-1</sup>), nas linhagens do grupo II (Tabela 3). Embora os efeitos de CGCs dos dois grupos tenham sido significativos (Tabela 2), houve uma menor amplitude de variação entre linhagens do grupo II do que entre linhagens do grupo I. Embora o efeito da CEC não tenha sido significativo (Tabela 2), os valores de  $S_{ij}$  variaram de -6,81 a 8,90 (amplitude de 15,71 g.fruto<sup>-1</sup>) (Tabela 3). Comparando-se com a média geral (144,80 g.fruto<sup>-1</sup>), a amplitude das CEC não representou mais do que de cerca de 11% do valor da média geral. Os híbridos  $1x4' = F_1(\text{PIX-044B-01-01} \times \text{MYR-29-11-08})$ ,  $4x1' = F_1(\text{PIX-045B-32-03} \times \text{Carolina Wonder})$  e  $5x3' = F_1(\text{PIX-052B-06-01} \times \text{MYR-29-09-05})$  apresentam as estimativas mais favoráveis para massa média de fruto (Tabela 3). Isso indica que, em alguns híbridos, o valor de  $S_{ij}$  pode ser relevante, embora, em média, a CEC não seja de grande importância na expressão do caráter.

As estimativas da CGC ( $g_i$ ,  $g_j$ ) para a produção precoce variaram, respectivamente, entre -3,33 e 3,46 t.ha<sup>-1</sup>, nas linhagens do grupo I e entre

-3,40 a 2,47 t.ha<sup>-1</sup>, nas linhagens do grupo II, representando uma amplitude de 6,79 e 5,87 t.ha<sup>-1</sup> (Tabela 3). Comparativamente à média ( $\mu= 33,22$  t.ha<sup>-1</sup>), esses valores são importantes, principalmente no grupo I, em que a amplitude representou cerca de 20,5% da média do caráter. Os valores de CEC ( $S_{ij}$ ) variaram entre -5,14 a 6,67 t.ha<sup>-1</sup>, uma amplitude de 11,81 t.ha<sup>-1</sup>, valor relevante quando comparado à média geral ( $\mu= 33,22$  t.ha<sup>-1</sup>) (Tabela 3). Isso indica que, pelo menos em alguns híbridos, o valor de  $S_{ij}$  pode ser relevante, na expressão da produção precoce. O maior efeito positivo da CEC ( $S_{ij}$ ) foi apresentado pela combinação 1x4' (6,67 t.ha<sup>-1</sup>), híbrido que obteve produções precoces superiores ao esperado, com base apenas nas CGC dos seus genitores, que foram negativas para ambos. A CEC e as CGCs significativas indicam que os efeitos gênicos não aditivos, assim como os efeitos aditivos, tiveram importância para expressão da produção precoce, concordando com os resultados apresentados por Innecco (1995) e discordando dos de Nogueira (2011), Nascimento et al. (2004), e Gomide et al., (2003).

Para espessura do pericarpo, a CGC foi significativa para ambos os grupos de genitores: para os genitores do grupo I, as  $g_i$  variaram entre -0,12 e 0,14 mm (amplitude de 0,26 mm), ao passo que no grupo II ( $g_j$ ), variaram entre -0,27 e 0,22 mm (amplitude de 0,49 mm) (Tabela 3). As CEC variaram entre -0,16 e 0,17 mm (amplitude de 0,33 mm), com a maioria dos valores de  $S_{ij}$  próximos de zero, o que resultou em efeito médio não significativo para CEC. As significâncias das CGC, tanto no grupo I como no grupo II (Tabela 2), são indicativas de que os efeitos gênicos aditivos são predominantes no controle do caráter.

Estimativas negativas de CGC para profundidade de inserção do pedúnculo (PIP) indicam tendência dos genitores em proporcionar frutos com menor PIP, o que é desejável. No grupo I, as estimativas da CGC variaram de -0,46 a 0,55 (amplitude de 1,01), enquanto, no grupo II, variaram entre -0,10 e

0,18 (amplitude de 0,28) (Tabela 3). Aparentemente, as linhagens do grupo I apresentaram maior divergência entre si para o caráter do que as do grupo II, destacando-se favoravelmente as linhagens 2 = PIX-044B-13-01 e 5 = PIX-052B-06-01, com valores respectivos de -0,46 e -0,41, estando de acordo com os resultados encontrados por Nogueira (2011). As estimativas da CEC variaram de -0,36 a 0,31 (amplitude de 0,67) (Tabela 3), sendo representativos em relação ao comportamento médio do caráter ( $\mu=2,64$ ) (Tabela 2). As significâncias das CGCs, tanto no grupo I como no II, e também das CECs são indicativas de que tanto os efeitos gênicos aditivos como os não aditivos foram importantes no controle do caráter PIP, o que difere dos resultados apresentados por Bonetti (2002), Nascimento et al. (2004) e Nogueira (2011).

