

GISELDA MARIA PEREIRA

**ANÁLISE DIALÉLICA E PUNGÊNCIA DOS FRUTOS EM  
*Capsicum chinense***

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2007

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

P436a  
2007

Pereira, Giselda Maria, 1977-

Análise dialélica e pungência dos frutos em  
*Capsicum chinense* / Giselda Maria Pereira. – Viçosa,  
MG, 2007.

x, 64f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Fernando Luiz Finger.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Pimenta - Melhoramento genético.  
2. *Capsicum chinense*. 3. Enzimas - Análise. 4. Pimenta -  
Amadurecimento. I. Universidade Federal de Viçosa.  
II. Título.

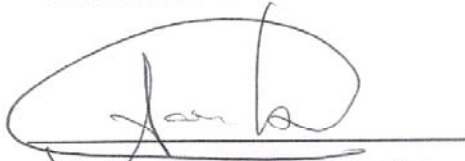
CDD 22.ed. 635.6432

GISELDA MARIA PEREIRA

**ANÁLISE DIALÉTICA E PUNGÊNCIA DOS FRUTOS EM  
*Capsicum chinense***

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 17 de setembro de 2007.



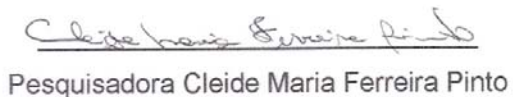
Prof. Adilson Ricken Schuelter  
(Co-Orientador)



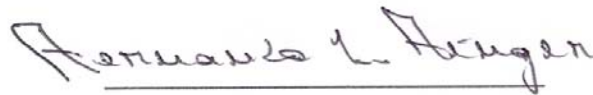
Prof. Vicente Wagner Dias Casali  
(Co-Orientador)



Prof. José Geraldo Barbosa



Pesquisadora Cleide Maria Ferreira Pinto



Prof. Fernando Luiz Finger  
(Orientador)

Aos meus pais, João Maria (*in memoriam*) e Maria Nanci,  
À minha irmã Angelica,  
Ao Willian.

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento, pela valiosa oportunidade de crescimento profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

À minha família pelo carinho e incentivo em todos os momentos.

Ao Willian Silva Barros pelo apoio, dedicação e amor.

Ao professor Fernando Luiz Finger pela orientação, aprendizado, estímulo e amizade.

Aos professores Adilson Ricken Schuelter e Vicente Wagner Dias Casali pela co-orientação.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Pós-colheita: Ana Maria, Ana Marques, Clarice, Cláudia, Cristina, Daniel, Daniela, Fernanda, Juliane, Hilton, Raimundo, pela amizade e auxílio na realização dos trabalhos.

Aos estagiários Marcele, Raul e Rafael pelo auxílio na realização dos trabalhos.

Aos colegas de curso pela amizade, auxílio nos momentos de dificuldade e pela agradável convivência.

Aos amigos de longe e de perto, por tudo. Em especial aos amigos Ângela Ten Caten, Maristela Dias e Fábio Medeiros Ferreira.

À Universidade Paranaense - UNIPAR pela realização de parte dos trabalhos.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Biotecnologia - UNIPAR, em especial a Anna Paula, Sandra, Josiane, Vanessa, Carlos, Luciano e Leandro.

Ao professor Ivo Ribeiro da Silva pelo auxílio com as análises de Capsaicinóides.

Aos funcionários Geraldo, Ribeiro e Sebastião pela ajuda durante a realização dos trabalhos.

Aos funcionários da Horta Nova pelo auxílio nos trabalhos de campo.

A todos que contribuíram para realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

GISELDA MARIA PEREIRA, filha de João Maria Pereira e Maria Nanci Guerra Pereira, nasceu em Frederico Westphalen, RS, em 09 de julho de 1977.

Em janeiro de 2002, graduou-se em Ciências Biológicas - Licenciatura Plena, pela Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS.

Em setembro de 2002, ingressou no curso de Mestrado em Genética e Melhoramento pela Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em 24 de março de 2004.

Ingressou no curso de Doutorado em Genética e Melhoramento na Universidade Viçosa em abril de 2004. Em julho de 2007 foi contratada como professora assistente na Universidade Federal do Amazonas na Unidade Acadêmica Permanente de Itacoatiara. No dia 17 de setembro de 2007, submeteu-se aos exames finais de defesa de tese.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	ix
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	4
CAPÍTULO I: ANÁLISE DIALÉLICA EM <i>Capsicum chinense</i> .....	6
1. INTRODUÇÃO .....	7
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	10
2.1. Germoplasma e condições de cultivo .....	10
2.2. Avaliação dos caracteres .....	11
2.3. Análises estatísticas .....	13
2.3.1. Análises de correlações .....	14
2.3.2. Análise de variância .....	15
2.3.3. Análise dialélica .....	16
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	18
3.1. Variabilidade genética entre genótipos .....	18
3.2. Análise dialélica .....	26
4. CONCLUSÕES .....	37
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	38

**CAPÍTULO II: AÇÃO DAS PEROXIDASES NO METABOLISMO DOS  
CAPSAICINÓIDES EM *Capsicum chinense* NO**

<b>AMADURECIMENTO DOS FRUTOS .....</b>	<b>42</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>43</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>46</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>50</b>
<b>4. CONCLUSÕES .....</b>	<b>59</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>60</b>
<b>CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>64</b>



## RESUMO

PEREIRA, Giselda Maria, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2007. **Análise dialélica e pungência dos frutos em *Capsicum chinense***. Orientador: Fernando Luiz Finger. Co-Orientadores: Adilson Ricken Schuelter e Vicente Wagner Dias Casali.

A produção de pimentas no Brasil tem crescido consideravelmente nos últimos anos sendo as regiões sudeste e centro-oeste as principais produtoras. O melhoramento das espécies de *Capsicum* visa principalmente à obtenção de frutos com características importantes para o consumo *in natura* e industrialização, além da obtenção de genótipos produtivos e resistentes as principais doenças que afetam a cultura. Dentre as características dos frutos, a pungência é a que mais chama a atenção dos consumidores. Os objetivos deste trabalho foram identificar os acessos com maior potencial para utilização em programas de melhoramento, visando maior qualidade dos frutos pela obtenção de estimativas de parâmetros genéticos. Bem como, verificar o acúmulo de capsaicinóides durante ao amadurecimento dos frutos e averiguar a ação das enzimas peroxidases neste processo. Para isso foram avaliados 11 acessos de *Capsicum chinense*, sendo seis picantes e cinco doces. Para a obtenção dos parâmetros genéticos foi realizado um dialelo parcial, cruzando-se genitores pungentes com não pungentes, em que foram avaliadas 11 características. Para a análise do metabolismo dos capsaicinóides e atividade das peroxidases foram avaliados frutos dos 11 acessos nos estádios verde-maduro, 50% maduro e maduro. A análise dialélica evidenciou a importância dos efeitos gênicos aditivos em todos os caracteres avaliados em pelo um

dos grupos nos genitores. Além da importância dos efeitos gênicos não aditivos para todos caracteres analisados. Para as características relacionadas à produção as combinações que possuem maior potencial para gerar genótipos superiores são BGH 4289 (44) x BGH 4223 (39), BGH 5012 (72) x BGH 1716 (16), BGH 1716 (17) x BGH 6233 (85) e BGH 4289 (44) x BGH 6233 (85). A obtenção de frutos de com maior rendimento para produção de molhos e páprica e altos teores de vitamina C, os cruzamentos mais promissores são BGH 5012 (72) x BGH 6378 (98) e BGH 4289 (44) x BGH 1716 (16), respectivamente. As combinações BGH 4289 (44) x BGH 6378 (98), BGH 4733 (54) x BGH 1716 (16) e BGH 5012 (72) x BGH 6233 (85) podem contribuir para aumento nos teores dos dois capsaicinóides. A análise do acúmulo de capsaicinóides mostrou que a capsaicina é acumulada em maior quantidade nos frutos que a dihidrocapsaicina. Na maioria dos acessos picantes foram observados decréscimos nos teores de capsaicina e dihidrocapsaicina com o decorrer do amadurecimento. A atividade das peroxidases aumentou com o início do amadurecimento para a maioria dos acessos doces e picantes. O aumento da atividade das peroxidases e o decréscimo da concentração de capsaicinóides indicam a ação destas no metabolismo da capsaicina e seus análogos. Os resultados deste trabalho confirmam a variabilidade genética nos acessos avaliados e justificam a utilização destes em cruzamentos visando genótipos superiores. Além disso, o presente estudo ratifica a importância das peroxidases na oxidação dos capsaicinóides.

## ABSTRACT

PEREIRA, Giselda Maria, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September of 2007. **Dialelic analysis and pungency in *Capsicum chinense* fruits.** Adviser: Fernando Luiz Finger. Co-Advisers: Adilson Ricken Schuelter and Vicente Wagner Dias Casali.

The production of peppers in Brasil has been increased substantially in the past years, being the southern and central-western the main producers. The breeding of *Capsicum* species aims mainly to obtain fruits with quality, high yield genotypes and plants resistant to the major diseases affecting the crop. Among the fruits characteristics, the pungency is one of the main importance for the consumers. The goals of this work were to identify accesses with high potential to be used in breeding programs, with the objective to improve quality using the estimative of genetic parameters. As well as to study the accumulation of capsaicinoids during maturation of the fruits and evaluate the action of peroxidases in capsaicinoid metabolism. For this 11 accessions of *Capsicum chinense*, being six hot and five sweet. In order to obtain the genetic parameters it applied a partial diallel, crossing the pungent fruit chili parents' with the no pungent, where were analyzed 11 characteristics. For the analysis of capsaicinoid metabolism and activity of peroxidases it was evaluated fruits of 11 accessions at mature-green, 50% ripe and full ripe stages. Analysis of the diallel data showed the importance of the additive genetic effects in all evaluated characters in at least one group of parents. In addition to the importance of the non additive genetics affects evaluated in this work. For the characteristics related to yield, the combinations that had higher potential to generate superior genotypes were

BGH 4289 (44) x BGH 4223 (39), BGH 5012 (72) x BGH 1716 (16), BGH 1716 (17) x BGH 6233 (85) and BGH 4289 (44) x BGH 6233 (85). In order to obtain fruits with higher yield for production of sauces and paprika, and elevated content of vitamin C, the crosses more appropriated were BGH 5012 (72) x BGH 6378 (98) and BGH 4289 (44) x BGH 1716 (16), respectively. The combinations BGH 4289 (44) x BGH 6378 (98), BGH 4733 (54) x BGH 1716 (16) and BGH 5012 (72) x BGH 6233 (85) can contribute for the increment of the two major capsaicinoids content. The analysis of capsaicinoid accumulation showed that capsaicin is accumulated in larger amount compared to dihydrocapsaicin. The majority of the pungent accessions had decrease in the capsaicin and dihydrocapsaicin contents during ripening. The activity of peroxidases increased with the beginning of ripening for most of the sweet or hot fruit accessions. The increase in peroxidases activity and decrease in the capsaicinoid concentration showed that the action of the enzyme affected the metabolism of capsaicin and analog compounds. The results of this work confirm the genetic variability for the accessions evaluated and justify the use of these accessions in crosses for production of superior genotypes. Besides, the present study reinforces the importance of peroxidases in the oxidation of capsaicinoids.

## INTRODUÇÃO GERAL

As pimentas e pimentões pertencentes ao gênero *Capsicum* são originárias das Américas e cultivadas no mundo todo (Casali e Couto, 1984). O continente asiático detém 89% de toda a área plantada com pimenta ao redor do mundo seguido dos Estados Unidos e México que juntos possuem 7%. No Brasil, a produção a pimentas tem crescido consideravelmente nos últimos anos sendo as regiões sudeste e centro-oeste as principais produtoras (Rufino e Penteado, 2006).

A diversidade de cores, formatos e o sabor característico fazem das pimentas e pimentões ingredientes de diversos pratos. Além disso, os frutos de *Capsicum* são amplamente utilizados na forma de molhos ou secos como páprica (Casali e Couto, 1984; Reifschneider et al., 2000).

