



THIAGO MATOS ANDRADE

**PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FRUTOS DE
HÍBRIDOS DE TOMATEIRO RICOS EM
BETACAROTENO**

LAVRAS-MG

2013

THIAGO MATOS ANDRADE

**PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FRUTOS DE HÍBRIDOS DE
TOMATEIRO RICOS EM BETACAROTENO**

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**

Andrade, Thiago Matos.

Produção e qualidade de frutos de híbridos de tomateiro ricos em
betacaroteno / Thiago Matos Andrade. – Lavras : UFLA, 2013.
66 p. : il.

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

Orientador: Wilson Roberto Maluf.

Bibliografia.

1. *Solanum lycopersicum*. 2. Tomate - Licopeno. 3. Tomate -
Betacaroteno. 4. Tomate – Coloração. 5. Tomate - Melhoramento
genético. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 635.64223

THIAGO MATOS ANDRADE

**PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FRUTOS DE HÍBRIDOS DE
TOMATEIRO RICOS EM BETACAROTENO**

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 02 de setembro de 2013.

| | |
|------------------------------------|------|
| Dr. Arie Fitzgerald Blank | UFS |
| Dr. Douglas Willian Nogueira | UFLA |
| Dr. Cesar Augusto Ticona Benavente | UFLA |
| Dra. Luciane Vilela Resende | UFLA |

Dr. Wilson Roberto Maluf
Orientador

**LAVRAS-MG
2013**

*Aos meus pais Rosimeire (In Memoriam) e Edinaldo e
aos meus irmãos Cleide e Diego,*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Agricultura, pela oportunidade de realização do Doutorado.

À FAPEMIG, ao CNPq e à CAPES pelo auxílio financeiro e concessão de bolsas; à UFLA e HortiAgro Sementes S. A. pela infraestrutura.

Ao meu orientador Prof. Wilson Roberto Maluf pelo apoio e compreensão constantes e pelo exemplo.

Aos professores do Departamento de Agricultura, exemplos de caráter e profissionalismo, a constante disponibilidade e a contribuição em minha formação profissional e pessoal.

Aos membros da banca examinadora Dr. Arie Fitzgerald Blank, Dr. Douglas Willian Nogueira, Dr. Cesar Banavente e Luciane Vilela Resende pela participação e colaboração na tese.

Aos meus eternos “mestres”, Arie Fitzgerald Blank e Renata Silva-Mann, por terem me ensinado a amar o que faço, pelo incentivo e acima de tudo pela amizade.

Aos orientados do Prof. Maluf (em especial Celso, André, Marcela) pelos momentos juntos, pelas disciplinas compartilhadas e pelo grande apoio no experimento.

Aos meus pais, Edinaldo e Rosimeire (*In Memoriam*), por me apoiarem sempre e por me amarem tanto.

Aos meus irmãos (Cleide e Diego) pelo companheirismo e pela força. Aos meus amigos que nunca faltaram e pelos bons momentos.

Aos amigos de todas as horas; André Carioca, Paulo, Antônio, Zinho e Heloisa Oliveira, pela paciência, amizade, carinho e companheirismo em todos os momentos.

A Anita Cristina, pela paciência, carinho e companheirismo em todos os momentos.

A todos que contribuíram com esta realização pessoal e profissional.

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho verificar o efeito dos genes mutantes *high-beta* (*B*), *old gold crimson* (*og^c*), *high pigment* (*hp*) e *tangerine* (*t*) na coloração como também o potencial agrônomico e nutracêutico de híbridos de tomateiro ricos em betacaroteno. Duas linhagens (TOM-498 e TOM-499) de constituição genotípica *B/B* (homozigóticas *high-beta*) foram utilizadas em combinações híbridas com 7 linhagens de frutos com diferentes constituições genotípicas nos locos *og^c*, *hp* ou *t* – Floradade; TOM-596 (*og^c/og^c*), TOM-544 (*og^c/og^c hp/hp*), NC-8276, NC-2Y (*t/t*), Florida 7775 (*og^c/og^c*), Florida 7781 (*og^c/og^c*). Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com 24 tratamentos (14 híbridos, 9 linhagens parentais e o híbrido comercial Giselle F1) e quatro repetições. A coloração interna e externa dos frutos foi determinada por meio do colorímetro Minolta CR-400 no modo CIE L*, a* e b*. As leituras foram realizadas em quatro pontos distintos (epiderme, pericarpo, placenta e columela). Foram calculados o ângulo cromaticidade e a saturação. As características de produção avaliadas foram: produção precoce, produção total, massa média de frutos, formato e altura de plantas e as de qualidade de frutos foram avaliadas a conservação pós-colheita (dias para firmeza 2x10⁴ N.m-2) e o teor de vitamina C. Nos híbridos *high-beta* heterozigotos, a coloração básica indicada pelo ângulo de cromaticidade continua alaranjada, uma vez que esses híbridos não chegaram a igualar-se aos genótipos de coloração normal (vermelha), nem mesmo quando se empregam em heterozigose genes que pudessem promover síntese de licopeno. Frutos de genótipos *high-beta* heterozigóticos, não portadores de *t*, *og^c* ou *hp*, tiveram saturações cromáticas em todo parecidas com frutos de genótipos *high-beta* homozigóticos. Os genótipos homozigóticos *og^c* não diferiram dos genótipos normais quanto aos ângulos de cromaticidade na epiderme e pericarpo, mas mostraram um desvio significativo em direção ao vermelho na placenta e na columela. O emprego do alelo *og^c* em heterozigose promoveu maior saturação cromática em híbridos *high-beta* heterozigotos dele portadores, relativamente aos valores encontrados em híbridos *high-beta* heterozigotos não portadores. Os híbridos com melhor desempenho tanto agrônomico quanto nutracêutico: F1(FLORIDA-7775 X TOM-499), F1(NC-2Y X TOM-499), F1(TOM-544 X TOM-498) e F1(TOM-596 X TOM-498), esses foram tão bons ou superiores agronomicamente aos disponíveis no mercado, com maior conservação pós-colheita e teor de vitamina C, além de serem ricos em betacaroteno. O emprego do *og^c* heterozigoto sozinho afetou favoravelmente os híbridos heterozigoto *high-beta* na produção precoce, na conservação pós-colheita e no teor de vitamina C. Para a massa média de frutos, o *og^c* heterozigoto sozinho ou em combinação com *hp* heterozigoto afetou negativamente os híbridos heterozigotos *high-beta*. Os alelos *og^c* heterozigoto com *hp* heterozigoto promoveram uma redução no teor de vitamina

C nos híbridos. Não foi observado efeito do *og^f* heterozigoto sozinho ou em combinação com *hp* heterozigoto na produção total de frutos e na altura das plantas dos híbridos.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*. Alimento enriquecido. Licopeno. Betacaroteno. Coloração. Melhoramento genético.

ABSTRACT

The objective of this work was to assess the effect of the mutant genes *B*, *og^c*, *hp* and *t* on fruit color, as well as on the horticultural and nutraceutical potential of beta-carotene enriched tomato hybrids. Two tomato lines (TOM-498 e TOM-499) with genotype *BB* (high-beta homozygous) were used in hybrid combinations with 7 tomato lines with different genotypic constitutions in loci *og^c*, *hp* or *t* – Floradade; TOM-596 (*og^c/og^c*), TOM-544 (*og^c/og^c hp/hp*), NC-8276, NC-2Y (*t/t*), Florida 7775 (*og^c/og^c*), Florida 7781 (*og^c/og^c*). A randomized complete block design with 24 treatments (14 hybrids, their 9 parental lines, plus the commercial check Giselle F1) and four replications. Both external and internal fruit color were assessed with a Minolta CR-400 color meter in the CIE *L**, *a**, *b** mode. Hue and chroma readings were taken at four different points (epidermis, pericarp, placenta and columella) of the fruit. For hybrids high-beta heterozygous *B⁺/B*, hue angle indicated an orange color, even when genes promoting lycopene synthesis (*og^c*, *hp*) were deployed as heterozygous genotypes. Fruit of high-beta heterozygous hybrids, without *t*, *og^c* or *hp*, had chroma values similar to fruit of high-beta homozygous lines. Deployment of *og^c* as a heterozygous led to higher chroma of high-beta heterozygous genotypes, relatively to high-beta heterozygous genotypes not bearing the *og^c* gene. The *og^c* homozygous lines had hue values that did not differ from those in normal genotypes at the epidermis and pericarp, but showed a significant shift towards red in the placenta and in the columella. Yield-related traits assessed were early yield, total yield, mean fruit mass, fruit shape and plant height. Fruit quality-related traits included shelf life (days to firmness = $2 \times 2 \times 10^4$ N.m⁻²) and vitamin C content. For hybrids high-beta heterozygous *B⁺/B*, hue angle indicated an orange color, even when genes promoting lycopene synthesis (*og^c*, *hp*) were deployed as heterozygous genotypes. Fruit of high-beta heterozygous hybrids, without *t*, *og^c* or *hp*, had chroma values similar to fruit of high-beta homozygous lines. Deployment of *og^c* as a heterozygous led to higher chroma of high-beta heterozygous genotypes, relatively to high-beta heterozygous genotypes not bearing the *og^c* gene. The *og^c* homozygous lines had hue values that did not differ from those in normal genotypes at the epidermis and pericarp, but showed a significant shift towards red in the placenta and in the columella. F1(FLORIDA-7775 X TOM-499), F1(NC-2Y X TOM-499), F1(TOM-544 X TOM-498) and F1(TOM-596 X TOM-498) were the hybrids with overall best performances for horticultural and nutraceutical traits; they were agronomically equal to or better than the current hybrids in the market, and had superior shelf-life and vitamin C, besides being rich in beta-carotene; their mean fruit mass was, however, lower than the Giselle check. Deployment of heterozygous *og^c* singly did favorably affect early yield, shelf life and vitamin C content of heterozygous high-beta hybrids. However, heterozygous *og^c* genotype either

alone or in combination with heterozygous *hp* did negatively affect mean fruit mass of heterozygous high-beta hybrids. The genotypic combination heterozygous *og^c* plus heterozygous *hp* decreased vitamin C in the hybrids. There was no effect of the heterozygous *og^c* genotype alone or in combination with heterozygous *hp* in total yield or in plant height.

Keywords: *Solanum lycopersicum*. Enriched food. Lycopene. Beta-carotene. Plant breeding.

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 Linhagens utilizadas e suas respectivas descrições. UFLA, Lavras-MG | 37 |
| Quadro 2 Descrição dos tratamentos. UFLA, Lavras-MG | 39 |
| Quadro 3 Contrastes de interesse usados para comparações entre genótipos e/ou grupo de genótipos com diferentes constituições genótípicas nos locos <i>B</i> , <i>og^c</i> , <i>hp</i> e <i>t</i> . UFLA, Lavras..... | 42 |
| Quadro 4 Linhagens a serem utilizadas e suas respectivas descrições..... | 64 |
| Quadro 5 Descrição dos tratamentos. UFLA, Lavras, MG | 66 |
| Quadro 6 Contrastes de interesse usados para avaliação dos efeitos dos locos <i>og^c</i> e <i>hp</i> para as características de produção e de qualidade de frutos de tomate. UFLA, Lavras, MG..... | 70 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 Valores médios do Ângulo de cromaticidade (°Graus) para epiderme, pericarpo, placenta e columela em frutos de tomate. UFLA, Lavras-MG | 49 |
| Tabela 2 Estimativas de contrastes de interesse para ângulo de cromaticidade da epiderme, pericarpo, placenta e columela de frutos de tomate. UFLA, Lavras-MG | 50 |
| Tabela 3 Valores médios do Croma para epiderme, pericarpo, placenta e columela em frutos de tomate. UFLA, Lavras- MG | 51 |
| Tabela 4 Estimativas de contrastes de interesse para Croma da epiderme, pericarpo, placenta e columela de frutos de tomate. UFLA, Lavras-MG | 52 |
| Tabela 5 Valores médios de produtividade precoce ($t.ha^{-1}$), produtividade total ($t.ha^{-1}$), massa média de fruto ($g.fruto^{-1}$), formato ($H.D^{-1}$) e altura de plantas (cm) em tomate. UFLA, Lavras, MG..... | 78 |
| Tabela 6 Estimativas de contrastes de interesse produtividade precoce ($t.ha^{-1}$), produtividade total ($t.ha^{-1}$), massa média de fruto ($g.fruto^{-1}$), formato ($H.D^{-1}$) e altura de plantas (cm) de tomate. UFLA, Lavras, MG..... | 79 |
| Tabela 7 Valores médios de dias para firmeza $2.10^4.N.m^{-2}$ (dias) e Vitamina C ($mg.100.g^{-1}$) em tomate. UFLA. Lavras. MG..... | 79 |
| Tabela 8 Estimativas de contrastes de interesse de dias para firmeza $2.10^4.N.m^{-2}$ (dias) e Vitamina C ($mg.100.g^{-1}$) de frutos de tomate. UFLA, Lavras, MG..... | 80 |
| Tabela 9 Análise de variância para ângulo de cromaticidade para epiderme, pericarpo, placenta e columela em tomate, UFLA, Lavras-MG..... | 87 |
| Tabela 10 Análise de para saturação para epiderme, pericarpo, placenta e columela em tomate, UFLA, Lavras-MG | 87 |

| | |
|---|----|
| Tabela 11 Análise de variância para as características agronômicas produtividade precoce, produtividade total, massa média de frutos, formato e altura de plantas em tomate, UFLA, Lavras-MG..... | 87 |
| Tabela 12 Análise de variância para as características de qualidade de frutos firmeza e vitamina C em tomate, UFLA, Lavras-MG | 88 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO 1 | 16 |
| 1 INTRODUÇÃO GERAL | 16 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 18 |
| REFERÊNCIAS | 24 |
| CAPÍTULO 2 | 29 |
| Efeito dos genes mutantes <i>b</i>, <i>og^c</i>, <i>hp</i> e <i>t</i> na coloração dos frutos em híbridos de tomate | 29 |
| 1 INTRODUÇÃO | 32 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS | 36 |
| 2.1 Local de condução dos experimentos | 36 |
| 2.2 Material vegetal | 36 |
| 2.3 Obtenção de híbridos potencialmente ricos em betacaroteno | 38 |
| 2.4 Condução do experimento | 40 |
| 2.5 Coloração do fruto | 40 |
| 2.5 Análise de dados | 41 |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 43 |
| 4 CONCLUSÕES | 53 |
| 5 AGRADECIMENTOS | 54 |
| REFERÊNCIAS | 55 |
| CAPÍTULO 3 | 58 |
| Características de produção e de qualidade de frutos de híbridos de tomateiro ricos em betacaroteno | 58 |
| 1 INTRODUÇÃO | 61 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS | 63 |
| 2.1 Local de condução dos experimentos | 63 |
| 2.2 Material vegetal | 63 |
| 2.3 Obtenção de híbridos | 65 |

| | | |
|------------|--------------------------------------|----|
| 2.4 | Condução do experimento | 67 |
| 2.5 | Análise de dados | 69 |
| 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 71 |
| 4 | CONCLUSÕES | 81 |
| 5 | AGRADECIMENTOS | 82 |
| | REFERÊNCIAS | 83 |
| | ANEXOS | 86 |
| | ANEXO 1 | 87 |

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

O tomate (*Solanum lycopersicum*), amplamente consumido tanto *in natura* quanto processado, é uma das principais fontes de antioxidantes na dieta humana. O desenvolvimento de cultivares mais ricas em compostos funcionais como os carotenoides tem sido focado em estudos de melhoramento genético de hortaliças, particularmente no tomateiro, espécie para a qual estão descritos mutantes que podem aumentar substancialmente o teor de carotenoides nos frutos. Outros atributos têm despertado o interesse de vários pesquisadores, como cultivares com maior vida de prateleira, obtidas por meio do uso de alelos mutantes que influenciam o amadurecimento do tomate.

Existem diversos genes mutantes para teor e tipo de carotenoides em tomate. Dentre esses, destacam-se o mutante *B* (=high-beta), (que pode aumentar significativamente o teor de betacaroteno, tornando os frutos de cor alaranjada, quando maduros), o gene mutante *tangerine* (*t*), (com o qual os frutos acumulem zeta-caroteno e prolicopeno, apresentando coloração amarela) e os mutantes *og^c* (=old-gold crimson) e *hp* (*high pigment*), (que aumentam o teor de licopeno e conferem ao fruto uma intensificação da cor vermelha usual).

Um importante atributo da qualidade de frutos para consumo *in natura* e para o processamento é a firmeza, que está relacionada com a duração e a capacidade de armazenamento, a chamada vida de prateleira. Assim como outros frutos e hortaliças, o tomate também é uma importante fonte de ácido ascórbico, conhecido como vitamina C e vitamina antiescorbútica.

A obtenção de cultivares de tomateiro cujos frutos possuam maior valor nutracêutico, com maiores teores de betacaroteno e licopeno nos frutos, é de

grande importância, uma vez que cultivares com essas características são atualmente raras no mercado brasileiro. Todavia, como frutos de tomates *high-beta* são de coloração alaranjada, eles podem não ter uma boa aceitação pelo consumidor. Na tentativa de melhoria da coloração final em direção do vermelho padrão, combinações de *B* com *og^c* e *hp* podem ser uma alternativa na melhoria da coloração, já que esses últimos genes intensificam a coloração vermelha nos frutos de tomate.

Nesse contexto, objetivou-se com este trabalho verificar o efeito dos genes mutantes *B*, *og^c*, *hp* e *t* na coloração dos frutos de híbridos de tomateiro ricos em betacaroteno como também o potencial agrônomico e nutracêutico desses híbridos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O tomateiro é originário da parte ocidental das Américas Central e Sul, tem como centro de origem países andinos como Peru, Bolívia e o Equador, onde ainda hoje são encontradas numerosas espécies selvagens em sua forma primitiva, inclusive formas selvagens de tomate-cereja (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) considerado por diversos autores como o ancestral mais próximo dos genótipos tradicionalmente plantados (JENKINS, 1948; RICK, 1995; TAYLOR, 1986).

A espécie desenvolve-se bem em clima tropical de altitude, ou subtropical, fresco e seco, com alta luminosidade. Não tolera temperaturas elevadas, sendo seu cultivo problemático em clima tropical úmido. As plantas são tipicamente autógamas, com baixa porcentagem de polinização cruzada, que quando ocorre é resultado da ação de insetos polinizadores (GIORDANO; SILVA, 2000).

A produção de tomate no Brasil, em 2012 foi, de aproximadamente 4 milhões de toneladas, com rendimento médio de 63 ton.ha⁻¹, sendo 65% destinados ao consumo “*in natura*” e 35% ao processamento industrial (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2012). É considerada uma cultura de alto risco, por apresentar custo de produção elevado e suscetibilidade a diversas pragas e doenças.

O mercado é formado por duas cadeias produtivas distintas, caracterizadas pelos segmentos de mesa, com frutos destinados para o consumo *in natura*, e de indústria, com frutos destinados ao processamento. No segmento de mesa, o formato e o tamanho dos frutos definem os tipos varietais, sendo aceitos cinco segmentos principais, que são: santa cruz, salada, caqui, italiano e cereja (NASCIMENTO, 2011).