As estimativas das CGC para a relação comprimento/diâmetro (C/D), indicativo do formato de fruto, variaram de -0,09 a 0,18 (amplitude de 0,27), no grupo I e de -0,15 a 0,13 (amplitude de 0,28), no grupo II (Tabela 3). Esses valores de amplitude representam, respectivamente, 14,9% e 15,5% da variação total da expressão da C/D em relação à média ( $\mu= 1,81$ ) e refletem a importância dos efeitos gênicos aditivos na expressão do caráter. Os efeitos da CECs variaram de -0,11 a 0,12 (amplitude de 0,23), valores esses menos relevantes quando comparados à média. Essa maior amplitude das CGC, relativamente à CEC, é indicativa de que os efeitos gênicos aditivos foram mais importantes para expressão do caráter C/D do que os efeitos gênicos não aditivos, principalmente no grupo II, em relação à amplitude das CEC. Resultados semelhantes foram encontrados por Gomide et al. (2008) e Nogueira (2011).

De forma geral, a maioria dos híbridos teve comportamentos comparáveis aos das melhores testemunhas para os caracteres aqui avaliados (Tabela 4), principalmente para produção (total e precoce) e espessura do pericarpo, características para as quais o contraste "testemunhas vs. híbridos do dialelo" foram não significativas (Tabela 2). Dessa forma, o grupo de

combinações híbridas testadas no dialelo inclui híbridos pelo menos competitivos com as testemunhas comerciais utilizadas.

Os híbridos do dialelo  $2 \times 1' = F_1(\text{PIX-044B-13-01} \times \text{Carolina Wonder})$  e  $4 \times 1' = F_1(\text{PIX-045B-32-03} \times \text{Carolina Wonder})$  tiveram estimativas elevadas de CGC e CEC para produção total e produção precoce (Tabela 3). Os genitores do híbrido  $5 \times 3' = F_1(\text{PIX-052B-06-01} \times \text{MYR-29-09-05})$  apresentaram somatórias das CGCs negativas, porém, produziram  $71,96 \text{ t.ha}^{-1}$ , não diferindo das melhores testemunhas (Tabela 4). A produção total foi de  $83,32 \text{ t.ha}^{-1}$ , no híbrido ( $2 \times 1'$ ), o qual apresentou média superior à da melhor testemunha (Konan-R=  $77,68 \text{ t.ha}^{-1}$ ) e de  $75,20 \text{ t.ha}^{-1}$  no híbrido ( $4 \times 1'$ ), o qual teve média numericamente superior à Mallorca ( $71,08 \text{ t.ha}^{-1}$ ) e ligeiramente inferior à Konan-R ( $77,68 \text{ t.ha}^{-1}$ ), não havendo, no entanto, diferenças estatísticas entre estes tratamentos (Tabela 4). Esses mesmos híbridos tiveram comportamento semelhante ao das testemunhas para as demais características e, como consequência das características de suas linhagens genitoras (Tabela 1), têm tolerância a *Phytophthora capsici*, ao nematoide *Meloidogyne incognita* e ao vírus PepYMV: o genitor 1' (=Carolina Wonder) é resistente ao *M. incognita* (homozigota para gene *N*), 3' = (MYR-29-09-05) é resistente ao *M. incognita* e ao PepYMV, e os genitores 2 = (PIX-044B-13-01), 4 = (PIX-045B-32-03) e 5 = (PIX-052B-06-01) são resistentes a *P. capsici* e ao PepYMV (Tabela 1). As elevadas produtividades destes híbridos podem refletir, pelo menos em parte, a importância da resistência ao *M. incognita*, conferida por 1' ou 3' em solos com altas populações de nematoides, como as do presente trabalho.