As pimentas e pimentões possuem grande valor nutricional, são fontes de minerais e vitaminas como a C e E e também de carotenóides, importantes antioxidantes naturais relacionados com a prevenção de doenças degenerativas (Reifschneider et al., 2000).

Dentre as espécies de *Capsicum*, *C. chinense* é considerada a mais brasileira delas, pois possui grande diversidade na região da bacia

Amazônica e é encontrada também em diversas regiões do país (Reifschneider et al., 2000). Esta espécie compreende as pimentas conhecidas como pimenta-de-cheiro, bode e murici, amplamente consumidas nas diferentes paí, principalmente no norte e nordeste. Em *C. chinense* é observada grande variabilidade de cores e formatos de frutos, além de frutos com diferentes ardumes e até mesmo frutos doces.

A grande diversidade observada em *Capsicum*, para diversas características, mostra um grande potencial para o melhoramento genético (Bosland, 1993).

O melhoramento genético de *Capsicum* visa à obtenção de frutos com características importantes para o consumo *in natura* e industrialização, como coloração, teor de matéria seca, tamanho e formato de fruto e pungência (Bosland, 1993; Casali et al, 1984). Bem como, a obtenção de genótipos produtivos e resistentes as principais doenças que afetam o cultivo de pimentas e pimentões (Moreira et al., 2006; Bosland, 1993).

A pungência, típica dos frutos de *Capsicum*, é uma das características mais importantes dos frutos para o consumo *in natura* e também para processamento na forma de molhos e condimentos (Reifschneider et al., 2000). Alcalóides produzidos pelas células da placenta dos frutos são os responsáveis por estas características, os capsaicinóides. A rota de síntese destes alcalóides é bastante conhecida, contudo pouco se sabe sobre o catabolismo os capsaicinóides (Diaz et al.; 2004). O conhecimento dos processos biológicos envolvidos no metabolismo da capsaicina e seus análogos possui grande relevância, pois permite utilizar estas informações

para obtenção de genótipos com níveis de pungência desejados pelo mercado.

Diante disso, os objetivos deste trabalho foram identificar entre 11 acessos de *Capsicum chinense* os acessos com maior potencial para utilização programas de melhoramento visando maior qualidade dos frutos para consumo in natura e industrialização. Bem como, conhecer como ocorre acúmulo dos capsaicinóides: capsaicina e dihidrocapsaicina ao longo do amadurecimento dos frutos, além da interferência das peroxidases neste processo.

No primeiro capítulo deste trabalho foi avaliado o potencial de 11 acessos de *C. chinense* para o melhoramento genético visando maior qualidade de frutos.

No segundo capítulo procurou-se averiguar a forma como a capsaicina e a dihidrocapsaicina se acumulam nos frutos ao longo do amadurecimento e a atuação das enzimas peroxidases no metabolismo destas substâncias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOSLAND, P.W., Breeding for quality Capsicum. **Capsicum and Egplant Newsletter**, v.12, p.25-31, 1993.

CASALI, V.W.D., COUTO, F.A.A. Origem e Botânica de *Capsicum*. **Informe Agropecuário**, v.10, p.8-10, 1984.

CASALI, V.W.D. ; PADUA, J.G. ; BRAZ, L.T. Melhoramento de Pimentão e Pimenta. **Informe Agropecuário**, v.10, p.19-22, 1984.

DÍAZ, J.; POMAR, F.; BERNAL, A.; MERINO, F. Peroxidases and the metabolism of capsaicin in *Capsicum annuum* L. **Phytochemistry Reviews**, v.3, p.141-157, 2004.

MOREIRA, G.R.; CALIMAN, F.R.B.; SILVA, D.J.H.; RIBEIRO, C.S.C. Espécies e variedades de pimenta. **Informe Agropecuário**, v.27, p.16-29, 2006.



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

RUFINO, J.L.S.; PENTEADO, D.C.S. Importância econômica, perspectivas e  
potencialidades do mercado para pimenta. **Informe Agropecuário**, v.27,  
p.7-15, 2006.

## **CAPÍTULO I**

### **ANÁLISE DIALÉLICA EM *Capsicum chinense***

## 1. INTRODUÇÃO

A espécie *Capsicum chinense* é originária da América Latina (Casali e Couto, 1984), e é cultivada em países da África e Ásia (Pickergill, 1997). *C. chinense* possui grande diversidade na região da Bacia Amazônica e compreende as pimentas conhecidas como Pimenta-de-Cheiro, Bode e Murici.

A popularidade das espécies que compõem o gênero *Capsicum* é atribuída principalmente às características como coloração e sabor dos frutos, sendo a pungência umas das características que mais atrai os consumidores (Reifschneider, 2000). Estas características são determinantes da qualidade dos frutos como importantes ingredientes em diversos pratos e produtos alimentícios industriais, como pó de pimenta e molhos (Casali e Couto, 1984; Bosland, 1993).

O melhoramento genético de *Capsicum* deve considerar características importantes no consumo *in natura* e na industrialização, dependendo do mercado. Quanto a consumo *in natura* o sabor, relacionado

com a pungência, além de características como cor, formato e tamanho de fruto, são muito importantes (Casali et al., 1984). Para fins industriais, além destas, outras características como teor de sólidos solúveis, vitamina C e matéria seca, devem ser consideradas (Casali e Stringheta, 1984). Bosland (1993) sugere que o melhorista deve buscar em uma cultivar, potencial genético para produção, resistência a doenças e aumentar a qualidade.

O conhecimento de parâmetros genéticos é de grande importância na escolha de genitores em programas de melhoramento. As análises dialélicas são amplamente utilizadas na obtenção de parâmetros genéticos como capacidade geral de combinação (CGC), capacidade específica de combinação (CEC), heterose e no estudo dos efeitos genéticos envolvidos na determinação das características (Cruz, et al., 2004).

A capacidade geral de combinação (CGC) refere-se ao comportamento de uma linhagem em uma série de combinações híbridas e as estimativas proporcionam informações sobre os efeitos aditivos dos genes. A capacidade específica de combinação (CEC) refere-se a combinações híbridas superiores ao esperado com base na CGC dos genitores, sendo que a estimativa da CEC é relacionada aos efeitos gênicos não aditivos (dominância e epistasia).

As metodologias de análise dialélica mais utilizadas são as propostas por Griffing (1956), por Gardner e Eberhart (1966) e a de Hayman (1954), bem como as adaptações destas (Cruz et al., 2004).

Devido à dificuldade de obter grande número de cruzamentos, como necessário nos dialelos completos, muitas vezes, a obtenção de parâmetros genéticos é feita com a utilização de dialelos parciais. Neste trabalho a adoção de dialelo parcial foi possível, pois estudos prévios permitiram o agrupamento dos acessos, utilizados como genitores, em dois grupos distintos em relação à pungência dos frutos (Lannes, 2005).

Lannes (2005) detectou variabilidade em acessos de *Capsicum chinense*, pertencentes ao Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Viçosa, para características importantes na indústria alimentícia e no processamento de páprica. A variabilidade observada indica que estes acessos têm potencial para utilização em programas de melhoramento, visando maior qualidade de frutos. Logo, o conhecimento de parâmetros genéticos importantes no processo de melhoramento genético possui grande relevância.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi identificar acessos de *C. chinense* com maior potencial de utilização em programas de melhoramento visando maior qualidade dos frutos para consumo *in natura* e industrialização na forma de pápricas, molhos e condimentos.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Germoplasma e condições de cultivo**

As sementes híbridas foram obtidas por meio de cruzamentos entre dois grupos distintos de acessos de *Capsicum chinense*: o primeiro constituído por seis acessos picantes e o segundo formado por cinco acessos doces, primeiramente submetidos a dois ciclos de autopolinização (Lannes, 2005). Todos os 11 acessos são provenientes do Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Viçosa - MG (Tabela 1).

A semeadura foi realizada em bandejas de isopor, em substrato comercial. Após 60 dias, as mudas foram transferidas para vasos de 10 L e cultivadas em casa de vegetação na Horta Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa. O delineamento experimental empregado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições. A unidade experimental foi constituída por uma única planta.

## 2.2. Avaliação dos caracteres

Os 11 genitores e os híbridos F<sub>1</sub> foram avaliados para 11 características de interesse como descrito abaixo.

A estimativa do peso total de frutos por planta (PTF), expressa em gramas, foi obtida mediante três colheitas mensais, no período de maior produtividade das plantas, entre os meses de novembro de 2006 e janeiro de 2007.

A massa total de fruto fresco (MTF) foi obtida pela média de cinco frutos maduros por planta, com a utilização de balança analítica e os dados expressos em gramas.

A massa total de frutos secos (MTS) foi obtida pela média de cinco frutos maduros, secos em estufa por 72 h à temperatura de 60 °C sob ventilação. Os frutos foram pesados em balança analítica e os dados expressos em gramas.

A porcentagem de matéria seca (% MS) foi determinada pela expressão:

$$\%MS = \frac{MTS}{MTF} \times 100$$

em que: MTS = matéria seca total e MTF = matéria fresca total.

O teor de sólidos solúveis totais (SST) foi obtido a partir da média de cinco frutos, ao acaso, por planta, com a utilização de refratômetro Abbé. Os

valores correspondentes ao total de sólidos solúveis (Brix°) foram corrigidos para 20 °C, conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz (1985).

Os valores referentes aos teores de vitamina C (VIT C) foram obtidos conforme metodologia proposta pelo Instituto Adolfo Lutz (1985) com modificações. Foi macerada 1 g da polpa dos frutos em 10 mL de solução ácida composta de 30 g de ácido metafosfórico e 80 mL de ácido acético por litro. Posteriormente, as amostras foram filtradas, seus volumes foram novamente completados para 10 mL e então procedeu-se a titulação com solução de Tillmans. A quantificação da vitamina C dos frutos foi realizada mediante curva padrão com Ácido L (+) Ascórbico P.A..

Os caracteres comprimento (CMP), largura (LAR) e espessura da polpa (ESP) dos frutos foram obtidos com a utilização de paquímetro e os dados expressos em milímetros.

O número de sementes por fruto (NSF) foi obtido pela contagem das sementes de cinco frutos por planta.

A pungência dos frutos (PUN) foi obtida pela soma dos teores de capsaicina e dihidrocapsaicina dos frutos, sendo estas substâncias quantificadas por cromatografia líquida de alta performance (HPLC) de acordo com a metodologia proposta por Maillard et al. (1997), com modificações. Em que 100 mg de matéria seca dos frutos, finamente trituradas, foram misturadas a 1,5 mL de metanol:água (60:40, v/v) e aquecidas a 65°C por 30 minutos. Posteriormente, as amostras foram centrifugadas a 5000 rpm por 15 minutos e o sobrenadante foi retirado e



filtrado em filtro Milipore 0,2  $\mu\text{m}$ . O volume das amostras foi novamente completado para 1,5 mL. Alíquotas de 25  $\mu\text{L}$  das amostras diluídas 50x foram injetadas em HIC Dionex equipado com coluna C18 e as leituras realizadas com detector UV a 229 nm. O tampão de corrida para análise e separação dos dois pungência foi composto por metanol:água: ácido acético (70:29:1, v/v/v), com fluxo de 1,0 mL por minuto. A quantificação da capsaicina e da dihidrocapsaicina foi realizada a partir da curva de calibração e comparação com padrões de capsaicina e dihidrocapsaicina (Sigma, EUA). Os dados foram expressos em miligramas de capsaicina e dihidrocapsaicina por grama de matéria seca dos frutos ( $\text{mg.gMS}^{-1}$ ).

Tabela 1 - Acessos de *C. chinense* pertencentes ao Banco de Germoplasma de Hortaliças da UFV avaliados neste trabalho

Acesso/ N°	Genitor	Grupo	Pungência	Local de coleta
BGH 1716 - 17	1	I	Sim	Pindaré-Mirim - MA
BGH 4289 - 44	2	I	Sim	Rondonópolis - MT
BGH 4733 - 54	3	I	Sim	Manaus - AM
BGH 5012 - 72	4	I	Sim	Água Branca - AL
BGH 6228 - 79	5	I	Sim	Brasília - DF
BGH 7295- 101	6	I	Sim	Viçosa - MG
BGH 1716 - 16	1'	II	Não	Pindaré-Mirim - MA
BGH 4201 - 32	2'	II	Não	Belém - PA
BGH 4223 - 39	3'	II	Não	IAC - SP
BGH 6233 - 85	4'	II	Não	Brasília - DF
BGH 6378 - 98	5'	II	Não	Boca do Janacanam - AM

### 2.3. Análises estatísticas

Todas as análises foram executadas pelo aplicativo computacional GENES (CRUZ, 2006a, CRUZ, 2006b).