A cadeia produtiva de tomate tem relevância econômica no agronegócio brasileiro, pois movimentada, anualmente, mais de R\$2 bilhões (cerca de 16% do PIB gerado pela produção de hortaliças no Brasil). Aliado a isso, o cultivo do tomateiro tem sido uma importante fonte de emprego e renda, ao longo de toda sua cadeia produtiva (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS - ABCSEM, 2010).

O tomate é amplamente consumido tanto *in natura* quanto processado, é uma das principais fontes de antioxidantes na dieta humana. As cores dos frutos maduros do tomateiro podem variar do vermelho intenso ao vermelho-alaranjado ao amarelo, dependendo da razão licopeno/betacaroteno (BOTELLA-PAÍVA; RODRÍGUEZ-CONCEPCIÓN, 2006). Esses dois carotenoides têm funções importantes na alimentação; o licopeno é um potente antioxidante na prevenção da carcinogênese e aterogênese; já o betacaroteno é o metabólito vegetal mais importante como fonte de vitamina A e na prevenção do câncer (AGARWAL; RAO, 2000; THURNHAM, 2007).

O desenvolvimento de cultivares mais ricas em compostos funcionais como os carotenoides tem sido focado em estudos de melhoramento genético de hortaliças, particularmente no tomateiro, espécie para a qual estão descritos mutantes que podem aumentar substancialmente o teor de carotenoides nos frutos. Além disso, cultivares com maior vida de prateleira podem ser obtidas por meio do uso de alelos mutantes que influenciam o amadurecimento do tomate e afetam a coloração dos frutos têm despertado o interesse de vários pesquisadores (ARAÚJO et al., 2002; BENITES, 2003; CÁ, 2005).

O tomateiro apresenta diversos genes mutantes para teor e tipo de carotenoides. Dentre esses, destacam-se o mutante *B* (=high-beta), (que pode aumentar significativamente o teor de betacaroteno, tornando os frutos de cor alaranjada quando maduros) e os mutantes *og^c* (=old-gold crimson) e *hp* (high pigment), (que aumentam o teor de licopeno e conferem ao fruto uma

intensificação da cor vermelha usual) (ARAÚJO et al., 1997; GIORDANO; ARAGÃO; BOITEUX, 2003).

Alguns trabalhos têm demonstrado a possibilidade de utilização desses alelos mutantes no melhoramento do tomateiro, com a finalidade de incrementar o teor de carotenoides nos frutos e a conservação pós-colheita sem afetar as características de produção (ANDRADE JÚNIOR et al., 2005; ARAÚJO et al., 2002; DIAS et al., 2003; FARIA et al., 2003; FREITAS et al., 1998; SANTOS, 2012; SANTOS JÚNIOR, 2002; SOUZA et al., 2001). Essas características devem estar vinculadas, preferencialmente, a uma maior produtividade de frutos sem causarem efeitos indesejáveis no tamanho, formato dos frutos e porte das plantas.

O tomate vermelho maduro contém em geral maior quantidade de licopeno do que de betacaroteno, o que resulta na cor vermelha predominante. A razão licopeno/betacaroteno também está associada à presença da enzima *beta-ciclase*, a qual participa da transformação do licopeno em betacaroteno e pode ser afetada pela presença de mutantes de coloração e de amadurecimento (SHAMI; MOREIRA, 2004).

O gene mutante *hp* foi originalmente descrito como um mutante de herança monogênica, localizado no cromossomo 2 do genoma do tomateiro, capaz de incrementar a qualidade dos frutos, pela produção de altos níveis de carotenoides em frutos maduros de tomate, predominando o licopeno e o betacaroteno (THOMPSON et al., 1962). No entanto, em homozigose dominante, o gene mutante *hp* promove redução no crescimento da planta (ARAÚJO et al., 2002; JARRET; SAYAMA; TIGCHELAAR, 1984). Os efeitos de *hp* nessa redução no crescimento devem-se à pleiotropia, o que significa que esses efeitos estarão sempre associados aos materiais genéticos contendo o alelo *hp* em homozigose (dominante) (JARRET; SAYAMA; TIGCHELAAR, 1984). Frutos com os genes mutantes homozigotos *high pigment* apresentam

pigmentação mais intensa, comparativamente aos frutos de genótipo normal, em todos os estádios de desenvolvimento.

O gene *og^c* é um mutante recessivo que confere coloração vermelha intensa à polpa de frutos (THOMPSON et al., 1967). Apresenta ação pleiotrópica, conferindo fenótipo alaranjado às pétalas. Foram relatados conteúdos de licopeno cerca de 75% do teor total de carotenoides mais elevados que o normal em frutos mutantes homozigotos *og^c* (*og^c/og^c*), porém, com redução do betacaroteno, principalmente na região locular dos frutos (THOMPSON et al., 1965). A utilização de cultivares homozigóticas para os alelos *og^c* e *hp*, além de intensificar a coloração vermelha dos frutos devido ao aumento do teor de licopeno, prolongou a vida de prateleira dos mesmos; no entanto, o efeito mais pronunciado desses alelos não é sobre a maior conservação pós-colheita dos frutos e sim na coloração interna do fruto (LAMPE; WATADA, 1971).

Sayama (1979), estudando os efeitos dos alelos *hp* e *og^c* em homozigose, observou que o alelo *og^c* aumentou a intensidade de coloração sem interferir em outras características, e que o alelo *hp* aumentou a coloração, o pH, a viscosidade, a firmeza e o conteúdo de vitamina C, porém, reduziu o teor de sólidos solúveis e acidez titulável. Araújo et al. (2002) descreveram que os mutantes *og^c* e *hp*, em *background* Floradade, isolados ou combinados entre si, tanto em homozigose quanto em heterozigose, proporcionaram incrementos significativos sobre a coloração interna e externa, bem como sobre os teores de betacaroteno de frutos heterozigotos para o alelo alcobaça (*nor⁺/nor^A*).

Outro gene mutante que interfere na coloração dos frutos de tomate é o *tangerine* (*t*). Frutos com esse alelo mutante acumulam zeta-caroteno e prolicopeno, em vez de licopeno (ISAACSON et al., 2002) e, portanto, apresentam coloração amarela em frutos maduros. Um gene mutante que é responsável por elevar teores de betacaroteno é o mutante *B* ou *high-beta*.

Lincoln e Porter (1950), trabalhando com espécies de tomate com fruto laranja e vermelho concluíram que a herança do teor de betacaroteno é monogênica (gene *B*) com dominância parcial e verificaram também, que o uso gene *B* (*high-beta*) eleva o teor de betacaroteno. Tomes, Quackenbush e Mcquistan (1954) verificaram que variedades de tomates vermelhos antes com teor de 10% de betacaroteno, quando cruzadas com material *high-beta*, apresentaram em seus híbridos em média de 61% de teor de betacaroteno, e na geração F2 os valores mais baixos ficaram entre 20% a 30% e os mais elevados entre 70% e 80% de betacaroteno. Em um estudo sobre os mecanismos genéticos dos genes mutantes *B* e *og^c*, Ronen et al. (2000) verificaram que a mutação nula do gene *B* expressa o fenótipo de *og^c*, indicando que o gene *og^c* na verdade é um alelo do gene *B*.

Além da coloração, outro importante atributo da qualidade de frutos para consumo *in natura* e para o processamento é a firmeza, que está relacionada com a duração e a capacidade de armazenamento, a chamada vida de prateleira (AHRENS; HUBER, 1990). A firmeza pode ser função tanto do *background* genético como de alelos mutantes que atuam sobre o processo de amadurecimento (ANDRADE JÚNIOR, 2003; CÁ, 2005). A firmeza do tecido de cultivares normais de tomate diminui rapidamente após o estágio *breaker* (caracterizado pela quebra do estado verde dos frutos com o aparecimento de manchas levemente amareladas ou avermelhadas na região da cicatriz estilar) (HALL, 1987; SANTOS, 2012; SANTOS JÚNIOR et al., 2005; VECCHIA; KOCH, 2000).

Assim como outros frutos e hortaliças, o tomate é uma importante fonte de ácido ascórbico, também conhecido como vitamina C e vitamina antiescorbútica. O teor de ácido ascórbico geralmente decresce durante o armazenamento. Esse decréscimo depende, em grande parte, da duração e da temperatura desse armazenamento (CHEFTEL; CHEFTEL, 1992). Nos tomates, o conteúdo de ácido ascórbico varia de acordo com a cultivar e as condições de

cultivo, entre 14 e 44 mg.100 g⁻¹ (GAHLER; OTTO; BÖHM, 2003). De acordo com Luengo et al. (2000) nas cultivares de tomate do Brasil o valor médio de vitamina C encontrado é de 34,4 mg.100 g⁻¹.

A obtenção de cultivares de tomateiro cujos frutos possuam maior valor nutracêutico, com maiores teores de betacaroteno, licopeno e vitamina C nos frutos, é de grande importância, uma vez que cultivares com essas características são atualmente raras no mercado brasileiro. Todavia, como frutos de tomates *high-beta* são de coloração alaranjada, esses podem não ter uma boa aceitação pelo consumidor. Na tentativa de melhoria da coloração final em direção do vermelho padrão, combinações de *high-beta* com *og^c* e *hp* poderiam ser uma alternativa na melhoria da coloração, já que esses últimos genes intensificam a coloração vermelha nos frutos de tomate.

REFERÊNCIAS

AGARWAL, S.; RAO, A. V. Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. **Canadian Medical Association Journal**, Ottawa, v. 163, n. 6, p. 739-744, June 2000.

AHRENS, M. J.; HUBER, D. J. Physiology and firmness determination of ripening tomato fruit. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 78, n. 1, p. 8-14, Jan. 1990.

ANDRADE JÚNIOR, V. C. et al. Produção e qualidade de frutos de híbridos de tomateiro portadores de alelos mutantes de amadurecimento e coloração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 555-561, 2005.

ANDRADE JÚNIOR, V. C. **Produção e qualidade de frutos de híbridos de tomateiro quase isogênicos de tomateiros heterozigotos quanto a alelos mutantes de amadurecimento e de coloração**. 2003. 105 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

ARAÚJO, M. L. et al. Intra and interlocus interactions between *alcobaça* (*alc*), *old-gold crimson* (*ogc*) and *high pigment* (*hp*) loci in tomato *Lycopersicon esculentum* Mill. **Euphytica**, Wageningen, v. 125, n. 2, p. 215-225, Feb. 2002.

ARAÚJO, M. L. **Interações intra-loco e inter-locus *alcobaça*, *crimson* e *high pigment* sobre características de qualidade e de produção de frutos do tomateiro**. 1997. 131 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS. **Tomate lidera crescimento e lucratividade no setor de hortaliças**. 2010. Disponível em: <<http://www.abcsem.com.br/noticia.php?cod=284>>. Acesso em: 16 jul. 2013.

BENITES, F. R. G. **Estudos genético-fisiológicos dos mutantes *alcobaça* (*alc*), *non-ripening* (*nor*) e *ripening inhibitor* (*rin*) em tomateiro**. 2003. 106 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

BOTELLA-PAÍVA, P.; RODRÍGUEZ-CONCEPCIÓN, M. Carotenoid biotechnology in plants for nutritionally improved foods. **Physiology Plantarum**, Copenhagen, v. 126, n. 3, p. 369-431, Mar. 2006.

CÁ, J. A. **Obtenção de híbridos de tomate tipo longa vida com maior intensidade de coloração**. 2005. 77 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

CHEFTEL, J. C.; CHEFTEL, H. Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. 2. ed. **Zaragoza**: Acribia, 1992. v. 1, 333 p.

DIAS, T. J. M. et al. Alcobaça allele and genotypic backgrounds affect yield and fruit shelf life of tomato hybrids. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, p. 269-275, 2003.

FARIA, M. V. et al. Yield and post-harvest quality of tomato hybrids heterozygous at the loci alcobaça, old gold-crimson or high pigment. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 2, p. 317-327, 2003.

FREITAS, J. A. et al. Padrão de amadurecimento e conservação pós-colheita de frutos de tomateiro, em função das diferentes constituições genotípicas no loco alcobaça. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 10, p. 191-196, 1998.

GAHLER, S.; OTTO, K.; BÖHM, V. Alterations of vitamin C, total phenolics, and antioxidant capacity as affected by processing tomatoes to different products. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Easton, v. 51, n. 27, p. 7962-7968, Nov. 2003.

GIORDANO, L. B.; ARAGÃO, F. A. S.; BOITEUX, L. S. Melhoramento genético do tomateiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 24, p. 43-57, 2003.

GIORDANO, L. B.; SILVA, J. B. C. Clima e época de pantio. In: SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. (Ed.). **Tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa, 2000. 168 p.

HALL, C. B. Firmness of tomato tissue according to cultivar and ripeness. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 112, n. 1, p. 663-665, Nov. 1987.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.

Levantamento sistemático da produção agrícola. 2012. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201202.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2013.

ISAACSON, T. et al. Cloning of tangerine from tomato reveals a carotenoid isomerase essential for the production of β -carotene and xanthophylls in plants. **Plant Cell**, Rockville, v. 14, p. 333-342, Feb. 2002.

JARRET, R. L.; SAYAMA, H.; TIGCHELAAR, E. C. Pleiotropic effects associated with the chlorophyll intensifier mutations high pigment and dark green in tomato. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 109, n. 6, p. 873-878, Nov. 1984.

JENKINS, J. A. The origin of the cultivated tomato. **Economic Botany**, New York, v. 2, p. 379-392, 1948.

LAMPE, C.; WATADA, A. E. Pastharvest quality of high pigment and old-gold crimson tomato fruit. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 96, n. 4, p. 534-535, July 1971.

LINCOLN, R. E.; PORTER, J. W. Inheritance of beta-carotene in tomatoes. **Genetics**, Austin, v. 35, p. 206-21, 1950.

LUENGO, R. F. A. et al. **Tabela de composição nutricional das hortaliças.** Brasília: EMBRAPA Hortaliças, 2000. 4 p. (Documentos, 26).

NASCIMENTO, I. R. Cresce a demanda por mini tomate italiano. **Revista Campo & Negócios HF**, Uberlândia, v. 70, p. 42-43, mar. 2011.

RICK, C. M. Tomato: *Lycopersicon esculentum* (Solanaceae) In: SMARTT, J.; SIMMONDS, N. W. (Ed.) **Evolution of crop plants.** Harlow: Longman Scientific & Technical, 1995. p. 452-457.

RONEN, G. et al. An alternative pathway to β -carotene formation in plant chromoplasts discovered by map-based cloning of Beta and old-gold color mutations in tomato. **Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America**, Washington, v. 97, n. 20, Sept. 2000. Disponível em: <<http://www.pnas.org/content/97/20/11102.full>>. Acesso em: 22 jan. 2013.

SANTOS JÚNIOR, A. M. et al. Produção, qualidade e conservação de tomates heterozigotos nos locos alcobaça, nonripening e ripening inhibitor. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1203-1210, 2005.

SANTOS JÚNIOR, A. M. **Produtividade, qualidade e conservação de frutos de híbridos de tomateiro heterozigotos nos locos alcobaça, non ripening e ripening inhibitor**. 2002. 85 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

SANTOS, D. C. **Obtenção de híbridos de tomate tipo longa vida com maior intensidade de coloração**. 2012. 99 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

SAYAMA, H. **Morphological and physiological effects associated with the old-gold crimson (ogc), high pigment (hp) and other chlorophyll intensifier genes in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.)**. 1979. 96 f. Dissertation (Master in Plant Science) - Purdue University, West Lafayette, 1979.

SHAMI, N. J.; MOREIRA, E. A. Licopeno como agente antioxidante. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 123-125, 2004.

SOUZA, J. C. et al. Características de produção e conservação pós-colheita de frutos de tomateiros híbridos portadores do alelo 'alcobaça'. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, p. 503-509, 2001.

TAYLOR, I. B. Biosystematics of the tomato. In: ATHERTON, J. G.; RUDICH, J. (Ed.). **The tomato crop: a scientific basis for improvement**. London: Chapman & Hall, 1986. p. 1-34.

THOMPSON, A. E. et al. Characterization of old-gold crimson tomato fruit color. **Proceeding American Society for Horticultural Science**, College Park, v. 86, n. 1, p. 610-616, July 1965.

THOMPSON, A. E. et al. Inheritance of crimson fruit color in tomatoes. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 91, p. 495-504, 1967.

THOMPSON, A. E.; HEPLER, R. W.; KER, E. A. Clarification of the inheritance of high total carotenoids pigments in the tomato. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 8, p. 434-442, 1962.

THURNHAM, D. I. Bioequivalence of b-carotene and retinol. **Journal of Science of Food and Agriculture**, London, v. 87, n. 1, p. 13-39, Feb. 2007.

TOMES, M. L.; QUACKENBUSH, F. W.; McQUISTAN, M. Modification and dominance of the gene governing formation of high concentrations of beta-carotene in the tomato. **Genetics**, Austin, v. 39, p. 810-817, 1954.

VECCHIA, P. T. D.; KOCH, P. S. Tomates longa vida: o que são, como foram desenvolvidos? **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.18, n.1, p. 3-4, 2000.

CAPÍTULO 2

Efeito dos genes mutantes *B*, *og^c*, *hp* e *t* na coloração dos frutos em híbridos de tomate

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho verificar o efeito dos genes mutantes *B*, *og^c*, *hp* e *t* na coloração dos frutos de híbridos de tomate. Duas linhagens (TOM-498 e TOM-499) de constituição genotípica B/B (homozigóticas *high-beta*) foram utilizadas em combinações híbridas com 7 linhagens de frutos com diferentes constituições genotípicas nos locos *og^c*, *hp* ou *t* – Floradade; TOM-596 (*og^c/og^c*), TOM-544 (*og^c/og^c hp/hp*), NC-8276, NC-2Y (*t/t*), Florida 7775 (*og^c/og^c*), Florida 7781 (*og^c/og^c*). Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com 24 tratamentos (14 híbridos, 9 linhagens parentais e mais o Giselle F1) e quatro repetições. A coloração externa e interna dos frutos foi determinada por meio do colorímetro Minolta CR-400 no modo CIE L^* , a^* e b^* . As leituras foram realizadas em quatro pontos distintos (epiderme, pericarpo, placenta e columela). Foram calculados o ângulo cromaticidade e a saturação. Nos híbridos *high-beta* heterozigotos, a coloração básica indicada pelo ângulo de cromaticidade é alaranjada, uma vez que esses híbridos não chegaram a igualar-se aos genótipos de coloração normal (vermelha), nem mesmo quando se empregam em heterozigose genes que pudessem promover síntese de licopeno. Frutos de genótipos *high-beta* heterozigóticos, não portadores de *tangerine*, *og^c* ou *hp*, tiveram saturações cromáticas em todo parecidas com frutos de genótipos *high-beta* homozigóticos. O emprego do alelo *og^c* em heterozigose promoveu maior saturação cromática em híbridos *high-beta* heterozigotos portadores dele, relativamente aos valores encontrados em híbridos *high-beta* heterozigotos não portadores de *og^c*. Os genótipos homozigóticos *og^c* não diferiram dos genótipos normais quanto aos ângulos de cromaticidade na epiderme e pericarpo, mas mostraram um desvio significativo em direção ao vermelho na placenta e na columela.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*. Alimento enriquecido. Licopeno. Betacaroteno. Melhoramento genético.