O híbrido  $1 \times 4' = F_1(\text{PIX-044B-01-01} \times \text{MYR-29-11-08})$  apresentou CGCs negativas para ambos os genitores, porém, produziu  $63,50 \text{ t.ha}^{-1}$ , não diferindo das melhores testemunhas (Tabela 4). Isso reflete a elevada CEC para produção total observada neste cruzamento. Este híbrido é interessante, pois apresenta resistência a *P. capsici* e ao PepYMV, com a possibilidade de ser

homozigoto resistente para o alelo *Pvr-4*, já que ambos os genitores apresentam a marca associada ao alelo *Pvr4* que confere resistência ao PepYMV (Tabela 1), o que está de acordo com os resultados encontrados por Carvalho (2013), em que 100% das plantas foram assintomáticas após inoculação com PepYMV.

Para a maioria das características avaliadas, os melhores desempenhos entre os híbridos adicionais foram observados nas combinações 2'x3' = F<sub>1</sub> (Charleston Belle x MYR-29-09-05) e 5'x3' = F<sub>1</sub>(PIM-013 x MYR-29-09-05), destacando-se a produtividade total. A produção total foi de 83,99 t.ha<sup>-1</sup>, no híbrido (2'x3') e de 78,38 t.ha<sup>-1</sup>, no híbrido (5'x3'), os quais tiveram médias numericamente superiores à melhor testemunha (Konan-R= 77,68 t.ha<sup>-1</sup>). Aliada ao bom desempenho, estes híbridos apresentam resistência aos fitopatógenos limitantes à cultura: o híbrido 2'x3' apresenta resistência a PepYMV e *M. incognita*; já o híbrido 5'x3' é resistente a PepYMV, *M. incognita* e *P. capsici*.

A maioria dos híbridos aqui avaliados tem, portanto, potencial para ser competitiva em relação às testemunhas comerciais. Por outro lado, os híbridos 2x1', 2'x3', e 5'x3' poderiam, mesmo, superá-las em condições em que ocorra estresse pela presença de múltiplos fitopatógenos.

Gomide et al. (2003), em trabalho semelhante de capacidade combinatória de linhagens de pimentão, verificaram a maior importância dos efeitos gênicos aditivos para a produção precoce de frutos, massa média de fruto total e produção total de frutos. Para esse último caráter, os efeitos gênicos não aditivos foram também de grande importância, à semelhança dos resultados aqui observados. Os efeitos gênicos aditivos foram importantes também para espessura do pericarpo, profundidade de inserção do pedúnculo floral e relação comprimento/diâmetro, concordando com os resultados encontrados para esses caracteres por Silva, (2002), Nascimento et al. (2004) e Gomide et al. (2008), respectivamente.

De acordo com Carvalho (2013), as linhagens parentais (Carolina Wonder, Charleston Belle e MYR-29-09-05) têm altos níveis de resistência a *M. incognita*. Assim, as elevadas produtividades dos híbridos 2x1', 4x1', 2'x3' e 5'x3' podem estar relacionadas ao fato de que esses híbridos envolvem o uso das referidas linhagens como genitoras, todas resistentes a *M. incognita*, dessa forma, refletindo que a resistência é efetiva mesmo em heterozigose, pois o experimento foi conduzido em solo sabidamente com populações de nematoides. Libânio (2005), similarmente, verificou que a presença de um outro alelo (*Me1*) confere resistência aos nematoides de galhas, mesmo em condições de heterozigose, indicando que o uso de material resistente é o método mais eficaz contra os nematoides.

### Conclusões

1. A maioria dos híbridos possui desempenho semelhante ao das melhores testemunhas, para todos os caracteres avaliados.
2. Os efeitos gênicos aditivos foram importantes para todos os caracteres avaliados e, para produção (total e precoce) de frutos e profundidade de inserção do pedúnculo, os não aditivos foram também de importância.
3. Destacam-se, pelos altos valores da capacidade geral de combinação para os principais caracteres, as linhagens PIX-044B-13-01, no grupo I, e Carolina Wonder, Charleston Belle, e MYR-29-09-05, no grupo II.
4. Foram identificados os híbridos 2x1' =  $F_1(\text{PIX-044B-13-01} \times \text{Carolina Wonder})$ , 2'x3' =  $F_1(\text{Charleston Belle} \times \text{MYR-29-09-05})$ , 4x1' =  $F_1(\text{PIX-045B-32-03} \times \text{Carolina Wonder})$  e 5'x3' =  $F_1(\text{PIM-013} \times \text{MYR-29-09-05})$ , com desempenho médio superior ou equivalente ao das testemunhas e que aliam resistência múltipla às doenças.

### Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão de Bolsa; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); à Universidade Federal de Lavras - Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, à Fundação de Desenvolvimento Científico e Cultural e à empresa HortiAgro Sementes S.A., pelo apoio na realização do experimento.