### 2.3.1. Análises de correlações

Os coeficientes de correlação fenotípica, genotípica e ambientais foram calculadas visando estimar o grau de associação linear entre duas variáveis, de acordo com a expressão:

a) coeficiente de correlação fenotípica ( $r_F$ ):

$$r_F = \frac{C\hat{o}v_f(x,y)}{\sqrt{\hat{\sigma}_f^2(x) \hat{\sigma}_f^2(y)}}$$

A correlação fenotípica foi testada utilizando-se procedimento apresentado por Stell e Torrie (1980). Foi adotado o teste de t de “Student” para testar se a correlação é igual a zero ( $\rho = 0$ ).

b) coeficiente de correlação genotípica ( $r_G$ ):

$$r_G = \frac{C\hat{o}v_g(x,y)}{\sqrt{\hat{\phi}_g(x) \hat{\phi}_g(y)}}$$

c) coeficiente de correlação de ambiente ( $r_E$ ):

$$r_E = \frac{Cov_e(x,y)}{\sqrt{\hat{\sigma}_e^2(x) \hat{\sigma}_e^2(y)}}$$

em que:

$\hat{C}ov_f(x,y)$ ,  $\hat{C}ov_g(x,y)$  e  $\hat{C}ov_e(x,y)$  são estimadores, respectivamente, da covariância fenotípica, genotípica e de ambiente entre duas variáveis x e y;

$\hat{\sigma}_f^2(x)$ ,  $\hat{\phi}_g(x)$  e  $\hat{\sigma}_e^2(x)$  são estimadores, respectivamente, da variância fenotípica, componente quadrático genotípico e variância de ambiente da variável x;

$\hat{\sigma}_f^2(y)$ ,  $\hat{\phi}_g(y)$  e  $\hat{\sigma}_e^2(y)$  são estimadores, respectivamente, da variância fenotípica, componente quadrático genotípico e variância de ambiente da variável y;

### 2.3.2. Análise de variância

Para avaliar a variabilidade genética, entre os genótipos testados no dialelo parcial, os dados foram previamente submetidos à análise de variância. As análises de variância dos 11 caracteres foram realizadas com o objetivo de testar a hipótese  $H_0: G_1 = G_2 = \dots = G_k$ , por meio da avaliação dos 41 tratamentos, com base nas observações das parcelas, adotando-se o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{(ij)k} = \mu + g_{ij} + \varepsilon_{(ij)k}$$

em que,

$Y_{(ij)k}$  : k-ésima observação do ij-ésimo tratamento;

$\mu$  : efeito da média geral

$g_{ij}$  : efeito do tratamento de ordem  $ij$ , quando  $i=j$ ,  $g_{ij}$  refere-se ao efeito do genitor, e quando  $i \neq j$ ,  $g_{ij}$  refere-se ao efeito da combinação híbrida correspondente;

$\varepsilon_{(ij)k}$  : erro aleatório ( $k = 1, 2, \dots, r_{ij}$ ); de forma que os erros apresentam distribuição normal, são independentes e identicamente distribuídos com variância comum;

Na especificação do modelo, verifica-se:

(i) O modelo é aditivo nos parâmetros, ou seja, os efeitos da média geral, de tratamentos e do erro são aditivos e não correlacionados.

(ii) Os erros apresentam distribuição normal.

(iii) Os erros são independentes, ou seja, não apresentam correlação serial.

(iv) Os erros são homocedásticos, ou seja, apresentam homogeneidade de variâncias.

O modelo da análise de variância para os genitores foi utilizado como fixo. As médias destes foram agrupadas pelo teste de Scott e Knott (1974), ao nível de 5% de probabilidade.

### **2.3.3. Análise dialélica**

A análise do dialelo parcial foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Geraldi e Miranda Filho (1988), adaptada do modelo proposto por Griffing (1956), a qual permite a obtenção das estimativas da capacidade

geral de combinação (CGC) e da capacidade específica de combinação (CEC). O modelo utilizado nas análises está descrito abaixo:

$$Y_{ij} = \mu + \frac{1}{2}(d_1 + d_2) + g_i + s_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij}$$

em que:

$Y_{ij}$  : é a média do cruzamento envolvendo o i-ésimo genitor do grupo I e o j-ésimo genitor do grupo II;

$Y_{i0}$  : é a média do i-ésimo genitor do grupo I ( $i = 0, 1, \dots, p$ );

$Y_{0j}$  : é a média do j-ésimo genitor do grupo II ( $j = 0, 1, \dots, q$ );

$\mu$  : média geral do dialelo;

$d_1, d_2$  : contrastes envolvendo médias dos grupos I e II e a média geral;

$g_i$  : efeito da capacidade geral de combinação do i-ésimo genitor do grupo I;

$g_j$  : efeito da capacidade geral de combinação do j-ésimo genitor do grupo II;

$s_{ij}$  : efeito da capacidade específica de combinação;

$\bar{\varepsilon}_{ij}$  : erro experimental médio.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Variabilidade genética entre genótipos**

Os resultados da análise univariada dos genitores e suas combinações híbridas  $F_1$ , para as 11 características estudadas, mostram que houve diferenças significativas entre os genitores para todas as características, de acordo com o teste F ao nível 1% de probabilidade (Tabela 2). Em relação aos híbridos  $F_1$ , apenas a característica vitamina C não teve variabilidade de acordo com o teste F. O efeito entre genitores e os híbridos (G vs H) do dialelo foi significativo para as características estimativa peso total de frutos por planta (PTF), massa total do fruto seco (MTS), porcentagem de matéria seca (% MS), comprimento do fruto (CMP), número de sementes por fruto (NSF) e pungência (PUN). A variabilidade genética possibilita a obtenção de parâmetros genéticos importantes como às estimativas da capacidade geral de combinação e a capacidade específica de combinação.

Tabela 2 - Análise de variância das 11 características físicas e de qualidade de fruto em 11 genitores de *C. chinense* do Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Viçosa

FV	GL	Quadrado médio										
		PTF	MTF	MTS	%MS	SST	VIT C	CMP	LAR	ESP	NSF	PUN
Tratamento (T)	40	803845,95**	29,44**	0,29**	21,73**	4,27**	733,58**	693,92**	90,26**	0,48**	508,60**	30,94**
Genitores (G)	10	748565,66**	65,79**	0,66**	39,29**	5,29**	671,27*	844,00**	253,68**	1,01**	506,18**	43,24**
Híbridos (H)	29	632918,73**	17,91**	0,17**	16,05**	3,98**	780,35	635,61**	36,97**	0,31**	428,05**	23,47**
G vs. H	1	6313538,01**	0,00	0,05*	11,13**	2,50	0,36	884,25**	1,61	0,00	2868,56**	124,33**
Resíduo	123	107795,05	0,97	0,01	1,44	0,75	332,83	24,55	3,53	0,49	176,68	1,45
CV%		24,09	18,25	15,40	8,20	9,56	17,40	11,74	10,30	10,42	26,54	27,36
Média		1362,71	5,40	0,73	14,65	9,09	104,83	42,17	18,26	2,12	50,08	4,39

FV: Fonte de Variação; GL: Grau de Liberdade; PTF: estimativa do peso total de frutos por planta (g); MTF: massa total do fruto fresco (g); %MS: porcentagem de matéria seca, SST: sólidos solúveis totais (°Brix); VIT C: vitamina C ( $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$  de polpa de fruto fresco); CMP: comprimento do fruto (mm); LAR: largura do fruto (mm); ESP: espessura do pericarpo (mm); NSF: número de sementes por fruto; PUN: pungência dos frutos ( $\text{mg} \cdot \text{gMS}^{-1}$ ).

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Os parâmetros CGC e CEC são relevantes no melhoramento genético, pois permitem conhecer os mecanismos genéticos envolvidos na determinação dos caracteres e escolher os melhores genitores para cruzamentos (Cruz et al., 2004).

Além da variabilidade entre os genitores foi observada grande variação nos valores médios das mesmas (Tabela 3). As médias da característica estimativa do peso total de frutos por planta (PTF) variaram de 1895,33g (genitor 4') até 309,17g (genitor 2), formando três grupos distintos, com exceção do genitor 3, os genitores do grupo ardido (grupo I) tiveram as médias mais baixas. Em relação à característica massa total do fruto fresco (MTF) foram formados quatro grupos e as médias variaram de 12,83 g (genitor 4') até 1,32 g (genitor 6). Grandes diferenças entre as médias foram observadas também para o caractere MTS em que a maior média foi 1,38 g (genitor 5') e menor 0,24 g (genitor 6). No que se refere a % MS foi observada variação de 20,75% (genitor 2) a 9,81% (genitor 4'), mostrando grande variação entre os genitores.

O teor de sólidos solúveis totais (SST) variou de 10,87° Brix (genitor 2') até 6,09° Brix (genitor 4'). Quanto a vitamina C (VIT C) não foram observadas diferenças significativas entre as médias dos 11 genitores.

Pela tabela 3 observa-se que há grandes diferenças entre as médias das características comprimento do fruto (CMP) e largura do fruto (LAR) cujos valores variaram de 59,88 mm (genitor 3) a 11,90 mm (genitor 6) e 36,94 mm (genitor 4') até 10,33 mm (genitor 4), respectivamente.



Tabela 3 - Médias de 11 características físicas e de qualidade de fruto em 11 genitores de *C. chinense* do Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2007

Genitor	Característica										
	PTF	MTF	MTS	%MS	SST	VIT C	CMP	LAR	ESP	NSF	PUN
1	773,37 c	2,81 d	0,42 c	15,09 c	10,02 a	103,57 a	34,91 c	14,29 e	1,88 c	39,10 b	5,31 b
2	309,17 c	1,68 d	0,32 c	20,75 a	10,41 a	81,15 a	25,00 c	12,22 f	1,62 c	33,59 b	6,08 b
3	1344,45 b	5,48 c	0,75 b	13,73 c	8,65 b	123,34 a	59,88 a	16,80 d	1,91 c	48,85 a	4,86 c
4	946,22 c	1,49 d	0,26 c	17,87 b	10,00 a	102,55 a	26,22 c	10,33 f	1,74 c	34,15 b	4,06 c
5	838,63 c	3,22 d	0,48 c	15,20 c	9,73 a	114,59 a	38,34 b	14,76 e	1,88 c	43,50 b	2,52 d
6	550,07 c	1,32 d	0,24 c	18,35 b	9,30 a	120,40 a	11,90 d	10,99 f	1,795c	32,50 b	9,51 a
1'	1050,16 b	4,72 c	0,70 b	14,85 c	9,50 a	97,95 a	29,46 c	19,21 d	2,03 c	60,95 a	0,00 e
2'	1185,93 b	4,95 c	0,77 b	15,68 c	10,87 a	117,65 a	45,38 b	17,55 d	2,06 c	33,75 b	0,00 e
3'	1145,75 b	9,78 b	1,16 a	11,88 d	7,95 b	99,72 a	56,05 a	21,68 c	2,73 b	63,75 a	0,00 e
4'	1895,33 a	12,83 a	1,25 a	9,81 e	6,90 c	101,76 a	50,32 a	36,94 a	2,58 b	49,50 a	0,00 e
5'	1386,42 b	11,07 b	1,38 a	12,60 d	8,85 b	91,28 a	44,00 b	27,81 b	3,25 a	33,90 b	0,00 e

PTF: estimativa do peso total de frutos por planta (g); MTF: massa total do fruto fresco (g); %MS: percentagem de matéria seca; SST: sólidos solúveis totais (°Brix); VIT C: vitamina C (mg.100g<sup>-1</sup> de polpa de fruto fresco); CMP: comprimento do fruto (mm); LAR: largura do fruto (mm); ESP: espessura do pericarpo (mm); NSF: número de sementes por fruto; PUN: pungência dos frutos (mg.gMS<sup>-1</sup>).

