



**ANDRÉ LASMAR**

**ANÁLISE DIALÉTICA E HETEROSE EM  
PIMENTAS TIPO PÁPRICA**

**LAVRAS - MG**

**2013**

**ANDRÉ LASMAR**

**ANÁLISE DIALÉLICA E HETEROSE EM PIMENTAS TIPO PÁPRICA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Wilson Roberto Maluf

**LAVRAS – MG**

**2013**

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

Lasmar, André.

Análise dialéctica e heterose em pimentas do tipo páprica / André  
Lasmar. – Lavras : UFLA, 2013.

65 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Wilson Roberto Maluf.

Bibliografia.

1. *Capsicum annum*. 2. *Phytophthora capsici*. 3. Capacidade  
geral de combinação. 4. Vigor de híbrido. I. Universidade Federal de  
Lavras. II. Título.

**ANDRÉ LASMAR**

**ANÁLISE DIALÉTICA E HETEROSE EM PIMENTAS TIPO PÁPRICA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 30 de agosto de 2013.

Dr. Sebastião Márcio de Azevedo      SAKATA

Dr. João Bosco dos Santos              UFLA

Dr. César Augusto Ticona-Benavente   UFLA

Dra. Mariney de Menezes                UFLA

Dr. Wilson Roberto Maluf  
Orientador

**LAVRAS – MG**

A Deus, por sua luz em meu caminho e por guiar meus passos em direção a mais esta vitória.

### **Ofereço**

A meus pais (Edson e Fátima), que compartilharam dos meus ideais e os alimentaram, incentivando-me a prosseguir nesta jornada, fossem quais fossem os obstáculos. A vocês dedico minha conquista, com a mais profunda admiração e respeito.

Aos meus irmãos (Juninho e Olinto), pela amizade e conselhos que foram de grande valia nessa minha conquista.

### **Dedico**

## AGRADECIMENTOS

À minha família, que sempre me apoiou em minhas decisões e sempre esteve ao meu lado quando mais precisei. Muito obrigado.

Ao orientador, Prof. Dr. Wilson Roberto Maluf, pelo aprendizado, orientação e conhecimentos passados durante a realização do curso que em muito contribuíram e irão contribuir para a minha formação profissional. Muito obrigado.

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Agricultura e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de realização do curso.

Aos funcionários da Hortiagro Sementes S.A., pela amizade e apoio na condução dos experimentos.

Aos funcionários do Departamento de Agricultura, em especial, à Marli.

A todos os outros professores da UFLA, pelos conhecimentos transmitidos ao longo do curso.

Aos “irmãos” de orientação: Régis, Ket, Celso, Torugo, Aline, Gabi, Thiago, Marcela, Douglas, Danilo, César, Mariney, Álvaro e Ranoel pela amizade, ajuda, ensinamentos, companheirismo e inúmeros momentos de alegria.

À Aline Marchese que fez do último ano de doutorado o mais especial.

Aos amigos da República Morada Caipira, sempre presentes em todos os momentos.

Às instituições que apoiaram com recursos financeiros e bolsa de estudos a realização deste trabalho: FAPEMIG, CNPq/MCT, Capes/MEC, UFLA, Faepe, Fundecc e à empresa Hortiagro Sementes S.A.

**MUITO OBRIGADO!**

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi quantificar, em híbridos experimentais de páprica, os níveis de heterose e avaliar os seus componentes quanto à produtividade,  porcentagem do peso das sementes nos frutos secos, e  quantidade de pigmentos carotenoides para produção de páprica não pungente, bem como os níveis de resistência ao patógeno *Phytophthora capsici*. Foram testados 15 híbridos experimentais obtidos a partir de cruzamentos dialélicos entre seis linhagens do programa de melhoramento de *Capsicum annuum* L. da Hortiagro Sementes S.A., com aptidão para produção de páprica, sendo quatro delas de origem peruana ( $P_1$ =PIM 032-03;  $P_2$ =PIM 033-11;  $P_3$ =PIM 034-19;  $P_4$ =PIM 035-01) e duas de origem estadunidense ( $P_5$ =PIM 036-08;  $P_6$ =PIM 037-18). Foi confirmada a existência de heterose para as características de produtividade total de frutos frescos, produtividade de frutos secos e graus ASTA. A ação gênica epistática está envolvida com a expressão da heterose nesses caracteres. Não foi detectada heterose significativa para resistência  *P. capsici* e o tipo de ação gênica predominante foi de dominância incompleta. As linhagens parentais  $P_1$  e  $P_5$  apresentaram alta CGC podendo ser utilizadas em programas de melhoramento visando novas linhagens ou  produção de híbridos mais produtivos. Os híbridos  $P_3 \times P_5$ ,  $P_1 \times P_4$  e  $P_5 \times P_6$  se destacaram dentre os demais apresentando potencial de utilização como híbridos  $F_1$  para a produção comercial de páprica. O híbrido mais promissor para as características avaliadas é o  $P_3 \times P_5$ , superando a cultivar padrão "Papri Queen" em produtividade de frutos frescos e secos, unidades ASTA, além de apresentar resistência  *Phytophthora capsici*. A linhagem  $P_5$ , assim como os híbridos em que ela participou como genitora, foram avaliados como resistentes  *Phytophthora capsici*.

Palavras-chave: *Capsicum annuum*. Melhoramento. Vigor de híbrido. Capacidade geral de combinação. *Phytophthora capsici*.

## ABSTRACT

The objective of this work was to quantify heterosis in non pungent paprika-type pepper hybrids, as well as heterosis components for yield, percent seed weight (on a dry fruit basis), amounts of carotenoid pigments (measured in degrees ASTA), and resistance to the pathogen *Phytophthora capsici*. Fifteen hybrids were obtained through diallel crosses among six proprietary paprika breeding lines from HortiAgro Sementes S.A., four of which originally introduced from Peru (P<sub>1</sub>=PIM 032-03; P<sub>2</sub>=PIM 033-11; P<sub>3</sub>=PIM 034-19; P<sub>4</sub>=PIM 035-01) and two from the U.S.A. (P<sub>5</sub>=PIM 036-08; P<sub>6</sub>=PIM 037-18). Heterosis was detected for fresh and dry fruit yields, and degrees ASTA. Epistatic gene action is involved in the expression of heterosis of these traits. No significant heterosis was detected for *P. capsici* resistance, and the predominant type of gene action was incomplete dominance. Parental lines P1 and P5 showed high values for general combining ability (GCA), and were considered suitable for breeding programmes aimed at obtaining new improved lines, or for use as parents in new high-yielding hybrid combinations. Hybrids P<sub>3</sub>xP<sub>5</sub>, P<sub>1</sub>xP<sub>4</sub> and P<sub>5</sub>xP<sub>6</sub> stood out among the hybrids tested, and were considered suitable as commercial paprika hybrids. P<sub>3</sub>xP<sub>5</sub> was considered the most suitable of the hybrids, outperforming the standard open pollinated check cultivar Papri Queen in both fresh and dry fruit yields and in degrees ASTA, in addition to being resistant to *P. capsici*. The line P5 was resistant to *P. capsici*, as were all the hybrids in which it was included as one of parents.

Key words: *Capsicum annuum*. Breeding. Hybrid vigor. Combining ability. *Phytophthora capsici*.

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE.....</b>	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1</b>	<b>Origem e histórico.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2</b>	<b>Importância econômica.....</b>	<b>10</b>
<b>1.3</b>	<b>Páprica em pó .....</b>	<b>10</b>
<b>1.4</b>	<b>Melhoramento genético da páprica.....</b>	<b>12</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>15</b>
	<b>SEGUNDA PARTE.....</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>ARTIGO 1: HETEROSE EM PIMENTAS TIPO PÁPRICA .....</b>	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>ARTIGO 2: ANÁLISE DIALÉLICA E COMPONENTES DA HETEROSE EM PIMENTAS TIPO PÁPRICA .....</b>	<b>41</b>

## **PRIMEIRA PARTE**

### **1 REVISÃO DE LITERATURA**

A classificação botânica do condimento páprica é *Capsicum annuum* var. *longum*. (DEDERA; FAIAST, 2000). *Capsicum* é um gênero de plantas que pertence à família *Solanaceae*, dentro do qual há 5 espécies domesticadas (*C. annuum*, *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. frutescens* e *C. pubescens*) e outras vinte documentadas (BERKE; SHIEH, 2001). Há um desacordo sobre o uso dos termos ‘pepper’ (em inglês) e pimenta (em português) para *Capsicum*, pois também pode se referir ao gênero *Piper*. A maior parte da literatura sobre ‘pepper’/pimenta, porém, refere-se ao gênero *Capsicum*. Dentro do gênero *Capsicum* estão incluídas as pimentas e pimentões, incluindo os tipos páprica, usados para desidratação.

#### **1.1 Origem e histórico**

O gênero *Capsicum* é originário das Américas Central e do Sul (HEISER; SMITH, 1953; BOSLAND; VOTOVA, 2000). A introdução das pimentas *Capsicum spp.* na Europa pode ser datada a partir da primeira viagem de Cristóvão Colombo à América em 1492. Logo os navios portugueses a levaram da Espanha à Arábia, e daquele lugar foi espalhada para todas as áreas conquistadas pelos turcos otomanos, incluindo a Hungria (país onde os tipos páprica tornaram-se populares).

## 1.2 Importância econômica

A área plantada com pimentas no mundo é estimada em 1.897.946 hectares com uma produção de 29.939.029 toneladas (t) de produto colhido por ano, com produtividade média de 15.77 toneladas por hectare ( $t \cdot ha^{-1}$ ) (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION-FAO, 2013). Com foco na páprica, os maiores produtores são a Índia e a China.

O volume de pimentas e pimentões desidratados comercializados no mundo é estimado em 5.000.000 t que corresponde a cerca de US\$ 9 bilhões (FAO, 2013). Os principais países importadores de páprica são Estados Unidos e Malásia, com tendência a aumentar o consumo analisando-se os dados desde 1990. Os países que mais exportam páprica são Índia, China e Peru, com tendência ao crescimento.

No Brasil, o mercado de páprica é ainda pouco explorado e restringe-se basicamente às indústrias de temperos, molhos, sopas de preparo instantâneo e de embutidos tipo salsicha e salame (REIFSCHNEIDER, 2000). Na última década, as exportações e importações brasileiras de pimentas e pimentões secos ou em pó alternaram entre momentos de expansão e retração. Em 2009, a exportação brasileira foi de cerca de 8.700 t (US\$ 26 milhões), caindo para 377 t (US\$ 745 mil) em 2011 (SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR - SECEX., 2012).

## 1.3 Páprica em pó

A produção de pó de páprica é realizada pela secagem e trituração de frutos de *Capsicum* intensamente vermelhos com pericarpo fino. Depois, o pó é armazenado em sacolas sob condições controladas de temperatura e umidade (NUEZ et al., 1996; GARCIA et al., 2007).

Em relação à qualidade da páprica como condimento, muitas pesquisas vêm sendo realizadas, especialmente enfocando a quantidade de carotenoides do produto e a manutenção de sua qualidade durante o armazenamento, uma vez que esta pode ser influenciada tanto pelas condições físicas como pela presença de microorganismos (HORNERO-MENDEZ et al., 2000, 2002; ROCA et al., 2006; GARCIA et al., 2007; STAACK et al., 2008; AYUSO et al., 2008; TOPUZ, 2008; DADOOD et al., 2008; DALY et al., 2008; SANTOS et al., 2007).

A qualidade da páprica está relacionada principalmente com a quantidade de pigmentos vermelhos (principalmente o capsanteno) medida na escala ASTA (American Spice Trade Association).

Também fazem parte da qualidade condimentar o aroma e o sabor (os quais são patentes em cultivares húngaras ou derivadas destas), baixo ou nulo conteúdo de capsaicina, estabilidade do pigmento, proporção pericarpo-semente alta e capacidade corante (DEDERA; FAIAST, 2000). A páprica também pode ser utilizada na indústria cosmética, aproveitando as oleoresinas.

Oleoresinas são extratos ou óleos altamente concentrados, feitos de pimentas secas, picantes ou não, usados na culinária, medicina e corantes além de outros propósitos. Existem 3 tipos principais de oleoresinas: as de *Capsicum* fortemente pungentes, de pimentas com pungência moderada e oleoresinas de páprica. As primeiras são extraídas de pimentas mais fortemente pungentes, geralmente originárias da África, Índia ou Ásia, apesar de que qualquer outra pimenta picante pode ser usada. A escala de pungência fica geralmente entre 500.000 e 1.800.000 S.U. (Scoville Units) ou 4% a 14% de capsaicina, assim, 500g de oleoresina equivale a 10Kg de pimentas cayenne. Esse tipo de oleoresina é extremamente forte e é usado em defesa pessoal, como spray de pimenta, em molhos super-picantes, em medicamentos, como cremes analgésicos tópicos, e em alguns alimentos industrializados.

Extratos de oleoresina com pungência mais moderada são extraídos de pimentas vermelhas, em especial, com abundância no México, USA, Índia e Turquia. Eles atingem de 80.000 a 500.000 S.U. e 500g desta oleoresina equivale a 5 Kg de pimentas vermelhas de boa qualidade. É usado principalmente em alimentos processados. A oleoresina de páprica é extraída de um grande número de variedades de pimentas não pungentes.

#### **1.4 Melhoramento genético da páprica**

A Hungria é considerada o primeiro país a dar importância à páprica. O primeiro esforço organizado para melhoramento de páprica está ligado com Lambert Angeli (1916-1971), e o melhorista de maior sucesso na Hungria foi Istvan Turi (1933-1999). Os locais onde se começou o melhoramento foram Szeged e Kalocsa (SOMOGYI, 2000). É por isto que há uma série de cultivares com esses nomes.

Na década de 1970, importantes trabalhos com o melhoramento da cultura foram realizados, visando a obter materiais que possuíssem uma maior adaptação nas principais características agronômicas. O Vegetable Crops Research Institute teve destaque nesta época, com trabalhos de melhoramento que resultaram no lançamento de 26 novas cultivares (SOMOGYI, 2000).

Assim, foram iniciados os trabalhos com cruzamentos das variedades *longum* e *fasciculatum*, resultando em novas linhagens, e logo em híbridos. Estes apresentaram maior uniformidade e rapidez na maturação, precocidade, alto conteúdo da cor, produtividade, tolerância a doenças e deciduidade quando comparados as cultivares existentes no mercado (MARKUS; KAPPELLER, 1970). A exemplo, Flippert, em 1974, através de cruzamentos dialélicos dentro do gênero *Capsicum*, observou que as características de número de frutos, peso de fruto seco, comprimento e largura do fruto e conteúdo total de carotenoides

eram mais influenciadas por efeitos aditivos quando comparados aos não aditivos, obtendo resultados muito importantes para o melhoramento da cultura ao longo dos anos (JOSHI et al., 1993)

Com a crise econômica de 1980 e as mudanças políticas ocorridas em 1990, as pesquisas genéticas foram afetadas diretamente, passando desde então a serem autofinanciáveis. Na maioria das vezes, estes recursos vinham das vendas das próprias sementes desenvolvidas. Assim, foi preciso estabelecer parcerias para dar continuidade ao melhoramento da páprica, sendo os principais interessados e financiadores dos projetos a Espanha, França, Portugal e Austrália, e se iniciaram conversações com a ndia, Togo e Peru.