### Referências

- BENTO, C.S.; RODRIGUES, R.; ZERBINI JUNIOR, F.M.; SUDRÉ, C.P. Sources of resistance against the *Pepper yellow mosaic virus* in chili pepper. **Horticultura Brasileira**, v.27, p.196-201, 2009.
- BONETTI, M. L. G. Z. **Heterose e capacidade combinatória de linhagens de híbridos de pimentão (*Capsicum annuum* L.)**. 2002. 85 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.
- CANDOLE, B. L.; CONNER, P.J. Screening *Capsicum annuum* Accessions for Resistance to Six Isolates of *Phytophthora capsici*. **HortScience**, v.45, p.254-259, 2010.
- CARANTA, C.; THABUIS, A.; PALLOIX, A. Development of a CAPS marker for the *Pvr4* locus: a tool for pyramiding potyvirus resistance genes in pepper. **Genome**, v.42, p.1111-1116, 1999.
- CARVALHO, R. C. **Obtenção de híbridos de pimentão com resistência a múltiplos patógenos**. 2013. 55 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2003. 340 p.
- DJIAN-CAPORALINO, C.; PIJAROWSKI, L.; JANUEL, A.; LEFEBVRE, V.; DAUBEZE, A.; PALLOIX, A.; DALMASSO, A.; ABAD, P. Spectrum of

resistance to root-knot nematodes and inheritance of heatstable resistance in pepper (*Capsicum annuum* L.). **Theoretical and Applied Genetics**, v.199, p.496-502, 1999.

ECHER, M. M.; COSTA, C. P. Reaction of sweet pepper to the *potato virus Y* (PVY<sup>M</sup>). **Scientia Agricola**, v.59, p.309-314, 2002.

FAZARI, A. et al. The root-knot nematode resistance N -gene co-localizes in the Me -genes cluster on the pepper ( *Capsicum annuum* L.) P9 chromosome. **Plant Breeding**, v. 131, p. 665-673, 2012.

FERY, R. L.; DUKES, P. D.; THIES, J. A. Carolina Wonder and Charleston Belle: southern root-knot nematode resistant bell peppers. **HortScience**, v.33, p.900-902, 1998.

GOMIDE, M. L.; MALUF, W. R.; GOMES, L. A. A. Capacidade de combinação de linhagens elite de pimentão (*Capsicum annuum* L.). **Ciências e agrotecnologia**, v.32, p.740-748, 2008.

GOMIDE, M. L.; MALUF, W. R.; GOMES, L. A. A. Heterose e capacidade de combinatória de linhagens de pimentão (*Capsicum annuum* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v.27, p.1007-1015, 2003.

HAUSBECK, M. K.; LAMOUR, K. H. Phytophthora capsici on vegetable crops: Research progress and management challenges. **Plant Disease**, v.88, p.1292-1303, 2004.

INNECCO, R. **Avaliação do potencial agronômico de híbridos e capacidade combinatória de linhagens de pimentão (*Capsicum annuum* L.)**. 1995. 113 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

INOUE-NAGATA, A. K.; FONSECA, M. E. N.; RESENDE, R. O.; BOITEUX, L. S.; MONTE, D. C.; DUSI, A. N.; ÁVILA, A. C.; VAN DER VLUGT, R. A. A. Pepper yellow mosaic virus, a new potyvirus in sweet-pepper, *Capsicum annuum*. **Archives of Virology**, v.147, p.849-855, 2002.

LIBÂNIO, R. A. **Obtenção de híbridos de pimentão com resistência a nematoides de galhas *meloidogyne incognita***. 2005. 59 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

LOPES, C. A.; ÁVILA, A. C. **Doenças do pimentão: diagnose e controle**. Brasília: EMBRAPA - HORTALIÇAS, 2003. 96 p.

LUCINDA, N.; ROCHA, W.B.; INOUE-NAGATA, A.K.; NAGATA, T. Complete genome sequence of pepper yellow mosaic virus, a potyvirus, occurring in Brazil. **Archives of Virology**, v. 157, p. 1397-401, jul 2012.

MONROY-BARBOSA, A.; BOSLAND, P. W. Genetic analysis of *Phytophthora* root rot race-specific resistance in chile pepper. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.133, p.825-829, 2008.