\*Médias seguidas de mesma letra constituem grupo homogêneo pelo critério de Scott-Knott ao nível de 5 % de probabilidade.

A espessura do pericarpo (ESP) variou de 3,25 mm (genitor 5') a 1,62 mm (genitor 2) e o número de sementes por fruto (NSF) variou de 63,75 (genitor 3) a 32,5 (genitor 6). Quanto a pungência (PUN), observada apenas nos frutos ardidos, as médias variaram de 9,51 mg.gMS<sup>-1</sup> no genitor 6 até 2,52 mg.gMS<sup>-1</sup> no genitor 5.

As análises de correlação entre as características evidenciou o predomínio da correlação genética sobre as demais correlações. As estimativas de correlação fenotípica, genotípica e ambiental entre as 11 características avaliadas estão apresentadas na Tabela 4.

O conhecimento da correlação entre caracteres é relevante, pois permite a seleção indireta (Falconer e Mackay, 1996). A correlação genotípica é causada principalmente por pleiotropia, contudo a pode ser devido à ligação gênica (Cruz et al., 2004).

As características massa total do fruto fresco e massa total do fruto seco tiveram o maior valor de correlação genotípica positiva, 0,9731. Além disso, massa total do fruto fresco teve correlação genotípica positiva de alta magnitude com comprimento do fruto (0,7104), largura do fruto (0,9125) e espessura do pericarpo (0,8334). O caractere massa total do fruto seco também teve correlação positivas com estas características, 0,7511, 0,8619 e 0,8342, respectivamente.

Massa total do fruto fresco e massa total do fruto fresco tiveram correlação alta e negativa com porcentagem de matéria seca e (-0,8697) e

Tabela 4 - Estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica, genotípica e ambiental entre as características avaliadas

Característica		PTF	MTF	MTS	%MS	SST	VIT C	COMP	LARG	ESP	NSF
MTF	r <sub>F</sub>	0,5851**									
	r <sub>G</sub>	0,6328									
	r <sub>E</sub>	0,0907									
MTS	r <sub>F</sub>	0,5307**	0,9691**								
	r <sub>G</sub>	0,5788	0,9731								
	r <sub>E</sub>	0,0521	0,8798								
%MS	r <sub>F</sub>	-0,7319**	-0,8486**	-0,7625**							
	r <sub>G</sub>	-0,7992	-0,8697	-0,8048							
	r <sub>E</sub>	-0,1410	-0,3690	-0,039							
SST	r <sub>F</sub>	-0,6803**	-0,6582**	-0,5399**	0,8014**						
	r <sub>G</sub>	-0,7648	-0,7278	-0,6080	0,8743						
	r <sub>E</sub>	-0,2240	-0,1160	-0,006	0,3220						
VIT C	r <sub>F</sub>	0,0266	-0,0625	-0,0546	-0,0437	0,0118					
	r <sub>G</sub>	0,0401	-0,0616	-0,0531	-0,0492	0,0783					
	r <sub>E</sub>	-0,0030	-0,1440	-0,1150	-0,0490	-0,1430					
CMP	r <sub>F</sub>	0,5743**	0,6978**	0,7293**	-0,6459**	-0,4554**	0,0977				
	r <sub>G</sub>	0,6067	0,7104	0,7511	-0,6642	-0,4811	0,1157				
	r <sub>E</sub>	0,2868	0,3432	0,2015	-0,3210	-0,3380	0,1077				
LAR	r <sub>F</sub>	0,5250**	0,8913**	0,8361**	-0,7818**	-0,6311**	-0,1152	0,4285**			
	r <sub>G</sub>	0,5672	0,9125	0,8619	-0,8095	-0,6795	-0,1407	0,4312			
	r <sub>E</sub>	0,1056	0,3278	0,2402	-0,2960	-0,3220	-0,0990	0,3580			
ESP	r <sub>F</sub>	0,4446**	0,7864**	0,7773**	-0,6992**	-0,5675**	-0,1358	0,3427**	0,7400**		
	r <sub>G</sub>	0,4929	0,8334	0,8342	-0,7306	-0,6160	-0,1540	0,3455	0,7741		
	r <sub>E</sub>	0,0872	0,1791	0,0717	-0,3710	-0,2830	-0,1290	0,3538	0,3387		
NSF	r <sub>F</sub>	0,2186	0,2788	0,3510*	-0,2637	-0,3335*	-0,0673	0,2694	0,3056*	0,3476*	
	r <sub>G</sub>	0,3037	0,3404	0,4420	-0,3096	-0,3195	-0,1999	0,2806	0,3153	0,3957	
	r <sub>E</sub>	0,0440	0,0779	0,0148	-0,1450	-0,4000	0,13110	0,4223	0,4795	0,2369	
PUN	r <sub>F</sub>	-0,1803	-0,4302**	-0,4150**	0,4447**	0,2711*	0,1056	-0,2470	-0,4158**	-0,4606**	-0,1382
	r <sub>G</sub>	-0,2039	-0,4432	-0,4264	0,4818	0,3275	0,1230	-0,2642	-0,4365	-0,4483	-0,1845
	r <sub>E</sub>	0,0632	-0,1160	-0,1720	-0,1750	-0,2080	0,1157	0,1596	0,0457	0,1134	0,0572

PTF: peso total de frutos por planta (g); MTF: massa total do fruto fresco (g); MTS: massa total do fruto seco; %MS: percentagem de matéria seca; SST: sólúveis totais (°Brix); VIT C: vitamina C (mg.100g<sup>-1</sup> de polpa de fruto fresco); CMP: comprimento do fruto (mm); LAR: largura do fruto (mm); ESP: espessura do pericarpo (mm); NSF: número de sementes por fruto; PUN: pungência dos frutos (mg.gMS<sup>-1</sup>).

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

sólidos solúveis totais (-0,7278). Este fato indica que frutos menores têm maior rendimento para a produção de condimentos na forma de pó.

O teor de sólidos solúveis totais e a porcentagem de matéria seca tiveram correlação genotípica de 0,8743. Correlação elevada entre estes dois caracteres é relevante, pois estes são os responsáveis pelo rendimento dos frutos para produção de páprica, molhos e conservas.

A estimativa do peso total de frutos por planta teve correlação positiva com as características relacionadas ao tamanho dos frutos como: massa total do frutos fresco (0,6328), massa total do fruto seco (0,5788), comprimento do fruto (0,6067), largura do fruto (0,5672) e espessura do pericarpo (0,4929). Logo, pode-se inferir a seleção de indivíduos cujos frutos são maiores propicia a seleção indireta para maior produtividade.

A característica pungência teve correlação genotípica baixa, porém positiva, com porcentagem de matéria seca (0,4818) e sólidos solúveis totais (0,3275), indicando que é possível selecionar genótipos mais pungentes que terão também maior rendimento de matéria seca. Além disso, a pungência teve correlação negativa, de baixa magnitude, com as características massa total do frutos fresco (-0,4432), massa total do fruto seco (-0,4264), largura (-0,4365) e espessura do pericarpo (-0,4483). Este resultado é relevante, pois a seleção visando à obtenção de frutos maiores, com maior massa fresca, acarreta diminuição na pungência.

A seleção visando genótipos com maior número de sementes poderá acarretar frutos com menor porcentagem de matéria seca e teor de sólidos

solúveis totais, pois estas características tiveram correlações negativas, -0,3096 e -0,3195, respectivamente.

Os resultados deste trabalho estão de acordo com os resultados obtidos por Lannes (2005) ao analisar 49 acessos de *C.chinense* para nove caracteres. À exceção da característica vitamina C, que no presente estudo não teve correlação com nenhum outro caractere, diferentemente do que foi reportado por Lannes (2005).

### **3.2. Análise dialélica**

A análise de variância do dialelo parcial mostra que além da característica pungência, previamente selecionada para separação dos grupos, houve também diferenças significativas entre eles, indicando variabilidade para oito das 10 características avaliadas, de acordo com o teste F (Tabela 5). Estes resultados ratificam a formação dos grupos para realização do dialelo parcial.

Pela análise de variância do dialelo parcial detecta-se que os quadrados médios, referentes à capacidade geral de combinação (CGC), dos genitores do grupo I (pimentas pungentes ou ardidas), foram significativos ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F (Tabela 5). Assim, observou-se a importância dos efeitos gênicos aditivos para todas as características dos genitores deste grupo. Em relação ao grupo II (pimentas doces), os quadrados médios referentes à CGC foram significativos para as características massa total do fruto fresco, porcentagem de matéria seca, comprimento do fruto, largura do fruto, espessura do pericarpo, número de sementes por fruto e pungência.

As estimativas dos efeitos de CGC para as 11 características mostram que estes foram predominantemente positivos para os genitores do grupo I (Tabela 6). Contudo, o genitor 6 foi o único do referido grupo em que os efeitos da CGC foram negativos para todas as características estudadas,

Tabela 5 - Componentes quadráticos de capacidade geral e específica de combinação para 11 características físicas e de qualidade de fruto em 11 genitores de *C. chinense* do Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Viçosa

FV	GL	Quadrados médios									
		PTF	MTF	%MS	SST	VIT C	CMP	LAR	ESP	NSF	PUN
Trat.	40	1605529,67**	41,40**	131,60**	46,22**	6186,49**	1405,70**	261,32**	2,80**	1773,30**	39,19**
Grupos	1	1559462,59**	3,46	121,36**	25,29**	2069,90*	1814,88**	13,42	0,97**	2793,84**	15,02**
CGC											
Grupo I	5	7298250,12**	118,98**	779,87**	303,54**	122,59**	6581,42**	1295,87**	16,79**	9118,10**	100,42**
CGC											
Grupo II	4	147888,17	26,41**	14,50**	1,53	242,74	227,45**	87,60**	0,52**	265,95	19,47**
CEC											
I x II	30	852630,70**	31,70**	39,51**	9,98**	1346,81**	686,53**	120,32**	0,84**	716,12**	32,43**
Resíduo	123	107795,04	0,96	1,44	0,75	332,83	24,55	3,53	0,04	176,68	1,44

FV: Fonte de Variação; GL: Grau de Liberdade; Trat.: Tratamentos; PTF: estimativa do peso total de frutos por planta (g); MTF: massa total do fruto fresco (g); MTS: massa total do fruto seco; %MS: percentagem de matéria seca; SST: solúveis totais (°Brix); VIT C: vitamina C (mg.100g<sup>-1</sup> de polpa de fruto fresco); CMP: comprimento do fruto (mm); LAR: largura do fruto (mm); ESP: espessura do pericarpo (mm); NSF: número de sementes por fruto; PUN: pungência (mg.gMS<sup>-1</sup>).

embora este tenha médias elevadas para as características porcentagem de matéria seca, teor de Vitamina C e pungência (Tabela 3). Efeitos negativos de CGC são importantes quando o objetivo for a redução na característica, caso contrário, como neste trabalho, tais efeitos são indesejáveis.

Em relação aos genitores do grupo II foram observados efeitos de CGC positivos e negativos para todas as características com variabilidade entre os genitores (Tabela 6).

Os efeitos gênicos não aditivos, relacionados à capacidade específica de combinação (CEC), também se mostraram relevantes para todas as características, de acordo com o teste F ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 5). Na Tabela 7 estão apresentados os efeitos da CEC para as 11 características avaliadas neste trabalho.

Observou-se que a CGC da característica estimativa do peso total de frutos por planta foi positiva para os genitores 2, 3, 4, e 5 do grupo I. No entanto, considerando-se o grupo II apenas os genitores 3' e 4' tiveram valores positivos de CGC para esta mesma característica. Os efeitos de CEC foram favoráveis nas combinações híbridas 4x2', 2x3' e 4x1', das quais os genitores 4 e 3' possuem os maiores efeitos de CGC no grupo I e II, respectivamente.