O melhoramento visando à resistência a doenças foi impulsionado, enfatizando-se a resistência  *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*, *Pseudomonas solanacearum* e *P. syringae* pv. *syringae* (HAJNALKA; HEVESI, 1994), *Phytophthora capsici* (CANDELA et al., 2000; PALLOIX et al., 1990), *Tobacco Mosaic Virus*, *Cucumber mosaic virus* e *Verticillium* (MILADINOVIC et al., 1989).

O conteúdo de carotenoides também é uma das características de maior interesse, tendo vários trabalhos envolvendo seleção de linhagens (JOSHI et al., 1993), cruzamentos intervarietais (MARKUS; KAPPELLER, 1970) e seleção de híbridos (GADDAGIMATH, 2000). Mesmo sabendo-se que seja reportado a quatro genes, o controle genético desta característica e seu funcionamento ainda não é bem caracterizado (BIACS et al., 1993; LEVY et al., 1995; HORNERO-MENDEZ et al., 2002).

Tratando-se de outras características ligadas ao valor nutricional, que não o conteúdo de carotenoides, visto que este é um precursor de vitamina A, não há relatos de melhoramento de páprica visando a aumentar seu conteúdo vitamínico, como da vitamina C, antioxidantes e outros nutrientes ou substâncias anticarcinognicas. Também o controle genético do conteúdo de capsaicinas,

que determinam o grau de pungência, não tem sido completamente entendido (BOSLAND, 1993).

Quanto às características agronômicas, estudos vêm sendo realizados ao longo dos anos. Há um gene descoberto em uma espécie silvestre, *Capsicum chacoense*, que permite que o fruto seja separado do cálice quando maduro e outro que permite o quebramento fácil do pedúnculo (DEDERA; FAIAST, 2000). Essa característica tem importância quando se deseja obter cultivares aptas para colheita mecanizada. O mesmo autor estabeleceu uma forma para identificar macho-esterilidade genética, a fim de facilitar o processo da produção de híbridos, podendo as plantas macho-estéreis serem identificadas no estágio de *seedling* e facilmente propagadas com ajuda da micropropagação.

A Universidade do Estado de Novo México, EUA, também vem investindo em pesquisas visando ao melhoramento genético de pimentas para produção de páprica. A partir dessas pesquisas, algumas cultivares comerciais já têm sido por eles introduzidas no mercado (BOSLAND, 1989).

## REFERÊNCIAS

AYUSO, M.C. et al. Quality characteristics of different red pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) for hot paprika production. **European Food Research Technology**, New York, v. 227, n.2, p. 557–563, June 2008.

BERKE, T.G.; SHIEH S.C. Capsicum, chillies, paprika, bird's eye chilli. In: PETER, K.V. (Ed.). *Handbook of Herbs and Spices-1*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2001. p. 127–138.

BIACS, P.A. et al. Carotenoids and carotenoid esters from new cross-cultivars of paprika. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 41, n. 11, p. 1864-1867, Nov. 1993.

BOSLAND, P.W. Pepper breeding and genetics at New Mexico State University. Tomato and pepper production in the tropics. THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED MANAGEMENT PRACTICES, 1988, Tainan. **Proceedings ...** Shanhua: AVRDC, 1989. p. 51-54.

BOSLAND, P.W. Breeding for quality in Capsicum. **Capsicum & Eggplant Newsletter**, Turin, v. 12, p. 25-31, 1993.

BOSLAND, P. W.; VOTOVA, E. J. **Peppers: vegetable and spice capsicums**. New York: CABI Publishing, 2000. 250 p.

CANDELA, M.E. et al. Breeding paprika type peppers resistant to *Phytophthora capsici*. **Acta Horticulturae** Amsterdam, v.522, p. 79-86, 2000.

DADOOD, H.G. Simultaneous LC Determination of Ergosterol, Tocopherols and Carotenoids in Foods. **Chromatographia**, New York, v. 68, n. 1, p. 137-140, 2008. Supplement.

DALY, D. et al. HPLC analysis of serotonin, tryptamine, tyramine, and the hydroxycinnamic acid amides of serotonin and tyramine in food vegetables. **Journal of Medicinal Food**, New York, v. 11, n.2, p.385–389, 2008.

DEDERA, N. F.; FAIAST, A.M. **Condiment paprika: breeding, harvesting & commercialisation** : a report for the Rural Industries Research and Development Corporation. Barton: RIRDC, 2000.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Faostat**: preliminary 2011. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Acesso em: 4 jun. 2013

FLIPPER, T. L.F. Heterosis and combining ability in chili peppers by diallel analysis. **Crop Science**, Madison, v. 15, n. 5, p.323-325, Sept./Oct. 1974.

GADDAGIMATH, N.B. Breeding of Indian paprika for high-value additions "organic colour" and "oleoresin" by Sarpan Dharwad. In: SPICES AND AROMATIC PLANTS: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN THE NEW CENTURY. CENTENNIAL CONFERENCE ON SPICES AND AROMATIC PLANTS, 2000, Calicut, Kerala, India. **Conference Paper...** Calicut: Indian Society for Spices, 2000. 4p.

GARCÍA, M.I. et al. Agronomic characteristics and carotenoid content of five Bola-type paprika red pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars. **Crop Science**, Madison, v. 15, n. 5, p.323-325, Sept./Oct. 1974.

HAJNALKA, L. D.; HEVESI, M. Results of breeding for resistance against bacterial diseases of paprika. **Novenyvedelem**, Bruxelas, v. 30 , n. 12, p. 574-576, 1994.

HEISER, C. B.; SMITH, P. G. The cultivated capsicum peppers. **Economic Botany**, New York, v.7, n. 3, p. 214-217, 1953.

HORNERO-MÉNDEZ, D. et al. Carotenoid Biosynthesis Changes in Five Red Pepper (*Capsicum annuum* L.) Cultivars during Ripening. Cultivar Selection for Breeding. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 48, n.9, p.3857-3864, Sept. 2000.

HORNERO-MÉNDEZ, D.; COSTA-GARCÍA, J. E.; MÍNGUEZ-MOSQUERA, M.I. Characterization of carotenoid high-producing *Capsicum annuum* cultivars selected for paprika production. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.50, n. 20, p. 5711–5716, Sept. 2002.

JOSHI, S. et al. Selection of spice paprika breeding lines. **Capsicum & Eggplant Newsletter**, Turim, v.12, p. 50-52, 1993.

LEVY, A. et al. Carotenoid pigments and beta-carotene in paprika fruits (*Capsicum spp.*) with different genotypes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. Washington, v. 43, n. 2, p. 362-366, Feb. 1995.

MARKUS, F.; KAPELLER, K. Breeding of spice paprika, with special reference to colour content. **Agrartudományi Koeslemenyek**, Godollo, v. 29, n. 3, p. 209-217, 1970.

MILADINOVIC, Z.; STEVANOVIC, D.; MIJATOVIC, M. Breeding pepper for resistance to tobacco mosaic virus, cucumber mosaic virus and Verticillium wilt. In: EUCARPIA. MEETING ON GENETICS AND BREEDING ON CAPSICUM AND EGGPLANT, 7., 1989. Kragujevac, Yugoslavia. **Proceeding...** Smederevska Palanka, Yugoslavia: Institute for Vegetables "Palanka", 1989. p. 217-221.

NUEZ, F.; ORTEGA, R.G.; COSTA J. **El cultivo de pimientos, chilies y ajies**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1996.

PALLOIX, A. et al. Breeding transgressive lines of pepper for resistance to *Phytophthora capsici* in a recurrent selection system. **Euphytica**, Wageningen, v. 51, n. 2 p. 141-150, 1990.

REIFSCHNEIDER, F.J.B. **Capsicum**: pimentas e pimentões no Brasil. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia/ Embrapa Hortaliças, 2000. 113 p.

ROCA, M. et al. Stay-Green Phenotype Slows the Carotenogenic Process in *Capsicum annuum* (L.) Fruits. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, Washington, v. 54, n.23, p. 8782-8787, Nov. 2006.

SANTOS, L. et al. Capsicum and Mycotoxin Contamination: state of the Art in a Global Context. **Food Science Technology International**, Chicago, v. 14, n. 1, p.5–20, 2007.

SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR - SECEX. Disponível em <<http://www.mdic.gov.br>>. Acesso em 7 de dezembro de 2012.

SOMOGYI, N. The importance of international cooperation in the Hungarian spice páprika breeding program. **Acta Horticulturae**. Amsterdam, v. 524, p.251-254, 2000.

STAACK, N. et al. Effect of infrared heating on quality and microbial decontamination in páprika powder. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 86, n.1, p. 17–24, May 2008.

TOPUZ, A. A novel approach for color degradation kinetics of páprika as a function of water activity. **Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 41, n. 9, p. 1672-1677, Nov. 2008.

**SEGUNDA PARTE**

**2 ARTIGO 1: HETEROSE EM PIMENTAS TIPO PÁPRICA**

Artigo redigido conforme as normas da revista Pesquisa Agropecuária Brasileira – PAB (versão preliminar).

### Heterose em pimentas tipo páprica

**André Lasmar<sup>(1)</sup>; Wilson Roberto Maluf<sup>(1)</sup>; César Augusto Ticon-Benavente<sup>(1)</sup>, Douglas Willian Nogueira<sup>(1)</sup> e Danilo Gustavo Nogueira<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> Universidade Federal de Lavras – UFLA – Caixa Postal 3037, CEP: 37200-000, Lavras – MG – Brasil. e-mail: andre\_lasmar@yahoo.com.br, wrmaluf@dag.ufla.br, cesar.benavente@gmail.com, douglagen@yahoo.com.br, asp.nogueira@yahoo.com.br

**Resumo** – O objetivo deste trabalho foi quantificar, em híbridos experimentais de páprica, os níveis de heterose quanto à produtividade, à porcentagem do peso das sementes nos frutos secos, e à quantidade de pigmentos carotenoides (estimada em graus ASTA), bem como os níveis de resistência ao patógeno *Phytophthora capsici*. Foram testados 15 híbridos obtidos a partir de cruzamentos dialélicos entre seis linhagens do programa de melhoramento de *Capsicum annuum* L. da Hortiagro Sementes S.A., com aptidão para produção de páprica, sendo quatro delas de origem peruana (P<sub>1</sub>=PIM 032-03; P<sub>2</sub>=PIM 033-11; P<sub>3</sub>=PIM 034-19; P<sub>4</sub>=PIM 035-01) e duas de origem estadunidense (P<sub>5</sub>=PIM 036-08; P<sub>6</sub>=PIM 037-18). Foi constatada a existência de heterose para as características de produtividade total de frutos frescos, produtividade de frutos secos e graus ASTA. O híbrido P<sub>3</sub>xP<sub>5</sub> se destacou dentre os demais apresentando potencial de utilização como híbrido F<sub>1</sub> para a produção comercial de páprica. O híbrido P<sub>3</sub>xP<sub>5</sub> reúne, além de elevadas produtividades de frutos frescos, secos e pigmentos vermelhos, resistência à *Phytophthora capsici*.

**Termos para indexação:** *Capsicum annuum*, melhoramento, vigor de híbrido, *Phytophthora capsici*.

### Heterosis in paprika-type peppers

**Abstract** – The aim of this study was to quantify, in experimental hybrids of paprika, levels of heterosis in yield, percentage of seed weight in dried fruits, amounts of carotenoid pigments (estimated as degrees ASTA) and levels of resistance to the pathogen *Phytophthora capsici*. Fifteen hybrids were obtained through diallel crosses among six proprietary paprika breeding lines from HortiAgro Sementes S.A., four of which originally introduced from Peru (P<sub>1</sub>=PIM 032-03; P<sub>2</sub>=PIM 033-11; P<sub>3</sub>=PIM 034-19; P<sub>4</sub>=PIM 035-01) and two from the U.S.A. (P<sub>5</sub>=PIM 036-08; P<sub>6</sub>=PIM 037-18). Heterosis was detected for fresh and dry fruit yields and for ASTA degrees. Hybrid P<sub>3</sub> x P<sub>5</sub> stood out for its potential use as an F1 hybrid for commercial paprika production, because of its high fresh and dry yields, its ASTA ratings, and its resistance to *Phytophthora capsici*.

**Index terms:** *Capsicum annuum*, breeding, hybrids, hybrid vigor, *Phytophthora capsici*.

### Introdução

O gênero *Capsicum* é pertencente à família Solanaceae, tendo sua origem na América Tropical (Pickersgill, 1997). Dentre muitas espécies pertencentes ao gênero, apenas cinco são domesticadas e cultivadas - *Capsicum annuum*, *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. frutescens* e *C. pubescens*.

O consumo dos frutos dessas plantas pode ser *in natura*, como no caso do pimentão e algumas pimentas, e também como condimento, no processamento de diversos pratos ou de alimentos industrializados (Souza & Casali, 1984), como no caso de pimentas, inclusive as do tipo páprica.

A páprica é um pó vermelho resultante da moagem de frutos secos de cultivares de *Capsicum annuum* L.. Sua coloração vermelha intensa é proveniente da presença de elevados teores de carotenoides, principalmente o capsanteno, largamente utilizado na indústria alimentícia como corante ou flavorizante.

O processamento da páprica em pó é feito a partir da moagem dos frutos secos sem que haja a separação da polpa e sementes. Assim, a presença das sementes nos frutos pode influenciar diretamente a sua qualidade, pois quanto maior essa porcentagem, menor seria a pureza do pó, o que poderia resultar em um produto de coloração menos intensa e de qualidade inferior.

Atualmente, o melhoramento de pimentas para páprica tem sido direcionado para a obtenção de cultivares de polinização aberta (Dedera et al., 2005; Somogyi, 2011). Entretanto, a relatada presença de heterose no gênero *Capsicum*, tanto em *C. annuum* (Kamble et al., 2009; Meshram & Mukewar, 1986), como em *C. pubescens* (Zewdie & Bosland, 2001) e *C. chinense* (Sousa & Maluf, 2003) indica um potencial para o desenvolvimento de híbridos F<sub>1</sub> para o segmento de pimentas tipo páprica, de modo a explorar seu maior potencial produtivo e maximizar a rentabilidade dos produtores.

Para que isto ocorra, estes híbridos devem apresentar características que atendam às expectativas dos produtores e da indústria, como alta produtividade de frutos, elevados teores de matéria seca, resistência a doenças, baixa porcentagem do peso das sementes nos frutos secos e altos teores de pigmentos vermelhos.

Tendo em vista a necessidade de avaliar a viabilidade do uso de híbridos na cultura, o objetivo deste trabalho foi quantificar, em híbridos experimentais de páprica, os níveis de heterose quanto à produtividade, à porcentagem do peso das sementes nos frutos secos, e à quantidade de pigmentos carotenoides para produção de páprica não pungente, bem como os níveis de resistência ao patógeno *Phytophthora capsici*.

## **Materiais e Métodos**

### **Linhagens de páprica utilizadas e obtenção de híbridos experimentais**

Para a obtenção dos híbridos experimentais F<sub>1</sub> foram utilizadas seis linhagens do programa de melhoramento de *Capsicum annuum* L. da Hortiagro Sementes S.A., com aptidão para produção de páprica, sendo quatro delas de origem peruana (P1=PIM 032-03; P2=PIM 033-11; P3=PIM 034-19; P4=PIM 035-01) e duas de origem estadunidense (P5=PIM 036-08; P6=PIM 037-18). Estas linhagens foram previamente selecionadas, após duas gerações de autofecundação, pelo teste do paladar e caracterizadas como não-pungentes.