ABSTRACT

This work had the objective of assessing the effect of the mutant genes *B*, *og^c*, *hp* and *t* on fruit color of tomato hybrids. Two tomato lines (TOM-498 e TOM-499) with genotype *BB* (high-beta homozygous) were used in hybrid combinations with 7 tomato lines with different genotypic constitutions in loci *og^c*, *hp* or *t* – Floradade; TOM-596 (*og^c/og^c*), TOM-544 (*og^c/og^c hp/hp*), NC-8276, NC-2Y (*t/t*), Florida 7775 (*og^c/og^c*), Florida 7781 (*og^c/og^c*). A randomized complete block design with 24 treatments (14 hybrids, their 9 parental lines, plus the commercial check Giselle F1) and four replications. Both external and external fruit color were assessed with a Minolta CR-400 color meter in the CIE *L**, *a**, *b** mode. Hue and chroma readings were taken at four different points (epidermis, pericarp, placenta and columella) of the fruit. For hybrids high-beta heterozygous *B⁺/B*, hue angle indicated an orange color, even when genes promoting lycopene synthesis (*og^c*, *hp*) were deployed as heterozygous genotypes. Fruit of high-beta heterozygous hybrids, without *t*, *og^c* or *hp*, had chroma values similar to fruit of high-beta homozygous lines. Deployment of *og^c* as a heterozygous led to higher chroma of high-beta heterozygous genotypes, relatively to high-beta heterozygous genotypes not bearing the *og^c* gene. The *og^c* homozygous lines had hue values that did not differ from those in normal genotypes at the epidermis and pericarp, but showed a significant shift towards red in the placenta and in the columella.

Keywords: *Solanum lycopersicum*. Enriched food. Lycopene. Beta-carotene. Plant breeding.

1 INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum*), amplamente consumido tanto *in natura* quanto processado, é uma das principais fontes de antioxidantes na dieta humana. As cores dos frutos maduros do tomateiro podem variar do vermelho intenso ao vermelho-alaranjado ao amarelo, dependendo da razão licopeno/betacaroteno (BOTELLA-PAÍVA; RODRÍGUEZ-CONCEPCIÓN, 2006). Esses dois carotenoides têm funções importantes na alimentação; o licopeno é um potente antioxidante na prevenção da carcinogênese e aterogênese; já o betacaroteno é o metabólito vegetal mais importante como fonte de vitamina A e na prevenção do câncer (AGARWAL; RAO, 2000; THURNHAM, 2007).

O tomateiro apresenta diversos genes mutantes para teor e tipo de carotenoides. Dentre esses, destacam-se o mutante *B* (=high-beta), (que pode aumentar significativamente o teor de betacaroteno, tornando os frutos de cor alaranjada quando maduros) e os mutantes *og^c* (=old-gold crimson) e *hp* (high pigment), (que aumentam o teor de licopeno e conferem ao fruto uma intensificação da cor vermelha usual) (ARAÚJO et al., 1997; GIORDANO; ARAGÃO; BOITEUX, 2003).

O tomate vermelho maduro contém em geral maior quantidade de licopeno do que de betacaroteno, o que resulta na cor vermelha predominante. A razão licopeno/betacaroteno também está associada à presença da enzima *beta-ciclase*, a qual participa da transformação do licopeno em betacaroteno (SHAMI; MOREIRA, 2004) e pode ser afetada pela presença de genes mutantes de coloração e de amadurecimento.

O gene mutante *hp* foi originalmente descrito como um mutante de herança monogênica, localizado no cromossomo 2 do genoma do tomateiro,

capaz de incrementar a qualidade dos frutos, pela produção de altos níveis de carotenoides em frutos maduros de tomate, predominando o licopeno e o betacaroteno (THOMPSON et al., 1962). No entanto, em homozigose, o gene mutante *hp* promove redução no crescimento da planta (ARAÚJO et al., 2002; JARRET; SAYAMA; TIGCHELAAR, 1984). Os efeitos de *hp* nessa redução no crescimento devem-se à pleiotropia, o que significa que esses efeitos estarão sempre associados aos materiais genéticos contendo o alelo *hp* em homozigose (JARRET; SAYAMA; TIGCHELAAR, 1984). Frutos com genes mutantes homozigotos *high-pigment* apresentam pigmentação mais intensa, comparativamente aos frutos de genótipo normal, em todos os estádios de desenvolvimento.

O gene *og^c* é um mutante recessivo que confere coloração vermelha intensa à polpa de frutos (THOMPSON et al., 1967). Apresenta ação pleiotrópica, conferindo fenótipo alaranjado às pétalas. Foram relatados conteúdos de licopeno cerca de 75% do teor total de carotenoides mais elevados que o normal em frutos mutantes homozigotos *og^c* (*og^c/og^c*), porém, com redução do betacaroteno, principalmente na região locular dos frutos (THOMPSON et al., 1965). Em um estudo sobre os mecanismos genéticos dos genes mutantes *B* e *og^c* que regulam a acumulação carotenoides durante o amadurecimento de frutos de tomate. A utilização de cultivares homozigóticas para os alelos *og^c* e *hp*, além de intensificar a coloração vermelha dos frutos devido ao aumento do teor de licopeno, prolongou suas vidas de prateleira; no entanto, o efeito mais pronunciado desses alelos não é sobre a maior conservação pós-colheita dos frutos e sim na coloração vermelha principalmente na interna (LAMPE; WATADA, 1971).

Sayama (1979), estudando os efeitos dos alelos *hp* e *og^c* em homozigose, observou que o alelo *og^c* aumentou a intensidade de coloração sem interferir em outras características, e que o alelo *hp* aumentou a coloração, o pH, a

viscosidade, a firmeza e o conteúdo de vitamina C, porém, reduziu o teor de sólidos solúveis e acidez titulável. Araújo et al. (2002) descreveram que os mutantes *og^c* e *hp*, em *background* Floradade, isolados ou combinados entre si, tanto em homozigose quanto em heterozigose, proporcionaram incrementos significativos sobre a coloração interna e externa, bem como sobre os teores de betacaroteno de frutos heterozigotos para o alelo alcobaça (*nor⁺/nor^A*).

Outro gene mutante que interfere na coloração dos frutos de tomate é o *tangerine* (*t*). Frutos com esse alelo mutante acumulam zeta-caroteno e prolícopeno, em vez de licopeno (ISAACSON et al., 2002) e, portanto, apresentam coloração amarela em frutos maduros. Um gene mutante que é responsável por elevar teores de betacaroteno é o mutante *B* ou *high-beta*. Lincoln e Porter (1950), trabalhando com espécies de tomate com fruto laranja e vermelho concluíram que a herança do teor de betacaroteno é monogênica (gene *B*) com dominância parcial e verificaram também, que o uso gene *B* (*high-beta*) eleva o teor de betacaroteno. Tomes, Quackenbush e Mcquistan (1954) verificaram que variedades de tomates vermelhos antes com teor de 10% de betacaroteno, quando cruzadas com material *high-beta*, apresentaram em seus híbridos em média de 61% de teor de betacaroteno, e na geração F₂ os valores mais baixos ficaram entre 20% a 30% e os mais elevados entre 70% e 80% de betacaroteno. Ronen et al. (2000) verificaram que a mutação nula do gene *B* expressa o fenótipo de *og^c*, indicando que o gene *og^c* na verdade é um alelo do gene *B*.

A obtenção de cultivares de tomateiro cujos frutos possuam maior valor nutracêutico, com maiores teores de betacaroteno e licopeno nos frutos, é de grande importância, uma vez que cultivares com essas características são atualmente raros no mercado brasileiro. Todavia, como frutos de tomates *high-beta* são de coloração alaranjada, esses podem não ter uma boa aceitação pelo consumidor. Na tentativa de melhoria da coloração final em direção do

vermelho padrão, combinações de *high-beta* com *og^c* e *hp* podem ser uma alternativa na melhoria da coloração, já que esses últimos genes intensificam a coloração vermelha nos frutos de tomate.

Este trabalho visou avaliar o efeito do gene *B* em homozigose e em heterozigose na expressão da coloração interna e externa de frutos, bem como os efeitos dos genes *og^c*, *hp*, e *t* na modificação dessa expressão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de condução dos experimentos

A pesquisa foi desenvolvida na Estação Experimental da HortiAgro Sementes S.A., localizada na Fazenda Palmital, município de Ijaci, MG, nas coordenadas 21°14'16'' de latitude Sul e 45°08'00'' de longitude Oeste, à altitude de 920 m, durante os anos de 2009 e 2011. No primeiro ano, foram obtidos os híbridos experimentais e, posteriormente, foi instalado e conduzido o experimento de cultivo, com os referidos híbridos. As avaliações de coloração interna dos frutos foram realizadas no Laboratório de Produtos Vegetais do Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras.

2.2 Material vegetal

Foram utilizadas linhagens homozigotas para os genes B, ogc, hp e t, pertencentes ao banco de germoplasma da empresa HortiAgro Sementes S.A.. Essas linhagens, descritas no Quadro 1, foram empregadas como linhagens parentais na obtenção de híbridos, juntamente com linhagens normais (B^+/B^+ og^{c^+}/og^{c^+} hp^+/hp^+ t^+/t^+).

Quadro 1 Linhagens utilizadas e suas respectivas descrições. UFLA, Lavras-MG

| LINHAGEM | DESCRIÇÃO |
|--------------|--|
| TOM-498 | Linhagem <i>Purdue-88-96-1</i> , cedida por Edward C. Tigchelaar/ <i>Purdue University</i> em Agosto/1989; linhagem com constituição genotípica <i>B sp/ B sp</i> (<i>high-beta</i> , crescimento determinado); frutos oblongos e ricos em beta-caroteno |
| TOM-499 | Linhagem <i>Purdue-88-100A-1</i> , cedida por Edward C. Tigchelaar/ <i>Purdue University</i> em Agosto/1989; linhagem com constituição genotípica <i>B sp/ B sp</i> (<i>high-beta</i> , crescimento determinado); frutos oblongos e ricos em beta-caroteno |
| Floradade | Linhagem normal (não portadora de <i>B</i> , <i>og^c</i> , <i>hp</i> ou <i>t</i>), originária da Universidade da Florida; frutos multiloculares, com 4 a 5 lóculos, ligeiramente achatados; hábito de crescimento determinado; sem camada de abscisão no pedúnculo (= <i>jointless</i> , genótipo <i>j2/j2</i>); com ombros verdes nos frutos (genótipo <i>u⁺/u⁺</i>); resistência a <i>Verticillium dahliae</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i> raças 1 e 2, e <i>Stemphylium solani</i> |
| TOM-596 | Linhagem quase isogênica de Floradade, dela diferindo por ter constituição genotípica <i>og^c sp /og^c sp</i> (<i>old-gold crimson</i> , crescimento determinado); frutos presumivelmente ricos em licopeno |
| TOM-544 | Linhagem quase isogênica de Floradade, dela diferindo por ter constituição genotípica <i>ogc sp /og^c sp</i> (<i>old-gold crimson</i> , crescimento determinado), <i>hp/hp</i> (<i>high-pigment</i>); frutos presumivelmente ricos em licopeno; com ombro verde intenso quando imaturos (efeito pleiotrópico do genótipo <i>hp/hp</i>) |
| NC-8276 | Linhagem normal (não portadora de <i>B</i> , <i>og^c</i> , <i>hp</i> ou <i>t</i>), originária da <i>North Carolina State University</i> ; frutos multiloculares, com 4 a 5 lóculos, achatados, firmes, mais graúdos que os de Floradade; frutos com camada de abscisão no pedúnculo (genótipo <i>j2⁺ /j2⁺</i>), sem ombros verdes (genótipo <i>u/u</i>); resistência a <i>Verticillium dahliae</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i> raças 1 e 2. |
| NC-2Y | Linhagem NC-2Y, originária da <i>North Carolina State University</i> , de hábito de crescimento determinado (<i>sp/sp</i>), com constituição genotípica <i>t/t</i> (= <i>tangerine</i>), que condiciona cor alaranjada dos frutos maduros; frutos graúdos, arredondados a achatados, com alguma suscetibilidade a rachaduras; frutos com camada de abscisão no pedúnculo (genótipo <i>j2⁺ /j2⁺</i>), sem ombros verdes (genótipo <i>u/u</i>); resistência a <i>Verticillium dahliae</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i> raças 1 e 2. |
| Florida-7775 | Linhagem obtida na Universidade da Florida por J.W. Scott; com constituição genotípica <i>og^c sp /og^c sp</i> (<i>old-gold crimson</i> , crescimento determinado); frutos multiloculares, achatados, ricos em licopeno; sem camada de abscisão no pedúnculo (= <i>jointless</i> , genótipo <i>j2/j2</i>); sem ombros verdes acentuados (genótipo <i>ug/ug</i> , <i>uniform green</i>); resistência a <i>Verticillium dahliae</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i> raças 1 e 2 |
| Florida-7781 | Linhagem obtida na Universidade da Florida por J.W. Scott; com constituição genotípica <i>og^c sp /og^c sp</i> (<i>old-gold crimson</i> , crescimento determinado); frutos multiloculares, achatados, ricos em licopeno; com camada de abscisão no pedúnculo (= <i>jointed</i> , genótipo <i>j2⁺ /j2⁺</i>); sem ombros verdes acentuados (genótipo <i>ug/ug</i> , <i>uniform green</i>); resistência a <i>Verticillium dahliae</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i> raças 1 e 2 |

2.3 Obtenção de híbridos potencialmente ricos em betacaroteno

Os 14 híbridos experimentais foram obtidos a partir de sete linhagens (Floradade, TOM-596, TOM-544, NC-8276, NC-2Y, FLORIDA-7775, FLORIDA-7781) que foram utilizadas como genitores femininos em combinação com duas linhagens (TOM-498, TOM-499) utilizadas como genitoras masculinas. Uma vez que TOM-498 e TOM-499 têm constituição genotípica B/B (*high-beta*), todos os híbridos obtidos eram heterozigotos no loco B, e, presumivelmente, ricos em betacaroteno. Floradade foi tomado como padrão de tomate com teores normais de licopeno. Os teores de licopeno e a coloração dos frutos nos híbridos poderão depender da presença, nas linhagens genitoras femininas, dos genes *og^c*, *hp* ou *t*, que em homozigose afetam o teor de carotenoides nos frutos.

Os 14 híbridos experimentais obtidos, bem como as 9 linhagens parentais e um híbrido comercial (Giselle F1), constituíram os 24 tratamentos, todos com hábito de crescimento determinado. O material denominado Giselle F1, da empresa Sakata Seed Sudamerica, é uma cultivar do tipo salada, longa vida, de alta produtividade (Quadro 2).

Quadro 2 Descrição dos tratamentos. UFPA, Lavras-MG

| Tratamento | Nome do tratamento | Características |
|------------|------------------------------------|--|
| T1 | FLORADADE | Normal |
| T2 | FLORIDA-7775 | <i>og^c</i> homozigoto |
| T3 | FLORIDA-7781 | <i>og^c</i> homozigoto |
| T4 | NC-2Y | <i>tangerine</i> homozigoto |
| T5 | NC-8276 | Normal |
| T6 | TOM-544 | <i>og^c</i> homozigoto; <i>hp</i> homozigoto |
| T7 | TOM-596 | <i>og^c</i> homozigoto |
| T8 | <i>Purdue</i> 88-96-1 (=TOM-498) | <i>high-beta</i> homozigoto |
| T9 | <i>Purdue</i> 88-100A-1 (=TOM-499) | <i>high-beta</i> homozigoto |
| T10 | F1(FLORADADE X TOM-499) | <i>og^{c+}</i> normal; <i>hp⁺</i> normal; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T11 | F1(FLORIDA-7775 X TOM-499) | <i>og^c</i> heterozigoto; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T12 | F1(FLORIDA-7781 X TOM-499) | <i>og^c</i> heterozigoto; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T13 | F1(NC-8276 X TOM-499) | <i>og^{c+}</i> normal; <i>hp⁺</i> normal; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T14 | F1(TOM-544 X TOM-499) | <i>og^c</i> heterozigoto; <i>hp</i> heterozigoto; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T15 | F1(TOM-596 X TOM-499) | <i>og^c</i> heterozigoto; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T16 | F1(NC-2Y X TOM-499) | <i>tangerine</i> heterozigoto; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T17 | F1(FLORADADE X TOM-498) | <i>og^{c+}</i> normal; <i>hp⁺</i> normal; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T18 | F1(FLORIDA-7775 X TOM-498) | <i>og^c</i> heterozigoto; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T19 | F1(FLORIDA-7781 X TOM-498) | <i>og^c</i> heterozigoto; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T20 | F1(NC-8276 X TOM-498) | <i>og^{c+}</i> normal; <i>hp⁺</i> normal; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T21 | F1(TOM-544 X TOM-498) | <i>og^c</i> heterozigoto; <i>hp</i> heterozigoto; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T22 | F1(TOM-596 X TOM-498) | <i>og^c</i> heterozigoto; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T23 | F1(NC-2Y X TOM-498) | <i>tangerine</i> heterozigoto; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T24 | Giselle F1 | Normal |

2.4 Condução do experimento

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, com 24 tratamentos e quatro repetições. As parcelas foram constituídas de uma única fileira contendo dez plantas.

As produções das mudas dos 24 genótipos foram em bandejas de poliestireno expandido isopor de 128 células, contendo substrato comercial Multiplant[®]. O transplântio para a estufa ocorreu 30 dias após a semeadura. O material foi transplantado para a estufa com espaçamento de 0,5 m entre plantas e 1,5 m entre as fileiras, tutorado com estaca e irrigado por gotejamento. As adubações de cobertura foram realizadas com o auxílio de fertirrigação por gotejamento. Além disso, foram feitas capinas manual e pulverizações com produtos recomendados para a cultura do tomate sempre que necessário. Foram realizadas oito colheitas entre 24/01/2011 e 09/03/2011.

2.5 Coloração do fruto

As medidas da coloração interna dos frutos foram determinadas em frutos plenamente maduros da 3ª colheita, sendo colhidos 6 frutos por parcela, cuja média foi calculada para obter o valor da parcela correspondente. As leituras foram realizadas por meio do colorímetro Minolta CR-400 no modo CIE L^* , a^* e b^* , onde:

$*L$ = "lightness" = coordenada de brilho (eixo z) = varia de -100 (negro) a +100 (branco). Valores maiores indicam cores mais brilhantes;

$*a$ = coordenada de cromaticidade (eixo x), variando de +60 (vermelho) a -60 (verde);

$*b$ = coordenada de cromaticidade (eixo y), variando de +60 (amarelo) a -60 (azul).

A partir dos valores de a^* e b^* foram obtidos:

"*Hue angle*" = ângulo de cromaticidade = definido como $\arctan(b/a)$;

"*Chroma*" = croma ou saturação = raiz quadrada de $(a^2 + b^2)$.