NASCIMENTO, I. R. **Heterose e capacidade combinatória de linhagens de pimentão resistentes ao mosaico amarelo causado por PepYMV (*pepper yellow mosaic virus*)**. 2005. 101 P. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

NASCIMENTO, I. R.; COSTA DO VALE, L. A.; MALUF, W. R.; GONÇALVES, L. D.; GOMES, L. A. A.; MORETO, P.; LOPES, E. A. G. L. Reação de Híbridos, Linhagens e Progênes de pimentão a requeima causada por *Phytophthora capsici* e ao mosaico amarelo causado por *Pepper yellow mosaic virus* (PepYMV). **Ciências e Agrotecnologia**, v.31, p.121-128, 2007.

NASCIMENTO, I. R. do; MALUF, W. R.; FARIA, M. V.; VALLE, L. A. C.; MENEZES, C. B.; BENITES, F. R. G. Capacidade combinatória e ação gênica na expressão de caracteres de importância econômica em pimentão. **Ciência e Agrotecnologia**, v.28, p.251-260, 2004.

NOGUEIRA, D. W.; NOGUEIRA, D. G.; MALUF, W. R.; MACIEL, G. M.; FIGUEIRA, A. dos R.; MENEZES, C. B. Seleção assistida com uso de marcador molecular para resistência a potyvírus em pimentão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.955-963, 2012.

NOGUEIRA, D. W. **Seleção assistida por marcadores moleculares e capacidade combinatória de linhagens de pimentão com resistência múltipla a doenças**. 2011. 81p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

PEIXOTO, J. R. **Melhoramento do pimentão (*Capsicum annuum* L.) visando a resistência aos nematoides do gênero *Meloidogyne* spp.** 1995. 103p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

PEREIRA, P. R. V. S.; HALFELD-VIEIRA, B. A.; NECHTE, K. L.; MOURÃO JÚNIOR, M. Ocorrência danos e controle do ácaro branco (*Polyphagotossosonema latus* (Banhs, 1904) (Acarina: Tarsonemidae) em cultivo protegido em pimentão. **Comunicado técnico**, Embrapa, 2004.

RÊGO, E. R.; RÊGO, M. M.; FINGER, F. L.; CRUZ, C. D.; CASALI, V. W. D. A diallel study of yield components and fruit quality in chilli pepper (*Capsicum baccatum*). **Euphytica**, v.168, p. 275-287,2009.

SILVA, L. L. **Heterose e capacidade de combinação em cruzamentos dialélicos parciais em pimentão**. 2002. 82p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002.

THIES, J. A.; ARISS, J.J. Comparison between the *N* and *Me3* genes conferring resistance to the root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in genetically different pepper lines (*Capsicum annuum*). **European Journal of Plant Pathology**, v.125, p.545-550, 2009.

WOO, J.; YU, J.; KIL, K.; RO, P.; TAE, K. Changes in pathogenesis-related proteins in pepper plants with regard to biological control of phytophthora blight with *Paenibacillus illinoisensis*. **BioControl**, v.50, p.165-178, 2005.

Tabela 1 Progenitores utilizados nos cruzamentos e suas respectivas características de reação a patógenos, formato e tamanho de frutos

Parentais	Reação <sup>1</sup>			Formato	Tamanho de frutos
	PepYMV	<i>P. capsici</i>	<i>M. incognita</i>		
<b>Grupo I</b>					
1- PIX-044B-01-01	R*	R	S	Cônico-comprido	Grande
2- PIX-044B-13-01	R*	R	S	Cônico-comprido	Pequeno
3- PIX-045B-27-02	R	R	S	Cônico-largo	Pequeno
4- PIX-045B-32-03	R	R	S	Cônico-largo	Pequeno
5- PIX-052B-06-01	R	R	S	Cônico-comprido	Médio
<b>Grupo II</b>					
1'- Carolina Wonder	S	S	R	Quadrado	Pequeno
2'- Charleston Belle	S	S	R	Quadrado	Pequeno
3'- MYR-29-09-05	R*	S	R	Cônico-comprido	Grande
4'- MYR-29-11-08	R*	S	S	Cônico-largo	Médio
<b>Adicional</b>					
5'- PIM-013	S	R	S	Cônico-largo	Grande

<sup>1</sup>S = Suscetível; R = Resistência; \*Presença da banda associada ao alelo *Pvr4*

<sup>1</sup>Dados obtidos por Carvalho (2013)