Todos os híbridos foram obtidos manualmente em casas de vegetação, através de emascações de botões florais das linhagens genitoras seguidas de polinização controlada, sob esquema dialélico, sem considerar os cruzamentos recíprocos, resultando em 15 híbridos experimentais.

### **Ensaio Agronômico**

O experimento foi realizado em casa de vegetação nas instalações da HortiAgro Sementes S.A., no município de Ijaci – MG, com altitude de 920 m, 21°14'16'' de latitude Sul, 45°08'00'' de longitude Oeste e precipitação anual média de 1.529,7 mm.

Foram utilizados os 15 híbridos experimentais, as seis linhagens utilizadas como parentais (P1=PIM 032-03; P2=PIM 033-11; P3=PIM 034-19; P4=PIM 035-01; P5=PIM 036-08; P6=PIM 037-18) e a testemunha comercial de polinização aberta “Papri Queen”, totalizando 22 tratamentos.

A sementeira, na data de 23 de outubro de 2011, foi feita em bandejas de poliestireno de 128 células e, após 30 dias, foi realizado o transplante das mudas para canteiros cobertos com “muching” de plástico em estufas modelo capela. O

delineamento experimental foi em blocos casualizados com 4 repetições e 11 plantas por parcela, totalizando 968 plantas. O espaçamento foi de 0,75m entre linhas e 0,35m entre plantas dentro da linha, resultando em densidade populacional de 38 mil plantas.ha<sup>-1</sup>.

A produção total de frutos frescos foi resultado de quatro colheitas consecutivas por parcela experimental, sendo estas realizadas nos momentos em que os frutos da parcela estivessem maduros e completamente vermelhos. As datas das colheitas foram 01 de março, 28 de março, 02 de maio e 31 de maio de 2012.

Para a determinação de peso seco foram tomadas amostras de aproximadamente 800g de frutos frescos de cada parcela experimental e, após aferido seu peso inicial, foram secos em estufa com circulação de ar forçada a 50°C por cinco dias, quando as amostras atingiram peso constante. Novamente estas amostras foram pesadas e assim estimadas as porcentagens de matéria seca, que, multiplicadas pelas respectivas produções de frutos frescos, resultou nas estimativas de produção de frutos secos.

As amostras secas foram armazenadas por 90 dias a temperatura ambiente acondicionadas em sacos de papel e então foram processadas em moedor elétrico (MARCONI MA 340), para obtenção do produto em pó. A determinação da intensidade da cor vermelha foi realizada no Laboratório de Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças do Departamento de Ciência dos Alimentos da UFLA, quantificando-se o capsanteno de cada parcela experimental pelo método ASTA 20.1 (ASTA, 1997). As absorbâncias foram medidas em espectrofotômetro calibrado para comprimento de onda de 460 nm, e os resultados expressos em unidades ASTA.

### **Inoculação e avaliação das plantas quanto à resistência à *Phytophthora capsici***

Um experimento paralelo foi realizado para avaliar a resistência dos genótipos à inoculação com o patógeno *Phytophthora capsici*. A semeadura, na data de 15 de novembro de 2011, foi feita em bandejas de poliestireno de 128 células. O delineamento utilizado foi de blocos casualizados com 22 tratamentos, quatro repetições e oito plantas por parcela experimental e, quando atingiram 10 cm de altura, as plantas foram inoculadas com uma mistura dos isolados de *Phytophthora capsici* 'Pc11' e 'Pc31', obtidos originalmente junto à empresa Sakata/Agroflora, Bragança Paulista – SP, e inicialmente coletados na região de Bernardino de Campo/SP e Santa Cruz do Rio Pardo/SP respectivamente. Estes isolados foram mantidos em tubos de ensaio contendo meio BDA e armazenados em BOD. Os isolados foram primeiramente repicados para placas de Petri contendo meio BDA, onde permaneceram por 4 a 5 dias em BOD a temperatura de 27°C. Para produção de esporângios, esses isolados foram cultivados em placas de Petri de 9 cm de diâmetro contendo meio suco de tomate-agar (200 mL de suco de tomate, 3 g de carbonato de cálcio, 17 g de ágar e 800 mL de água destilada), a 28°C, sob luz contínua (Urban, 1980). Após sete dias, foram destacados com alça de Drigalsky. Para a liberação de zoósporos, a suspensão de esporângios permaneceu incubada por uma hora a temperatura ambiente. Em seguida, a suspensão foi filtrada em lenço de papel e retirada 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. Após realizada a contagem e estabelecida a diluição na concentração de  $10^4$  zoósporos/5ml, a suspensão de zoósporos foi utilizada imediatamente.

As inoculações foram feitas em bandeja de isopor contendo as mudas, aplicando-se 5ml da suspensão em cada célula da bandeja, próximo ao coleto das plantas, aos 45 dias após a semeadura. Após a inoculação, realizaram-se avaliações diárias, adotando-se um sistema de chave descritiva para expressar a

intensidade dos sintomas em cada planta (1 = nenhum sintoma, 2 = murcha e necrose e 3 = morte da planta). Também foram registradas as porcentagens de mortalidade das plantas em cada parcela. As avaliações ocorreram a partir do terceiro dia após a inoculação, estendendo-se até o 15º dia (30 de janeiro de 2012), data em que se registraram as incidências de sintomas, seja através da escala de notas, seja através do registro da porcentagem de plantas mortas.

### **Análises Estatísticas**

Os dados obtidos para produtividade total de frutos frescos e secos, porcentagem do peso das sementes nos frutos secos, graus ASTA, notas e porcentagens de mortalidade das plantas foram submetidas à análise de variância e suas médias comparadas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

O cálculo das heteroses foi realizado considerando três critérios: 1) relativamente à média parental (HMP), 2) relativamente ao genitor com maior média (heterobeltiose) (HPS), e 3) a heterose padrão relativamente à cultivar “Papri Queen”.

## **Resultados e Discussão**

### **Produção total de frutos frescos**

Os valores para produção total de frutos frescos variaram de 39,4 t.ha<sup>-1</sup> (P<sub>2</sub>xP<sub>4</sub>) a 67,8 t.ha<sup>-1</sup> (P<sub>3</sub>xP<sub>5</sub>) entre os híbridos e entre 39,0 t.ha<sup>-1</sup> (P<sub>3</sub>) e 51,4 t.ha<sup>-1</sup> (P<sub>2</sub>) entre as linhagens (Tabela 1).

Para heterose em relação à média dos pais (HMP) e em relação ao pai superior (HPS), somente os híbridos P<sub>2</sub>xP<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>xP<sub>4</sub> e P<sub>2</sub>xP<sub>6</sub> apresentaram valores negativos, sendo -9,98%, -15,4% e -4,46% para HMP e -20,7%, -23,3% e -12,1% para HPS, respectivamente (Tabela 1), no entanto não foram significativos. Os híbridos P<sub>3</sub>xP<sub>5</sub>, P<sub>1</sub>xP<sub>4</sub> e P<sub>2</sub>xP<sub>5</sub> apresentaram superioridade,

manifestando valores positivos e significativos para HMP e HPS (58,2%, 42,6% e 27,3% para HMP e 45,3%, 34,9% e 21,5% para HPS, respectivamente) (Tabela 1).

Dentre os híbridos que apresentaram valores superiores a “Papri Queen”, pode ser destacado apenas o híbrido  $P_3 \times P_5$  que expressou heterose positiva e significativa de +39,7% (Tabela 1), relativamente a esta cultivar padrão.

As magnitudes das heteroses encontradas são similares às obtidas por Geleta & Labuschagne (2004), Kamble et. al (2009) e Shrestha et. al (2011) que relataram altas heteroses e heterobelioses para produção de frutos em *Capsicum annuum*, assim como Butcher et. al (2013) que também relatam heteroses positivas e significativas para várias características de fruto, incluindo produtividade em pimentas tipo páprica.

### **Produção total de frutos secos**

As médias para produção total de frutos secos entre os híbridos variaram de 6,81 t.ha<sup>-1</sup> ( $P_2 \times P_4$ ) a 10,2 t.ha<sup>-1</sup> ( $P_3 \times P_5$ ) (Tabela 2), enquanto nas linhagens a variação foi entre 6,31 t.ha<sup>-1</sup> ( $P_3$ ) e 8,50 t.ha<sup>-1</sup> ( $P_2$ ). Esses valores superam os obtidos por Ayuso et. al (2008), que relatam produtividades de frutos secos em híbridos de páprica pungente em torno de três toneladas por hectare.

Os híbridos  $P_3 \times P_5$ ,  $P_1 \times P_4$  e  $P_5 \times P_6$  apresentaram os maiores valores positivos e significativos para heteroses em relação à média dos pais (HMP) e em relação ao pai superior (HPS) com valores de 49,3%, 41,3% e 29,9% para HMP e 41,0%, 33,3% e 27,8% para HPS respectivamente (Tabela 2).

Dos 15 híbridos avaliados, somente quatro ( $P_2 \times P_3$ ,  $P_2 \times P_4$ ,  $P_2 \times P_6$  e  $P_3 \times P_6$ ) não apresentaram heterose positiva em relação ao padrão “Papri Queen”. Dentre os que manifestaram heterose positiva e significativa, destacaram-se os híbridos  $P_1 \times P_4$  e  $P_3 \times P_5$  com heteroses de 34,6% e 32,2% respectivamente (Tabela 2).

### **Porcentagem do peso das sementes no fruto seco**

Entre os híbridos, as médias para porcentagem do peso das sementes no fruto seco variaram de 23,2% ( $P_2 \times P_4$ ) a 34,0% ( $P_1 \times P_6$ ), enquanto entre as linhagens a variação foi entre 24,9% ( $P_4$ ) e 30,4% ( $P_5$ ). Os híbridos  $P_2 \times P_4$  e  $P_5 \times P_6$  apresentaram as menores porcentagens médias da quantidade de sementes em relação ao peso do fruto (23,2% e 23,6% respectivamente) (Tabela 3).

Não foi detectada heterose significativa no sentido de diminuir a porcentagem do peso das sementes nos frutos secos. Em relação à média dos pais, os híbridos  $P_5 \times P_6$ ,  $P_2 \times P_5$  e  $P_2 \times P_4$  apresentaram heteroses de -15,9%, -15,0% e -13,7% respectivamente, no entanto não foram valores significativos. Em relação ao pai superior (genitor com menor porcentagem de sementes), os híbridos  $P_2 \times P_5$  e  $P_1 \times P_3$  apresentaram heteroses de -12,6% e -10% respectivamente, valores também não significativos. Para heterose em relação ao padrão “Papri Queen” os valores foram de -7,26% para o híbrido  $P_5 \times P_6$  e -8,71% para o híbrido  $P_2 \times P_4$ , valores não significativos (Tabela 3). Apenas o híbrido  $P_1 \times P_6$  apresentou valores significativos em relação aos três tipos de heteroses, porém no sentido de aumentar a porcentagem do peso das sementes nos frutos secos.

### **Coloração**

As linhagens parentais  $P_2$  e  $P_6$  apresentaram os maiores graus ASTA (ASTA > 125) quando comparados à testemunha “Papri Queen” (ASTA=90) (Tabela 4). Entre os híbridos, destacam-se  $P_3 \times P_5$ ,  $P_1 \times P_6$  e  $P_1 \times P_5$  apresentando os maiores valores de graus ASTA (156,9; 145,0 e 129,7 respectivamente).

No que diz respeito às estimativas de heterose em relação à média dos pais e em relação ao pai superior, apenas o híbrido  $P_3 \times P_5$  se destacou dos demais apresentando valores positivos e significativos (43,2% para HMP e 35,5% para HPS). Em relação ao padrão “Papri Queen” os híbridos  $P_3 \times P_5$ ,  $P_1 \times P_6$  e  $P_1 \times P_5$

apresentaram heteroseres de valores positivos e significativos de +73,4%, +60,3% e +43,4% respectivamente (Tabela 4), mostrando sua superioridade em relação a esta característica, se comparados ao padrão utilizado pelas indústrias.

O híbrido  $P_1 \times P_6$  foi o que apresentou maior porcentagem média do peso das sementes nos frutos secos (34%, Tabela 3), porém foi o segundo híbrido com maior valor de graus ASTA ( $> 145$ , Tabela 4). Tendência similar ocorre com os híbridos  $P_1 \times P_2$ ,  $P_1 \times P_5$ ,  $P_2 \times P_6$ ,  $P_3 \times P_4$  e  $P_3 \times P_5$ , todos apresentando valores de porcentagem do peso das sementes maiores que 26% (Tabela 3) e valores de graus ASTA maiores que 106 (Tabela 4). Isto indica que a presença das sementes no processamento da páprica em pó não é fator limitante para a qualidade.

A superioridade nesta característica é de grande interesse devido à intensidade da cor vermelha produzida pelo produto final. Para a indústria são recomendados de 85 a 150 unidades ASTA (Tainter and Grenis, 1993, citado por Pruthi, 2003), sendo que quanto mais estável o pigmento, mais aceito para a indústria. Deste modo, os resultados obtidos estão dentro do recomendado, apenas dois híbridos ( $P_1 \times P_3$  e  $P_4 \times P_6$ ) apresentaram valores de graus ASTA abaixo do exigido pela indústria.

São vários os fatores que afetam a estabilidade da cor, tais como umidade, temperatura, luz e oxigênio (Buckenhüskes, 2003). Pode-se considerar os valores obtidos neste trabalho como pigmentos relativamente estáveis, uma vez que as amostras foram armazenadas em sacos permeáveis sob temperatura ambiente (média de 20°C) durante 90 dias. Carvajal et al. (1997), trabalhando com uma cultivar, mostrou que a secagem de frutos a 50°C por 48 horas diminuiu 100 unidades ASTA. Similarmente, 100 dias após da secagem a 57% de umidade e a 25°C determinou a perda de 30 unidades ASTA (Ladrón de Guevara et al., 2002).

### **Avaliação de resistência à *Phytophthora capsici***

No experimento para avaliação da reação à inoculação com *Phytophthora capsici*, os sintomas iniciais nas plantas suscetíveis consistiram de lesões iniciais no colo, escurecimento do caule, queda das folhas com posterior morte das plantas.

Dentre os genitores, P<sub>5</sub>(PIM-036-08) apresentou a menor nota média (1,33) e porcentagem de mortalidade (20,8%) aos 15 dias após inoculação, sendo considerado resistente seguido dos genitores P<sub>1</sub>(PIM-032-03) e P<sub>6</sub>(PIM-037-18) (1,75 e 45,8%, e 2,00 e 54,1%, notas e mortalidade respectivamente) (Tabelas 5 e 6), que foram classificados como de resistência intermediária. Do total de 15 híbridos experimentais avaliados, oito foram classificados como apresentando algum nível de resistência (nota  $\leq$  2,00 e porcentagem de mortalidade  $\leq$  62,5%) (P<sub>1</sub>xP<sub>4</sub>, P<sub>1</sub>xP<sub>5</sub>, P<sub>1</sub>xP<sub>6</sub>, P<sub>2</sub>xP<sub>5</sub>, P<sub>3</sub>xP<sub>5</sub>, P<sub>3</sub>xP<sub>6</sub>, P<sub>4</sub>xP<sub>5</sub> e P<sub>5</sub>xP<sub>6</sub>) (Tabelas 5 e 6) e sete foram classificados como susceptíveis à inoculação com *Phytophthora capsici* (P<sub>1</sub>xP<sub>2</sub>, P<sub>1</sub>xP<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>xP<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>xP<sub>4</sub>, P<sub>2</sub>xP<sub>6</sub>, P<sub>3</sub>xP<sub>4</sub> e P<sub>4</sub>xP<sub>6</sub>) (Tabela 5 e 6). Todos os híbridos em que a linhagem P<sub>5</sub>(PIM-036-08) participou como genitora foram classificados como resistentes, demonstrando que, mesmo em condição heterozigota, o(s) alelo(s) que controla(m) a reação de resistência dessa linhagem foram efetivos nas atuais condições experimentais.