Tabela 6 - Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) para 11 características físicas e de qualidade de fruto em 11 genitores de *C. chinense* do Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Viçosa

Genitores grupo I	PTF	MTF	MTS	%MS	SST	VIT C	COMP	LAR	ESP	NSF	PUN
1	-68,403	-0,077	0,019	2,645	1,717	11,319	2,068	1,054	0,222	5,932	0,1914
2	3,922	0,675	0,059	2,165	1,106	15,649	0,055	2,697	0,248	0,133	-1,0532
3	272,097	0,126	0,028	1,646	0,770	22,052	2,845	1,922	0,292	8,060	1,1137
4	413,411	1,526	0,167	1,322	1,176	11,113	7,820	3,663	0,347	6,982	0,9989
5	223,886	1,239	0,197	1,673	1,122	7,854	13,082	2,777	0,280	10,595	1,5862
6	-844,914	-3,490	-0,472	-9,453	-5,894	-67,989	-25,872	-12,114	-1,391	-31,704	-2,8369

Genitores grupo II	PTF	MTF	MTS	%MS	SST	VIT C	COMP	LAR	ESP	NSF	CAP
1'	-40,982	0,768	0,081	-0,505	-0,109	-1,918	2,549	0,776	0,070	3,113	0,0041
2'	-60,228	-0,854	-0,086	0,468	0,258	-3,075	-2,925	-1,062	-0,065	0,454	0,7844
3'	97,285	0,404	0,030	-0,354	-0,183	2,932	0,124	1,761	-0,010	-0,902	0,2347
4'	4,156	0,590	0,072	-0,426	-0,125	1,484	2,080	0,452	0,149	1,150	-1,1254
5'	-0,230	-0,909	-0,098	0,817	0,160	0,577	-1,829	-1,928	-0,143	-3,815	0,1022

Tabela 7 - Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (CEC) para 11 características físicas e de qualidade de fruto em 11 genitores de *C. chinense* do Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Viçosa

	PTF	MTF	MTS	%MS	SST	VIT C	CMP	LAR	ESP	NSF	CAP
1	447,216	-0,745	0,0193	-0,987	-0,624	1,713	-2,622	-0,546	-0,028	6,169	4,209
2	51,882	-1,862	0,0593	0,074	-0,152	-2,733	2,505	-4,343	-0,422	11,166	-1,122
3	80,696	1,296	0,0288	-2,459	-0,842	-4,169	10,273	-0,606	-0,092	-11,936	-0,921
4	-39,939	-0,550	0,1678	-1,565	-0,910	6,762	-1,482	-0,460	-0,255	-15,230	0,127
5	-161,370	0,537	0,1970	-0,735	0,081	-5,116	-15,780	1,741	0,046	-3,855	-0,209
6	738,132	2,693	-0,4721	7,940	4,752	53,468	23,073	9,048	1,100	28,344	2,444
1'	-106,933	3,177	0,0813	-0,228	0,614	14,118	21,692	5,291	0,077	12,642	1,163
2'	-3,386	-0,464	-0,0864	2,559	1,238	11,531	-3,991	-1,061	0,003	-3,128	3,104
3'	-203,513	-2,705	0,0304	2,977	1,375	10,259	-11,314	-3,847	-0,181	-7,496	2,960
4'	336,675	-1,332	0,0728	-0,125	-0,034	11,386	-2,185	-1,145	-0,019	1,478	-0,758
5'	1093,776	2,693	-0,0981	-2,916	-0,890	2,629	11,767	5,597	0,466	11,161	-1,941

Cont Tabela 7

1 X 1'	19,383	-0,540	-0,023	0,082	0,101	-0,822	-10,257	1,643	-0,090	8,861	-4,009
1 X 2'	-238,161	-0,825	-0,136	-0,655	0,251	5,949	0,666	-1,432	-0,103	-10,329	0,735
1 X 3'	16,874	0,532	0,102	0,756	1,540	14,024	8,087	-1,000	0,013	-14,323	-4,238
1 X 4'	69,829	4,702	0,444	-2,964	-1,433	-2,457	16,803	4,441	0,526	13,623	-2,879
1 X 5'	-762,358	-1,897	-0,216	4,756	0,787	-20,119	-10,056	-2,557	-0,287	-10,170	1,974
2 X 1'	-156,882	-4,516	-0,498	3,583	1,212	-0,552	-11,486	-8,872	-0,413	-12,139	1,297
2 X 2'	-245,229	-1,168	-0,113	-0,065	0,574	12,637	6,104	-2,606	-0,134	-0,130	-1,067
2 X 3'	653,954	7,184	0,542	-4,634	-1,813	-6,195	15,040	16,749	0,513	7,225	-2,995
2 X 4'	238,178	5,238	0,629	-1,769	0,075	-15,224	6,7614	8,923	1,018	-10,427	-1,635
2 X 5'	-593,784	-3,013	-0,344	2,738	0,257	14,801	-21,430	-5,507	-0,139	-6,860	6,646
3 X 1'	-220,774	-1,812	-0,153	2,215	1,058	11,239	-12,169	-1,310	-0,159	-10,866	4,150
3 X 2'	147,165	0,328	0,094	1,150	0,053	-0,478	4,344	0,201	0,214	11,442	-0,392
3 X 3'	434,369	-0,207	0,000	-0,041	-0,408	-3,417	-1,011	0,292	0,043	0,535	1,472
3 X 4'	-137,994	-0,646	-0,006	1,600	1,032	16,343	-7,240	1,084	0,033	12,148	1,638
3 X 5'	-384,158	-0,256	-0,021	-0,007	-0,051	-15,349	-4,470	0,944	0,544	10,612	-5,024

Cont. Tabela 7

4 X 1'	450,856	3,307	0,320	-1,657	-0,732	-2,222	8,833	0,813	0,737	-1,438	-2,145
4 X 2'	854,117	2,322	0,164	-2,819	-1,458	-14,072	8,500	6,479	0,206	7,108	-2,523
4 X 3'	-212,304	1,508	0,171	-1,221	-0,273	10,307	5,655	2,140	0,493	28,826	-0,738
4 X 4'	-573,619	-3,655	-0,286	5,661	1,387	-7,207	-14,870	-4,192	-0,576	8,274	2,654
4 X 5'	-439,172	-2,382	-0,190	3,168	2,897	-0,330	-5,154	-4,321	-0,350	-12,309	2,496
5 X 1'	375,553	-0,945	-0,186	-1,096	-1,078	-16,410	-6,526	1,539	0,282	4,749	-0,637
5 X 2'	-276,093	0,495	0,118	0,915	0,261	-8,787	-5,329	2,038	0,183	9,958	-1,197
5 X 3'	-93,327	-1,646	-0,135	2,007	-0,079	-10,918	4,210	-5,105	-0,271	3,164	1,792
5 X 4'	29,664	-1,307	-0,163	0,472	0,782	8,644	14,227	-3,894	-0,373	-14,088	1,592
5 X 5'	286,944	2,328	0,307	-0,829	-0,048	37,703	24,977	1,939	0,086	3,928	-1,130
6 X 1'	-254,270	-1,846	-0,232	-2,670	-1,791	-19,469	-11,778	-4,395	-0,510	-14,450	-0,981
6 X 2'	-235,024	-0,223	-0,064	-3,644	-2,159	-18,311	-6,304	-2,556	-0,374	-11,792	-1,762
6 X 3'	-392,538	-1,482	-0,181	-2,821	-1,717	-24,319	-9,353	-5,381	-0,429	-10,435	-1,212
6 X 4'	-299,408	-1,668	-0,223	-2,749	-1,776	-22,871	-11,310	-4,072	-0,589	-12,488	0,147
6 X 5'	-295,022	-0,167	-0,053	-3,993	-2,061	-21,965	-7,399	-1,691	-0,296	-7,522	-1,079

Devido à importância desta característica no melhoramento genético, todos os genitores com efeitos positivos de CGC podem ser considerados se o interesse do programa de melhoramento intrapopulacional for aumentar a produção de frutos.

Considerando-se massa total do fruto fresco e massa total do fruto seco os valores de CGC foram positivos nos genitores 2, 3, 4 e 5 e 1, 2, 3, 4, e 5 ,do grupo I, respectivamente. No grupo II isto foi observado nos genitores 1', 3' e 4' para as duas características. A importância dos efeitos gênicos aditivos para massa do fruto em pimentão foi relatada por Gomide et al. (2003). Em relação aos efeitos de CEC para massa total do fruto fresco e massa total de fruto seco, destacaram-se as combinações híbridas 2x3', 2x4' e 1x4'. Dentre os genitores os que se destacaram em combinações híbridas o genitor 4' obteve as maiores médias para estas características (Tabela 3).

O caractere % MS teve efeitos positivos de CGC para todos os genitores do grupo I, com exceção do genitor 6, e apenas os genitores 2' e 5' tiveram efeitos positivos de CGC no grupo II. Os efeitos referentes à CEC para característica % MS foram superiores nas combinações híbridas 4x4', 1x5' e 2x1'. A seleção visando aumento na porcentagem de matéria seca pode acarretar decréscimo na massa do fruto fresco, uma vez que estas características possuem alta correlação negativa com porcentagem de matéria seca.

Pode-se observar na Tabela 6 que a característica sólidos solúveis totais teve efeitos de CGC positivos em cinco dos seis genitores do grupo I,

sendo o genitor 6 o único a apresentar valores negativos de CGC. Em relação ao grupo II os genitores 2' e 5' tiveram efeitos de CGC positivos para a característica sólidos solúveis totais. Já os híbridos que se destacaram foram os provenientes dos cruzamentos 4x5', 1x3' e 2x1', logo a combinação 4x5' é a promissora no sentido de aumento do teor de sólidos solúveis totais, pois reúne dois genitores com efeitos positivos de CGC. Além disso, estes genitores possuem valores médios favoráveis para esta característica.

No que se refere à característica vitamina C não foram observados efeitos de CGC positivos apenas no genitor 6 do grupo I. Em relação ao grupo II, estes foram positivos para os genitores 3', 4' e 5'. Os efeitos da CEC, para esta característica, foram superiores nas combinações híbridas 5x5', 3x4' e 1x3'. Observa-se, neste caso, que os genitores que constituem todas as combinações híbridas superiores possuem também efeitos positivos de CGC. Por esta razão, a utilização destes genitores em programas de melhoramento visando frutos com maior teor de vitamina C é bastante viável.

Os efeitos da CGC para as características comprimento e largura foram positivos em cinco dos seis genitores do grupo I e também nos genitores 1', 3' e 4', do grupo II. As estimativas dos efeitos de CEC para a característica comprimento do fruto foram superiores nos híbridos 5x5', 1x5' e 2x3'. Considerando-se a característica largura, pode-se observar que os maiores valores de CEC foram observados nos cruzamentos entre os genitores 2x3', 2x4' e 4x2'. Contudo deve-se considerar que as médias do genitor 2, para as duas características, é baixa, logo, sua utilização no

melhoramento deve ser feita com critério. Além disso, deve-se observar que este genitor possui o menor valor positivo para CGC observado para a característica comprimento.

Em relação à característica espessura do pericarpo, embora praticamente todos os genitores do grupo I tenham valores positivos de CGC (exceto genitor 6), no que se refere ao grupo II apenas os genitores 1' e 4' tiveram efeitos positivos de CGC. As melhores combinações híbridas para este caractere foram 2x4', 4x1' e 1x4'.

A característica número de sementes por fruto teve efeitos de CGC positivos em cinco dos seis genitores do grupo I (exceto genitor 6) enquanto estes foram observados nos genitores 1', 2' e 4' no grupo II. Efeitos favoráveis de CEC foram observados nos cruzamentos 4x3', 1x4' e 3x3'. Pode-se observar que apenas os genitores 1 e 4' possuem efeitos favoráveis tanto de CGC quanto de CEC.

A característica pungência teve efeitos positivos de CGC quando os genitores avaliados foram 1, 3, 4 e 5. Considerando-se o grupo II, apenas o genitor 4' teve efeito negativo de CGC, logo todos os demais genitores têm potencial para serem utilizados em cruzamentos a fim de obter genótipos com altos teores de capsaicina e dihidrocapsaicina (Tabela 6). As combinações híbridas superiores relacionadas à pungência foram 2x5', 3x1' e 4x4' (Tabela 7). O genitor 6 foi o mais pungente ( $9,51 \text{ mg.gMS}^{-1}$ ), contudo o efeito de CGC foi negativo. À exceção do genitor 6, os genitores 2 e 1 possuem as maiores médias para esta característica,  $6,08 \text{ mg.gMS}^{-1}$  e  $5,31$

mg.gMS<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 3). Embora neste estudo os efeitos gênicos aditivos e não aditivos tenham sido importantes, Zewdie et al. (2001), evidenciaram o predomínio de efeitos aditivos para o teor de capsaicinóides em *Capsicum pubescens*. Este fato mostra a variabilidade entre as espécies no que se refere aos efeitos gênicos que controlam a característica, evidenciando as diferenças entre os genótipos.