O ângulo de cromaticidade é definido a partir do eixo **a**, e é expresso em graus; 0° é definido como +a (vermelho), 90° como +b (amarelo), 180° como -a (verde), e 270° como -b (azul). Frutos maduros de tomateiro variam em geral de 0° (vermelho) a 90° (amarelo); quanto mais próximos de zero os valores, mais vermelhos os frutos; quanto mais próximos de 90°, mais amarelados os frutos (COLOR GLOSSARY, 2013; KONICA MINOLTA, 2013).

Para a saturação ou croma, os valores variam entre 0 e 60. Valores iguais a zero correspondem ao centro de origem das coordenadas; valores próximos de zero indicam cores pouco saturadas, e valores de 60 indicam saturação máxima (COLOR GLOSSARY, 2013; KONICA MINOLTA, 2013).

As leituras foram realizadas em 4 partes (externa e internas) dos 6 frutos de tomate de cada parcela. Para a coloração externa, a leitura foi feita na epiderme; já para a coloração interna, as leituras foram feitas no pericarpo, placenta e columela.

2.5 Análise de dados

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade por meio do aplicativo estatístico SAS[®]. Também foram calculados contrastes de interesse para comparações entre genótipos e/ou grupo de genótipos com diferentes constituições genotípicas nos locos *B*, *og^c*, *hp* e *t* (Quadro 3).

Quadro 3 Contrastes de interesse usados para comparações entre genótipos e/ou grupo de genótipos com diferentes constituições genotípicas nos locos *B*, *og^c*, *hp* e *t*. UFLA, Lavras

| Contrastes | Contrastes Estimados | Descrição |
|------------|--|---|
| C1 | $(T1+T2+T3+T5+T6+T7+T24)/7 - (T8+T9+T10+T11+T12+T13+T14+T15+T16+T17+T18+T19+T20+T21+T22+T23)/16$ | Genótipos normais, <i>og^c</i> homozigóticos, VS Genótipos <i>high-beta</i> (homozigóticos e heterozigóticos); |
| C2 | $(T1+T2+T3+T5+T6+T7+T24)/7 - T4$ | Genótipos normais, <i>og^c</i> homozigóticos, VS Genótipo <i>tangerine</i> ; |
| C3 | $(T1+T5+T24)/3 - (T8+T9+T10+T11+T12+T13+T14+T15+T16+T17+T18+T19+T20+T21+T22+T23)/16$ | Genótipos normais VS Genótipos <i>high-beta</i> (homozigóticos e heterozigóticos); |
| C4 | $(T1+T5+T24)/3 - (T8+T9)/2$ | Genótipos normais VS genótipos <i>high-beta</i> homozigóticos; |
| C5 | $(T1+T5+T24)/3 - (T10+T11+T12+T13+T14+T15+T16+T17+T18+T19+T20+T21+T22+T23)/14$ | Genótipos normais VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigóticos; |
| C6 | $(T1+T5+T24)/3 - T4$ | Genótipos normais VS genótipo <i>tangerine</i> ; |
| C7 | $(T1+T5+T24)/3 - (T2+T3+T7)/3$ | Genótipos normais VS genótipos <i>og^c</i> homozigotos, <i>hp⁺hp⁺</i> ; |
| C8 | $(T1+T5+T24)/3 - T6$ | Genótipos normais VS genótipos <i>og^c</i> homozigotos, <i>hp</i> homozigóticos; |
| C9 | $(T2+T3+T7)/3 - T6$ | Genótipos <i>og^c</i> homozigóticos, <i>hp+hp+</i> VS genótipo <i>og^c</i> homozigoto, <i>hp hp</i> ; |
| C10 | $(T8+T9)/2 - (T10+T13+T17+T20)/4$ | Genótipos <i>high-beta</i> homozigóticos VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigotos, <i>t⁺</i> normal <i>og^{c+}</i> normal, <i>hp⁺</i> normal; |
| C11 | $(T8+T9)/2 - (T16+T23)/2$ | Genótipos <i>high-beta</i> homozigóticos VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigóticos, <i>tangerine</i> heterozigóticos; |
| C12 | $(T8+T9)/2 - (T11+T12+T15+T18+T19+T22)/6$ | Genótipos <i>high-beta</i> homozigóticos VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigóticos, <i>og^c</i> heterozigóticos, <i>hp⁺hp⁺</i> ; |
| C13 | $(T8+T9)/2 - (T14+T21)/2$ | Genótipos <i>high-beta</i> homozigóticos VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigóticos, <i>og^c</i> heterozigóticos, <i>hp</i> heterozigóticos; |
| C14 | $(T10+T13+T17+T20)/4 - (T16+T23)/2$ | Genótipos <i>high-beta</i> heterozigotos, <i>t⁺</i> normal <i>og^{c+}</i> normal, <i>hp⁺</i> normal VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigóticos, <i>tangerine</i> heterozigóticos; |
| C15 | $(T10+T13+T17+T20)/4 - (T11+T12+T15+T18+T19+T22)/6$ | Genótipos <i>high-beta</i> heterozigotos, <i>t⁺</i> normal <i>og^{c+}</i> normal, <i>hp⁺</i> normal VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigóticos, <i>og^c</i> heterozigóticos, <i>hp⁺hp⁺</i> ; |
| C16 | $(T10+T13+T17+T20)/4 - (T14+T21)/2$ | Genótipos <i>high-beta</i> heterozigotos, <i>t⁺</i> normal <i>og^{c+}</i> normal, <i>hp⁺</i> normal VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigóticos, <i>og^c</i> heterozigóticos, <i>hp</i> heterozigóticos. |

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observadas diferenças entre os tratamentos ($\alpha=0.05$) para todas as características avaliadas (epiderme, pericarpo, placenta e columela) tanto para os valores do ângulo cromaticidade como para o croma.

Ângulo de cromaticidade: os genótipos NC-2Y (homozigoto *t*), e TOM-499 e TOM-498 (homozigotos *high-beta*) apresentaram ângulos de cromaticidade mais próximos da cor amarela, com valores próximos ou superiores a 70° na epiderme, no pericarpo, na placenta e na columela (Tabela 1). Os híbridos F1(FLORADADE X TOM-499), F1(FLORIDA-7775 X TOM-499), F1(FLORIDA-7781 X TOM-499), F1(NC-8276 X TOM-499), F1(TOM-544 X TOM-499), F1(TOM-596 X TOM-499), F1(NC-2Y X TOM-499), F1(FLORADADE X TOM-498), F1(FLORIDA-7775 X TOM-498), F1(FLORIDA-7781 X TOM-498), F1(NC-8276 X TOM-498), F1(TOM-544 X TOM-498), F1(TOM-596 X TOM-498) e F1(NC-2Y X TOM-498) heterozigotos *high-beta*, apresentaram ângulos de cromaticidade em geral ligeiramente inferiores aos genótipos homozigotos *high-beta*, com valores em geral na faixa entre 60° e 70°, tanto na epiderme, como no pericarpo, na placenta e na columela. Todos os demais genótipos apresentaram valores de cromaticidade inferiores a 50°, e em geral inferiores a 40°, tanto na epiderme, como no pericarpo, na placenta e na columela (Tabela 1).

Esses valores se refletem claramente na coloração tanto externa, como interna dos frutos maduros - alaranjada (ângulo de cromaticidade > 60°) nos genótipos NC-2Y (homozigoto *tangerine*), TOM-499 e TOM-498 (homozigotos *high-beta*), e nos híbridos heterozigóticos *high-beta*, e avermelhada (ângulo de cromaticidade < 50°) nos demais genótipos. As estimativas dos contrastes C1, C2, C3, C4, C5 e C6 indicaram que todos os tratamentos com frutos

avermelhados apresentaram ângulos de cromaticidade, significativamente, mais distantes da cor amarela do que os genótipos homozigotos *t*, homozigotos *high-beta* e heterozigotos *high-beta* (Tabela 2), seja na epiderme, seja no pericarpo, na placenta e na columela.

Por outro lado, os genótipos homozigóticos *old-gold crimson* (= og^c homozigóticos) não diferiram dos genótipos normais quanto aos ângulos de cromaticidade na epiderme e pericarpo, mas mostraram um desvio significativo em direção ao vermelho na placenta e na columela (contrastos C7 e C8, Tabela 2). Esse desvio em direção ao vermelho ocorreu nos genótipos og^c/og^c tanto na presença do alelo *high-pigment* em homozigose (*hp/hp*) (Contraste C8, Tabela 2) como em sua ausência (hp^+/hp^+) (Contraste C7, Tabela 2). Em genótipos og^c/og^c , a presença do alelo *hp* em homozigose (*hp/hp*) promoveu um ligeiro desvio adicional em direção ao vermelho, observável apenas na placenta (Contraste C9, Tabela 2).

Na ausência de outros alelos (*t*, og^c ou *hp*) que possam afetar a coloração dos frutos, os heterozigotos *high-beta* apresentaram desvios significativos do ângulo de cromaticidade em direção ao vermelho, relativamente aos genótipos *high-beta* homozigotos (Contraste C10, Tabela 2) na epiderme, pericarpo, placenta e columela, indicando que, embora dominante, o alelo *high-beta* não possui dominância completa. A maior tendência ao amarelo dos genótipos *high-beta* homozigóticos relativamente aos *high-beta* heterozigóticos pode ser observada quer esses últimos fossem também heterozigóticos para *t* (Contraste C11, Tabela 2), heterozigóticos para og^c (Contraste C12, Tabela 2) ou heterozigóticos tanto para og^c quanto para *hp* (Contraste C13, Tabela 2). A presença, em híbridos *high-beta* heterozigóticos, de alelos (*t*, og^c , *hp*) que possam afetar a coloração dos frutos, afetou apenas marginalmente a coloração destes híbridos: nos híbridos também portadores do alelo *t* em heterozigose, resultou em um desvio em direção ao amarelo em nível de epiderme (Contraste

C14, Tabela 2); nos portadores de *og^c* em heterozigose, em presença ou não de *hp* em heterozigose, em desvios em direção ao vermelho no pericarpo (Contrastes C15 e C16, Tabela 2).

Os resultados demonstram que o emprego do gene *high-beta* em homozigose leva a uma coloração alaranjada dos frutos, tanto interna quanto externamente, a qual é parcialmente atenuada com o emprego do gene *high-beta* em heterozigose. Mesmo nesse último caso, no entanto, a coloração básica continua a ser alaranjada, uma vez que os híbridos *high-beta* heterozigotos não chegam a igualar-se aos genótipos de coloração normal (vermelha), nem mesmo quando se empregam em heterozigose genes que pudessem promover síntese de licopeno (como *og^c* ou *og^{c+} hp*) (Tabela 1).

Já o alelo *og^c* em homozigose promoveu a coloração vermelha da placenta em genótipos não portadores do gene *high-beta*, algo que foi potencializado com o emprego simultâneo do alelo *hp* também em homozigose. Esses efeitos na coloração já foram relatados por Araújo et al. (2002) e Faria (2000) e mostraram os mutantes *og^c* e *hp*, em *background* Floradade, isolados ou combinados entre si, tanto em homozigose quanto em heterozigose, proporcionaram incrementos significativos sobre a coloração interna e externa, bem como sobre os teores de betacaroteno e licopeno de frutos. Faria et al. (2003) também verificaram incrementos na coloração externa e no teor de licopeno em frutos maduros *nor⁺/nor^A* (genes mutantes de amadurecimento *non ripening* (*nor*) e *alcobaça* (*nor^A*)), proporcionados pela combinação *og^{c+}/og^c hp⁺/hp*.

Saturação (*Chroma*): os genótipos NC-2Y (homozigoto *t*), e TOM-499 e TOM-498 (homozigotos *high-beta*), particularmente os dois primeiros, tenderam a apresentar os menores valores de saturação cromática dentre os tratamentos, principalmente no pericarpo e na columela (Tabela 3) - valores inferiores a 20. O efeito do homozigoto *t* no sentido de diminuir a saturação foi

maior do que o dos homozigotos *high-beta*, e foi bastante acentuado tanto na epiderme quanto no pericarpo, placenta e columela, com valores sempre inferiores a 13. Os híbridos *high-beta* heterozigotos em geral apresentaram para as saturações da epiderme, pericarpo, placenta e columela valores intermediários entre os dos homozigotos *high-beta* e os dos genótipos de coloração vermelha de frutos (vermelhos normais ou vermelhos portadores de *og^c* e *hp*) (Tabela 3).

Frutos de genótipos *high-beta* (homo ou heterozigóticos), bem como o genótipo *tangerine* homozigoto, tendem a produzir frutos com saturação cromática significativamente menor na epiderme, pericarpo e columela do que genótipos com frutos de coloração vermelha, sejam esses últimos portadores ou não dos alelos *og^c* ou *hp* (Contrastes C1, C2, C3, C4, C5, C6, Tabela 4). Na placenta, a saturação no genótipo *tangerine* homozigoto também foi significativamente menor do que nos genótipos com frutos de coloração vermelha (contrastes C2 e C6, Tabela 4), o que não aconteceu com a saturação dos genótipos *high-beta* (contrastes C3, C4, C5, Tabela 4) exceto quando os genótipos são normais e/ou homozigóticos para *og^c* (Contraste C1, Tabela 4).

Genótipos com alelo *og^c* em homozigose promoveram maior saturação cromática no pericarpo e na placenta, comparativamente com os genótipos de frutos vermelhos não portadores de *og^c* (Contraste C7, Tabela 4). Essa maior saturação cromática promovida por *og^c* mostrou-se potencializada pelo emprego simultâneo do alelo *hp* em homozigose, uma vez que o genótipo *og^c/og^c hp/hp* revelou saturação mais intensa do que os genótipos com frutos vermelhos normais não somente no pericarpo e placenta, mas também na epiderme e na columela (Contraste C8, Tabela 4). Essa potencialização do efeito de *og^c* por ação de *hp* pode também ser notada na significância dos contrastes C9 (Tabela 4) no pericarpo, placenta e columela.

Frutos de genótipos *high-beta* heterozigóticos, não portadores de *t*, *og^c* ou *hp*, tiveram saturações cromáticas em todo parecidas com frutos de genótipos

high-beta homozigóticos (Contraste C10, Tabela 4), quer seja na epiderme, pericarpo, placenta ou columela. Também não se observaram diferenças de saturação entre os genótipos *high-beta* homozigóticos e o genótipo *high-beta* heterozigótico portador do alelo *t* em heterozigose (Contraste 11, Tabela 4). Por outro lado, híbridos *high-beta* heterozigóticos portadores de *og^c* em heterozigose mostraram-se com saturação significativamente maior, na epiderme e columela, do que genótipos *high-beta* homozigotos (Contraste C12, Tabela 4) - algo também observado, na epiderme, para híbridos *high-beta* heterozigóticos portadores de *og^c* e *hp* em heterozigose (Contraste 13, Tabela 4). As maiores saturações dos híbridos *high-beta* heterozigóticos mostradas pelos contrastes C12 e C13 (Tabela 4) parecem ser efeito apenas da ação do alelo *og^c* em heterozigose, e não do alelo *hp* em heterozigose - o qual não parece ter contribuído em nada para a maior saturação, uma vez que sua presença sequer contribuiu para melhoria na saturação cromática da columela (Contraste C13, Tabela 4) e parece mesmo ser antagonica à ação de *og^c* em heterozigose.

Essa ação do heterozigótico *hp* em reverter os efeitos favoráveis do heterozigóticos *og^c* na saturação dos heterozigóticos *high-beta* pode também ser constatada pela não significância do contraste C16 na placenta quando comparada à significância do contraste C15 (Tabela 4).

Por outro lado, frutos de genótipos *high-beta* heterozigóticos, não portadores de *t*, *og^c* ou *hp*, tiveram saturações cromáticas na epiderme maiores do que a do híbrido *high-beta* heterozigótico portador do alelo *t* em heterozigose (Contraste 14, Tabela 4), mostrando que *t*, mesmo em heterozigose, pode contribuir para menor saturação cromática. Em sentido contrário, frutos de genótipos *high-beta* heterozigóticos, não portadores de *t*, *og^c* ou *hp*, tiveram saturações cromáticas na placenta menores do que as de híbridos *high-beta* heterozigóticos portadores do alelo *og^c* em heterozigose (Contraste 15, Tabela 4) - confirmando a tendência de o genótipo heterozigoto *og^{c+}/og^c* promover

incrementos na saturação cromática. Essa tendência de og^{c+}/og^c em promover incrementos na saturação parece ter sido revertida em genótipos heterozigotos tanto para og^c como para hp simultaneamente (genótipos $og^{c+}/og^c hp^+/hp$) (Contraste 16, Tabela 4), confirmando a sugestão anterior de que as ações dos genótipos og^{c+}/og^c e hp^+/hp na saturação cromática de híbridos *high-beta* heterozigóticos podem ser antagônicas.