Não foram detectados valores significativos para nenhum dos três tipos de heteroses, entretanto, valores negativos tanto nas notas como nas porcentagens de mortalidade indicam ganho em resistência à *P. capsici*. Em relação à média dos parentais, sete híbridos apresentaram valores negativos tanto para notas quanto para porcentagem de mortalidade (P<sub>1</sub>xP<sub>4</sub>, P<sub>1</sub>xP<sub>5</sub>, P<sub>2</sub>xP<sub>5</sub>, P<sub>3</sub>xP<sub>5</sub>, P<sub>3</sub>xP<sub>6</sub>, P<sub>4</sub>xP<sub>5</sub> e P<sub>5</sub>xP<sub>6</sub>), dentre eles o híbrido P<sub>3</sub>xP<sub>5</sub> com valor mais pronunciado (-0,33 para nota e -14,5 para porcentagem de mortalidade) (Tabelas 5 e 6). Em relação ao pai superior (no caso o pai que apresentou a menor nota), apenas o

híbrido P<sub>3</sub>xP<sub>6</sub> apresentou valor negativo para nota (-0,04) (Tabela 5) valor este, no entanto, próximo de zero.

Dentre os híbridos que apresentaram níveis de resistência superiores (valores mais negativos) ao padrão “Papri Queen”, podem ser destacados os híbridos P<sub>1</sub>xP<sub>5</sub>, P<sub>2</sub>xP<sub>5</sub>, P<sub>3</sub>xP<sub>5</sub> e P<sub>5</sub>xP<sub>6</sub> (-0,63, -0,51, -0,63 e -0,55, respectivamente para notas e -33,6%, -28,0%, -32,2% e -36,3% respectivamente para mortalidade) (Tabelas 5 e 6), que podem, pois, ser considerados com resistência à *P. capsici*, ao contrário desta cultivar-padrão.

Melo et al (2004), avaliando a resistência de 16 linhagens avançadas de pimentão para páprica, do programa de melhoramento da Embrapa Hortaliças, a dois isolados de *P. capsici* oriundos do próprio programa, relatam que 11 apresentaram nível de resistência acima de 75% e cinco apresentaram nível de resistência intermediária, variando de 37,5 a 73,3%.

Os resultados indicam a existência de níveis substanciais de heterose em pimentas tipo páprica, cuja magnitude pode justificar o emprego de sementes híbridas F<sub>1</sub> nesta cultura, o que, segundo Dederá et. al (2005) e Somogyi (2011), ainda não é uma prática corrente.

Dentre os híbridos experimentais, o híbrido P<sub>3</sub>xP<sub>5</sub> reúne as melhores características, apresentando as maiores produtividades de frutos frescos e secos (67,8 e 10,2 t.ha<sup>-1</sup>), o maior valor de pigmentos vermelhos (156,9 graus ASTA) e maior nível de resistência à *P. capsici*.

## CONCLUSÕES

- Para produtividade total de frutos frescos, produtividade de frutos secos e graus ASTA, os híbridos, em sua maioria, expressaram superioridade

em relação às linhagens, confirmando a hipótese de existência de heterose para estas características.

- O híbrido P<sub>3</sub>xP<sub>5</sub> se destacou dentre os demais devido às elevadas heteroses e médias para produtividade de frutos frescos e secos e graus ASTA, apresentando potencial de utilização como híbrido F<sub>1</sub> para a produção comercial de pimenta.
- Os híbridos P<sub>1</sub>xP<sub>4</sub> e P<sub>5</sub>xP<sub>6</sub> apresentaram baixas porcentagens do peso de sementes nos frutos secos, entretanto presença de sementes na moagem dos frutos secos parece não influenciar negativamente na obtenção de pó de pimenta de boa qualidade.
- O híbrido P<sub>3</sub>xP<sub>5</sub> reúne, além de elevadas produtividades de frutos frescos, secos e pigmentos vermelhos, resistência à *Phytophthora capsici*, portanto, pode ser recomendado para ser utilizado como híbrido comercial para produção de pimenta.

### Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), ao CNPq/Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (MCT), à Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (Capes/MEC), à Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Laboratório de Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças (DCA/UFLA) e à Empresa Hortiagro Sementes S.A.

### Referências

ASTA. Extractable Color in Capsicums and Their Oleoresins. **Official Analytical method of the american spice trade association**. Fourth ed. Englewood Cliffs, New Jersey, 1997 (Revised October 2004).

AYUSO M.C., BERNALTE J.M., LOZANO M., GARCIA M.I., ESPINOSADE V., PEREZ M.M., HERNANDEZ M.T., SOMOGYI N. Quality characteristics of different red pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) for hot paprika production. **European Food Research Technology**, New York, v. 227, n.2, p. 557–563, June 2008.

BUCKENHÜSKES H.J. Current requirements on paprika powder for food industry, in: A. K. De (Ed.), **Capsicum: The genus Capsicum**, Taylor & Francis, London. pp. 223-230. 2003.

BUTCHER, J.D., CROSBY, K.M., YOO, K.S., PATIL, B., JIFON, J.L., ROONEY, W.L. Heterosis in different F1 *Capsicum annuum* genotypes for fruit traits, ascorbic acid, capsaicin, and flavonoids. **Scientia Horticulturae**, Volume 159, 30 July. Pages 72–79. 2013

CARVAJAL M., MARTÍNEZ M.R., MARTÍNEZ-SANCHEZ F., ALCARAZ C.F. Effect of ascorbic acid addition to peppers on paprika quality. **Journal of science of food and agriculture** 75:442-446. 1997.

DEDERA N.F., NAGY N., HOXHA A. Condiment paprika research in Australia. **Journal of bussiness chemistry** 2:4-18. 2005.

GELETA, L. F.; LABUSCHAGNE, M. T. Hybrid performance for yield and other characteristics in peppers *Capsicum annuum* L.. **Journal of Agricultural Science** 142(4): 411-419. 2004.

KAMBLE C., MULGE R., MADALAGERI M.B., JADEESHA R.C. Studies on heterosis in capsicum (*Capsicum annuum* L.) for yield and yield traits. Karnataka J. **Agric. Sci.** 22:155-157. 2009.

LADRÓN DE GUEVARA R.G., GONZÁLEZ M., GARCÍA-MESEGUER M.J., NIETO J.M., AMO M., VARÓN R. Effect of adding natural antioxidants on colour stability of paprika. **Journal of the science of food and agriculture** 82:1061-1069. 2002.

MELO, R.A.C; RIBEIRO, C.S.C.; SOUZA, O.B.; PORTO, I.S. Avaliação da resistência de linhagens avançadas de pimentão para páprica a dois isolados de *Phytophthora capsici*. **Horticultura Brasileira**, v.22, p.45-49, 2004.

MESHARAM L.D., MUKEWAR A.M. Heterosis studies in chilli (*Capsicum annuum* L.). **Scientia Horticulturae** 28:219-225. 1986.

PICKRSGILL, B. Genetic resources and breeding of Capsicum spp. **Euphytica**. 96: 129-133. 1997.

PRUTHI, J.S. Chemistry and quality control of Capsicums and Capsicums products, in: A. K. De (Ed.), **Capsicum: The genus Capsicum**, Taylor & Francis, London. pp. 25-70. 2003.

SHRESTHA, S.L., LUITEL, B.P., KANG, W.H. Heterosis and heterobeltiosis studies in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). **Horticulture, Environment, and Biotechnology**. June 2011, Vol. 52, Issue 3, pp 278-283. 2011.

SOMOGYI, N., SOMOGYI, G., TABOROSINE ABRAHAM, Z., MAROTINE TOTH, K., PAUK, J., LANTOS, C., GEMESNE JUHASZ, A., GARCIA POMAR, M.I. AND SOMOGYI, B. Hybrid condiment paprika breeding and adaptation of production system in Hungary. **Acta Hort.** (ISHS) 925:37-42. 2011.

SOUSA J.A., MALUF W.R. Diallel analyses and estimation of genetic parameters of hot pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). **Scientia Agricola** 60:105-113. 2003.

SOUZA, R.J. DE, CASALI V.W.D. Cultivares de pimentão e pimenta. **Informe Agropecuário**, 10: 14-18. 1984.

URBEN, A.F. *Phytophthora capsici* Leonian, agente etiológico da murcha de *Capsicum annuum*L. em Minas Gerais. **Dissertação de Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas**. Viçosa-MG: UFV, 1980. 89p.

ZEWDIE Y., BOSLAND P.W. Combining ability and heterosis for capsaicinoids in *Capsicum pubescens*. **HortScience** 36:1315-1317. 2001.

**Tabela 1.** Médias dos híbridos e parentais e heteroses para produção total de frutos frescos. UFLA, Lavras, MG, 2013.

Genótipo	Média (t.ha <sup>-1</sup> )	HMP%	HPS%	HP%
P <sub>1</sub> xP <sub>2</sub>	55,4 abc	12,7 ns	7,85 ns	14,1 ns
P <sub>1</sub> xP <sub>3</sub>	47,2 bc	9,85 ns	0,63 ns	-2,72 ns
P <sub>1</sub> xP <sub>4</sub>	63,3 ab	42,6 **	34,9 *	30,4 ns
P <sub>1</sub> xP <sub>5</sub>	55,4 abc	18,5 ns	18,1 ns	14,2 ns
P <sub>1</sub> xP <sub>6</sub>	55,6 abc	23,5 ns	18,5 ns	14,5 ns
P <sub>2</sub> xP <sub>3</sub>	40,7 c	-9,98 ns	-20,7 ns	-16,1 ns
P <sub>2</sub> xP <sub>4</sub>	39,4 c	-15,4 ns	-23,3 ns	-18,8 ns
P <sub>2</sub> xP <sub>5</sub>	62,4 ab	27,3 *	21,5 *	28,6 ns
P <sub>2</sub> xP <sub>6</sub>	45,1 bc	-4,46 ns	-12,1 ns	-7,00 ns
P <sub>3</sub> xP <sub>4</sub>	47,4 bc	17,1 ns	13,2 ns	-2,37 ns
P <sub>3</sub> xP <sub>5</sub>	67,8 a	58,2 **	45,3 **	39,7 *
P <sub>3</sub> xP <sub>6</sub>	43,6 c	6,19 ns	1,18 ns	-10,1 ns
P <sub>4</sub> xP <sub>5</sub>	51,8 abc	17,1 ns	11,0 ns	6,79 ns
P <sub>4</sub> xP <sub>6</sub>	48,4 bc	14,0 ns	12,3 ns	-0,20 ns
P <sub>5</sub> xP <sub>6</sub>	57,2 abc	27,4 ns	22,6 ns	17,8 ns
P <sub>1</sub> (PIM-032-03)	46,9 bc			
P <sub>2</sub> (PIM-033-11)	51,4 abc			
P <sub>3</sub> (PIM-034-19)	39,0 c			
P <sub>4</sub> (PIM-035-01)	41,8 c			
P <sub>5</sub> (PIM-036-08)	46,6 bc			
P <sub>6</sub> (PIM-037-18)	43,1 c			
Papri Queen	48,5 bc			

As médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

HMP: Heterose relativa à média parental;

HPS: Heterose relativa ao parental superior;

HP: Heterose relativa à cultivar “Papri Queen”.

\*, \*\* (P<0.05) e (P<0.01) respectivamente; ns: não significativa.

**Tabela 2.** Médias dos híbridos e parentais e heteroses para produção total de frutos secos. UFLA, Lavras, MG, 2013.

Genótipo	Média (t.ha <sup>-1</sup> )	HMP%	HPS%	HP%
P <sub>1</sub> xP <sub>2</sub>	8,92 abcd	10,4 ns	4,89 ns	17,8 ns
P <sub>1</sub> xP <sub>3</sub>	8,01 abcd	14,7 ns	4,78 ns	5,82 ns
P <sub>1</sub> xP <sub>4</sub>	10,1 ab	41,3**	33,3*	34,6*
P <sub>1</sub> xP <sub>5</sub>	8,58 abcd	16,3 ns	12,2 ns	13,3 ns
P <sub>1</sub> xP <sub>6</sub>	9,08 abcd	21,2 ns	18,8 ns	20,0 ns
P <sub>2</sub> xP <sub>3</sub>	6,88 cd	-7,19 ns	-19,1 ns	-9,17 ns
P <sub>2</sub> xP <sub>4</sub>	6,81 cd	-10,9 ns	-19,9 ns	-10,0 ns
P <sub>2</sub> xP <sub>5</sub>	9,68 abc	24,1 ns	13,8 ns	27,9 ns
P <sub>2</sub> xP <sub>6</sub>	7,44 abcd	-6,05 ns	-12,4 ns	-1,68 ns
P <sub>3</sub> xP <sub>4</sub>	7,84 abcd	19,7 ns	15,6 ns	3,55 ns
P <sub>3</sub> xP <sub>5</sub>	10,2 a	49,3**	41,0**	32,2*
P <sub>3</sub> xP <sub>6</sub>	7,09 bcd	3,82 ns	-3,45 ns	-6,38 ns
P <sub>4</sub> xP <sub>5</sub>	7,84 abcd	13,0 ns	15,7 ns	3,60 ns
P <sub>4</sub> xP <sub>6</sub>	8,34 abcd	18,2 ns	13,6 ns	10,2 ns
P <sub>5</sub> xP <sub>6</sub>	9,38 abc	29,9*	27,8 ns	23,9 ns
P <sub>1</sub> (PIM-032-03)	7,64 abcd			
P <sub>2</sub> (PIM-033-11)	8,50 abcd			
P <sub>3</sub> (PIM-034-19)	6,31 d			
P <sub>4</sub> (PIM-035-01)	6,78 cd			
P <sub>5</sub> (PIM-036-08)	7,10 abcd			
P <sub>6</sub> (PIM-037-18)	7,34 abcd			
Papri Queen	7,57 abcd			

As médias seguidas da mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

HMP: Heterose relativa à média parental;

HPS: Heterose relativa ao parental superior;

HP: Heterose relativa à cultivar “Papri Queen”.

\*, \*\* (P<0.05) e (P<0.01) respectivamente; ns: não significativa.

**Tabela 3.** Médias dos híbridos e parentais e heteroses para porcentagem do peso das sementes no fruto seco. UFLA, Lavras, MG, 2013.