As estimativas dos efeitos da CGC informam sobre a concentração de genes de efeitos aditivos (Cruz et al., 2004). Esta informação é grande importância no melhoramento genético, pois os efeitos aditivos dos genes são transmitidos aos descendentes e dessa forma, a seleção é mais eficiente. Logo, os genitores com efeitos positivos de CGC para uma ou mais características podem ser utilizados em programas de melhoramento. Contudo, as melhores combinações híbridas devem considerar genitores com efeitos favoráveis de CEC, enquanto pelo menos um dos genitores deve ser também de alta capacidade geral de combinação (Cruz et al., 2004).

Em relação aos efeitos  $S_{ii}$ , que significa a combinação do indivíduo com ele mesmo, foram observados efeitos negativos e positivos em todas as características indicando que, dependendo do genitor, a dominância é no sentido do aumento ou diminuição da característica, respectivamente (Tabela 6). Os maiores efeitos de  $S_{ii}$  foram observados na característica PTF demonstrando a grande importância da heterose varietal para este caractere, associada à divergência genética entre os genitores.



#### **4. CONCLUSÕES**

Para as características relacionadas à produção as combinações que possuem maior potencial para gerar genótipos superiores são BGH 4289 (44) x BGH 4223 (39), BGH 5012 (72) x BGH 1716 (16), BGH 1716 (17) x BGH 6233 (85) e BGH 4289 (44) x BGH 6233 (85).

A obtenção de frutos de com maior rendimento para produção de molhos e páprica e altos teores de vitamina C, os cruzamentos mais promissores são BGH 5012 (72) x BGH 6378 (98) e BGH 4289 (44) x BGH 1716 (16), respectivamente.

As combinações BGH 4289 (44) x BGH 6378 (98), BGH 4733 (54) x BGH 1716 (16) e BGH 5012 (72) x BGH 6233 (85) podem contribuir para aumento da pungência nos frutos.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOSLAND, P.W., Breeding for quality in *Capsicum*. **Capsicum and Egplant Newsletter**, v.12, p.25-31, 1993.

CASALI, V.W.D. ; PADUA, J.G. ; BRAZ, L.T. Melhoramento de Pimentão e Pimenta. **Informe Agropecuário**, v.10, p.19-22, 1984.

CASALI, V.W.D., COUTO, F.A.A. Origem e Botânica de *Capsicum*. **Informe Agropecuário**, v.10, p.8-10, 1984.

CASALI, V.W.D.; STRINGHETA, P.C. Melhoramento de pimentão e pimenta para fins industriais. **Informe agropecuário**, v.10, p.23-25, 1984.

CRUZ, C.D. **Programa Genes: estatística experimental e matrizes**. 1.ed. Viçosa: Editora UFV, 2006a. 285p.

CRUZ, C.D. **Programa Genes: Biometria**. 1.ed. Viçosa: Editora UFV, 2006b. 345p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v.1. Viçosa: Editora UFV, 2004, 585p.

FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics**. 4.ed. London: Longman, 1996. 464p.

GARDNER, E.J.; EBERHART, S.A. A analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometrics**, v.22, p.439-452, 1966.

GERALDI, I.O.; MIRANDA FILHO, J.B. Adapted models for the analysis of combining ability of varieties in partial diallel crosses. **Revista Brasileira de Genética**, v.11, p.419-430, 1988.

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

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal Biology Science**, v.9, p.463-493, 1956.

HAYMAN, B. The theory and analysis of diallel crosses. **Genetics**, v.39, p.789-809, 1954.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos**. São Paulo, 1985. v.1, 533p.

LANNES, S.D. **Diversidade em *Capsicum chinense*: análise química, morfológica e molecular**. 2005. 81p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MAILLARD, M.N.; GIAMPAOLI, P.; RICHARD, H.J. Analysis of eleven capsaicinoids by reversed-phase high performance liquid chromatography. **Flavour and fragrance journal**. v.12, p.409-413, 1997.

PICKERGILL, B. Genetics resources and breeding of *Capsicum* spp. **Euphytica**, v.96, p.129-133, 1997.

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

SCOTT, A. T.; KNOTT, M.A. Cluster analysis method for grouping means in  
the analysis of variance. **Biometrics**, v.30, p.507-512, 1974.

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistics**.  
2.ed. New York: Mc Graw-Hill, 1980. 633p.

ZEWDIE, Y.; BOSLAND, P.W.; STEINER, R. Combining ability and heterosis  
for capsaicinoids in *Capsicum pubescens*. **HortScience**, v.36, p.1315-1317,  
2001.

## **CAPÍTULO II**

### **AÇÃO DAS PEROXIDASES NO METABOLISMO DA CAPSAICINA E DIHIDROCAPSAICINA EM *Capsicum chinense* NO AMADURECIMENTO DOS FRUTOS**

## 1. INTRODUÇÃO

As espécies pertencentes ao gênero *Capsicum* são nativas das Américas e cultivadas no mundo todo. Dentre as cultivadas *C. annuum*, *C. frutescens*, *C. baccatum* e *C. chinense* são encontradas no Brasil (Casali e Couto, 1984).

A pungência é considerada uma das mais importantes características dos frutos de *Capsicum* (Reifschneider, 2000). Um grupo de substâncias, denominadas capsaicinóides, produzidas pelas células da placenta dos frutos, é responsável por esta característica. Os capsaicinóides são substâncias exclusivas das espécies que compõem o gênero *Capsicum*. Contudo, existe grande variação na concentração destas nos frutos de espécies distintas e entre genótipos de mesma espécie (Bosland e Votava, 1999). Logo é possível encontrar frutos de *Capsicum* com diferentes níveis de pungência e outros doces dentro de uma mesma espécie (Lannes, 2005).

Dentre os capsacinóides, a capsaicina é o alcalóide encontrado em maior quantidade nos frutos, enquanto a dihidrocapsaicina é o segundo

alcalóide, responsável pela pungência. Outros tipos de capsaicinóides, como a nordihidrocapsaicina, homocapsaicina e a hodiidrocapsaicina, também estão presentes, porém em menores quantidades. As diferenças de sabor e aroma dos frutos de *Capsicum* são dadas pelas diferentes combinações dos capsaicinóides produzidos na placenta dos frutos (Bosland, 1993).

Os teores de capsaicinóides observados nos frutos dependem de vários fatores, dentre eles os de natureza genética como espécie ou cultivar (Bosland e Votava, 1999). O estágio de desenvolvimento do fruto também interfere no conteúdo de capsaicinóides nele contidos, sendo observado acúmulo até o início do amadurecimento e decréscimo com o decorrer do mesmo (Iwai et al., 1979, citados por Kirschbaum-Titze et al., 2002). Além disso, diversos estudos têm evidenciado a influência de fatores ambientais no acúmulo de capsaicinóides, como temperatura e luminosidade (Estrada et al., 1999 a; Tewksbury et al., 2006), estresse hídrico (Estrada et al., 1999b), e disponibilidade de nutrientes (Estrada et al., 1998).

A rota biossintética da capsaicina e seus análogos é bem caracterizada. Sabe-se que estas substâncias são produzidas a partir dos aminoácidos fenilalanina ou valina, pela rota dos fenilpropanóides, com a ação de muitas enzimas distintas (Diaz, 2004). Contudo, ainda não é conhecida a enzima que faz a conversão final para capsaicina, embora alguns estudos já tenham identificado genes candidatos (Blum et al., 2002; Blum et al., 2003).



Diferentemente da síntese de capsaicinóides, o catabolismo destas substâncias é pouco conhecido. Segundo Díaz et al. (2004) há apenas um relato na literatura sugerindo a conjugação dos capsaicinóides com açúcares, os demais trabalhos evidenciam a presença desses compostos livres no vacúolo das células da placenta dos frutos. Dessa forma, Diaz et al. (2004) sugerem a degradação via oxidação como outra possibilidade para o catabolismo da capsaicina e seus análogos.

A oxidação da capsaicina e seus análogos tem sido associada à ação das enzimas peroxidases. Bernal et al. (1993) relataram a oxidação da capsaicina e da dihidrocapsaicina pelas peroxidases encontradas nos frutos de *C. annuum*, indicando a participação destas no catabolismo dos capsaicinóides. Estudos posteriores mostraram que o aumento na atividade das enzimas peroxidases coincide com a queda nos teores de capsaicina e diidrocapsaicina nos frutos (Contreras-Padila e Yahia, 1998).

Devido à grande importância dos frutos de *Capsicum* para alimentação tanto para consumo *in natura* quanto na industrialização, bem como, o interesse da indústria farmacêutica nos capsaicinóides, o conhecimento do metabolismo destas substâncias é de grande relevância. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivos verificar como se comporta o acúmulo e degradação de capsaicinóides em frutos de *C. chinense* durante o amadurecimento e determinar a ação das enzimas peroxidases neste processo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliados seis acessos pungentes e cinco acessos doces de *Capsicum chinense*, previamente caracterizados por Lannes (2005), provenientes do Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Viçosa-MG (Tabela 1).

A semeadura foi realizada em bandejas de isopor, em substrato comercial. Após 60 dias, as mudas foram transferidas para vasos de 10 L e cultivadas em casa de vegetação na Horta Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa. O delineamento experimental empregado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições. O cultivo foi realizado no período de julho de 2006 a janeiro de 2007 e a colheita realizada entre dezembro de 2006 e janeiro de 2007.

Para a realização das análises foram colhidos cinco frutos por planta, num total de quatro plantas por acesso, nos estádios verde-maduro, 50% maduro e totalmente maduro (Figura 1). Todos os frutos



Figura 1- Acessos de *C. chinense* nos três estádios de amadurecimento em que foram realizadas as análises de capsaicina, dihidrocapsaicina e atividade das peroxidases.

foram cortados longitudinalmente, no sentido do comprimento dos frutos, sendo uma das metades imediatamente congelada em nitrogênio líquido e armazenada a -20°C para as análises enzimáticas. A outra metade de cada fruto foi imediatamente colocada para secar em estufa a 60°C por 72h para posterior quantificação de capsaicina.

Tabela 1 - Acessos de *C. Chinense* pertencentes ao Banco de Germoplasma de Hortaliças da UFV avaliados neste trabalho

Acesso	Número	Pungência	Local de coleta
BGH 1716	16	Não	Pindaré-Mirim / MA
BGH 1716	17	Sim	Pindaré-Mirim / MA
BGH 4201	32	Não	Belém / PA
BGH 4223	39	Não	IAC- SP
BGH 4289	44	Sim	Rondonópolis/ MT
BGH 4733	54	Sim	Manaus/ AM
BGH 5012	72	Sim	Água Branca / AL
BGH 6228	79	Sim	Brasília / DF
BGH 6233	85	Não	Brasília /DF
BGH 6378	98	Não	Boca do Janacanam /AM
BGH 7295	101	Sim	Viçosa /MG

Para os ensaios enzimáticos foram maceradas 500 mg de fruto em 2 mL de tampão de extração Tris-HCl (50mM), pH 6,0. Posteriormente o

homogeneizado foi filtrado e centrifugado a 4000 rpm por 30 minutos a 4°C, o sobrenadante foi imediatamente retirado e efetuou-se a reação enzimática (Bernal et al., 1993 a). A atividade da enzima peroxidase foi medida em espectrofotômetro Hitachi, modelo V. 2000, no comprimento de onda 262 nm pela reação enzimática composta por 0,1 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 1,0 mM capsaicina, 0.1 M Tris-HCl pH 6,0 e 10µL de sobrenadante e água deionizada.