Tabela 2 Resumo das análises de variâncias para produção total, massa média de frutos total, produção precoce, espessura do pericarpo, profundidade de inserção do pedúnculo floral e relação comprimento/diâmetro em pimentão. UFLA, Lavras, MG, 2012

Fonte de variação	GL	QM					
		Produção total (t.ha <sup>-1</sup> )	Massa média de fruto total (g.fruto <sup>-1</sup> )	Produção precoce (t.ha <sup>-1</sup> )	Espessura do pericarpo (mm)	Profundidade de inserção do pedúnculo (Notas 1-5) <sup>(1)</sup>	Relação comprimento/diâmetro
<b>Blocos</b>	<b>2</b>	662,158 **	731,161 **	237,970 **	0,198 *	0,263 *	0,009 <sup>ns</sup>
<b>Tratamentos</b>	<b>35</b>	319,284 **	753,966 **	99,750 **	0,206 **	0,538 **	0,126 **
Híbridos do dialelo	19	200,941 *	227,634 **	75,643 **	0,230 **	0,660 **	0,100 **
<i>C.G.C (Grupo I)</i>	4	129,573 <sup>ns</sup>	518,673 **	78,099 *	0,177 *	2,450 **	0,143 **
<i>C.G.C (Grupo II)</i>	3	399,122 **	368,317 **	116,764 *	0,950 **	0,260 *	0,357 **
<i>C.E.C (I x II)</i>	12	175,186 *	95,451 <sup>ns</sup>	64,540 *	0,680 <sup>ns</sup>	0,161 *	0,204 **
Híbridos adicionais	9	583,258 **	1091,205 **	160,346 **	0,266 **	0,340 **	0,148 **
Testemunhas	5	399,645 **	1485,177 **	119,222 **	0,067 <sup>ns</sup>	0,450 *	0,142 **
Testemunhas vs Híbridos do dialelo	1	80,10 <sup>ns</sup>	4764,222 **	5,60 <sup>ns</sup>	0,016 <sup>ns</sup>	1,025 **	0,316 **
Híbridos adicionais vs (Testemunhas + Híbridos do dialelo)	1	29,63 <sup>ns</sup>	52,800 <sup>ns</sup>	9,32 <sup>ns</sup>	0,074 <sup>ns</sup>	0,007 <sup>ns</sup>	0,149 **
<b>Erro médio</b>	<b>70</b>	<b>93,471</b>	<b>82,645</b>	<b>30,713</b>	<b>0,071</b>	<b>0,084</b>	<b>0,008</b>
Média		64,06	144,80	33,22	4,98	2,64	1,81
C.V. %		15,09	6,27	16,68	5,36	10,97	4,93

<sup>ns</sup>, \*\*, \*: não significativo e significativo, a 1 % e a 5 % de probabilidade, pelo teste de F, respectivamente

<sup>1</sup> Nota 1 - pedúnculo inserido no nível da base do fruto e Nota 5 - pedúnculo inserido a mais de 1,5 cm abaixo do nível da base do fruto. Notas menores são desejáveis

Tabela 3 Estimativas da capacidade geral ( $g_i$  e  $g_j$ ) e específica ( $S_{ij}$ ) de combinação dos componentes de média de seis caracteres avaliados em pimentão. UFLA, Lavras, MG, 2012

	Produção total (t.ha <sup>-1</sup> )	Massa média de fruto total (g.fruto <sup>-1</sup> )	Produção precoce (t.ha <sup>-1</sup> )	Espessura do pericarpo (mm)	Profundidade de inserção do pedúnculo (Notas 1-5) <sup>(1)</sup>	Relação comprimento/diâmetro
<b><math>g_i</math></b>						
1	-4,47	3,93	-3,33	-0,11	0,55	-0,07
2	4,64	8,92	3,46	-0,02	-0,46	0,18
3	0,78	-0,38	1,05	-0,12	0,34	-0,02
4	0,04	-6,29	0,16	0,10	-0,02	0,01
5	-0,98	-6,16	-1,34	0,14	-0,41	-0,09
<b><math>g_j</math></b>						
1'	3,86	0,73	2,47	0,22	-0,10	-0,11
2'	2,36	5,13	2,08	0,20	0,01	-0,15
3'	1,35	0,90	-1,17	-0,15	0,18	0,13
4'	-7,58	-6,77	-3,40	-0,27	-0,10	0,13
<b><math>S_{ij}</math></b>						
1x1'	-4,78	1,07	-3,20	0,08	-0,11	-0,01
1x2'	-5,42	-3,16	-3,23	-0,11	0,31	-0,01
1x3'	-0,40	-6,81	-0,23	-0,14	-0,06	0,01
1x4'	10,61	8,90	6,67	0,17	-0,13	0,02
2x1'	9,87	3,00	3,36	-0,15	-0,10	0,01
2x2'	-0,40	1,42	3,52	0,05	0,17	-0,11
2x3'	-4,69	-0,74	-5,14	0,21	0,19	-0,01
2x4'	-4,77	-3,68	-1,74	-0,11	-0,26	0,12
3x1'	-6,77	-4,97	-2,77	-0,07	0,02	0,03
3x2'	3,11	0,89	-0,47	0,09	-0,36	0,04
3x3'	5,68	4,82	4,85	-0,16	0,10	-0,05