Genótipo	Média (%)	HMP%	HPS%	HP%
P <sub>1</sub> xP <sub>2</sub>	29,4 ab	3,51 ns	4,95 ns	15,7 ns
P <sub>1</sub> xP <sub>3</sub>	24,2 b	-11,7 ns	-10,0 ns	-4,54 ns
P <sub>1</sub> xP <sub>4</sub>	24,3 b	-8,17 ns	-2,52 ns	-4,26 ns
P <sub>1</sub> xP <sub>5</sub>	26,3 b	-9,95 ns	-6,13 ns	3,52 ns
P <sub>1</sub> xP <sub>6</sub>	34,0 a	26,5 *	32,3 *	33,8**
P <sub>2</sub> xP <sub>3</sub>	26,5 ab	-5,01 ns	-1,74 ns	4,26 ns
P <sub>2</sub> xP <sub>4</sub>	23,2 b	-13,7 ns	-7,04 ns	-8,71 ns
P <sub>2</sub> xP <sub>5</sub>	25,1 b	-15,0 ns	-12,6 ns	-1,00 ns
P <sub>2</sub> xP <sub>6</sub>	27,1 ab	-0,48 ns	5,56 ns	6,74 ns
P <sub>3</sub> xP <sub>4</sub>	28,0 ab	7,74 ns	12,0 ns	10,0 ns
P <sub>3</sub> xP <sub>5</sub>	29,4 ab	2,38 ns	8,89 ns	15,5 ns
P <sub>3</sub> xP <sub>6</sub>	24,2 b	-8,12 ns	-5,83 ns	-4,78 ns
P <sub>4</sub> xP <sub>5</sub>	25,5 b	-7,94 ns	2,08 ns	0,27 ns
P <sub>4</sub> xP <sub>6</sub>	26,2 b	3,38 ns	4,92 ns	3,04 ns
P <sub>5</sub> xP <sub>6</sub>	23,6 b	-15,9 ns	-8,28 ns	-7,26 ns
P <sub>1</sub> (PIM-032-03)	28,0 ab			
P <sub>2</sub> (PIM-033-11)	28,8 ab			
P <sub>3</sub> (PIM-034-19)	27,0 ab			
P <sub>4</sub> (PIM-035-01)	24,9 b			
P <sub>5</sub> (PIM-036-08)	30,4 ab			
P <sub>6</sub> (PIM-037-18)	25,7 b			
Papri Queen	25,4 b			

As médias seguidas da mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

HMP: Heterose relativa à média parental;

HPS: Heterose relativa ao parental superior;

HP: Heterose relativa à cultivar “Papri Queen”.

\*, \*\* (P<0.05) e (P<0.01) respectivamente; ns: não significativa.

**Tabela 4.** Médias dos híbridos e parentais e heteroses para graus ASTA. UFLA, Lavras, MG, 2013.

Genótipo	Média (ASTA)	HMP%	HPS%	HP%
P <sub>1</sub> xP <sub>2</sub>	108,6 bcd	-6,65 ns	-13,1 ns	20,0 ns
P <sub>1</sub> xP <sub>3</sub>	78,7 de	-29,5 *	-32,0 *	-13,0 ns
P <sub>1</sub> xP <sub>4</sub>	105,1 bcde	3,19 ns	-2,28 ns	16,2 ns
P <sub>1</sub> xP <sub>5</sub>	129,7 abc	22,9 ns	20,5 ns	43,4 *
P <sub>1</sub> xP <sub>6</sub>	145,0 ab	19,4 ns	7,17 ns	60,3 **
P <sub>2</sub> xP <sub>3</sub>	93,7 cde	-22,1 ns	-25,0 ns	3,66 ns
P <sub>2</sub> xP <sub>4</sub>	105,2 bcde	-4,86 ns	-15,8 ns	16,3 ns
P <sub>2</sub> xP <sub>5</sub>	99,0 cde	-13,3 ns	-20,8 ns	9,52 ns
P <sub>2</sub> xP <sub>6</sub>	115,5 abcd	-11,2 ns	-14,6 ns	27,7 ns
P <sub>3</sub> xP <sub>4</sub>	106,6 bcde	0,69 ns	-7,82 ns	17,9 ns
P <sub>3</sub> xP <sub>5</sub>	156,9 a	43,2 **	35,5 *	73,4 **
P <sub>3</sub> xP <sub>6</sub>	110,7 bcd	-11,7 ns	-18,1 ns	22,4 ns
P <sub>4</sub> xP <sub>5</sub>	110,8 bcd	11,0 ns	7,19 ns	22,5 ns
P <sub>4</sub> xP <sub>6</sub>	62,4 e	-46,0 **	-53,8 **	-30,9 ns
P <sub>5</sub> xP <sub>6</sub>	124,3 abcd	4,19 ns	-8,11 ns	37,5 ns
P <sub>1</sub> (PIM-032-03)	107,6 bcde			
P <sub>2</sub> (PIM-033-11)	125,1 abcd			
P <sub>3</sub> (PIM-034-19)	115,7 abcd			
P <sub>4</sub> (PIM-035-01)	96,1 cde			
P <sub>5</sub> (PIM-036-08)	103,4 bcde			
P <sub>6</sub> (PIM-037-18)	135,3 abc			
Papri Queen	90,4 cde			

As médias seguidas da mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

HMP: Heterose relativa à média parental;

HPS: Heterose relativa ao parental superior;

HP: Heterose relativa à cultivar “Papri Queen”.

\*, \*\* (P<0.05) e (P<0.01) respectivamente; ns: não significativa.

**Tabela 5.** Médias dos híbridos e parentais e heteroses para teste de resistência à *P. capsici*, notas de sintomas aos 15 dias após inoculação. UFLA, Lavras, MG, 2013.

Genótipo	Média (nota)	HMP (nota)	HPS (nota)	HP (nota)
P <sub>1</sub> xP <sub>2</sub>	2,17 abcde	0,22 ns	0,42 ns	0,04 ns
P <sub>1</sub> xP <sub>3</sub>	2,29 abcd	0,25 ns	0,54 ns	0,16 ns
P <sub>1</sub> xP <sub>4</sub>	2,00 bcdef	-0,19 ns	0,25 ns	-0,13 ns
P <sub>1</sub> xP <sub>5</sub>	1,50 ef	-0,04 ns	0,17 ns	-0,63 ns
P <sub>1</sub> xP <sub>6</sub>	1,92 bcdef	0,04 ns	0,17 ns	-0,21 ns
P <sub>2</sub> xP <sub>3</sub>	2,52 ab	0,28 ns	0,38 ns	0,39 ns
P <sub>2</sub> xP <sub>4</sub>	2,75 a	0,37 ns	0,61 ns	0,62 ns
P <sub>2</sub> xP <sub>5</sub>	1,63 cdef	-0,11 ns	0,29 ns	-0,51 ns
P <sub>2</sub> xP <sub>6</sub>	2,24 abcd	0,18 ns	0,24 ns	0,11 ns
P <sub>3</sub> xP <sub>4</sub>	2,63 ab	0,15 ns	0,29 ns	0,50 ns
P <sub>3</sub> xP <sub>5</sub>	1,50 ef	-0,33 ns	0,17 ns	-0,63 ns
P <sub>3</sub> xP <sub>6</sub>	1,96 bcdef	-0,21 ns	-0,04 ns	-0,17 ns
P <sub>4</sub> xP <sub>5</sub>	1,79 cdef	-0,19 ns	0,46 ns	-0,34 ns
P <sub>4</sub> xP <sub>6</sub>	2,21 abcde	-0,10 ns	0,21 ns	0,08 ns
P <sub>5</sub> xP <sub>6</sub>	1,58 def	-0,08 ns	0,25 ns	-0,55 ns
P <sub>1</sub> (PIM-032-03)	1,75 cdef			
P <sub>2</sub> (PIM-033-11)	2,14 abcde			
P <sub>3</sub> (PIM-034-19)	2,33 abc			
P <sub>4</sub> (PIM-035-01)	2,63 ab			
P <sub>5</sub> (PIM-036-08)	1,33 f			
P <sub>6</sub> (PIM-037-18)	2,00 bcdef			
Papri Queen	2,13 abcde			

As médias seguidas da mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

HMP: Heterose relativa à média parental;

HPS: Heterose relativa ao parental superior;

HP: Heterose relativa à cultivar “Papri Queen”.

\*, \*\* (P<0.05) e (P<0.01) respectivamente; ns: não significativa.

**Tabela 6.** Médias dos híbridos e parentais e heteroses para teste de resistência à *P. capsici*, porcentagens de mortalidade de sintomas aos 15 dias após inoculação. UFLA, Lavras, MG, 2013.

Genótipo	Média (%)	HMP(%)	HPS(%)	HP(%)
P <sub>1</sub> xP <sub>2</sub>	70,8 abcde	17,2 ns	25,0 ns	5,28 ns
P <sub>1</sub> xP <sub>3</sub>	66,6 abcde	6,26 ns	20,8 ns	1,12 ns
P <sub>1</sub> xP <sub>4</sub>	62,5 abcdef	-4,16 ns	16,6 ns	-3,05 ns
P <sub>1</sub> xP <sub>5</sub>	31,9 efg	-1,39 ns	11,1 ns	-33,6 ns
P <sub>1</sub> xP <sub>6</sub>	45,8 cdefg	-4,17 ns	0,00 ns	-19,7 ns
P <sub>2</sub> xP <sub>3</sub>	91,0 ab	22,9 ns	29,7 ns	25,5 ns
P <sub>2</sub> xP <sub>4</sub>	95,8 a	21,4 ns	34,5 ns	30,2 ns
P <sub>2</sub> xP <sub>5</sub>	37,5 defg	-3,57 ns	16,6 ns	-28,0 ns
P <sub>2</sub> xP <sub>6</sub>	82,1 abc	24,4 ns	27,9 ns	16,5 ns
P <sub>3</sub> xP <sub>4</sub>	95,8 a	14,5 ns	20,8 ns	30,2 ns
P <sub>3</sub> xP <sub>5</sub>	33,3 efg	-14,5 ns	12,5 ns	-32,2 ns
P <sub>3</sub> xP <sub>6</sub>	54,1 bcdefg	-10,4 ns	0,00 ns	-11,3 ns
P <sub>4</sub> xP <sub>5</sub>	45,8 cdefg	-8,34 ns	25,0 ns	-19,7 ns
P <sub>4</sub> xP <sub>6</sub>	75,0 abcd	4,16 ns	20,8 ns	9,45 ns
P <sub>5</sub> xP <sub>6</sub>	29,1 fg	-8,33 ns	8,34 ns	-36,3 *
P <sub>1</sub> (PIM-032-03)	45,8 cdefg			
P <sub>2</sub> (PIM-033-11)	61,3 abcdef			
P <sub>3</sub> (PIM-034-19)	75,0 abcd			
P <sub>4</sub> (PIM-035-01)	87,5 ab			
P <sub>5</sub> (PIM-036-08)	20,8 g			
P <sub>6</sub> (PIM-037-18)	54,1 bcdefg			
Papri Queen	65,5 abcde			

As médias seguidas da mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

HMP: Heterose relativa à média parental;

HPS: Heterose relativa ao parental superior;

HP: Heterose relativa à cultivar "Papri Queen".

\*, \*\* (P<0.05) e (P<0.01) respectivamente; ns: não significativa.

**3 ARTIGO 2: ANÁLISE DIALÉLICA E COMPONENTES DA  
HETEROSE EM PIMENTAS TIPO PÁPRICA**

Artigo redigido conforme as normas da revista Pesquisa Agropecuária  
Brasileira – PAB (versão preliminar).

### **Análise dialélica e componentes da heterose em pimentas tipo páprica**

**André Lasmar<sup>(1)</sup>; Wilson Roberto Maluf<sup>(1)</sup>; César Augusto Ticonabenavente<sup>(1)</sup>, Douglas Willian Nogueira<sup>(1)</sup> e Danilo Gustavo Nogueira<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> Universidade Federal de Lavras – UFLA – Caixa Postal 3037, CEP: 37200-000, Lavras – MG – Brasil. e-mail: andre\_lasmar@yahoo.com.br, wrmaluf@dag.ufla.br, cesar.benavente@gmail.com, douglagen@yahoo.com.br, asp.nogueira@yahoo.com.br

**Resumo** – Objetivou-se com esse trabalho avaliar os componentes da heterose em híbridos de páprica para as características de produtividade, quantidade de pigmentos carotenoides (medida como graus ASTA) e resistência à *Phytophthora capsici*, e identificar dentre as linhagens utilizadas, genitores com boa capacidade geral de combinação, que possam ser utilizados em futuros programas de melhoramento ou na obtenção de novos híbridos. Foram realizados cruzamentos dialélicos, sem se considerar os recíprocos, entre seis linhagens do programa de melhoramento de *Capsicum annuum* L. da Hortiagro Sementes S.A. com aptidão para produção de páprica (P<sub>1</sub>=PIM 032-03; P<sub>2</sub>=PIM 033-11; P<sub>3</sub>=PIM 034-19; P<sub>4</sub>=PIM 035-01; P<sub>5</sub>=PIM 036-08 e P<sub>6</sub>=PIM 037-18), obtendo-se 15 híbridos experimentais. A ação gênica epistática está envolvida com a expressão da heterose para produtividade e conteúdo de carotenoides, e a heterose foi predominantemente unidirecional no sentido de maiores produtividades. Não foi detectada heterose significativa para resistência à *P. capsici* e o tipo de ação gênica foi dominância incompleta. A linhagens parentais P<sub>1</sub> e P<sub>5</sub> apresentaram alta CGC podendo ser utilizadas em programas de melhoramento visando novas linhagens ou à produção de híbridos mais produtivos. O híbrido mais promissor para as características avaliadas é o P<sub>3</sub>xP<sub>5</sub>,

superando a cultivar padrão “Papri Queen” em produtividade de frutos frescos e secos, unidades ASTA, além de apresentar resistência à *Phytophthora capsici*. A linhagem P<sub>5</sub>, assim como os híbridos em que ela participou como genitora, foram avaliados como resistentes à *Phytophthora capsici*.

**Termos para indexação:** *Capsicum annuum*, capacidade geral de combinação, *Phytophthora capsici*, vigor de híbrido, ação gênica, epistasia.

### **Diallel analysis and heterosis components in paprika peppers**

**Abstract** – The objective of this study was to assess the components of heterosis in paprika hybrids with relation to yield, carotenoid pigment contents (estimated as degrees ASTA) and resistance to *Phytophthora capsici*, and to identify parental lines with good general combining ability (GCA) to be used in future programmes and/or to obtain new hybrids. Fifteen hybrids were obtained through in a complete diallel (reciprocal hybrids excluded) among six proprietary paprika breeding lines from HortiAgro Sementes S.A., four of which originally introduced from Peru (P<sub>1</sub>=PIM 032-03; P<sub>2</sub>=PIM 033-11; P<sub>3</sub>=PIM 034-19; P<sub>4</sub>=PIM 035-01) and two from the U.S.A. (P<sub>5</sub>=PIM 036-08; P<sub>6</sub>=PIM 037-18). Epistatic gene action was involved in the expression of heterosis for fresh and dry yields, and for carotenoid pigment contents, and heterosis was predominantly in the direction of higher yields. No significant heterosis effects were detected for resistance to *P. capsici*, and gene action was of incomplete dominance of the resistant phenotype. The parental lines P<sub>1</sub> and P<sub>5</sub> showed high GCA values, and can be used in breeding programmes to obtain new improved lines or for the production of higher yielding hybrids. The most promising hybrid was P<sub>3</sub>xP<sub>5</sub>, which outperformed the standard cultivar "Papri Queen" in fresh and dry fruit yields, and ASTA units, in addition to being resistant to *Phytophthora capsici*. The line P<sub>5</sub>, as well as the hybrids in which it participated as a parent, were assessed as resistant to *Phytophthora capsici*.

**Index terms:** *Capsicum annuum*, general combining ability, *Phytophthora capsici*, hybrid vigor, gene action, epistasis.