A quantificação da capsaicina e da dihidrocapsaicina foi realizada por cromatografia líquida de alta performance (HPLC) de acordo com a metodologia proposta por Maillard et al. (1997), com modificações. Em que 100 mg de matéria seca dos frutos, finamente trituradas, foram misturadas a 1,5 mL de metanol:água (60:40, v/v) e aquecidas a 65°C por 30 minutos. Posteriormente, as amostras foram centrifugadas a 5000 rpm por 15 minutos e o sobrenadante foi retirado e filtrado em filtro Milipore 0,2 µm. O volume das amostras foi novamente completado para 1,5 mL. Alíquotas de 25 µL das amostras diluídas foram injetadas em HIC Dionex equipado com coluna C18 e as leituras realizadas com detector UV a 229 nm. O tampão de corrida para análise e separação de capsaicinóides foi composto por metanol:água:ácido acético (70:29:1, v/v/v), com fluxo de 1,0mL por minuto. A quantificação dos dois capsaicinóides foi realizada a partir da comparação com padrões de capsaicina e dihidrocapsaicina (Sigma, EUA).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de quantificação dos capsaicinóides: capsaicina e dihidrocapsaicina mostram que em cinco dos seis acessos pungentes estas substâncias são encontradas em maiores quantidades em frutos no estágio verde maduro (Figura 2). Observa-se que ao longo do amadurecimento as concentrações de capsaicina e dihidrocapsaicina diminuem na maioria dos acessos. Estes resultados estão de acordo com os observados por Contreras-Padilla e Yahia (1998), os quais mostram que a concentração de capsaicinóides em frutos de três espécies de *Capsicum* é maior nos estádios iniciais de desenvolvimento e decrescem com o amadurecimento.

Porém, no acesso BGH 1716 (17) foi observado comportamento inverso ao observados nos demais acessos, ou seja, houve acréscimo no teor de capsaicinóides ao longo do amadurecimento dos frutos (Figura 2).

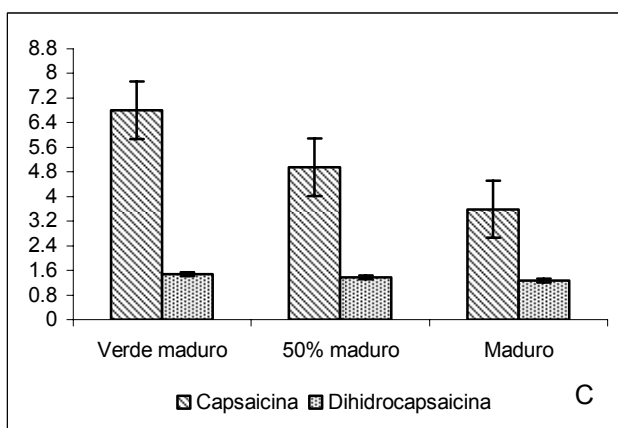
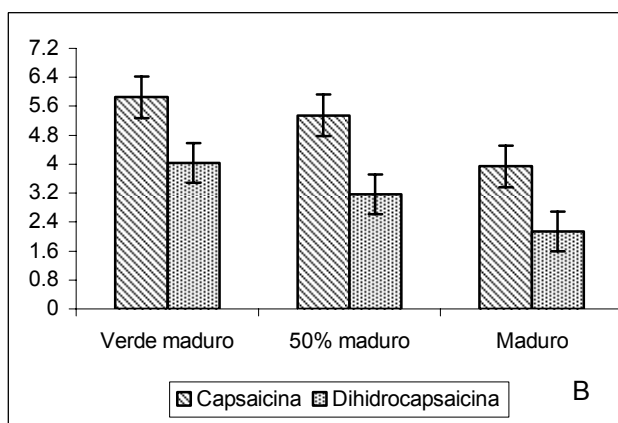
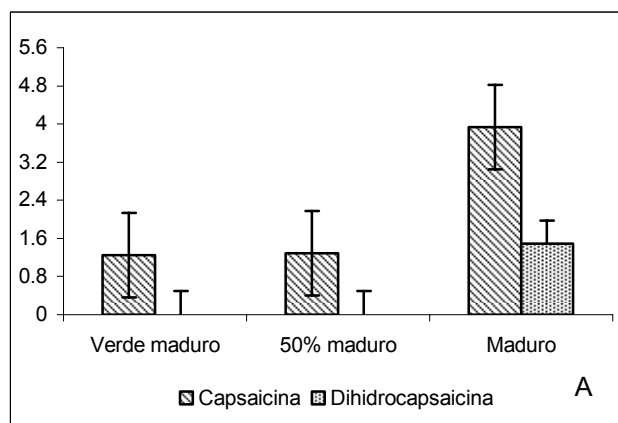
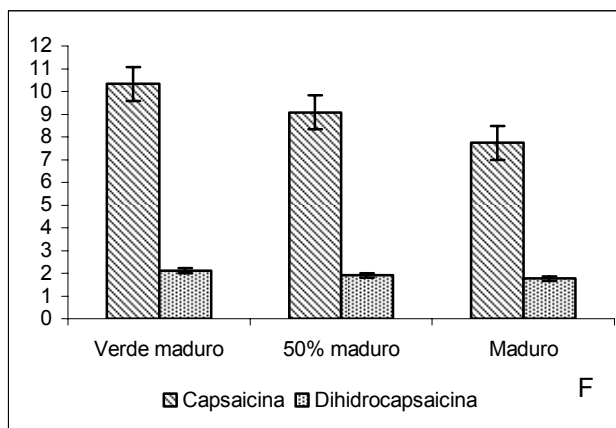
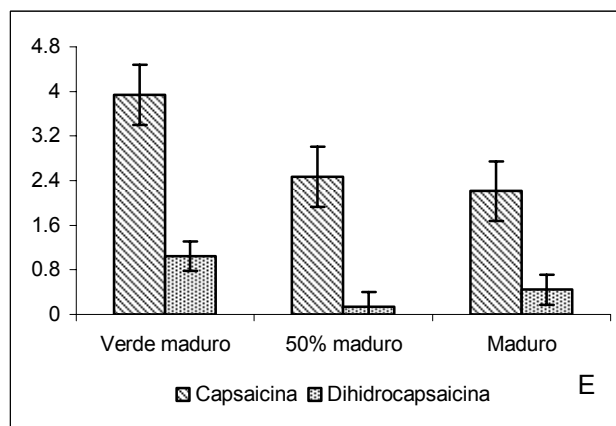
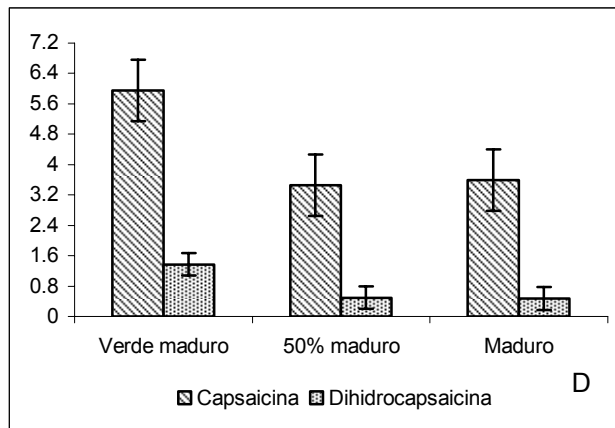


Figura 2 - Capsaicina (mg.gMS<sup>-1</sup>) e dihidrocapsaicina (mg.gMS<sup>-1</sup>) em frutos picantes de *C. chinense* em três estádios de amadurecimento. A- BGH 1716 (17), B- BGH 4289 (44), C- BGH 4733 (54), D- BGH 5012 (72), E- BGH 6228 (79) e F- BGH 7295 (101). As barras verticais significam o erro padrão da média.



Cont. Figura 2



O comportamento do acesso BGH 1716 (17) permite sugerir que possa haver diferenças entre espécies e variedades quanto ao padrão de amadurecimento dos frutos devido. Esta variação pode estar associada a fatores genéticos intrínsecos aos genótipos avaliados e, portanto, pode ser útil na busca de genótipos em que o amadurecimento acarrete acúmulo nos capsacinóides.

As maiores concentrações de capsaicina foram observadas em frutos do acesso BGH 7295 (101) enquanto a dihidrocapsaicina foi encontrada em maior quantidade no acesso BGH 4289 (44), 10,33 mg.gMS<sup>-1</sup> e 4,03 mg.gMS<sup>-1</sup>, respectivamente. Além do que o acesso BGH 7295 (101) teve as maiores concentrações de capsacinóides totais.

Genótipos com altos teores de capsacinóides são desejáveis pela indústria alimentícia para a produção de molhos e condimentos. Além disso, devido às propriedades medicinais os capsacinóides também são importantes na indústria farmacêutica.

Em relação às enzimas peroxidases, foi observado aumento na atividade das mesmas ao longo do amadurecimento dos frutos de acessos picantes. Este aumento coincidiu com o declínio das quantidades de capsaicina e dihidrocapsaicina encontradas nos frutos (Figura 3). Estão resultados estão de acordo com os descritos por Bernal et al. (1993) e Contreras-Padilla e Yahia (1998). A relação inversa entre acúmulo de capsacinóides e atividade das peroxidases tem sido reportada por diversos autores e indica que tais enzimas atuam na oxidação destas substâncias. Esta conclusão é corroborada pela localização vacuolar da enzima e dos capsacinóides, em especial da

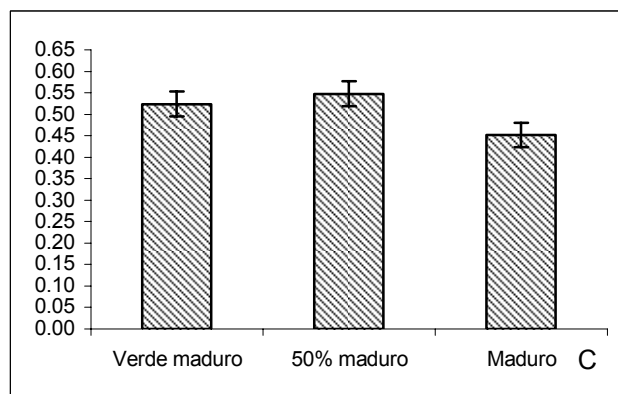
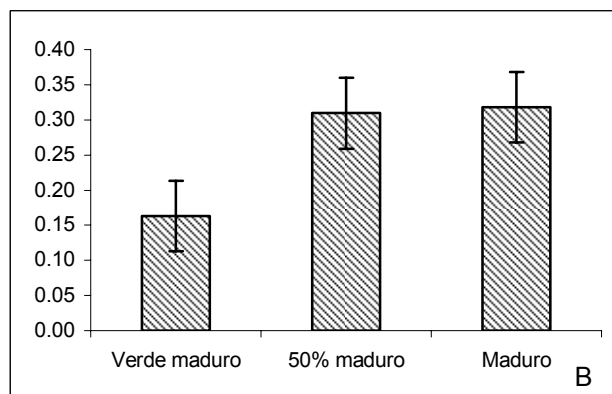
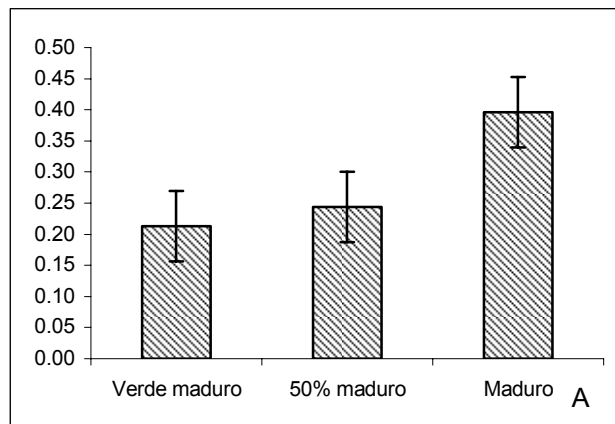
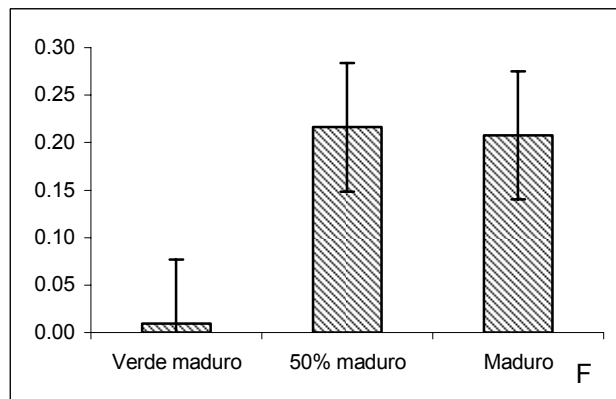
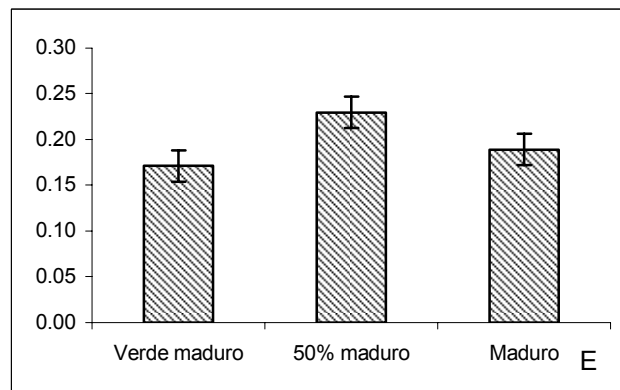
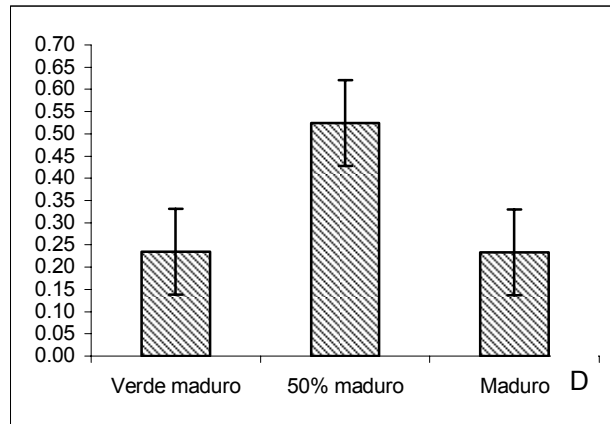