Tabela 1 Valores médios do Ângulo de cromaticidade (°Graus) para epiderme, pericarpo, placenta e columela em frutos de tomate. UFLA, Lavras-MG

| | Tratamentos | Epiderme | Pericarpo | Placenta | Columela |
|-----|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|------------------------------------|----------------------|
| T1 | FLORADADE | 42,87 ^f | 42,28 ^{fg} | 48,17 ^{efghi} | 38,26 ^{ef} |
| T2 | FLORIDA-7775 | 39,51 ^f | 35,86 ^g | 41,31 ^{hij} | 43,22 ^{ef} |
| T3 | FLORIDA-7781 | 45,24 ^{ef} | 37,39 ^g | 37,40 ^{ij} | 33,36 ^{ef} |
| T4 | NC-2Y | 75,84 ^a | 75,58 ^a | 75,82 ^a | 82,72 ^a |
| T5 | NC-8276 | 43,04 ^f | 35,02 ^g | 41,93 ^{ghij} | 44,87 ^e |
| T6 | TOM-544 | 41,09 ^f | 34,05 ^g | 32,25 ^l | 34,79 ^{ef} |
| T7 | TOM-596 | 38,44 ^f | 31,07 ^g | 39,97 ^{ij} | 32,34 ^f |
| T8 | <i>Purdue</i> 88-96-1 (=TOM-498) | 71,61 ^{ab} | 71,05 ^{ab} | 66,08 ^{abc} | 74,61 ^{ab} |
| T9 | <i>Purdue</i> 88-100A-1 (=TOM-499) | 71,16 ^{ab} | 75,83 ^a | 67,25 ^{ab} | 72,28 ^{abc} |
| T10 | F1(FLORADADE X TOM-499) | 61,45 ^{bcd} | 66,28 ^{abcd} | 58,82 ^{bcd} | 61,38 ^{cd} |
| T11 | F1(FLORIDA-7775 X TOM-499) | 64,02 ^{bcd} | 64,47 ^{abcd} | 57,95 ^{bcd} | 66,71 ^{bcd} |
| T12 | F1(FLORIDA-7781 X TOM-499) | 66,57 ^{abc} | 69,97 ^{abc} | 61,13 ^{bcd} | 70,49 ^{bcd} |
| T13 | F1(NC-8276 X TOM-499) | 61,78 ^{bcd} | 60,51 ^{bcde} | 53,45 ^{defg} | 64,43 ^{bcd} |
| T14 | F1(TOM-544 X TOM-499) | 60,24 ^{cd} | 60,02 ^{bcde} | 56,47 ^{bcd} | 64,28 ^{bcd} |
| T15 | F1(TOM-596 X TOM-499) | 55,39 ^d | 50,62 ^{ef} | 50,05 ^{defg} _h | 60,65 ^{cd} |
| T16 | F1(NC-2Y X TOM-499) | 64,4 ^{bcd} ₃ | 64,97 ^{abcd} | 59,70 ^{bcd} | 65,26 ^{bcd} |
| T17 | F1(FLORADADE X TOM-498) | 56,89 ^{cd} | 66,64 ^{abcd} | 55,20 ^{cde} | 62,97 ^{bcd} |
| T18 | F1(FLORIDA-7775 X TOM-498) | 65,58 ^{bcd} | 57,54 ^{cde} | 50,45 ^{defg} _h | 59,69 ^d |
| T19 | F1(FLORIDA-7781 X TOM-498) | 60,31 ^{cd} | 65,97 ^{abcd} | 59,60 ^{bcd} | 62,10 ^{cd} |
| T20 | F1(NC-8276 X TOM-498) | 64,09 ^{bcd} | 62,90 ^{bcd} | 54,95 ^{cdef} | 66,06 ^{bcd} |
| T21 | F1(TOM-544 X TOM-498) | 62,53 ^{bcd} | 57,34 ^{cde} | 48,50 ^{efgih} | 63,03 ^{bcd} |
| T22 | F1(TOM-596 X TOM-498) | 58,17 ^{cd} | 54,52 ^{de} | 43,47 ^{ghij} | 66,89 ^{bcd} |
| T23 | F1(NC-2Y X TOM-498) | 70,52 ^{ab} | 66,66 ^{abcd} | 57,34 ^{bcd} | 67,56 ^{bcd} |
| T24 | Giselle F1 | 41,84 ^f | 30,77 ^g | 43,30 ^{fg hij} | 38,10 ^{ef} |

Médias seguidas da mesma letra na vertical não diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2 Estimativas de contrastes de interesse para ângulo de cromaticidade da epiderme, pericarpo, placenta e columela de frutos de tomate. UFLA, Lavras-MG

| | Estimativas ¹ | | | | Descrição do Contraste |
|-----|--------------------------|----------|----------|----------|---|
| | EP | PE | PL | CO | |
| C1 | -21,70** | -28,19** | -16,08** | -27,67** | Genótipos normais, <i>og^c</i> homozigóticos, VS Genótipos <i>high-beta</i> (homozigóticos e heterozigóticos); |
| C2 | -34,12** | -40,37** | -35,63** | -44,86** | Genótipos normais, <i>og^c</i> homozigóticos, VS Genótipo <i>tangerine</i> ; |
| C3 | -20,84** | -27,38** | -11,81** | -25,11** | Genótipos normais VS Genótipos <i>high-beta</i> (homozigóticos e heterozigóticos); |
| C4 | -28,80** | -37,42** | -22,20** | -33,03** | Genótipos normais VS genótipos <i>high-beta</i> homozigóticos; |
| C5 | -19,70** | -25,95** | -10,32** | -23,98** | Genótipos normais VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigóticos; |
| C6 | -33,25** | -39,55** | -31,35** | -42,30** | Genótipos normais VS genótipo <i>tangerine</i> ; |
| C7 | 1,51ns | 1,24ns | 5,90** | 4,10* | Genótipos normais VS genótipos <i>og^c</i> homozigotos, <i>hp⁺hp⁺</i> ; |
| C8 | 1,49ns | 1,97ns | 12,21** | 5,61* | Genótipos normais VS genótipos <i>og^c</i> homozigotos, <i>hp</i> homozigóticos; |
| C9 | -0,02ns | 0,72ns | 6,31** | 1,51ns | Genótipos <i>og^c</i> homozigóticos, <i>hp+hp+</i> VS genótipo <i>og^c</i> homozigoto, <i>hp hp</i> ; |
| C10 | 10,33** | 9,36** | 11,06** | 9,73** | Genótipos <i>high-beta</i> homozigóticos VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigotos, <i>t⁺</i> normal <i>og^{c+}</i> normal, <i>hp⁺</i> normal; |
| C11 | 3,90* | 7,62** | 8,14** | 7,03** | Genótipos <i>high-beta</i> homozigóticos VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigóticos, <i>tangerine</i> heterozigóticos; |
| C12 | 9,71** | 13,07** | 12,89** | 9,03** | Genótipos <i>high-beta</i> homozigóticos VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigóticos, <i>og^c</i> heterozigóticos, <i>hp⁺hp⁺</i> ; |
| C13 | 10,01** | 14,76** | 14,18** | 9,79** | Genótipos <i>high-beta</i> homozigóticos VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigóticos, <i>og^c</i> heterozigóticos, <i>hp</i> heterozigóticos; |
| C14 | -6,43** | -1,73ns | -2,91ns | -2,71ns | Genótipos <i>high-beta</i> heterozigotos, <i>t⁺</i> normal <i>og^{c+}</i> normal, <i>hp⁺</i> normal VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigóticos, <i>tangerine</i> heterozigóticos; |
| C15 | -0,62ns | 3,71** | 1,82ns | -0,71ns | Genótipos <i>high-beta</i> heterozigotos, <i>t⁺</i> normal <i>og^{c+}</i> normal, <i>hp⁺</i> normal VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigóticos, <i>og^c</i> heterozigóticos, <i>hp⁺hp⁺</i> ; |
| C16 | -0,33ns | 5,41** | 3,11ns | 0,06ns | Genótipos <i>high-beta</i> heterozigotos, <i>t⁺</i> normal <i>og^{c+}</i> normal, <i>hp⁺</i> normal VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigóticos, <i>og^c</i> heterozigóticos, <i>hp</i> heterozigóticos. |

¹EP: epiderme; PE: pericarpo; PL: placenta e CO: columela; **, * Significância a 1% e 5% pelo teste de t, respectivamente. ns; não significância.

Tabela 3 Valores médios do Cromo para epiderme, pericarpo, placenta e columela em frutos de tomate. UFLA, Lavras- MG

| TRATAMENTOS | | EP | PE | PL | CO |
|-------------|------------------------------------|------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| T1 | FLORADADE | 24,47 ^{abcd} | 19,52 ^{abc} | 20,66 ^c | 28,08 ^{ab} |
| T2 | FLORIDA-7775 | 25,02 ^{abcd} | 20,66 ^{abc} | 21,55 ^c | 21,31 ^{cde} |
| T3 | FLORIDA-7781 | 25,32 ^{abc} | 23,90 ^{ab} | 30,60 ^{ab} | 26,80 ^{abc} |
| T4 | NC-2Y | 12,72 ^f | 9,85 ^d | 12,66 ^d | 7,98 ^f |
| T5 | NC-8276 | 24,63 ^{abcd} | 18,89 ^{bc} | 23,38 ^c | 20,55 ^{def} |
| T6 | TOM-544 | 26,73 ^a | 25,96 ^a | 31,82 ^a | 32,01 ^a |
| T7 | TOM-596 | 24,82 ^{abcd} | 24,54 ^{ab} | 24,46 ^{bc} | 28,89 ^a |
| T8 | <i>Purdue</i> 88-96-1 (=TOM-498) | 17,09 ^{ef} | 14,25 ^{cd} | 19,34 ^{cd} | 15,04 ^f |
| T9 | <i>Purdue</i> 88-100A-1 (=TOM-499) | 21,63 ^{abcde} | 19,69 ^{abc} | 22,41 ^c | 17,26 ^{def} |
| T10 | F1(FLORADADE X TOM-499) | 21,11 ^{abcde} | 15,35 ^{cd} | 20,77 ^c | 18,20 ^{def} |
| T11 | F1(FLORIDA-7775 X TOM-499) | 19,74 ^{bcde} | 18,37 ^{bc} | 19,93 ^c | 20,01 ^{def} |
| T12 | F1(FLORIDA-7781 X TOM-499) | 19,34 ^{de} | 15,43 ^{cd} | 21,62 ^c | 17,48 ^{def} |
| T13 | F1(NC-8276 X TOM-499) | 20,29 ^{bcde} | 17,98 ^{bc} | 23,75 ^{bc} | 18,42 ^{def} |
| T14 | F1(TOM-544 X TOM-499) | 21,42 ^{abcde} | 16,73 ^{cd} | 21,55 ^c | 15,35 ^{ef} |
| T15 | F1(TOM-596 X TOM-499) | 25,40 ^{ab} | 19,89 ^{abc} | 23,45 ^c | 17,25 ^{def} |
| T16 | F1(NC-2Y X TOM-499) | 20,31 ^{bcde} | 15,36 ^{cd} | 21,06 ^c | 16,87 ^{def} |
| T17 | F1(FLORADADE X TOM-498) | 21,78 ^{abcde} | 17,86 ^{bc} | 19,23 ^{cd} | 15,69 ^{def} |
| T18 | F1(FLORIDA-7775 X TOM-498) | 22,45 ^{abcde} | 16,85 ^{cd} | 23,58 ^{bc} | 18,15 ^{def} |
| T19 | F1(FLORIDA-7781 X TOM-498) | 20,55 ^{bcde} | 19,31 ^{abc} | 22,93 ^c | 16,64 ^{def} |
| T20 | F1(NC-8276 X TOM-498) | 19,59 ^{cde} | 18,81 ^{bc} | 20,33 ^c | 17,56 ^{def} |
| T21 | F1(TOM-544 X TOM-498) | 21,81 ^{abcde} | 17,96 ^{bc} | 23,07 ^c | 18,61 ^{bcd} |
| T22 | F1(TOM-596 X TOM-498) | 22,60 ^{abcde} | 20,36 ^{abc} | 24,39 ^{bc} | 21,88 ^{bcd} |
| T23 | F1(NC-2Y X TOM-498) | 17,39 ^{ef} | 15,57 ^{cd} | 21,15 ^c | 18,33 ^{def} |
| T24 | Giselle F1 | 22,59 ^{abcde} | 20,63 ^{abc} | 24,46 ^{bc} | 26,99 ^{abc} |

¹EP: epiderme; PE: pericarpo; PL: placenta e CO: columela; Médias seguidas da mesma letra na vertical não diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 4 Estimativas de contrastes de interesse para Cromo da epiderme, pericarpo, placenta e columela de frutos de tomate. UFLA, Lavras-MG

| | Estimativas | | | | Descrição do contraste |
|-----|-------------|---------|---------|---------|---|
| | EP | PE | PL | CO | |
| C1 | 4,02** | 4,53** | 3,48** | 8,70** | Genótipos normais, <i>og^c</i> homozigóticos, VS Genótipos <i>high-beta</i> (homozigóticos e heterozigóticos); |
| C2 | 12,08** | 12,16** | 12,61** | 18,39** | Genótipos normais, <i>og^c</i> homozigóticos, VS Genótipo <i>tangerine</i> ; |
| C3 | 3,11** | 2,19** | -1,04ns | 7,53** | Genótipos normais VS Genótipos <i>high-beta</i> (homozigóticos e heterozigóticos); |
| C4 | 4,53** | 2,71* | 1,95ns | 9,05** | Genótipos normais VS genótipos <i>high-beta</i> homozigóticos; |
| C5 | 2,91** | 2,11** | 0,91ns | 7,32** | Genótipos normais VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigóticos; |
| C6 | 11,18** | 9,83** | 10,16** | 17,22** | Genótipos normais VS genótipo <i>tangerine</i> ; |
| C7 | -1,17ns | -3,35** | -2,70** | -0,46ns | Genótipos normais VS genótipos <i>og^c</i> homozigotos, <i>hp⁺hp⁺</i> ; |
| C8 | -2,82* | -6,28** | -8,98** | -6,78** | Genótipos normais VS genótipos <i>og^c</i> homozigotos, <i>hp</i> homozigóticos; |
| C9 | -1,67ns | -2,92* | -6,28** | -6,33** | Genótipos <i>og^c</i> homozigóticos, <i>hp+hp</i> + VS genótipo <i>og^c</i> homozigoto, <i>hp hp</i> ; |
| C10 | -1,33ns | -0,52ns | -0,14ns | -1,31ns | Genótipos <i>high-beta</i> homozigóticos VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigotos, <i>t⁺</i> normal <i>og^{c+}</i> normal, <i>hp⁺</i> normal; |
| C11 | 0,51ns | 1,50ns | -0,23ns | -1,45ns | Genótipos <i>high-beta</i> homozigóticos VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigóticos, <i>tangerine</i> heterozigóticos; |
| C12 | -2,31** | -1,39ns | -1,77ns | -2,41** | Genótipos <i>high-beta</i> homozigóticos VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigóticos, <i>og^c</i> heterozigóticos, <i>hp⁺hp⁺</i> ; |
| C13 | -2,25* | -0,37ns | -1,43ns | -0,83ns | Genótipos <i>high-beta</i> homozigóticos VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigóticos, <i>og^c</i> heterozigóticos, <i>hp</i> heterozigóticos; |
| C14 | 1,84* | 2,03ns | -0,09ns | -0,13ns | Genótipos <i>high-beta</i> heterozigotos, <i>t⁺</i> normal <i>og^{c+}</i> normal, <i>hp⁺</i> normal VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigóticos, <i>tangerine</i> heterozigóticos; |
| C15 | -0,99ns | -0,87ns | -1,63* | -1,11ns | Genótipos <i>high-beta</i> heterozigotos, <i>t⁺</i> normal <i>og^{c+}</i> normal, <i>hp⁺</i> normal VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigóticos, <i>og^c</i> heterozigóticos, <i>hp⁺hp⁺</i> ; |
| C16 | -0,91ns | 0,15ns | -1,29ns | 0,48ns | Genótipos <i>high-beta</i> heterozigotos, <i>t⁺</i> normal <i>og^{c+}</i> normal, <i>hp⁺</i> normal VS genótipos <i>high-beta</i> heterozigóticos, <i>og^c</i> heterozigóticos, <i>hp</i> heterozigóticos. |

¹EP: epiderme; PE: pericarpo; PL: placenta e CO: columela; **, * Significância a 1% e 5% pelo teste de t, respectivamente. ns; não significância.

4 CONCLUSÕES

Os híbridos F1(TOM-596 x TOM-499), F1(FLORADADE x TOM-498) e F1(TOM-596 x TOM-499) foram os que mais se aproximaram da coloração externa vermelha (ângulo de cromaticidade $< 60^\circ$).

Mesmo o emprego em heterozigose de genes que pudessem promover síntese de licopeno (og^c ou $og^c + hp$) a coloração básica dos híbridos continua sendo alaranjada, uma vez que não chegam a igualar-se aos genótipos de coloração normal (vermelha).

A melhor combinação de B em heterozigose é com o gene mutante og^c tanto para a coloração em geral (menor ângulo de cromaticidade) quanto para o croma (maior saturação cromática), já com uso simultâneo com mutante de B e og^c e hp , houve uma ação antagônica do hp ao efeito de og^c na melhoria da saturação cromática.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às seguintes instituições brasileiras que fornecem apoio para este projeto de pesquisa: FAPEMIG-Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, CNPq-Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, FINEP / MCT-Ministério de Ciência e Tecnologia / FNDCT, CAPES / MEC-Ministério da Educação brasileiro, UFLA-Universidade Federal de Lavras, HortiAgro Sementes S.A., FUNDECC-Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico, FAEPE-Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão.

REFERÊNCIAS

AGARWAL, S.; RAO, A. V. Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. **Canadian Medical Association Journal**, Ottawa, v. 163, n. 6, p. 739-744, June 2000.

ARAÚJO, M. L. et al. Intra and interlocus interactions between *alcobaça* (*alc*), *old-gold crimson* (*og^c*) and high pigment (*hp*) loci in tomato *Lycopersicon esculentum* Mill. **Euphytica**, Wageningen, v. 125, n. 2, p. 215-225, Feb. 2002.

ARAÚJO, M. L. **Interações intra-loco e inter-locus *alcobaça*, *crimson* e *high pigment* sobre características de qualidade e de produção de frutos do tomateiro**. 1997. 131 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

BOTELLA-PAÍVA, P.; RODRÍGUEZ-CONCEPCIÓN, M. Carotenoid biotechnology in plants for nutritionally improved foods. **Physiology Plantarum**, Copenhagen, v. 126, n. 3, p. 369-431, Mar. 2006.

COLOR GLOSSARY. Disponível em: <http://www.sapdesignguild.org/resources/glossary_color>. Acesso em: 13 fev. 2013.

FARIA, M. V. **Produtividade e qualidade pós-colheita de frutos de híbridos de tomateiro heterozigotos nos locos *alcobaça* (*alc*), *old-gold crimson* (*og^c*) e/ou *high-pigment* (*hp*)**. 2000. 74 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

FARIA, M. V. et al. Yield and post-harvest quality of tomato hybrids heterozygous at the loci *alcobaça*, *old-gold crimson* or *high-pigment*. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 2, n. 3, p. 317-327, Sept. 2003.

GIORDANO, L. B.; ARAGÃO, F. A. S.; BOITEUX, L. S. Melhoramento genético do tomateiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 24, p. 43-57, 2003.

ISAACSON, T. et al. Cloning of *tangerine* from tomato reveals a carotenoid isomerase essential for the production of β -carotene and xanthophylls in plants. **Plant Cell**, Rockville, v. 14, p. 333-342, Feb. 2002.

JARRET, R. L.; SAYAMA, H.; TIGCHELAAR, E. C. Pleiotropic effects associated with the chlorophyll intensifier mutations high pigment and dark

green is tomato. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 109, n. 6, p. 873-878, Nov. 1984.

KONICA MINOLTA. **Precise color communication**. Disponível em: <<http://www.konicaminoltaeurope.com/pcc/en>>. Acesso em: 13 fev. 2013.

LAMPE, C.; WATADA, A. E. Pastharvest quality of high pigment and *old-gold crimson* tomato fruit. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 96, n. 4, p. 534-535, July 1971.

LINCOLN, R. E.; PORTER, J. W. Inheritance of beta-carotene in tomatoes. **Genetics**, Austin, v. 35, p. 206-221, 1950.

RONEN, G. et al. An alternative pathway to b-carotene formation in plant chromoplasts discovered by map-based cloning of Beta and old-gold color mutations in tomato. **Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America**, Washington, v. 97, n. 20, Sept. 2000. Disponível em: <<http://www.pnas.org/content/97/20/11102.full>>. Acesso em: 22 jan. 2013.

SAYAMA, H. **Morphological and physiological effects associated with the *old-gold crimson* (*og^c*), high pigment (*hp*) and other chlorophyll intensifier genes in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.)**. 1979. 96 f. Dissertation (Master in Plant Science) - Purdue University, West Lafayette, 1979.

SHAMI, N. J.; MOREIRA E. A. Licopeno como agente antioxidante. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 123-125, 2004.