## Introdução

A presença de heterose em páprica abre perspectivas para a produção de cultivares híbridas (SOMOGYI, 2010). O conhecimento do comportamento dos híbridos  $F_1$  em relação às suas cultivares genitoras permite ao melhorista escolher as melhores combinações genéticas entre linhagens de páprica para o caráter considerado.

A eficiência no processo de obtenção de cultivares ou linhagens que possam ser utilizadas na produção de sementes híbridas requer o conhecimento dos efeitos genéticos envolvidos na determinação dos caracteres. Uma das dificuldades encontradas no processo seletivo é a falta de informações sobre a herança de características quantitativas de interesse. A obtenção dessas informações pode possibilitar maiores ganhos genéticos, aumentando a eficácia dos programas de melhoramento (LÉDO et al., 2001). Os cruzamentos dialélicos se destacam como meio de obter estas informações, provendo estimativas de parâmetros úteis na seleção de genitores para hibridação (CRUZ; RAGAZZI, 1994). O método de análise proposto por Gardner e Eberhart (1966) prevê um estudo detalhado da heterose e seus componentes, o que proporcionaria uma maneira rápida de avaliar o potencial das linhagens genitoras para a obtenção de híbridos.

Entre os métodos de análise dialélica disponíveis, o proposto por Jinks e Hayman (1953) tem como base o conhecimento da natureza ambiental e genética de estatísticas (médias, variâncias e covariâncias) obtidas a partir de uma tabela dialélica, que fornece informações sobre o controle genético do caráter em estudo, dos valores genéticos e dos limites de seleção dos caracteres em estudo (CRUZ; REGAZZI, 1994; VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Somogyi (2010), em testes com híbridos experimentais de páprica na Hungria, relata que, para teor de matéria seca e para coloração do pó obtido pela moagem dos frutos secos, os híbridos apresentaram valores intermediários em

relação às médias dos pais. Porém, os híbridos apresentaram valores de produção de frutos de cinco a seis vezes maiores que os obtidos pelas cultivares de polinização aberta, defendendo a sua utilização para maiores ganhos com produção por unidade de área.

Objetivou-se, portanto, com esse trabalho, avaliar os componentes da heterose em híbridos de páprica para as características de produtividade, quantidade de pigmentos carotenoides e resistência  *Phytophthora capsici*, e identificar, dentre as linhagens utilizadas, genitores com boa capacidade geral de combinação, que possam ser utilizados em futuros programas de melhoramento ou na obtenção de novos híbridos.

## **Materiais e Métodos**

### **Obtenção dos híbridos**

Seis linhagens do programa de melhoramento de *Capsicum annuum* L. da Hortiagro Sementes S.A. com aptidão para produção de páprica foram utilizadas para a obtenção dos híbridos experimentais F<sub>1</sub>, sendo quatro delas de origem peruana (P<sub>1</sub>=PIM 032-03; P<sub>2</sub>=PIM 033-11; P<sub>3</sub>=PIM 034-19; P<sub>4</sub>=PIM 035-01) e duas de origem estadunidense (P<sub>5</sub>=PIM 036-08; P<sub>6</sub>=PIM 037-18). As linhagens foram previamente selecionadas pelo teste do paladar por duas gerações de autofecundação e caracterizadas quanto  ausência de capsaicina (não-pungentes).

Foram realizados cruzamentos manuais em casas de vegetação com todas as linhagens, através de emasculaes de botões florais seguidas de polinização controlada, utilizando-se o esquema dialélico (não considerando os cruzamentos recíprocos), obtendo-se 15 híbridos experimentais.

### **Ensaio Agronômico**

Os 15 híbridos experimentais obtidos na etapa anterior foram testados, juntamente com as seis linhagens utilizadas como parentais (P<sub>1</sub>=PIM 032-03; P<sub>2</sub>=PIM 033-11; P<sub>3</sub>=PIM 034-19; P<sub>4</sub>=PIM 035-01; P<sub>5</sub>=PIM 036-08; P<sub>6</sub>=PIM 037-18) e a testemunha comercial de polinização aberta “Papri Queen”, totalizando 22 tratamentos.

O experimento foi realizado no município de Ijaci – MG, com altitude de 920 m, 21°14’16’’ de latitude Sul, 45°08’00’’ de longitude oeste e precipitação anual de 1.529,7 mm, nas instalações da empresa HortiAgro Sementes S.A., em condições de casa de vegetação.

A semeadura foi realizada no dia 23 de outubro de 2011, em bandejas de poliestireno de 128 células e, 30 dias após a semeadura, foi realizado o transplante das mudas em canteiros protegidos no sistema de plasticultura. Foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições e 11 plantas por parcela, com um total de 968 plantas. O espaçamento utilizado foi de 0,75m entre linhas e 0,35m entre plantas dentro da linha, resultando em uma densidade populacional de 38 mil plantas.ha<sup>-1</sup>.

Ao final de quatro colheitas consecutivas (01 de março, 28 de março, 02 de maio e 31 de maio de 2012) por parcela experimental, realizadas no momento em que os frutos da parcela estivessem maduros e completamente vermelhos, foi estimada a produção total de frutos frescos.

Amostras de aproximadamente 800g de frutos frescos de cada parcela experimental foram tomadas para a determinação de peso seco após aferido seu peso inicial (fresco), os frutos foram secos em estufa com circulação forçada de ar a 50°C por cinco dias, quando as amostras atingiram peso constante. As amostras foram novamente pesadas e então estimadas as porcentagens de matéria seca que, multiplicadas pelas respectivas produções de frutos frescos, resultaram nas estimativas de produção de frutos secos.

As amostras secas foram acondicionadas em sacos de papel e armazenadas por 90 dias a temperatura ambiente e posteriormente foram processadas em moedor elétrico (MARCONI MA 340), para obtenção do produto em pó.

O teor de capsanteno dos frutos de cada parcela experimental foi determinado pelo método de ASTA 20.1 (ASTA, 1997). Foram medidas as absorvâncias, em espectrofotômetro calibrado para comprimento de onda de 460 nm, de cada parcela e os resultados expressos em unidades ASTA.

#### **Inoculação e avaliação das plantas quanto à resistência à *Phytophthora capsici***

As reações dos genótipos ao patógeno *Phytophthora capsici* foram determinadas em experimento a parte, mediante inoculação com o patógeno. As plantas foram inoculadas com solução contendo a mistura de isolados de *P. capsici* 'Pc11' e 'Pc31' quando atingiram 10 cm de altura no delineamento de blocos casualizados com quatro repetições e oito plantas por parcela experimental. Estes isolados foram obtidos junto à empresa Sakata/Agroflora, Bragança Paulista – SP, e foram inicialmente coletados na região de Bernardino de Campo/SP e Santa Cruz do Rio Pardo/SP, respectivamente. Os isolados foram mantidos, repicados e cultivados seguindo a metodologia de Urben (1980). Após sete dias, foram destacados com alça de Drigalsky. Para a liberação de zoósporos, a suspensão de esporângios permaneceu sob incubação a temperatura ambiente por uma hora. A suspensão foi filtrada em seguida em lenço de papel e retirada uma alíquota do filtrado para a contagem do número de zoósporos em câmara de Neubauer. Para estimular o encistamento dos zoósporos, a suspensão foi agitada em Vortex por um minuto. Depois de realizada a contagem e estabelecida a diluição na concentração de  $10^4$  zoósporos/5ml, a suspensão de zoósporos foi utilizada imediatamente.

No dia 15 de janeiro de 2012, aos 45 dias após a semeadura, foram feitas as inoculações em bandeja de poliestireno contendo as mudas, aplicando-se 5ml da suspensão em cada célula da bandeja, próximo ao coleto das plantas. Avaliações diárias foram feitas após a inoculação, adotando-se uma chave descritiva para expressar a intensidade dos sintomas (1 = nenhum sintoma, 2 = murcha e necrose e 3 = morte da planta). Foram também registradas as porcentagens de mortalidade de plantas devido à doença. As avaliações ocorreram a partir do terceiro dia após a inoculação, estendendo-se até 30 de janeiro de 2012, o 15º dia após a inoculação, data em que se registraram as referidas notas e porcentagens de mortalidade das plantas.

### Análises Estatísticas

Os dados de produtividade de frutos frescos e secos, unidades ASTA, notas e porcentagens de mortalidade foram analisados de acordo ao modelo dialélico de Gardner & Eberhart (1966) assumindo o modelo fixo:

$$y_{ij} = \mu + (v_i + v_j)/2 + \Theta(\bar{h} + h_i + h_j + s_{ij}) + e_{ij}, \text{ sendo } \Theta = 0 \text{ se } i=j, \text{ ou } \Theta = 1 \text{ se } i \neq j$$

Em que:

$y_{ij}$  : valor médio do genótipo ij.

$\mu$  : média geral;

$v_i$  e  $v_j$ : efeito da variedade i-ésima ou j-ésima, respectivamente;

$\bar{h}$ : heterose média

$h_i$  e  $h_j$  : efeito da heterose da variedade i-ésima ou j-ésima, respectivamente;

$s_{ij}$ : Efeito da heterose específica

$e_{ij}$  : erro experimental médio.

Os efeitos de variedades ( $v_i$ ) e heterose média ( $\bar{h}$ ) varietal ( $h_i$ ) de Gardner & Eberhart (1966) foram analisados em equivalência aos conceitos de capacidade geral e específica de combinação de Sprague & Tatum (1942):

$$g_i = 1/2 v_i + \bar{h} + h_i$$

Onde:

$g_i$  = capacidade geral de combinação do genitor  $i$

$v_i$  = efeito de variedades

$\bar{h}$  = heterose média

$h_i$  = heterose varietal

Os dados foram também analisados graficamente segundo o modelo de análise dialélica proposto por Jinks & Hayman (1953), em que a estimativa do coeficiente de regressão “ $\beta$ ” de  $W_r$  (covariância da progênie da linhagem parental “ $r$ ” com o pai não recorrente) em  $V_r$  (variância da progênie da linhagem parental “ $r$ ”) diferente de 1 indica a presença de espistasia; e, em caso contrário, sua ausência. Para comparação de médias, foi utilizado o teste de Duncan a 5% de probabilidade.

## Resultados e Discussão

### Produção total de frutos frescos $t.ha^{-1}$

Os tratamentos diferiram quanto à produção total de frutos frescos (Tabela 1). O componente de heterose média, obtido a partir da análise de Gardner & Eberhart foi significativo, indicando que a média dos híbridos foi em geral significativamente maior do que a média dos pais, e que a heterose é predominantemente unidirecional (no sentido de maiores produtividades) (Tabela 1). Os componentes da heterose varietal e específica não foram significativos (Tabela 1), indicando que não foram detectadas diferenças na contribuição dos genitores para a heterose e que não houve diferenças das frequências alélicas entre os genitores avaliados. Os resultados indicam, portanto, que a produção total de frutos frescos dos híbridos poderá ser estimada,

em geral, através da média dos pais acrescida do valor correspondente ao estimado para heterose média para todos os híbridos.

A significância e o alto valor positivo das estimativas da CGC, de acordo com a equivalência aos conceitos de Sprague & Tatum (1942), para produção total de frutos frescos de uma linhagem são importantes indicadores de sua potencialidade para gerar boas populações, pois indica alta frequência de alelos favoráveis de natureza aditiva (Cruz & Regazzi, 1994). Deste modo, os genitores  $P_1$  e  $P_5$ , com estimativas da CGC de 11,3 e 16,1 t.ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 2), têm bom potencial para serem utilizados em programas de melhoramento, visando à seleção de novas linhagens e/ou a obtenção de híbridos mais produtivos.

Por outro lado, as estimativas da CEC podem ter importante significado genético, tanto no que se refere ao seu sinal, quanto à sua magnitude relativa. As estimativas dos componentes de média da CEC ( $s_{ij}$ ) variaram de -9,63 a 11,2 t.ha<sup>-1</sup> (amplitude de 20,8 t.ha<sup>-1</sup>) (Tabela 2), que é bastante representativo sobre a média ( $\mu=45,0$  t.ha<sup>-1</sup>) e indicativo de que, além dos efeitos gênicos aditivos, os não aditivos também podem ser importantes na expressão do caráter para alguns híbridos. De fato, embora para a maioria dos híbridos as estimativas de  $s_{ij}$  tenham sido próximas da estimativa do respectivo erro-padrão (e, portanto, não significativa), em alguns casos os valores de  $s_{ij}$  foram significativamente positivos ( $s_{14} = 9,74$ ;  $s_{35} = 11,2$ ) ou negativos ( $s_{15} = -9,63$ ), o que indicaria que, nestes casos, a média “per se” dos genitores não é um bom indicativo do desempenho médio dos híbridos para produção total de frutos frescos.

As maiores estimativas positivas das CECs pertencem aos híbridos  $P_3 \times P_5$  e  $P_1 \times P_4$  com valores de 11,2 e 9,74 t.ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 2). Esses mesmos híbridos apresentaram, além de um alto valor para CEC, pelo menos um dos genitores com alto valor de CGC, o que é desejável. A CEC está associada em sua maior parte às diferenças de frequências alélicas não aditivas,

apresentando uma importante fonte de variação para produção total de frutos frescos nestes híbridos.

A significância dos efeitos de heterose (Tabela 1) ressalta a importância dos efeitos não aditivos, enfatizando a importância de interações alélicas não aditivas no controle deste caráter. Os autores Bonetti (2002), Gomide et. al (2003) e Nascimento et. al (2010) também relataram heterose significativa para produção total de frutos em *Capsicum annuum*, atribuindo-a à maior importância dos efeitos gênicos de natureza não aditiva.

A natureza dos efeitos não aditivos parece ser epistática, uma vez que o coeficiente  $\beta$  de regressão entre  $W_r$  e  $V_r$ , medido pela análise dialélica de Jinks & Hayman (1953) foi significativamente diferente de 1 (Tabela 3).

#### **Produção total de frutos secos t.ha<sup>-1</sup>**

Foram detectadas diferenças entre os tratamentos para produção total de frutos secos (Tabela 1). A não significância da heterose varietal indica que não foram detectadas diferenças na contribuição dos genitores para a heterose. A heterose específica não significativa indica que não houve, em geral, diferença nas frequências alélicas entre os genitores avaliados (Tabela 1).

O componente da heterose média foi significativo e positivo, indicando que a produção dos híbridos foi superior à média dos pais (Tabela 1), enquanto os componentes de heterose varietal e heterose específica não foram significativos. Os resultados indicam, portanto, que a produção total de frutos secos dos híbridos poderá, em geral, ser estimada como a média dos pais acrescida do valor correspondente ao estimado para heterose média  $\bar{h}$ .

Os genitores  $P_1$  e  $P_5$ , com estimativas de CGC de 1,67 e 1,98 t.ha<sup>-1</sup>, respectivamente, podem ser utilizados em programas de melhoramento, visando à seleção de novas linhagens e/ou a obtenção de híbridos mais produtivos, de

acordo com a equivalência aos conceitos de Sprague & Tatum (1942) antes mencionada.