Figura 3 - Atividade da enzima peroxidase ( $\Delta \text{ABS} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{gMF}^{-1}$ ) em frutos picantes de *C. chinense* em três estádios de amadurecimento. A- BGH 1716 (17), B- BGH 4289 (44), C - BGH 4733 (54), D- BGH 5012 (72), E- BGH 6228 (79) e F- BGH 7295 (101).



Cont. Figura 3

Peroxidase  $B_6$  que oxida também alguns precursores destes compostos (Bernal et al., 1995).

Comportamento semelhante foi observado na atividade das peroxidases em frutos de três dos cinco acessos doces avaliados: BGH 4223 (39), BGH 6233 (85) e BGH 6378 (98) (Figura 4). Estes resultados concordam com os observados por Biles et al. (1997) ao caracterizarem peroxidases de frutos de *Capsicum*. Estes autores inferiram que o amadurecimento acarreta aumento na atividade destas enzimas, assim como acontece em outros frutos durante este processo. O aumento na atividade das peroxidases durante o amadurecimento de frutos de *Capsicum* tem sido reportado também por outros autores (Bernal et al., 1993; Contreras-Padilla e Yahia, 1998).

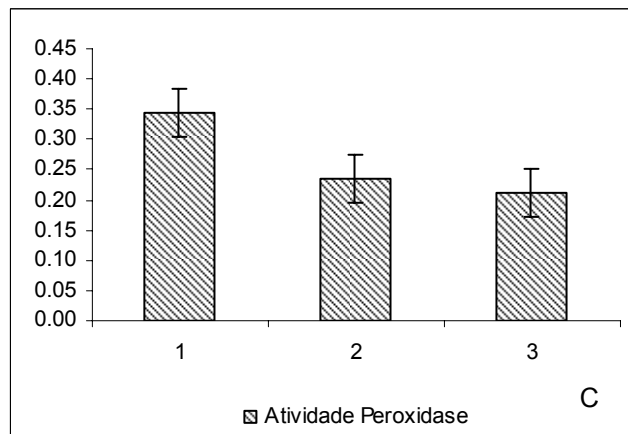
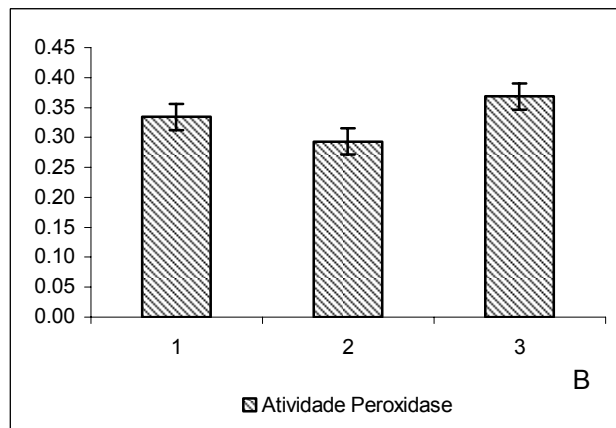
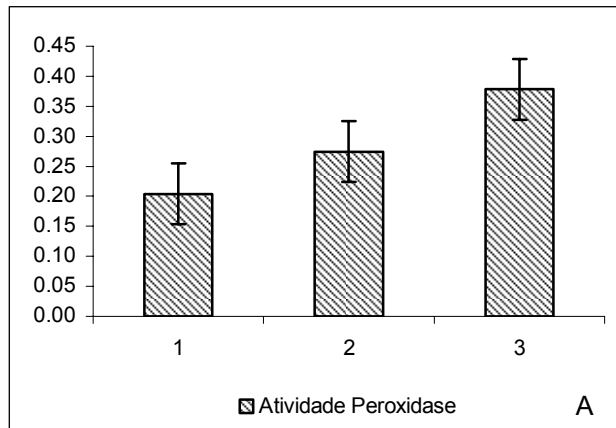
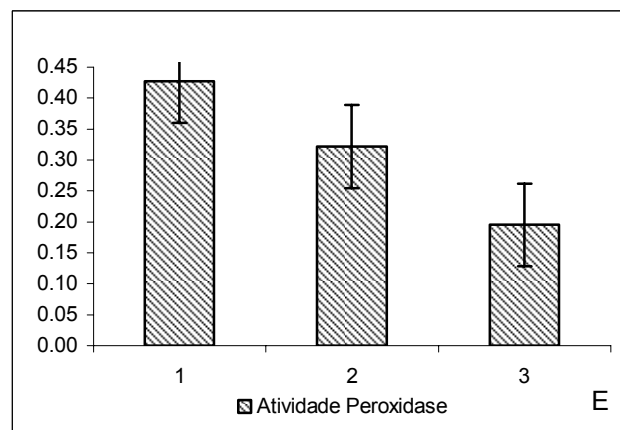
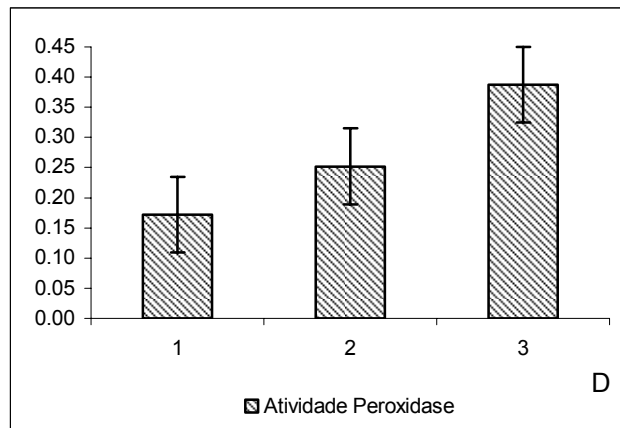


Figura 4- Atividade da enzima peroxidase ( $\Delta$  ABS.min<sup>-1</sup>.gMF<sup>-1</sup>) em frutos doces de *C. chinense* em três estádios de amadurecimento. A- BGH 1716 (16), B- BGH 4201 (32), C- BGH 4223 (39), D- BGH 6233 (85) e E- BGH 6378 (98). As barras verticais significam o erro padrão da média.



Cont. Figura 4

#### **4. CONCLUSÕES**

Os maiores teores de capsaicina e dihidrocapsaicina são observados em frutos verde maduros para a maioria dos acessos picantes, ocorrendo decréscimo com o amadurecimento.

A atividade das enzimas peroxidases aumenta com o amadurecimento dos frutos tanto em frutos picantes quanto nos não pungentes. Sendo que nos frutos pungentes as peroxidases podem estar relacionadas ao catabolismo da capsaicina e da dihidrocapsaicina.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNAL, M.A.; CALDERÓN, A.A.; PEDREÑO, M.A.; MUÑOZ, R.; BARCELÓ, A.R.; CÁCERES, F.M. Capsaicin oxidation by peroxidase from *Capsicum annuum* (Var. *annuum*) fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.41, p.1041-1044, 1993.

BILES, C.L.; KUEHN, G.D.; WALL, M.M.; BRUTON, B.D.; WANN, E.V. Characterization of chile pepper fruit peroxidases during ripening. **Plant Physiology Biochemistry**, v.35, p.273-280, 1997.

BLUM, E.; LIU, K.; MAZOUREK, M.; YOO, E.Y.; JAHN, M.; PARAN, I. Molecular mapping of the *C* locus for presence of pungency in *Capsicum*. **Genome**, v.45, p.702-705, 2002.



BLUM, E.; MAZOUREK, M.; O'CONNELL, M.; CURRY, J.; THORUP, T.; LIU, K.; JAHN, M.; PARAN, I. Molecular mapping of capsaicinoid content in *Capsicum*. **Theoretical and Applied Genetics**, v.108, p.79-86, 2003.

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

BOSLAND, P.W.; VOTAVA, E.J. **Peppers: vegetable and spice capsicums**, CABI Publishing. 1999. 204p.

CASALI, V.W.D., COUTO, F.A.A. Origem e Botânica de *Capsicum*. **Informe Agropecuário**, v.10, p.8-10, 1984.

CONTRERAS-PADILLA, M.; YAHIA, E.M. Changes in capsaicinoids during development, maturation and senescence of chile peppers and relation with peroxidases activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p.2075-2079, 1998.

DÍAZ, J.; POMAR, F.; BERNAL, A.; MERINO, F. Peroxidases and the metabolism of capsaicin in *Capsicum annuum* L. **Phytochemistry Reviews**, v.3, p.141-157, 2004.

ESTRADA, B.; POMAR, F.; DÍAZ, J.; MERINO, F.; BERNAL, M.A. Effects of mineral fertilizer supplementation on fruit development and pungency in Padrón peppers. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v.73, p.493-497, 1998.

ESTRADA, B.; DÍAZ, J.; MERINO, F.; BERNAL, M.A. The effect of seasonal changes on the pungency level of Padrón peppers fruits. **Capsicum and Eggplant Newsletter**, v.18, p.28-31, 1999a.

ESTRADA, B.; POMAR, F.; DÍAZ, J.; MERINO, F.; BERNAL, M.A. Pungency level in fruits of the Padrón pepper with different water supply. **Scientia Horticulturae**, v.81, p.385-396, 1999b.

KIRSCHBAUM-TITZE, P.; HIEPLER, C; MUELLER-SEITZ, E.; PETZ, M. Pungency in paprika (*Capsicum annuum*). 1. Decrease of capsaicinoid content following cellular disruption. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.50, p. 1260 - 1263, 2002.

MAILLARD, M. N.; GIAMPAOLI, P.; RICHARD, H. J.; Analysis of eleven capsaicinoids by reversed-phase high performance liquid chromatography. **Flavour and Fragrance Journal**, v.12, p.409-413, 1997.

REIFSCHNEIDER, F.J.B. ***Capsicum* Pimentas e Pimentões no Brasil.**

Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia/

Embrapa Hortaliças, 2000. 113p.

TENKSBURY, J.J.; MANCHEGO, C.; HAAK, D.C.; LEVEY, D.J. Where the

chili get spice? Biogeography of capsaicinoid production in ancestral wild

chili species. **Journal of Chemical Ecology**, v.32, p.547-654, 2006.