Tabela 3, continuação

	<b>Produção total (t.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Massa média de fruto total (g.fruto<sup>-1</sup>)</b>	<b>Produção precoce (t.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Espessura do pericarpo (mm)</b>	<b>Profundidade de inserção do pedúnculo (Notas 1-5) <sup>(1)</sup></b>	<b>Relação comprimento/diâmetro</b>
3x4'	-2,03	-0,73	-1,60	0,14	0,23	-0,03
4x1'	6,35	6,73	4,91	0,13	0,27	-0,10
4x2'	-3,62	-2,78	-3,04	-0,03	-0,17	0,01
4x3'	-7,23	-3,57	-3,53	-0,03	-0,09	0,10
4x4'	4,50	0,37	1,66	-0,06	-0,01	-0,01
5x1'	-4,67	-5,83	-2,31	0,01	-0,08	0,07
5x2'	6,32	3,63	3,23	-0,01	0,04	0,06
5x3'	6,65	6,31	4,05	0,12	-0,13	-0,04
5x4'	-8,31	-4,11	-4,97	-0,13	0,17	-0,09

1=PIX-044B-01-01, 2=PIX-044B-13-01, 3=PIX-045B-27-02, 4=PIX-045B-32-03, 5=PIX-052B-06-01, 1'=Carolina Wonder, 2'=Charleston Belle, 3'=MYR-29-09-05, 4'= MYR-29-11-08. <sup>1</sup> Nota 1= pedúnculo inserido no nível da base do fruto. Nota 5= pedúnculo inserido a mais de 1,5 cm abaixo do nível da base do fruto. Notas menores são desejáveis

Tabela 4 Médias da produção total, massa média de frutos total, produção precoce, espessura do pericarpo, profundidade de inserção do pedúnculo floral e relação comprimento/diâmetro em pimentão. UFPA, Lavras, MG, 2012