As estimativas dos componentes de média da CEC ( $s_{ij}$ ) variaram de -1,47 a 1,42 t.ha<sup>-1</sup> (amplitude de 2,89 t.ha<sup>-1</sup>) (Tabela 2), que equivale a cerca de 40% da média ( $\mu=7,33$  t.ha<sup>-1</sup>) e indicativo de que, além dos efeitos gênicos aditivos, os não aditivos também podem ser importantes na expressão do caráter. Semelhantemente ao observado para produção de frutos frescos, também para a produção de frutos secos a maioria das estimativas de  $s_{ij}$  não diferiram de zero. Apenas para os híbridos  $P_1 \times P_4$  ( $s_{14} = +1,40$ ) e  $P_3 \times P_5$  ( $s_{35} = +1,42$ ) os valores de  $s_{ij}$  foram significativamente maiores que zero, enquanto apenas para  $P_1 \times P_5$  ( $s_{15} = -1,47$ ) e  $P_4 \times P_5$  ( $s_{45} = -1,23$ ) os valores de  $s_{ij}$  podem ser considerados menores que zero. Assim, apenas nestes poucos casos a média “per se” dos genitores não é um bom indicativo do desempenho médio dos híbridos para produção total de frutos secos.

Os híbridos  $P_3 \times P_5$  e  $P_1 \times P_4$  apresentaram as maiores estimativas positivas das CECs com valores de 1,42 e 1,40 t.ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 2). Esses mesmos híbridos apresentaram além de um alto valor para CEC, pelo menos um dos genitores com alto valor de CGC, o que é desejável.

A significância da heterose (Tabela 1), pelo método de Gardner & Eberhart (1966), indica que os efeitos não aditivos são responsáveis pelo aumento na quantidade de matéria seca. Portanto, o uso de híbridos pode contribuir para aumentar significativamente a produtividade das cultivares para produção de páprica.

O coeficiente  $\beta$  de regressão entre  $W_r$  e  $V_r$ , medido pela análise dialélica de Jinks & Hayman (1953) foi significativamente diferente de 1 (Tabela 3), indicando que os efeitos não aditivos são pelo menos em parte de natureza epistática.

O genitor 2 (PIM 033-11) apresentou o maior efeito de variedade com  $1,25 \text{ t.ha}^{-1}$  (Tabela 2), mostrando-se ser o mais promissor para ser utilizado como variedade “per se”, porém apresentou baixo valor de CGC ( $0,52 \text{ t.ha}^{-1}$ ) (Tabela 2), o que diminuiu o seu valor como linhagem parental para obtenção de híbridos. Por outro lado, o genitor 5 (PIM 036-08), com a maior CGC ( $g_5 = +1,98$ ) tem bom potencial para utilização como linhagem genitora na obtenção de híbridos.

### **Coloração**

Os parentais PIM 033-11 ( $P_2$ ) e PIM 037-18 ( $P_6$ ) apresentaram maior teor de capsanteno ( $ASTA > 125$ ) que a linhagem testemunha “Papri Queen” ( $ASTA = 90,4$ ) (Tabela 4). Foi observada heterose para esta característica, a qual foi explicada principalmente pela heterose específica (Tabela 1), indicando que a heterose deve-se à diferença de frequência alélica entre genitores específicos.

Apenas o genitor  $P_5$  apresentou valor de CGC alto ( $13,7$  graus ASTA) que, no entanto, não pode ser considerado significativamente diferente de zero, devido à magnitude do desvio padrão de sua estimativa (Tabela 2).

As estimativas dos componentes de média da CEC ( $s_{ij}$ ) variaram de  $-34,5$  a  $30,2$  graus ASTA (amplitude de  $64,7$  graus ASTA) (Tabela 2), que equivale a cerca de 57% da média ( $\mu = 113,9$  graus ASTA) e indicativo de que, além dos efeitos gênicos aditivos, os não aditivos também são importantes na expressão do caráter. Assim, apenas a média “per se” dos genitores não é um bom indicativo do desempenho médio dos híbridos para teores de capsanteno.

As maiores estimativas positivas das CECs ( $s_{ij}$ ) pertencem aos híbridos  $P_1 \times P_6$  e  $P_3 \times P_5$  com valores de  $28,9$  e  $30,2$  graus ASTA, respectivamente (Tabela 2). O híbrido  $P_3 \times P_5$  apresenta também o genitor  $P_5$  que possui o mais alto valor de CGC, o que o torna o de melhor coloração entre os híbridos testados (Tabela 4). Por outro lado, na combinação  $P_1 \times P_6$ , os genitores apresentam valores de

CGC baixos ou negativos, presumindo-se que os efeitos não aditivos foram mais importantes para a superioridade desta combinação híbrida (Tabela 2) que, no entanto, foi inferior à combinação P<sub>3</sub>xP<sub>5</sub> em coloração.

A significância apenas da heterose indica que os efeitos não aditivos são os principais na expressão deste caráter. A ação gênica epistática contribui para estes efeitos não aditivos, uma vez que o coeficiente  $\beta$  de regressão entre  $W_r$  e  $V_r$ , medido pela análise dialélica de Jinks & Hayman (1953), foi significativamente diferente de 1 (Tabela 3).

#### **Avaliação quanto à resistência à *Phytophthora capsici***

Não foi detectada, em média, heterose para resistência à *P. capsici* nos híbridos de páprica pela análise de Gardner & Eberhart (1966). As diferenças na taxa de mortalidade nos híbridos podem ser explicadas basicamente pelas diferenças nos efeitos varietais ( $v_i, v_j$ ).

Os valores das estimativas da CGC para o caráter são valores de pequena magnitude. Porém, quando positivas, indicam uma tendência dos genitores em originar plantas com maiores notas e porcentagens de mortalidade na avaliao quanto  resistência  *P. capsici*, enquanto que estimativas negativas indicam que o genitor contribui para a reduo da taxa de mortalidade, o que  desejável. Os valores das estimativas para CGC variaram de -1,33 a 0,30 para notas (amplitude de 1,63) e de -28,3% a 21,6% para mortalidade (amplitude de 49,9%) (Tabela 2). Destaca-se o genitor P<sub>5</sub> com o valor mais negativo de mortalidade (-28,3%), contribuindo favoravelmente para a reduo da expressão do caráter (Tabela 2).

As estimativas da CEC ( $s_{ij}$ ) variaram de -0,25 a 0,17 para notas (amplitude de 0,42), o que representa cerca de 20% em relao  média ( $\mu=2,03$ ) (Tabela 2). Para porcentagem de mortalidade, as estimativas da CEC variaram

de -10,9% a 9,82% (amplitude de 20,7%), o que representa cerca de 36% em relação à média ( $\mu=57,4\%$ ).

Na análise de Jinks & Hayman (1953), o coeficiente de regressão de  $W_r$  em  $V_r$ , foi estimado em  $\beta = 0,807$  para notas e  $\beta = 1,075$  para porcentagem de mortalidade (Tabela 3), valores que não diferem estatisticamente de 1 ( $\alpha = 1\%$ ), mas diferem estatisticamente de 0 ( $\alpha = 1\%$ ), mostrando que um modelo de aditividade-dominância é adequado, não havendo evidência de ação gênica epistática. A linhagem  $P_5$ , que apresentou as menores nota e porcentagem de mortalidade média (Tabela 4), ficou na parte inferior das linhas de regressão (Figuras 1 e 2), indicando ser o genitor com a maior proporção de alelos dominantes.

As análises gráficas (Figuras 1 e 2) mostram que as retas de regressão de  $W_r$  em  $V_r$  interceptam o eixo das ordenadas num valor negativo próximo à origem, o que indicaria ação gênica de dominância completa ou ligeira sobredominância dos genes que controlam a resistência. Contudo, o genitor mais resistente ( $P_5$ ) tem notas e porcentagens de mortalidade de plantas ligeiramente inferiores às de seus híbridos  $P_1 \times P_5$ ,  $P_2 \times P_5$ ,  $P_3 \times P_5$ ,  $P_4 \times P_5$  e  $P_5 \times P_6$ , o que indica dominância incompleta, porém com grau médio de dominância próximo de um. Os alelos que atuam no sentido de aumentar a nota e a porcentagem de mortalidade são predominantemente recessivos, o que se conclui das correlações entre  $(W_r + V_r)$  e  $Y_r$ ,  $r = +0,895$  (para notas) e  $r = +0,848$  (para mortalidade). A hipótese mais plausível para a interpretação destes resultados é a de que a resistência à *P. capsici* encontrada em  $P_5$  é, pois, controlada por alelo(s) dominante(s), mas com grau de dominância incompleta.

### Conclusões

- Em páprica, houve heterose em geral positiva para produtividade de frutos frescos e secos e quantidade de pigmentos vermelhos. Os efeitos genéticos não aditivos foram pelo menos em parte epistáticos.
- Não foi detectada heterose significativa para resistência à *P. capsici* e o tipo de ação gênica foi de dominância incompleta.
- As linhagens parentais PIM 032-03 (P<sub>1</sub>) e PIM 036-08 (P<sub>5</sub>) apresentaram alta CGC podendo ser utilizadas em programas de melhoramento visando a novas linhagens ou à produção de híbridos mais produtivos.
- O híbrido mais promissor para as características avaliadas foi o PIM 034-19 x PIM 036-08 (P<sub>3</sub> x P<sub>5</sub>), superando a cultivar padrão “Papri Queen” em produtividade de frutos frescos e secos, unidades ASTA, além de apresentar resistência à *Phytophthora capsici*.
- A linhagem parental PIM 036-08 (P<sub>5</sub>), assim como os híbridos em que ela participou como genitora, foram avaliados como resistentes à *Phytophthora capsici*.

### Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), ao CNPq/Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (MCT), à Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (Capes/MEC), à Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Laboratório de Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças (DCA/UFLA) e à Empresa Hortiagro Sementes S.A.

### Referências

- ASTA. Extractable Color in Capsicums and Their Oleoresins. **Official Analytical method of the american spice trade association**. Fourth ed. Englewood Cliffs, New Jersey, 1997 (Revised October 2004).
- 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.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa : UFV, 1994. 390p.
- GARDNER C.O., EBERHART A.S. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometrics**, v. 22, p. 439-52, 1966.
- GOMIDE, M. L. et al. Heterose e capacidade combinatória de linhagens de pimentão (*Capsicum annuum* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 05, p. 1007-1015, 2003.
- JINKS, J. L.; HAYMAN, B. I. The analysis of diallel crosses. **Maize Genetics Cooperation Newsletter**, Columbia, v. 27, p. 48-54, 1953.
- LEDO, Francisco José da Silva et al . Análise genética em um dialelo de alface. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 36, n. 3, Mar. 2001 .
- NASCIMENTO, I. R. et al. Capacidade combinatória de linhagens de pimentão a partir de análise dialélica multivariada. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 02, p. 235-240, 2010.
- SOMOGYI, N. Hybrid condiment paprika breeding and protected cultivation technologies. Keszthely, Hungria. **Booklet of the doctoral thesis**. University of Pannonia Georgikon Faculty (Doctoral School in Plant Production and Horticultural Sciences). 2010.
- SPRAGUE, G.F.; TATUM, L.A. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. **Journal of the American Society of Agronomy**, v. 34, n. 10, p. 923-932, 1942.
- URBEN, A.F. *Phytophthora capsici* Leonian, agente etiológico da murcha de *Capsicum annuum*L. em Minas Gerais. **Dissertação de**

**Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas.** Viçosa-MG: UFV, 1980. 89p.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento.** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486 p.

**Tabela 1.** Análise da variância segundo o modelo de Gardner e Eberhart (1966) produção total de frutos frescos, produção total de frutos secos, unidades ASTA, notas para resistência e porcentagem de mortalidade de plantas. Lavras – MG, 2013.

Fv	GL	Quadrados médios				
		Produção frutos frescos t.ha <sup>-1</sup>	Produção frutos secos t.ha <sup>-1</sup>	ASTA	Nota	Mortalidade
Trat.	20	276,4837 **	5,2354 *	1771,0439 **	0,4966 **	1583,8310**
Variedades	5	302,1328 *	4,4735 ns	1419,2409 ns	1,7231 **	5382,8663**
Heterose	15	267,9340 *	5,4893 *	1888,3116 **	0,0877 ns	317,4859 ns
heterose media	1	918,1072 **	19,4606 *	235,0427 ns	0,0032 ns	179,4560 ns
heterose varietal	5	219,3995 ns	4,0812 ns	1368,4872 ns	0,1160 ns	551,3619 ns
heterose especifica	9	222,6561 ns	4,7193 ns	2360,7994 **	0,0814 ns	202,8914 ns
erro	60	120,0600	2,8665	748,1194	0,1359	403,05
CV%		21,82	20,93	24,58	18,05	33,39

\*, \*\* (P<0.05) e (P<0.01) respectivamente; ns: não significativa.

**Tabela 2.** Estimativas da média ( $\mu$ - média das linhagens), efeito de variedades (vi), heterose média (H), heterose varietal (hi), capacidade geral de combinação (gi) e heterose específica (sij) para produção total de frutos frescos, produção total de frutos secos, graus ASTA, nota para resistência e porcentagem de mortalidade de plantas. Lavras – MG, 2013.