THOMPSON, A. E. et al. Characterization of *old-gold crimson* tomato fruit color. **Proceeding American Society for Horticultural Science**, College Park, v. 86, n. 1, p. 610-616, July 1965.

THOMPSON, A. E. et al. Inheritance of crimson fruit color in tomatoes. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 91, p. 495-504, 1967.

THOMPSON, A. E.; HEPLER, R. W.; KER, E. A. Clarification of the inheritance of high total carotenoids pigments in the tomato. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 8, p. 434-442, 1962.

THURNHAM, D. I. Bioequivalence of b-carotene and retinol. **Journal of Science of Food and Agriculture**, London, v. 87, n. 1, p. 13-39, Feb. 2007.

TOMES, M. L.; QUACKENBUSH, F. W.; McQUISTAN, M. Modification and dominance of the gene governing formation of high concentrations of beta-carotene in the tomato. **Genetics**, Austin, v. 39, p. 810-817, 1954.

CAPÍTULO 3

**Características de produção e de qualidade de frutos de híbridos de
tomateiro ricos em betacaroteno**

RESUMO

Este trabalho visou avaliar o potencial agronômico e nutracêutico de híbridos de tomateiro ricos em betacaroteno. Duas linhagens (TOM-498 e TOM-499) de constituição genotípica B/B (homozigóticas *high-beta*) foram utilizadas em combinações híbridas com 7 linhagens de frutos com diferentes constituições genotípicas nos locos *ogc*, *hp* ou *t* – Floradade; TOM-596 (*ogc/ogc*), TOM-544 (*ogc/ogc hp/hp*), NC-8276, NC-2Y (*t/t*), Florida 7775 (*ogc/ogc*), Florida 7781 (*ogc/ogc*). Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com 24 tratamentos (14 híbridos, 9 linhagens parentais e mais o Giselle F1) e quatro repetições. Foram avaliadas as características de produção: produção precoce, produção total, massa média de frutos, formato e altura de plantas. Para a qualidade de frutos foram avaliadas a conservação pós-colheita (dias para firmeza 2×10^4 N.m⁻²) e o teor de vitamina C. Os híbridos com melhor desempenho tanto agronômico quanto nutracêutico foram F1(FLORIDA-7775 X TOM-499), F1(NC-2Y X TOM-499), F1(TOM-544 X TOM-498) e F1(TOM-596 X TOM-498), sendo tão bons ou superiores agronomicamente aos disponíveis no mercado, com maior conservação pós-colheita e teor de vitamina C, além de serem ricos em betacaroteno. O seu tamanho dos frutos foi, contudo menor que o material comercial Giselle F1. O emprego do *og^c* heterozigoto afetou favoravelmente os híbridos heterozigotos *high-beta* na produção precoce, na conservação pós-colheita e no teor de vitamina C. Para a massa média de frutos, o *ogc* heterozigoto só ou em combinação com *hp* heterozigoto afetou negativamente os híbridos heterozigoto *high-beta*. A constituição genotípica *ogc* heterozigoto com *hp* heterozigoto promoveu uma redução no teor de vitamina C nos híbridos. Não foi observado efeito do *og^c* heterozigoto só ou em combinação com *hp* heterozigoto na produção total de frutos e na altura da plantas do híbridos.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*. Alimento enriquecido. Conservação pós-colheita. Melhoramento Genético.

ABSTRACT

The objective of this work was to assess horticultural and nutraceutical potential of beta-carotene enriched tomato hybrids. Two tomato lines (TOM-498 e TOM-499) with genotype *BB* (high-beta homozygous) were used in hybrid combinations with 7 tomato lines with different genotypic constitutions in loci *og^c*, *hp* or *t* – Floradade; TOM-596 (*og^c/og^c*), TOM-544 (*og^c/og^c hp/hp*), NC-8276, NC-2Y (*t/t*), Florida 7775 (*og^c/og^c*), Florida 7781 (*og^c/og^c*). A randomized complete block design with 24 treatments (14 hybrids, their 9 parental lines, plus the commercial check Giselle F1) and four replications. Yield-related traits assessed were early yield, total yield, mean fruit mass, fruit shape and plant height. Fruit quality-related traits included shelf life (days to firmness = $2 \times 2 \times 10^4$ N.m⁻²) and vitamin C content. F1(FLORIDA-7775 X TOM-499), F1(NC-2Y X TOM-499), F1(TOM-544 X TOM-498) and F1(TOM-596 X TOM-498) were the hybrids with overall best performances for horticultural and nutraceutical traits; they were agronomically equal to or better than the current hybrids in the market, and had superior shelf-life and vitamin C, besides being rich in beta-carotene; their mean fruit mass was, however, lower than the Giselle check. Deployment of heterozygous *og^c* did favorably affect early yield, shelf life and vitamin C content of heterozygous high-beta hybrids. However, heterozygous *og^c* genotype either alone or in combination with heterozygous *hp* did negatively affect mean fruit mass of heterozygous high-beta hybrids. The genotypic combination heterozygous *og^c* plus heterozygous *hp* decreased vitamin C in the hybrids. There was no effect of the heterozygous *og^c* genotype alone or in combination with heterozygous *hp* in total yield or in plant height.

Keywords: *Solanum lycopersicum*. Enriched food. Lycopene. Beta-carotene. Plant breeding.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de cultivares mais ricas em compostos funcionais como os carotenoides tem sido focado em estudos de melhoramento genético de hortaliças, particularmente no tomateiro, espécie para a qual estão descritos mutantes que podem aumentar substancialmente o teor de carotenoides nos frutos. Além disso, cultivar com maior vida de prateleira pode ser obtida por meio do uso de alelos mutantes que influenciam o amadurecimento do tomate, e têm despertado o interesse de vários pesquisadores e melhoristas (ARAÚJO et al., 2002; BENITES, 2003; CÁ, 2005).

Alguns trabalhos têm demonstrado a possibilidade de utilização desses alelos mutantes no melhoramento do tomateiro, com a finalidade de incrementar o teor de carotenoides nos frutos e a conservação pós-colheita sem afetar as características de produção (ANDRADE JÚNIOR et al., 2005; ARAÚJO et al., 2002; DIAS et al., 2003; FARIA et al., 2003; FREITAS et al., 1998; SANTOS, 2012; SANTOS JÚNIOR, 2002; SOUZA et al., 2001). O mutante B (=high beta) pode aumentar significativamente o teor de betacaroteno, tornando os frutos de cor alaranjada quando maduros. Já os mutantes *og^c* (=old gold crimson) e *hp* (=high pigment) aumentam o teor de licopeno e conferem ao fruto uma intensificação da cor vermelha usual. Essas características devem estar vinculadas, preferencialmente, a uma maior produtividade de frutos sem causarem efeitos indesejáveis no tamanho, formato dos frutos e porte das plantas (ARAÚJO et al., 2002).

Um importante atributo da qualidade de frutos para consumo *in natura* e para o processamento é a firmeza, que está relacionada com a duração e a capacidade de armazenamento, a chamada vida de prateleira (AHRENS; HUBER, 1990). A firmeza pode ser função tanto do *background* genético como de alelos mutantes que atuam sobre o processo de amadurecimento

(ANDRADE JÚNIOR, 2003; CÁ, 2005). A firmeza do tecido de cultivares normais de tomate diminui rapidamente após o estágio *breaker* (caracterizado pela quebra do estado verde dos frutos com o aparecimento de manchas levemente amareladas ou avermelhadas na região da cicatriz estilar) (HALL, 1987; SANTOS, 2012; SANTOS JÚNIOR et al., 2005; VECCHIA; KOCH, 2000).

Assim como outros frutos e hortaliças, o tomate é uma importante fonte de ácido ascórbico, também conhecido como vitamina C e vitamina antiescorbútica. O teor de ácido ascórbico geralmente decresce durante o armazenamento. Esse decréscimo depende, em grande parte, da duração e da temperatura desse armazenamento (CHEFTEL; CHEFTEL, 1992). Nos tomates, o conteúdo de ácido ascórbico varia, de acordo com a cultivar e as condições de cultivo, entre 14 e 44 mg.100 g⁻¹ (GAHLER; ; OTTO; BÖHM, 2003). De acordo com Luengo et al. (2000) as cultivares de tomate no Brasil o valor médio de vitamina C encontrado é de 34,4 mg.100 g⁻¹.

A obtenção de cultivares de tomateiro cujos frutos possuam maior valor nutracêutico, com maiores teores de betacaroteno, licopeno e vitamina C nos frutos, é de grande importância, uma vez que cultivares com essas características são atualmente raras no mercado brasileiro. Todavia, como frutos de tomates *high-beta* são de coloração alaranjada, esses podem não ter uma boa aceitação pelo consumidor. Na tentativa de melhoria da coloração final em direção do vermelho padrão, combinações de *high-beta* com *og^c* e *hp* poderiam ser uma alternativa na melhoria da coloração, já que esses últimos genes intensificam a coloração vermelha nos frutos de tomate.

Este trabalho visou avaliar o potencial agrônomo e nutracêutico de híbridos de tomateiro ricos em betacaroteno (portadores do gene *high-beta*), sob os aspectos de produtividade, porte de planta, massa média, formato e firmeza de frutos, bem como o teor de vitamina C.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de condução dos experimentos

A pesquisa foi desenvolvida na Estação Experimental da HortiAgro Sementes S.A., localizada na Fazenda Palmital situada em Ijaci, MG, nas coordenadas 21°14'16'' de latitude Sul e 45°08'00'' de longitude Oeste, à altitude de 920 m O trabalho foi conduzido durante os anos de 2009 e 2011. No primeiro ano, foram obtidos os híbridos experimentais e, posteriormente, foi instalado e conduzido o experimento de cultivo, com os referidos híbridos.

As avaliações das características de produção de frutos foram realizadas também na Estação Experimental da HortiAgro Sementes S.A. A avaliação de firmeza foi feita no Laboratório de Cultura de Tecidos do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras e o teor de Vitamina C no Laboratório de Produtos Vegetais do Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras.

2.2 Material vegetal

Foram utilizadas linhagens homozigotas para os genes *B*, *og^c*, *hp* e *t*, pertencentes ao banco de germoplasma da empresa HortiAgro Sementes S.A., essas linhagens, bem como linhagens não portadoras desses genes (*B⁺/ B⁺* *og^{c+}/og^{c+}* *hp⁺/hp⁺* *t⁺/t⁺*) foram empregadas como linhagens parentais na obtenção de híbridos. As linhagens utilizadas estão descritas na Quadro 4.

Quadro 4 Linhagens a serem utilizadas e suas respectivas descrições

| LINHAGEM | DESCRIÇÃO |
|--------------|--|
| TOM-498 | Linhagem <i>Purdue-88-96-1</i> , cedida por Edward C. Tigchelaar/ <i>Purdue University</i> em Agosto/1989; linhagem com constituição genotípica <i>B sp/ B sp</i> (<i>high-beta</i> , crescimento determinado); frutos oblongos e ricos em beta-caroteno |
| TOM-499 | Linhagem <i>Purdue-88-100A-1</i> , cedida por Edward C. Tigchelaar/ <i>Purdue University</i> em Agosto/1989; linhagem com constituição genotípica <i>B sp/ B sp</i> (<i>high-beta</i> , crescimento determinado); frutos oblongos e ricos em beta-caroteno |
| Floradade | Linhagem normal (não portadora de <i>B</i> , <i>og^c</i> , <i>hp</i> ou <i>t</i>), originária da Universidade da Florida; frutos multiloculares, com 4 a 5 lóculos, ligeiramente achatados; hábito de crescimento determinado; sem camada de abscisão no pedúnculo (= <i>jointless</i> , genótipo <i>j2/j2</i>); com ombros verdes nos frutos (genótipo <i>u⁺/u⁺</i>); resistência a <i>Verticillium dahliae</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i> raças 1 e 2, e <i>Stemphylium solani</i> |
| TOM-596 | Linhagem quase isogênica de Floradade, dela diferindo por ter constituição genotípica <i>og^c sp /og^c sp</i> (<i>old-gold crimson</i> , crescimento determinado); frutos presumivelmente ricos em licopeno |
| TOM-544 | Linhagem quase isogênica de Floradade, dela diferindo por ter constituição genotípica <i>ogc sp /og^c sp</i> (<i>old-gold crimson</i> , crescimento determinado), <i>hp/hp</i> (<i>high-pigment</i>); frutos presumivelmente ricos em licopeno; com ombro verde intenso quando imaturos (efeito pleiotrópico do genótipo <i>hp/hp</i>) |
| NC-8276 | Linhagem normal (não portadora de <i>B</i> , <i>og^c</i> , <i>hp</i> ou <i>t</i>), originária da <i>North Carolina State University</i> ; frutos multiloculares, com 4 a 5 lóculos, achatados, firmes, mais graúdos que os de Floradade; frutos com camada de abscisão no pedúnculo (genótipo <i>j2⁺ /j2⁺</i>), sem ombros verdes (genótipo <i>u/u</i>); resistência a <i>Verticillium dahliae</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i> raças 1 e 2. |
| NC-2Y | Linhagem NC-2Y, originária da <i>North Carolina State University</i> , de hábito de crescimento determinado (<i>sp/sp</i>), com constituição genotípica <i>t/t</i> (= <i>tangerine</i>), que condiciona cor alaranjada dos frutos maduros; frutos graúdos, arredondados a achatados, com alguma suscetibilidade a rachaduras; frutos com camada de abscisão no pedúnculo (genótipo <i>j2⁺ /j2⁺</i>), sem ombros verdes (genótipo <i>u/u</i>); resistência a <i>Verticillium dahliae</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i> raças 1 e 2. |
| Florida-7775 | Linhagem obtida na Universidade da Florida por J.W. Scott; com constituição genotípica <i>og^c sp /og^c sp</i> (<i>old-gold crimson</i> , crescimento determinado); frutos multiloculares, achatados, ricos em licopeno; sem camada de abscisão no pedúnculo (= <i>jointless</i> , genótipo <i>j2/j2</i>); sem ombros verdes acentuados (genótipo <i>ug/ug</i> , <i>uniform green</i>); resistência a <i>Verticillium dahliae</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i> raças 1 e 2 |
| Florida-7781 | Linhagem obtida na Universidade da Florida por J.W. Scott; com constituição genotípica <i>og^c sp /og^c sp</i> (<i>old-gold crimson</i> , crescimento determinado); frutos multiloculares, achatados, ricos em licopeno; com camada de abscisão no pedúnculo (= <i>jointed</i> , genótipo <i>j2⁺ /j2⁺</i>); sem ombros verdes acentuados (genótipo <i>ug/ug</i> , <i>uniform green</i>); resistência a <i>Verticillium dahliae</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i> raças 1 e 2 |

2.3 Obtenção de híbridos

Os 14 híbridos experimentais foram obtidos a partir de sete linhagens (Floradade, TOM-596, TOM-544, NC-8276, NC-2Y, FLORIDA-7775, FLORIDA-7781) que foram utilizadas como genitores femininos em combinação com duas linhagens (TOM-498, TOM-499) utilizadas como genitoras masculinas. Uma vez que TOM-498 e TOM-499 têm constituição genotípica *B/B* (*high-beta*), todos os híbridos obtidos são heterozigotos no loco *B*, e, presumivelmente, ricos em betacaroteno. Floradade foi tomado como padrão de tomate com teores normais de licopeno. Os teores de licopeno e a coloração dos frutos nos híbridos poderão depender da presença, nas linhagens genitoras femininas, dos genes *og^c*, *hp* ou *t*, que em homozigose afetam o teor de carotenoides nos frutos.

Os 14 híbridos experimentais obtidos, bem como as 9 linhagens parentais e um material comercial (Giselle F1), constituíram os 24 tratamentos (Quadro 5), todos com hábito de crescimento determinado. O material denominado Giselle F1 é uma cultivar do tipo de salada, longa vida, de alta produtividade e crescimento determinado (Quadro 5), tomada como testemunha comercial.

Quadro 5 Descrição dos tratamentos. UFLA, Lavras, MG

| Tratamento | Nome do tratamento | Características |
|-------------------|------------------------------------|---|
| T1 | FLORADADE | Normal |
| T2 | FLORIDA-7775 | <i>og^c</i> homozigoto |
| T3 | FLORIDA-7781 | <i>og^c</i> homozigoto |
| T4 | NC-2Y | <i>tangerine</i> homozigoto |
| T5 | NC-8276 | Normal |
| T6 | TOM-544 | <i>og^c</i> homozigoto; <i>hp</i> homozigoto |
| T7 | TOM-596 | <i>og^c</i> homozigoto |
| T8 | <i>Purdue</i> 88-96-1 (=TOM-498) | <i>high-beta</i> homozigoto |
| T9 | <i>Purdue</i> 88-100A-1 (=TOM-499) | <i>high-beta</i> homozigoto |
| T10 | F1(FLORADADE X TOM-499) | <i>og^c</i> + normal; <i>hp</i> + normal; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T11 | F1(FLORIDA-7775 X TOM-499) | <i>og^c</i> heterozigoto; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T12 | F1(FLORIDA-7781 X TOM-499) | <i>og^c</i> heterozigoto; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T13 | F1(NC-8276 X TOM-499) | <i>og^c</i> + normal; <i>hp</i> + normal; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T14 | F1(TOM-544 X TOM-499) | <i>og^c</i> heterozigoto; <i>hp</i> heterozigoto; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T15 | F1(TOM-596 X TOM-499) | <i>og^c</i> heterozigoto; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T16 | F1(NC-2Y X TOM-499) | <i>tangerine</i> heterozigoto; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T17 | F1(FLORADADE X TOM-498) | <i>og^c</i> + normal; <i>hp</i> + normal; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T18 | F1(FLORIDA-7775 X TOM-498) | <i>og^c</i> heterozigoto; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T19 | F1(FLORIDA-7781 X TOM-498) | <i>og^c</i> heterozigoto; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T20 | F1(NC-8276 X TOM-498) | <i>og^c</i> + normal; <i>hp</i> + normal; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T21 | F1(TOM-544 X TOM-498) | <i>og^c</i> heterozigoto; <i>hp</i> heterozigoto; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T22 | F1(TOM-596 X TOM-498) | <i>og^c</i> heterozigoto; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T23 | F1(NC-2Y X TOM-498) | <i>tangerine</i> heterozigoto; <i>high-beta</i> heterozigoto |
| T24 | Giselle F1 | Normal |

2.4 Condução do experimento

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, com 24 tratamentos e quatro repetições. As parcelas foram constituídas de uma única fileira contendo dez plantas.

As produções das mudas dos 24 tratamentos foram em bandejas de poliestireno expandido de 128 células contendo substrato comercial Multiplant®. O transplântio para a estufa ocorreu 30 dias após a semeadura.

O material foi transplantado para a estufa com espaçamento de 0,5 m entre plantas e 1,5 m entre as fileiras, tutorado com estaca e irrigação por gotejamento. As adubações de cobertura foram realizadas com o auxílio de fertirrigação por gotejamento. Além disso, foram feitas capinas manual e pulverizações com produtos recomendados para a cultura do tomate sempre que necessário.