Identificação dos tratamentos	Produção total (t.ha <sup>-1</sup> )	Massa média de fruto total (g.fruto <sup>-1</sup> )	Produção precoce (t.ha <sup>-1</sup> )	Espessura do pericarpo (mm)	Profundidade de inserção do pedúnculo (Notas 1-5) <sup>(1)</sup>	Relação comprimento/diâmetro
<b>Test. comerciais</b>						
Konan R	77,68 ab	171,90 abc	43,05 a	5,05 ab	3,33 ab	1,89 cdefgh
Mallorca	71,08 abc	188,39 a	37,46 abcd	5,06 ab	2,82 abcdef	1,92 bcdefgh
Magnata Super	66,62 abc	146,95 cdefgh	33,52 abcd	4,77 ab	3,24 abc	1,57 mnop
Stephany	59,16 abc	158,67 abcde	31,55 abcd	4,95 ab	2,30 cdefg	2,19 ab
Magali R	54,72 abc	163,14 abcd	31,21 abcd	5,06 ab	2,78 abcdef	2,08 abcde
Martha R	45,97 c	123,36 gh	24,40 bcd	4,74 ab	2,61 abcdefg	2,07 abcde
<b>Hfb. Dialelo</b>						
1x1'	59,55 abc	145,83 cdefgh	28,84 abcd	5,18 ab	2,90 abcde	1,59 jklmnop
1x2'	57,40 abc	145,99 cdefgh	28,41 abcd	4,95 ab	3,45 a	1,56 nop
1x3'	61,40 abc	138,10 defgh	28,16 abcd	4,56 ab	3,24 abc	1,86 cdefghijklm
1x4'	63,50 abc	146,16 cdefgh	32,85 abcd	4,76 ab	2,90 abcde	1,89 cdefghi
2x1'	83,32 a	152,75 bcdefg	42,20 ab	5,03 ab	1,90 fg	1,87 cdefghijk
2x2'	71,54 abc	155,58 bcdef	41,96 ab	5,21 ab	2,30 cdefg	1,72 ghijklmnop
2x3'	63,23 abc	149,16 cdefgh	30,05 abcd	5,02 ab	2,48 bcdefg	2,10 abcd
2x4'	57,23 abc	138,55 defgh	31,22 abcd	4,57 ab	1,75 g	2,24 a
3x1'	62,82 abc	135,46 defgh	33,65 abcd	5,01 ab	2,84 abcdef	1,70 ghijklmnop
3x2'	71,20 abc	145,74 cdefgh	35,56 abcd	5,15 ab	2,57 abcdefg	1,68 ghijklmnop
3x3'	72,76 abc	145,43 cdefgh	37,63 abcd	4,53 b	3,21 abc	1,86 cdefghijkl
3x4'	56,11 abc	132,20 efgh	28,95 abcd	4,72 ab	3,06 abcd	1,88 cdefghij
4x1'	75,20 abc	141,26 defgh	40,44 abcd	5,44 a	2,72 abcdef	1,58 klmnop
4x2'	63,72 abc	136,14 defgh	32,10 abcd	5,24 ab	2,39 bcdefg	1,67 ghijklmnop
4x3'	59,10 abc	131,12 efgh	28,34 abcd	4,89 ab	2,63 abcdefg	2,04 abcde
4x4'	61,90 abc	126,65 fgh	31,32 abcd	4,74 ab	2,45 bcdefg	1,92 bcdefg
5x1'	63,15 abc	128,82 fgh	31,71 abcd	5,36 ab	1,96 efg	1,67 ghijklmnop
5x2'	72,64 abc	142,70 cdefgh	36,86 abcd	5,31 ab	2,21 defg	1,63 hijklmnop
5x3'	71,96 abc	141,14 defgh	34,43 abcd	5,10 ab	2,21 defg	1,79 efghijklmno
5x4'	48,06 bc	123,03 gh	23,18 d	4,72 ab	2,24 defg	1,75 fghijklmnop
<b>Hfb. Adicionais</b>						
1'x3'	72,18 abc	160,38 abcde	41,72 abc	5,25 ab	2,72 abcdef	1,59 jklmnop
2'x3'	83,99 a	164,30 abcd	43,35 a	5,41 a	2,78 abcdef	1,57 lmnop

Tabela 4, continuação

Identificação dos tratamentos	Produção total (t.ha <sup>-1</sup> )	Massa média de fruto total (g.fruto <sup>-1</sup> )	Produção precoce (t.ha <sup>-1</sup> )	Espessura do pericarpo (mm)	Profundidade de inserção do pedúnculo (Notas 1-5) <sup>(1)</sup>	Relação comprimento/diâmetro
1'x4'	68,43 abc	142,12 defgh	34,71 abcd	5,38 ab	2,69 abcdefg	1,48 p
2'x4'	73,09 abc	147,77 cdefgh	36,19 abcd	5,31 ab	2,78 abcdef	1,51 op
2x5	45,23 c	128,07 fgh	24,55 bcd	4,64 ab	1,90 fg	2,15 abc
3x5	48,59 bc	120,13 h	23,80 cd	4,73 ab	2,84 abcdef	1,85 defghijklmn
4x5	47,50 bc	121,29 h	28,08 abcd	4,70 ab	2,30 cdefg	2,02 abcdef
5'x3'	78,38 ab	179,20 ab	40,64 abcd	5,05 ab	3,15 abcd	1,83 defghijklmn
5'x4'	61,32 abc	146,95 cdefgh	36,91 abcd	4,90 ab	2,60 abcdefg	1,83 defghijklmn
1x5'	53,45 abc	149,14 cdefgh	27,25 abcd	4,87 ab	2,75 abcdef	1,68 ghijklmnop

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Tratamentos: 1=PIX-044B-01-01, 2=PIX-044B-13-01, 3=PIX-045B-27-02, 4=PIX-045B-32-03, 5=PIX-052B-06-01, 1'=Carolina Wonder, 2'=Charleston Belle, 3'=MYR-29-09-05, 4'= MYR-29-11-08 e 5'= PIM-013

<sup>1</sup> Nota 1= pedúnculo inserido no nível da base do fruto. Nota 5 = pedúnculo inserido a mais de 1,5 cm abaixo do nível da base do fruto. Notas menores são desejáveis