Componentes de médias	Produção frutos frescos t.ha <sup>-1</sup>	Produção frutos secos t.ha <sup>-1</sup>	ASTA	Nota	Mortalidade
$\mu$	45,0 ( $\pm$ 2,23)	7,33 ( $\pm$ 0,34)	113,9 ( $\pm$ 5,67)	2,03 ( $\pm$ 0,08)	57,4 ( $\pm$ 4,73)
Vi					
P <sub>1</sub>	2,01 ( $\pm$ 5,00)	0,40 ( $\pm$ 0,77)	-6,31 ( $\pm$ 12,69)	-2,80 ( $\pm$ 0,19)	-11,6 ( $\pm$ 10,6)
P <sub>2</sub>	6,54 ( $\pm$ 5,00)	1,25 ( $\pm$ 0,77)	11,2 ( $\pm$ 12,69)	0,11 ( $\pm$ 0,19)	3,87 ( $\pm$ 10,6)
P <sub>3</sub>	-5,84 ( $\pm$ 5,00)	-1,05 ( $\pm$ 0,77)	1,81 ( $\pm$ 12,69)	0,30 ( $\pm$ 0,19)	17,5 ( $\pm$ 10,6)
P <sub>4</sub>	-3,03 ( $\pm$ 5,00)	-0,56 ( $\pm$ 0,77)	-17,7 ( $\pm$ 12,69)	0,60 ( $\pm$ 0,19)	30,0 ( $\pm$ 10,6)
P <sub>5</sub>	1,80 ( $\pm$ 5,00)	-0,15 ( $\pm$ 0,77)	-10,4 ( $\pm$ 12,69)	-0,70 ( $\pm$ 0,19)	-36,6 ( $\pm$ 10,6)
P <sub>6</sub>	-1,48 ( $\pm$ 5,00)	0,12 ( $\pm$ 0,77)	21,4 ( $\pm$ 12,69)	-0,03 ( $\pm$ 0,19)	-3,27 ( $\pm$ 10,6)
h	7,32 ( $\pm$ 2,64)	1,07 ( $\pm$ 0,40)	-3,71 ( $\pm$ 6,71)	0,02 ( $\pm$ 0,10)	3,74 ( $\pm$ 5,59)
hi					
P <sub>1</sub>	3,06 ( $\pm$ 3,53)	0,40 ( $\pm$ 0,54)	7,22 ( $\pm$ 8,97)	0,05 ( $\pm$ 0,13)	-1,22 ( $\pm$ 7,48)
P <sub>2</sub>	-7,71 ( $\pm$ 3,53)	-1,17 ( $\pm$ 0,54)	-12,8 ( $\pm$ 8,97)	0,22 ( $\pm$ 0,13)	15,9 ( $\pm$ 7,48)
P <sub>3</sub>	-0,32 ( $\pm$ 3,53)	-0,01 ( $\pm$ 0,54)	-1,94 ( $\pm$ 8,97)	0,02 ( $\pm$ 0,13)	0,02 ( $\pm$ 7,48)
P <sub>4</sub>	-1,10 ( $\pm$ 3,53)	0,00 ( $\pm$ 0,54)	-6,29 ( $\pm$ 8,97)	-0,01 ( $\pm$ 0,13)	2,25 ( $\pm$ 7,48)
P <sub>5</sub>	7,97 ( $\pm$ 3,53)	0,99 ( $\pm$ 0,54)	22,7 ( $\pm$ 8,97)	-0,21 ( $\pm$ 0,13)	-13,7 ( $\pm$ 7,48)
P <sub>6</sub>	-1,90 ( $\pm$ 3,53)	-0,20 ( $\pm$ 0,54)	-8,92 ( $\pm$ 8,97)	-0,07 ( $\pm$ 0,13)	-3,26 ( $\pm$ 7,48)
gi = 1/2v <sub>i</sub> + h + h <sub>i</sub>					
P <sub>1</sub>	11,3 ( $\pm$ 8,67)	1,67 ( $\pm$ 1,32)	0,35 ( $\pm$ 22,02)	-1,33 ( $\pm$ 0,33)	-3,28 ( $\pm$ 18,4)
P <sub>2</sub>	2,88 ( $\pm$ 8,67)	0,52 ( $\pm$ 1,32)	-10,8 ( $\pm$ 22,02)	0,29 ( $\pm$ 0,33)	21,6 ( $\pm$ 18,4)
P <sub>3</sub>	4,08 ( $\pm$ 8,67)	0,53 ( $\pm$ 1,32)	-4,74 ( $\pm$ 22,02)	0,18 ( $\pm$ 0,33)	12,5 ( $\pm$ 18,4)
P <sub>4</sub>	4,70 ( $\pm$ 8,67)	0,79 ( $\pm$ 1,32)	-18,8 ( $\pm$ 22,02)	0,30 ( $\pm$ 0,33)	21,0 ( $\pm$ 18,4)
P <sub>5</sub>	16,1 ( $\pm$ 8,67)	1,98 ( $\pm$ 1,32)	13,7 ( $\pm$ 22,02)	-0,54 ( $\pm$ 0,33)	-28,3 ( $\pm$ 18,4)
P <sub>6</sub>	4,68 ( $\pm$ 8,67)	0,93 ( $\pm$ 1,32)	-1,90 ( $\pm$ 22,02)	-0,06 ( $\pm$ 0,33)	-1,15 ( $\pm$ 18,4)
Sij					
1x2	3,64 ( $\pm$ 4,24)	0,46 ( $\pm$ 0,65)	1,54 ( $\pm$ 10,77)	-0,06 ( $\pm$ 0,16)	-1,19 ( $\pm$ 8,98)
1x3	-5,78 ( $\pm$ 4,24)	-0,52 ( $\pm$ 0,65)	-34,5 ( $\pm$ 10,77)	0,16 ( $\pm$ 0,16)	3,72 ( $\pm$ 8,98)
1x4	9,74 ( $\pm$ 4,24)	1,40 ( $\pm$ 0,65)	6,03 ( $\pm$ 10,77)	-0,25 ( $\pm$ 0,16)	-8,93 ( $\pm$ 8,98)
1x5	-9,63 ( $\pm$ 4,24)	-1,47 ( $\pm$ 0,65)	-2,01 ( $\pm$ 10,77)	0,10 ( $\pm$ 0,16)	9,82 ( $\pm$ 8,98)
1x6	2,03 ( $\pm$ 4,24)	0,13 ( $\pm$ 0,65)	28,9 ( $\pm$ 10,77)	0,04 ( $\pm$ 0,16)	-3,43 ( $\pm$ 8,98)
2x3	-3,81 ( $\pm$ 4,24)	-0,45 ( $\pm$ 0,65)	-8,24 ( $\pm$ 10,77)	0,04 ( $\pm$ 0,16)	3,22 ( $\pm$ 8,98)
2x4	-5,74 ( $\pm$ 4,24)	-0,77 ( $\pm$ 0,65)	17,4 ( $\pm$ 10,77)	0,15 ( $\pm$ 0,16)	-0,50 ( $\pm$ 8,98)
2x5	5,88 ( $\pm$ 4,24)	0,99 ( $\pm$ 0,65)	-21,4 ( $\pm$ 10,77)	-0,13 ( $\pm$ 0,16)	-9,52 ( $\pm$ 8,98)
2x6	0,03 ( $\pm$ 4,24)	-0,23 ( $\pm$ 0,65)	10,7 ( $\pm$ 10,77)	0,00 ( $\pm$ 0,16)	7,98 ( $\pm$ 8,98)
3x4	1,06 ( $\pm$ 4,24)	0,17 ( $\pm$ 0,65)	12,6 ( $\pm$ 10,77)	0,13 ( $\pm$ 0,16)	8,57 ( $\pm$ 8,98)
3x5	11,2 ( $\pm$ 4,24)	1,42 ( $\pm$ 0,65)	30,2 ( $\pm$ 10,77)	-0,16 ( $\pm$ 0,16)	-4,62 ( $\pm$ 8,98)
3x6	-2,68 ( $\pm$ 4,24)	-0,62 ( $\pm$ 0,65)	-0,18 ( $\pm$ 10,77)	-0,17 ( $\pm$ 0,16)	-10,9 ( $\pm$ 8,98)
4x5	-6,58 ( $\pm$ 4,24)	-1,23 ( $\pm$ 0,65)	-1,70 ( $\pm$ 10,77)	0,01 ( $\pm$ 0,16)	-0,60 ( $\pm$ 8,98)
4x6	1,51 ( $\pm$ 4,24)	0,43 ( $\pm$ 0,65)	-34,4 ( $\pm$ 10,77)	-0,04 ( $\pm$ 0,16)	1,44 ( $\pm$ 8,98)
5x6	-0,90 ( $\pm$ 4,24)	0,29 ( $\pm$ 0,65)	-5,11 ( $\pm$ 10,77)	0,17 ( $\pm$ 0,16)	4,91 ( $\pm$ 8,98)

P<sub>1</sub>=PIM 032-03; P<sub>2</sub>=PIM 033-11; P<sub>3</sub>=PIM 034-19; P<sub>4</sub>=PIM 035-01; P<sub>5</sub>=PIM 036-08; P<sub>6</sub>=PIM 037-18.

**Tabela 3.** Valores de coeficiente de regressão ( $\beta$ ) de  $W_r$  em  $V_r$ , e respectivos testes de t para produção total de frutos frescos, produção total de frutos secos, graus ASTA, nota para resistência e porcentagem de mortalidade de plantas avaliadas pela análise dialélica de Jinks & Hayman (1953). Lavras – MG, 2013.

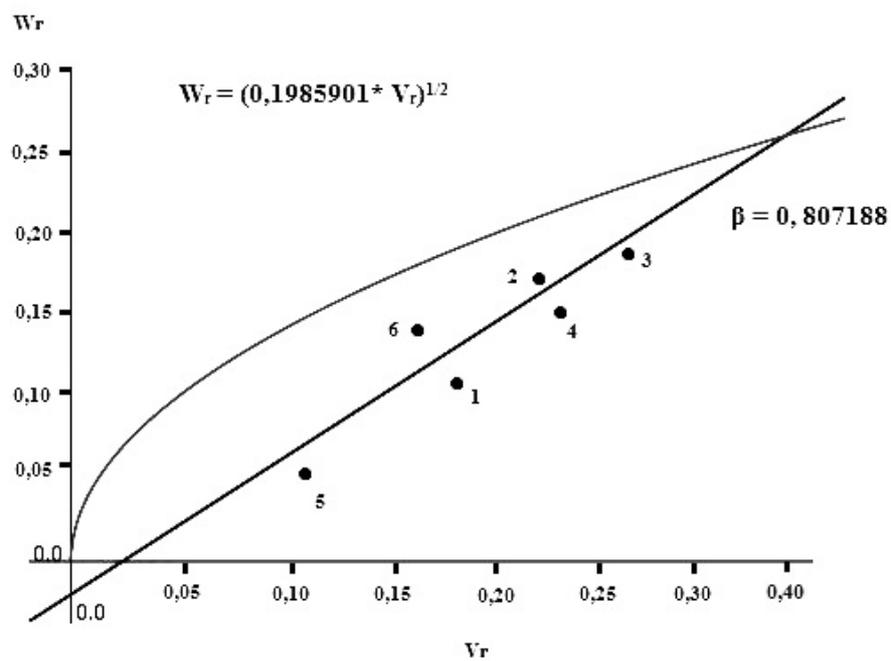
Variável	$\beta$	H <sub>0</sub> : $\beta=0$	H <sub>0</sub> : $\beta=1$	Epistasia
Produção total frutos frescos	0,064403	ns	**	sim
Produção total frutos secos	0,123105	ns	**	sim
ASTA	0,042529	ns	**	sim
Nota ( <i>P. capsici</i> )	0,807188	**	ns	não
% Mortalidade ( <i>P. capsici</i> )	1,075527	**	ns	não

\*\* ; \* Significância a 1% e 5% pelo teste de t, respectivamente. ns; não significância

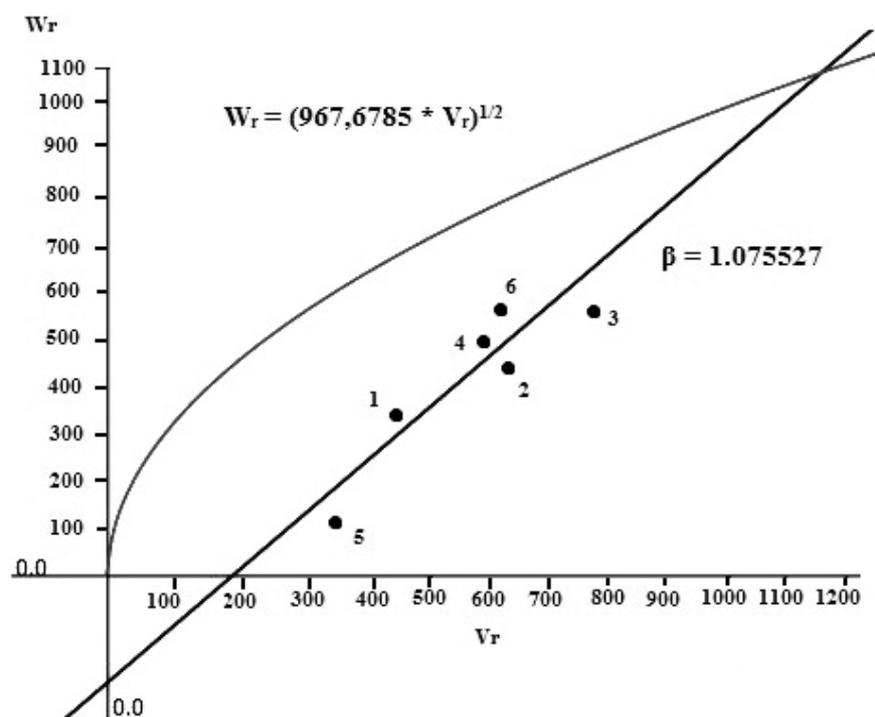
**Tabela 4.** Valores médios para produção total de frutos frescos e secos, graus ASTA, nota para resistência e porcentagem de mortalidade de plantas. Lavras – MG, 2013.

Genótipo	Produção total frutos frescos (t.ha <sup>-1</sup> )	Produção total frutos secos (t.ha <sup>-1</sup> )	Graus ASTA	Nota	% Mortalidade
P <sub>1</sub> xP <sub>2</sub>	55,4 abc	8,92 abcd	108,6 bcd	2,17 abcde	70,8 abcde
P <sub>1</sub> xP <sub>3</sub>	47,2 bc	8,01 abcd	78,7 de	2,29 abcd	66,6 abcde
P <sub>1</sub> xP <sub>4</sub>	63,3 ab	10,1 ab	105,1 bcde	2,00 bedef	62,5 abcdef
P <sub>1</sub> xP <sub>5</sub>	55,4 abc	8,58 abcd	129,7 abc	1,50 ef	31,9 efg
P <sub>1</sub> xP <sub>6</sub>	55,6 abc	9,08 abcd	145,0 ab	1,92 bedef	45,8 cdefg
P <sub>2</sub> xP <sub>3</sub>	40,7 c	6,88 cd	93,7 cde	2,52 ab	91,0 ab
P <sub>2</sub> xP <sub>4</sub>	39,4 c	6,81 cd	105,2 bcde	2,75 a	95,8 a
P <sub>2</sub> xP <sub>5</sub>	62,4 ab	9,68 abc	99,0 cde	1,63 cdef	37,5 defg
P <sub>2</sub> xP <sub>6</sub>	45,1 bc	7,44 abcd	115,5 abcd	2,24 abcd	82,1 abc
P <sub>3</sub> xP <sub>4</sub>	47,4 bc	7,84 abcd	106,6 bcde	2,63 ab	95,8 a
P <sub>3</sub> xP <sub>5</sub>	67,8 a	10,2 a	156,9 a	1,50 ef	33,3 efg
P <sub>3</sub> xP <sub>6</sub>	43,6 c	7,09 bcd	110,7 bcd	1,96 bedef	54,1 bcdefg
P <sub>4</sub> xP <sub>5</sub>	51,8 abc	7,84 abcd	110,8 bcd	1,79 cdef	45,8 cdefg
P <sub>4</sub> xP <sub>6</sub>	48,4 bc	8,34 abcd	62,4 e	2,21 abcde	75,0 abcd
P <sub>5</sub> xP <sub>6</sub>	57,2 abc	9,38 abc	124,3 abcd	1,58 def	29,1 fg
P <sub>1</sub> (PIM-032-03)	46,9 bc	7,64 abcd	107,6 bcde	1,75 cdef	45,8 cdefg
P <sub>2</sub> (PIM-033-11)	51,4 abc	8,50 abcd	125,1 abcd	2,14 abcde	61,3 abcdef
P <sub>3</sub> (PIM-034-19)	39,0 c	6,31 d	115,7 abcd	2,33 abc	75,0 abcd
P <sub>4</sub> (PIM-035-01)	41,8 c	6,78 cd	96,1 cde	2,63 ab	87,5 ab
P <sub>5</sub> (PIM-036-08)	46,6 bc	7,10 abcd	103,4 bcde	1,33 f	20,8 g
P <sub>6</sub> (PIM-037-18)	43,1 c	7,34 abcd	135,3 abc	2,00 bedef	54,1 bcdefg
Papri Queen	48,5 bc	7,57 abcd	90,4 cde	2,13 abcde	65,5 abcde

As médias seguidas da mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.



**Figura 1.** Regressão entre  $W_r$  e  $V_r$  e parábola limitante para avaliação por notas de resistência à *Phytophthora capsici*.  
Linhas: 1= PIM-032-03; 2= PIM-033-11; 3= PIM-034-19; 4= PIM-035-01; 5= PIM-036-08; 6= PIM-037-18.



**Figura 2.** Regressão entre  $W_r$  e  $V_r$  e parábola limitante para porcentagem de mortalidade de plantas devido ao patógeno *Phytophthora capsici*.  
Linhas: 1= PIM-032-03; 2= PIM-033-11; 3= PIM-034-19; 4= PIM-035-01; 5= PIM-036-08; 6= PIM-037-18.