As características de produção avaliadas foram:

Produção precoce de frutos - obtida pelo somatório das massas de todos os frutos colhidos nas três primeiras colheitas, realizadas entre 24/01/2011 e 03/02/2011, os resultados foram obtidos em kg. Planta⁻¹ e convertidos para toneladas por hectare (t.ha⁻¹);

Produção total de frutos - obtida pelo somatório total de frutos colhidos em cada parcela, durante as oito colheitas realizadas entre 24/01/2011 e 09/03/2011, expressa em t.ha⁻¹;

Massa média por fruto - obtida pela divisão da massa fresca total de frutos, colhidos em cada parcela, pelo seu respectivo número de frutos, durante todo o período de colheita, expressa em g.fruto⁻¹;

Formato de frutos - obtido na 3ª colheita amostrando-se 10 frutos de cada parcela e medindo o comprimento longitudinal (H) e transversal (D) de cada fruto, com o auxílio de paquímetro digital. A relação comprimento/largura

($H.D^{-1}$) indica o formato do fruto, sendo: achatado ($H.D^{-1}$ inferior a 1), redondo ($H.D^{-1}$ próximo de 1) e oblongo ($H.D^{-1}$ superior a 1);

Altura de plantas - obtida medindo-se as 10 plantas de cada parcela, com o auxílio de uma trena e realizada a média das mesmas. Os resultados foram expressos em metros (m).

As características de qualidade de frutos avaliadas foram a **firmeza de frutos** e **teor de vitamina C**.

A firmeza dos frutos foi medida segundo a técnica de aplanção não destrutiva, desenvolvida por Calbo e Calbo (1989) e Calbo e Nery (1995). O princípio consiste em utilizar um aplanador centrado e assim, aplicar uma força exatamente conhecida à superfície do fruto, seguindo-se a medição da área aplanada de contato entre a placa compressora e a superfície do fruto. A área aplanada foi estimada pela fórmula da área (A) de uma elipse, $A = 0,7884 * a * b$, em que:

A = área aplanada (cm^2);

a = diâmetro maior (cm) da área elíptica;

b = diâmetro menor (cm) da área elíptica.

A firmeza (Fz) foi obtida dividindo-se o peso da ponta de prova (P), em quilogramas-força, pela área aplanada (A), em cm^2 ($Fz = P/A$).

Para avaliação da firmeza, na parcela, coletaram-se quatro frutos por parcela, no estágio *breaker* (caracterizado pela quebra do estado verde dos frutos com o aparecimento de manchas levemente amareladas ou avermelhadas na região da cicatriz estilar), que foram armazenados em prateleiras dentro de câmara fria, a 15°C e umidade relativa de 60%, durante 21 dias. As medidas, iniciadas um dia após os frutos colhidos em estágio *breaker* (dia 1) e continuamente realizadas a cada dois 2 dias, até o 21º dia após o *breaker*, foram

feitas em cada fruto e sempre no mesmo ponto. Utilizou-se uma gota de óleo mineral na superfície do fruto a ser medido, para delinear melhor a elipse provocada pela compressão. A largura e o comprimento da elipse foram medidos com auxílio de um paquímetro digital. Os resultados da firmeza de frutos foram expressos em números de dias gastos pelos frutos para atingir a firmeza equivalente a 2.10^4 N.m^{-2} . Valor 2.10^4 N.m^{-2} foi assumido como sendo a firmeza limite, abaixo da qual o fruto torna-se inviável para comercialização e representa, portanto, a capacidade de conservação do mesmo.

Para determinação dos teores de vitamina C foram utilizados três frutos de cada parcela. Esses foram coletados no estágio *breaker* e, quando maduros, foram acondicionados em sacos devidamente identificados para posterior análise. Os frutos foram batidos no liquidificador e acondicionados em recipientes envolvidos com papel alumínio. Utilizaram-se três amostras de 1 g de polpa de tomate para cada parcela. O teor de ácido ascórbico foi determinado pelo método colorimétrico com 2,4 dinitrofenilhidrazina, após a oxidação do ácido ascórbico a ácido de-hidroascórbico, segundo metodologia proposta por Strohecker e Henning (1967). Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g de polpa.

2.5 Análise de dados

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias de tratamentos comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Uma vez que as linhagens Floradade ($og^{c+} og^{c+} hp^+ hp^+$), TOM-544 ($og^c og^c hp hp$) e TOM-596 ($og^c og^c hp^+ hp^+$) são linhagens quase isogênicas que diferem em sua constituição genotípica nos locos og^c e hp , também foram avaliados, através de contrastes, os efeitos desses locos específicos na expressão das características avaliadas (Quadro 6).

Quadro 6 Contrastes de interesse usados para avaliação dos efeitos dos locos *og^c* e *hp* para as características de produção e de qualidade de frutos de tomate. UFLA, Lavras, MG

| Contraste | Significado do contraste |
|--------------------------------------|--|
| $C1 = T7 - T1$ | Incremento devido à presença do alelo <i>og^c</i> em homozigose em linhagem não portadora do gene <i>high-beta</i> ; |
| $C2 = T6 - T1$ | Incremento devido à presença dos alelos <i>og^c</i> e <i>hp</i> em homozigose em linhagem não portadora do gene <i>high-beta</i> ; |
| $C3 = (T15 + T22)/2 - (T10 - T17)/2$ | Incremento devido à presença do alelo <i>og^c</i> em heterozigose nos híbridos heterozigotos <i>high-beta</i> ; |
| $C4 = (T14 + T21)/2 - (T10 - T17)/2$ | Incremento devido à presença dos alelos <i>og^c</i> e <i>hp</i> em heterozigose nos híbridos heterozigotos <i>high-beta</i> . |

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observadas diferenças entre os tratamentos ($\alpha=0.05$) para todas as características de produção: produção precoce, produção total, massa média de frutos, formato e altura de plantas e para de qualidade de frutos (dias para firmeza 2×10^4 N.m⁻² e teores de vitamina C) (Tabelas 5 e 7).

Produção precoce: as linhagens TOM-596 e TOM-499 foram as que obtiveram os maiores valores de produção precoce, com 33,61 e 37,53 t.ha⁻¹ respectivamente como pode ser observado na Tabela 3. Para as outras linhagens, a produção precoce variou de 6 a 27 t.ha⁻¹. Os híbridos F1(FLORIDA-7775 X TOM-499), F1(FLORIDA-7781 X TOM-499), F1(NC-8276 X TOM-499), F1(TOM-596 X TOM-499), F1(FLORIDA-7775 X TOM-498), F1(FLORIDA-7781 X TOM-498), F1(TOM-544 X TOM-498), F1(TOM-596 X TOM-498) e F1(NC-2Y X TOM-498) foram que tiveram maiores médias, ficando entre 41 a 48 t.ha⁻¹ (Tabela 3). Pode-se observar que vários híbridos tiveram média superior a 40 t.ha⁻¹, não deferindo estatisticamente do híbrido mais produtivo F1(NC-2Y x TOM-498) com 48,17 t.ha⁻¹, valor esse superior ao da testemunha Giselle F1 com 31,38 t.ha⁻¹ (Tabela 3).

Nos tratamentos isogênicos para os locos *og^c* e *hp*, as estimativas dos contrastes C1 e C3 (Tabela 6) indicaram que houve incremento da produtividade precoce devidos à ação do alelo *og^c*, tanto em homozigose nas linhagens parentais quanto em heterozigose nos híbridos portadores do gene *B*. Já a presença simultânea de *og^c* e *hp* em homozigose promove uma redução na produção precoce na linhagens não portadoras de *B* (Contraste C2), enquanto em heterozigose não afetam significativamente a produtividade dos híbridos heterozigotos *high-beta*, chegando mesmo a apresentar tendência de aumentá-la (Contraste C4, Tabela 6). Isso indica um possível efeito de *hp* em homozigose

no sentido de diminuir a precocidade da colheita, efeito que é pouco ou nada pronunciado quando em heterozigose nos híbridos *high-beta*. Esse possível efeito foi encontrado por Hazra et al. (2012), onde observaram que híbridos de constituição (*hp/hp*⁺) tiveram um menor rendimento de frutos. No trabalho de Araújo et al. (2002) os materiais (+/+; *hp/hp*), (*og*^c/*og*^c; *hp/hp*) e (*og*^c/*og*^c; +/*hp*) também tiveram menores rendimento de frutos. Os trabalhos de Cá (2005), Cá et al. (2006) e Santos (2012) foi observado um efeito do genótipo *nor*⁺/*nor*^A em diminuir a produção precoce de frutos que possuem a constituição genotípica *og*^{c+}/*og*^c *hp*⁺/*hp*, mas nenhum efeito desses genótipos heterozigotos na produção quando usados sem a presença do gene mutante de amadurecimento *nor*^A, como é o caso do presente trabalho.

Produção total: entre as linhagens, não foram observadas diferenças significativas na produção total de frutos pelo teste de Scott-Knott, com os valores médios variando de 39 a 66 t.ha⁻¹ (Tabela 5). Entre os híbridos, as produtividades médias variaram entre 57 e 84 t.ha⁻¹. Os híbridos F1(FLORIDA-7775 X TOM-499), F1(TOM-596 X TOM-499), F1(NC-2Y X TOM-499), F1(FLORADE X TOM-498), F1(FLORIDA-7775 X TOM-498), F1(FLORIDA-7781 X TOM-498), F1(TOM-544 X TOM-498), F1(TOM-596 X TOM-498) e F1(NC-2Y X TOM-498) tiveram produtividade entre 67 a 84 t.ha⁻¹ aproximadamente, e se apresentaram com produtividades superiores as da testemunha Giselle F1 (69 t.ha⁻¹), as das linhagens parentais, e as dos demais híbridos (Tabela 5). As maiores produtividades demonstradas por esses híbridos em relação às linhagens são demonstrativas da existência de heterose para essa característica.

Os contrastes estudados (C1 a C4) para produção total não foram significativos (Tabela 6), demonstrando que tanto *og*^c e *hp* não afetam a produtividade total quando em homozigose, quanto combinações em heterozigose de *og*^c e *B* ou de *og*^c *hp* e *B* também não o fazem. Isso demonstra a

viabilidade do emprego dos mutantes og^c , hp em combinações com o *high-beta* no melhoramento de tomateiro na obtenção de híbridos, uma vez que nenhum efeito desfavorável à produção lhes pode ser atribuído, embora a tendência de og^{c+}/og^c somente em reduzir a produtividade tenha sido relatada por Andrade Júnior (2003). Em trabalho de Hazra et al. (2012) verificaram que híbridos hp/hp^+ tiveram menor rendimento de frutos quando comparados com híbridos de constituição og^c/og^{c+} .

Massa média de frutos: foi observada uma grande variação na massa média de frutos entre as linhagens, com valores entre 54 e 251 g.fruto⁻¹ (Tabela 5). O maior valor observado foi na linhagem NC-2Y, com 251,46 g.fruto⁻¹. Entre os híbridos, a amplitude de variação (entre 89 e 150 g.fruto⁻¹) foi menor do que entre as linhagens. As médias de cada híbrido se aproximaram das médias das respectivas linhagens parentais (Tabela 5), demonstrando que a ação gênica envolvida na expressão da massa média de frutos é predominantemente aditiva. O híbrido F1(NC-2Y X TOM-498) foi o que obteve o maior valor de massa média de frutos, com 152,74 g.fruto⁻¹ valor esse significativamente inferior ao da testemunha Giselle F1 (222.41 g.fruto⁻¹).

Os contrastes C1, C2, C3 e C4 demonstram um efeito negativo de og^c e hp na massa média de frutos (Tabela 6). O alelo og^c isolado ou og^c e hp em homozigose (nas linhagens) e/ou em heterozigose em combinações com *high-beta* (híbridos) promoveu uma redução na massa média de frutos nas linhagens T6 e T7 e nos híbridos T14, T15, T21 e T22 (Tabela 5). Resultados semelhantes foram obtidos por Cá et al. (2006), que relataram redução na massa média de frutos pelas constituições genotípicas og^{c+}/og^c , og^c/og^c e hp^+/hp embora ressaltando que a redução é pequena e, para efeitos práticos é pouco importante. Já Hazra et al. (2012) avaliando o efeito dos genes mutantes og^c , hp e *Aft* em características de fruto e na sua qualidade nutricional, verificaram que combinações com og^c sendo em homozigose ou em heterozigose favorecem as

características de frutos (peso, diâmetro e espessura de frutos) e um efeito depressivo do mutante *hp* seja em homo ou heterozigose nessas características.

Formato de frutos: as linhagens FLORADADE, FLORIDA-7781, FLORIDA-7775, NC-8276 e TOM-596 tiveram formato achatado ($H.D^{-1}$ inferior a 1), com valores de $H.D^{-1} < 0,9$, valores esses próximos da testemunha Giselle F1 que obteve média de $H.D^{-1}$ de 0,79. Já as linhagens NC-2Y e TOM-544 tiveram formato arredondado ($H.D^{-1}$ próximo de 1), com valores de $H.D^{-1}$ de 0,95 e 0,96 respectivamente. As outras 2 linhagens parentais, que possuem o gene *B* em homozigose, tiveram $H.D^{-1}$ superior a 1, com 1,16 para ambos materiais, assim seus frutos podem ser caracterizados com formato alongado (Tabela 5). Dentre os híbridos, F1(NC-8276 X TOM-499), F1(FLORADADE X TOM-498) e F1(NC-8276 X TOM-498) tiveram formato levemente achatados com $H.D^{-1}$ de 0,87, 0,92 e 0,91 respectivamente, não chegando entanto ser do mesmo formato achatado da testemunha Giselle F1. Para os demais híbridos, a relação $H.D^{-1}$ ficou próxima de 1, caracterizando os materiais como de frutos arredondados (Tabela 5).

A presença do alelo *og^c* homozigoto isoladamente, ou combinado com *hp* também em homozigose na linhagem não portadora de *B* promoveu um desvio no sentido de elevar o valor $H.D^{-1}$ dado pela significância dos contraste C1 e C2 (Tabela 6). Já em híbridos heterozigotos *high-beta*, *og^c* em heterozigose não afetou significativamente o formato de frutos (Contraste C3, Tabela 6), enquanto a presença simultânea em heterozigose dos genes *og^c* e *hp* (contraste C4, Tabela 6) promoveu apenas elevação significativa, mas de magnitude negligível, no valor de $H.D^{-1}$. O efeito *og^c* e *hp* em heterozigose no formato de fruto dos híbridos foi portanto nulo ou negligível (Tabela 5). Esses resultados foram semelhantes aos obtidos por Harza et al. (2012) que não encontraram diferenças nos valores de diâmetro e espessura de frutos nos materiais que possuem esses genes mutantes de coloração.

Altura de plantas: nas linhagens, a altura média das plantas variou de 8cm a 110 cm, sendo a linhagem FLORIDA-7781 que obteve o maior valor médio, com 110 cm. Nos híbridos, a maioria dos híbridos não se diferenciou da testemunha comercial Giselle F1, que teve 110 cm em média. Para os demais a altura variou 90 cm a 95 cm.

Os contrastes estudados para altura de plantas não foram significativos (Tabela 6), demonstrando que tanto *og^c* e *hp* não afetam a altura tanto em homozigose, quanto as combinações em heterozigose de *og^c* e *high-beta* ou de *og^c hp* e *high-beta* também não o fazem. Alguns autores relataram que o mutante *hp* tem um efeito na redução do porte da planta (ARAÚJO et al., 2002; JARRET et al., 1984), o que não foi observado no presente trabalho.

Firmeza: as linhagens T2, T5, T7, T8, T9 e T10 tiveram valores médios de firmeza superiores, conforme indica o teste de Scott-Knott (Tabela 7), aos das demais linhagens (T1, T3, T4 e T6) e ao da testemunha comercial Giselle F₁, nas quais o número de dias para atingir a firmeza 2.10^4 N.m^{-2} foi inferior a 3. A amplitude de variação foi entre 2,83 dias para testemunha Giselle F1 e 7,28 dias da linhagem TOM-499. A maioria dos híbridos levou de 1 a 4 dias adicionais para atingir a firmeza-limite quando comparados ao Giselle F1 (2,83 dias), tendo o híbrido F1(NC-8276 X TOM-498), o que levou maior número de dias(7,26) para atingir a firmeza de 2.10^4 N.m^{-2} (Tabela 7).

O contraste C1 (Tabela 8) indica um incremento significativo superior a 2 dias na conservação de frutos proporcionada pela presença do gene *og^c* em homozigose, embora nenhum efeito significativo nesse sentido tenha sido obtido na presença tanto de *og^c* quanto *hp* em homozigose, simultaneamente. Por outro lado, nos híbridos heterozigotos *high-beta*, tanto o *og^c* em heterozigose sozinho quanto *og^c* e *hp* simultaneamente em heterozigose provocaram incrementos de pelo menos 1,5 dias na duração média do período de conservação (contrastes C3 e C4, Tabela 8). A melhor interpretação para esses resultados parece ser a de que

o gene *og^c*, tanto em homozigose nas linhagens quanto em heterozigose nos híbridos *high-beta*, tende a promover aumentos na conservação de frutos em pós-colheita, enquanto o efeito do gene *hp* é inexistente ou menos pronunciado. Alguns autores verificaram que os alelos *og^c* e *hp* em heterozigose não contribuíram para aumentar a firmeza dos frutos de tomate (ANDRADE JÚNIOR et al., 2005; FREITAS et al., 1998), enquanto outros detectaram efeitos favoráveis na conservação pós-colheita (CÁ et al., 2006; SANTOS, 2012).

Vitamina C: a linhagem parental que apresentou o maior teor de vitamina C foi TOM-596 (91,91 mg.100g⁻¹). Dentre os híbridos, F1(FLORIDA-7775 X TOM-498) e F1(TOM-544 X TOM-498) foram os que apresentaram as maiores teores, 71,03 e 70,03 mg.100 g⁻¹, respectivamente, valores esses superiores ao do híbrido comercial Giselle F1 (48,75 mg.100 g⁻¹) (Tabela 7).

O gene *og^c* em homozigose em linhagens não portadoras do gene *B* promoveu um aumento significativo no teor de vitamina C dos frutos, o que também ocorreu, embora em de intensidade menos pronunciada, quando em heterozigose nos híbridos heterozigotos para o gene *B* (Contrastes C1 e C3, Tabela 8). Esses efeitos foram revertidos em presença de *hp*, uma vez que a presença simultânea de *og^c* e *hp* em homozigose (nas linhagens) ou em heterozigose (nos híbridos heterozigotos *high-beta*) promoveu decréscimos no teor de vitamina C (contrastes C2 e C4, Tabela 8). Esse efeito de *hp* em reduzir o teor de Vitamina C também foi observado por Harza et al. (2012).

Os teores de vitamina C encontrados nesse ensaio, estão acima do valor médio citado para tomate no Brasil, de 34,4 mg.100 g⁻¹, conforme indicado na tabela de composição nutricional de hortaliças, elaborada pela Embrapa Hortaliças (LUENGO et al., 2000).

Os híbridos com melhor desempenho tanto agrônômico quanto nutracêutico foram: F1(FLORIDA-7775 X TOM-499), F1(NC-2Y X TOM-499), F1(TOM-544 X TOM-498) e F1(TOM-596 X TOM-498) que se mostraram tão bons ou

superiores em produtividade aos da testemunha comercial Giselle F₁, com maior conservação pós-colheita e maior teor de vitamina C, além de serem ricos em betacaroteno, em virtude da presença do gene *B*. Apenas na massa média de frutos esses híbridos foram superados pela testemunha, embora isso não deva ser uma limitação para seu uso, uma vez que não há outros híbridos no segmento de mercado de frutos ricos em betacaroteno.

Em linhagens não portadoras do gene *B* (*high-beta*), o emprego de *og^c* em homozigose promoveu incrementos significativos na produção precoce, no período de conservação pós-colheita, e no teor de vitamina C dos frutos, enquanto provocou reduções significativas na massa média de frutos, afetou significativamente o formato de frutos (no sentido de frutos mais alongados) e pouco afetou a produção total e a altura de planta. A combinação duplo-homozigota *og^c og^c hp hp*, por sua vez, provocou nas linhagens um decréscimo na produção total, na massa média de frutos e no teor de vitamina C.

Em híbridos heterozigotos no loco B, os efeitos de *og^c* em heterozigose foram no mesmo sentido dos obtidos em homozigose, embora em intensidade mais atenuada. Já a presença simultânea de *og^c* e *hp* em heterozigose pouco afetou a produção precoce e a total, mas afetou negativamente a massa média de frutos e o teor de vitamina C.

Tendo em vista os efeitos positivos da presença de *og^c* em heterozigose nos híbridos *high-beta*, principalmente em ausência do gene *hp*, recomenda-se seu uso em linhagens que venham a ser usadas como parentais de híbridos portadores do gene B, como maneira de promover maior produção precoce, maior período de conservação de frutos em pós-colheita e maior teor de vitamina C.

Tabela 5 Valores médios de produtividade precoce ($t \cdot ha^{-1}$), produtividade total ($t \cdot ha^{-1}$), massa média de fruto ($g \cdot fruto^{-1}$), formato ($H \cdot D^{-1}$) e altura de plantas (cm) em tomate. UFLA, Lavras, MG

| Tratamento | Produção Precoce ($t \cdot ha^{-1}$) | Produção total ($t \cdot ha^{-1}$) | Massa média de frutos ($g \cdot fruto^{-1}$) | Formato ($H \cdot D^{-1}$) | Altura de Plantas (cm) |
|--------------------------------|--|--------------------------------------|--|------------------------------|------------------------|
| T1 Floradade | 16,26 ^d | 54,98 ^b | 152,74 ^d | 0,81 ^d | 94,0 ^b |
| T2 Florida-7775 | 13,05 ^d | 52,32 ^b | 121,74 ^d | 0,87 ^c | 110,0 ^a |
| T3 Florida-7781 | 27,36 ^c | 53,40 ^b | 166,98 ^c | 0,84 ^c | 101,0 ^a |
| T4 NC-2Y | 21,23 ^c | 58,03 ^b | 251,46 ^a | 0,95 ^b | 107,0 ^a |
| T5 NC-8276 | 19,21 ^c | 39,47 ^b | 156,71 ^c | 0,74 ^d | 85,0 ^b |
| T6 TOM-544 | 6,71 ^d | 47,74 ^b | 106,41 ^e | 0,96 ^b | 105,0 ^a |
| T7 TOM-596 | 33,61 ^b | 50,64 ^b | 54,58 ^g | 0,86 ^c | 90,0 ^b |
| T8 Purdue 88-96-1 (=TOM-498) | 24,15 ^c | 66,23 ^b | 111,7 ^e | 1,16 ^a | 103,0 ^a |
| T9 Purdue 88-100A-1 (=TOM-499) | 37,53 ^b | 57,57 ^b | 62,08 ^g | 1,16 ^a | 90,0 ^b |
| T10 F1(Floradade X TOM-499) | 29,43 ^b | 59,06 ^b | 95,98 ^f | 0,94 ^b | 95,0 ^b |
| T11 F1(Florida-7775 X TOM-499) | 44,92 ^a | 84,82 ^a | 103,43 ^e | 0,94 ^b | 103,0 ^a |
| T12 F1(Florida-7781 X TOM-499) | 43,93 ^a | 57,05 ^b | 103,31 ^e | 1,00 ^b | 95,0 ^b |
| T13 F1(NC-8276 X TOM-499) | 41,58 ^a | 64,30 ^b | 109,60 ^e | 0,87 ^c | 92,0 ^b |
| T14 F1(TOM-544 X TOM-499) | 33,26 ^b | 61,91 ^b | 92,84 ^f | 0,97 ^b | 96,0 ^b |
| T15 F1(TOM-596 X TOM-499) | 39,18 ^a | 78,89 ^a | 89,27 ^f | 0,98 ^b | 109,0 ^a |
| T16 F1(NC-2Y X TOM-499) | 33,66 ^b | 73,32 ^a | 114,5 ^d | 0,97 ^b | 101,0 ^a |
| T17 F1(Floradade X TOM-498) | 35,74 ^b | 73,69 ^a | 109,30 ^e | 0,92 ^c | 101,0 ^a |
| T18 F1(Florida-7775 X TOM-498) | 46,26 ^a | 75,57 ^a | 104,49 ^e | 0,96 ^b | 108,0 ^a |
| T19 F1(Florida-7781 X TOM-498) | 43,96 ^a | 68,42 ^a | 105,57 ^e | 0,99 ^b | 99,0 ^a |
| T20 F1(NC-8276 X TOM-498) | 29,86 ^b | 59,01 ^b | 104,15 ^e | 0,9 ^c | 92,0 ^b |
| T21 F1(TOM-544 X TOM-498) | 41,01 ^a | 67,71 ^a | 90,96 ^f | 1,01 ^b | 102,0 ^a |
| T22 F1(TOM-596 X TOM-498) | 41,41 ^a | 76,07 ^a | 89,93 ^f | 0,95 ^b | 91,0 ^b |
| T23 F1(NC-2Y X TOM-498) | 48,17 ^a | 76,08 ^a | 152,74 ^c | 1,01 ^b | 101,0 ^a |
| T24 Giselle F1 | 31,38 ^b | 69,52 ^a | 222,41 ^b | 0,79 ^d | 110,0 ^a |

Médias seguidas da mesma letra na vertical não diferenciam pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 6 Estimativas de contrastes de interesse produtividade precoce ($t\cdot ha^{-1}$), produtividade total ($t\cdot ha^{-1}$), massa média de fruto ($g\cdot fruto^{-1}$), formato ($H\cdot D^{-1}$) e altura de plantas (cm) de tomate. UFLA, Lavras, MG

| Contraste | Estimativas | | | | |
|-----------|---------------------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------|-----------------------|
| | Produção Precoce ($t\cdot ha^{-1}$) | Produção total ($t\cdot ha^{-1}$) | Massa média de frutos ($g\cdot fruto^{-1}$) | Formato ($H\cdot D^{-1}$) | Altura de planta (cm) |
| C1 | 17,35** | -4,34 ^{ns} | -98,16** | 0,35** | -3,75 ^{ns} |
| C2 | -9,54* | -7,23 ^{ns} | -46,33** | 0,15** | 11,00 ^{ns} |
| C3 | 7,71** | 11,11 ^{ns} | -13,04** | 0,04 ^{ns} | 2,37 ^{ns} |
| C4 | 4,55 ^{ns} | -1,56 ^{ns} | -10,74* | 0,06* | 1,37 ^{ns} |

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

Tabela 7 Valores médios de dias para firmeza $2\cdot 10^4\cdot N\cdot m^{-2}$ (dias) e Vitamina C ($mg\cdot 100\cdot g^{-1}$) em tomate. UFLA. Lavras. MG

| Tratamentos | | Dias para firmeza $2\cdot 10^4\cdot N\cdot m^{-2}$ (dias) | Vitamina C ($mg\cdot 100\cdot g^{-1}$) |
|-------------|------------------------------------|---|--|
| T1 | Floradade | 2,88c | 83,04b |
| T2 | Florida-7775 | 6,6b | 72,38e |
| T3 | Florida-7781 | 2,97b | 78,56c |
| T4 | NC-2Y | 2,97b | 84,47b |
| T5 | NC-8276 | 5,63 ^a | 67,10f |
| T6 | TOM-544 | 2,96b | 62,01g |
| T7 | TOM-596 | 5,46 ^a | 91,91 ^a |
| T8 | <i>Purdue</i> 88-96-1 (=TOM-498) | 5,03 ^a | 64,71f |
| T9 | <i>Purdue</i> 88-100A-1 (=TOM-499) | 7,28 ^a | 57,28h |
| T10 | F1(Floradade X TOM-499) | 4,76 ^a | 59,64h |
| T11 | F1(Florida-7775 X TOM-499) | 5,79 ^a | 65,30f |
| T12 | F1(Florida-7781 X TOM-499) | 3,32b | 39,60m |
| T13 | F1(NC-8276 X TOM-499) | 4,25b | 53,05i |
| T14 | F1(TOM-544 X TOM-499) | 6,31 ^a | 42,91l |
| T15 | F1(TOM-596 X TOM-499) | 5,71 ^a | 48,18j |
| T16 | F1(NC-2Y X TOM-499) | 4,67 ^a | 60,58g |
| T17 | F1(Floradade X TOM-498) | 4,42b | 58,84h |
| T18 | F1(Florida-7775 X TOM-498) | 4,87 ^a | 71,03e |
| T19 | F1(Florida-7781 X TOM-498) | 3,85b | 61,70g |
| T20 | F1(NC-8276 X TOM-498) | 7,26 ^a | 44,42l |
| T21 | F1(TOM-544 X TOM-498) | 5,92 ^a | 70,03e |
| T22 | F1(TOM-596 X TOM-498) | 6,75 ^a | 74,76d |
| T23 | F1(NC-2Y X TOM-498) | 2,94b | 66,31f |
| T24 | Giselle F1 | 2,83b | 48,75j |

Médias seguidas da mesma letra na vertical não diferenciam pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 8 Estimativas de contrastes de interesse de dias para firmeza $2.10^4.N.m^{-2}$ (dias) e Vitamina C ($mg.100.g^{-1}$) de frutos de tomate. UFLA, Lavras, MG

| Contraste | Estimativas | |
|-----------|--|--------------------------------|
| | Dias para firmeza $2.10^4.N.m^{-2}$ (dias) | Vitamina C ($mg.100 g^{-1}$) |
| C1 | 2,57** | 8,86** |
| C2 | 0,07 ^{ns} | -21,03** |
| C3 | 1,63* | 2,23* |
| C4 | 1,52* | -2,77** |

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

4 CONCLUSÕES

Os híbridos F1(FLORIDA-7775 X TOM-499), F1(NC-2Y X TOM-499), F1(TOM-544 X TOM-498) e F1(TOM-596 X TOM-498) tiveram os melhores desempenho tanto agrônomico quanto nutracêutico.

A presença de *og^c* em heterozigose nos híbridos *high-beta* teve efeito positivo para a produção precoce, maior período de conservação de frutos em pós-colheita e maior teor de vitamina C, principalmente em ausência do gene *hp*. Recomenda-se seu uso em linhagens que venham a ser usadas como parentais de híbridos portadores do gene *B*. A combinação duplo-homozigota *og^c og^c hp hp*, provocou nas linhagens um decréscimo na produção total, na massa média de frutos e no teor de vitamina C.

Em híbridos heterozigotos no loco *B*, os efeitos de *og^c* em heterozigose foram no mesmo sentido dos obtidos em homozigose, embora em intensidade mais atenuada. Já a presença simultânea de *og^c* e *hp* em heterozigose não afetou as produções precoce e total, mas afetou negativamente a massa média de frutos e o teor de vitamina C.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às seguintes instituições brasileiras que fornecem apoio para este projeto de pesquisa: FAPEMIG-Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais. CNPq-Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. FINEP / MCT-Ministério de Ciência e Tecnologia / FNDCT. CAPES / MEC-Ministério da Educação brasileiro. UFLA-Universidade Federal de Lavras. HortiAgro Sementes S.A.. FUNDECC-Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico. FAEPE-Fundação de Apoio ao Ensino. Pesquisa e Extensão.

REFERÊNCIAS

- AHRENS, M. J.; HUBER, D. J. Physiology and firmness determination of ripening tomato fruit. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 78, n. 1, p. 8-14, Jan. 1990.
- ANDRADE JÚNIOR, V. C. et al. Produção e qualidade de frutos de híbridos de tomateiro portadores de alelos mutantes de amadurecimento e coloração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 555-561, 2005.
- ANDRADE JÚNIOR, V. C. **Produção e qualidade de frutos de híbridos de tomateiro quase isogênicos de tomateiros heterozigotos quanto a alelos mutantes de amadurecimento e de coloração**. 2003. 105 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.
- ARAÚJO, M. L. et al. Intra and interlocus interactions between alcobaça (*alc*), *old-gold crimson* (*og^c*) and high pigment (*hp*) loci in tomato *Lycopersicon esculentum* Mill. **Euphytica**, Wageningen, v. 125, n. 2, p. 215-225, Feb. 2002.
- BENITES, F. R. G. **Estudos genético-fisiológicos dos mutantes *alcobaça* (*alc*), *non-ripening* (*nor*) e *ripening inhibitor* (*rin*) em tomateiro**. 2003. 106 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.
- CÁ, J. A. et al. Híbridos de tomateiro longa-vida com frutos de maior intensidade de coloração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 9, p. 1377-1384, set. 2006.
- CÁ, J. A. **Obtenção de híbridos de tomate tipo longa vida com maior intensidade de coloração**. 2005. 77 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- CALBO, A. G.; CALBO, M. R. E. Medição e importância do potencial de parede. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 1, n. 1, p. 41-46, 1989.
- CALBO, A. G.; NERY, A. A. Medida de firmeza em hortaliças pela técnica de aplanção. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 13, n. 1, p. 14-18, maio 1995.

CHEFTEL, J. C.; CHEFTEL, H. **Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos**. 2. ed. Zaragoza: Acribia, 1992. v. 1, 333 p.

DIAS, T. J. M. et al. *Alcobaça* allele and genotypic backgrounds affect yield and fruit shelf life of tomato hybrids. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, p. 269-275, 2003.

FARIA, M. V. et al. Yield and post-harvest quality of tomato hybrids heterozygous at the loci *alcobaça*, *old gold-crimson* or *high pigment*. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 2, p. 317-327, 2003.

FREITAS, J. A. et al. Padrão de amadurecimento e conservação pós-colheita de frutos de tomateiro, em função das diferentes constituições genótípicas no loco *alcobaça*. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 10, p. 191-196, 1998.

GAHLER, S.; OTTO, K.; BÖHM, V. Alterations of vitamin C, total phenolics, and antioxidant capacity as affected by processing tomatoes to different products. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Easton, v. 51, n. 27, p. 7962-7968, Nov. 2003.

HALL, C. B. Firmness of tomato tissue according to cultivar and ripeness. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 112, n. 1, p. 663-665, Nov. 1987.

HAZRA, P. et al. Effect of mutant genes on the content of the nutritive quality related compounds in Tomato (*Solanum lycopersicum*) fruits. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 960, p. 311-318, 2012.

LUENGO, R. F. A. et al. **Tabela de composição nutricional das hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2000. 4 p. (Documentos, 26).

SANTOS JÚNIOR, A. M. et al. Produção, qualidade e conservação de tomates heterozigotos nos locos *alcobaça*, *nonripening* e *ripening inhibitor*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1203-1210, 2005.

SANTOS JÚNIOR, A. M. **Produtividade, qualidade e conservação de frutos de híbridos de tomateiro heterozigotos nos locos *alcobaça*, *non ripening* e *ripening inhibitor***. 2002. 85 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

SANTOS, D. C. **Obtenção de híbridos de tomate tipo longa vida com maior intensidade de coloração**. 2012. 99 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

SOUZA, J. C. et al. Características de produção e conservação pós-colheita de frutos de tomateiros híbridos portadores do alelo 'alcobaça'. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, p. 503-509, 2001.

STROHECKER, R. L.; HENNING, H. M. **Analisis de vitaminas: métodos comprobados**. Madrid: Paz Montalvo, 1967. 428 p.

VECCHIA, P. T. D.; KOCH, P. S. Tomates longa vida: O que são, como foram desenvolvidos? **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 1, p. 3-4, 2000.

ANEXOS

ANEXO 1

Tabela 9 Análise de variância para ângulo de cromaticidade para epiderme, pericarpo, placenta e columela em tomate, UFLA, Lavras-MG

| Fonte de variação | GL | Quadrado Médio | | | |
|-------------------|----|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | Epiderme | Pericarpo | Placenta | Columela |
| Tratamentos | 23 | 526,57** | 869,0462** | 447,384** | 827,6857** |
| Blocos | 3 | 7,3078 ^{ns} | 4,1881 ^{ns} | 27,6596 ^{ns} | 31,5243 ^{ns} |
| Erro | 69 | 14,5403 | 20,6478 | 18,9914 | 20,8321 |
| CV | | 6,61 | 8,15 | 8,31 | 7,84 |

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

Tabela 10 Análise de variância para saturação para epiderme, pericarpo, placenta e columela em tomate, UFLA, Lavras-MG

| Fonte de variação | GL | Quadrado Médio | | | |
|-------------------|----|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|
| | | Epiderme | Pericarpo | Placenta | Columela |
| Tratamentos | 23 | 40,2595** | 48,1145** | 53,9144** | 114,7461** |
| Blocos | 3 | 9,1637 ^{ns} | 12,5716 ^{ns} | 17,7241 ^{ns} | 32,0986** |
| Erro | 69 | 4,6215 | 6,8964 | 6,9609 | 5,3975 |
| CV | | 9,94 | 14,2 | 11,76 | 11,72 |

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

Tabela 11 Análise de variância para as características agronômicas produtividade precoce, produtividade total, massa média de frutos, formato e altura de plantas em tomate, UFLA, Lavras-MG

| Fonte de variação | GL | Quadrado médio | | | | |
|-------------------|----|-----------------------|---------------------|------------------------|----------------------|------------------|
| | | Produtividade Precoce | Produtividade total | Massa média de frutos | Formato | Altura de planta |
| Tratamentos | 23 | 491,2373** | 500,8123** | 7954,3718** | 0,0387** | 200,5416** |
| Blocos | 3 | 127,78* | 1277,5148** | 189,7339 ^{ns} | 0,0016 ^{ns} | 754,7361** |
| Erro | 69 | 38,1194 | 155,7276 | 91,2142 | 0,003 | 77,3955 |
| CV | | 19,01 | 19,62 | 8,06 | 5,88 | 8,87 |

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

Tabela 12 Análise de variância para as características de qualidade de frutos firmeza e vitamina C em tomate, UFLA, Lavras-MG

| Fonte de variação | GL | Quadrado médio | |
|-------------------|----|----------------------|----------------------|
| | | Firmeza | Vitamina C |
| Tratamentos | 23 | 8,8101** | 729,6337** |
| Blocos | 3 | 1,6701 ^{ns} | 2,7873 ^{ns} |
| Erro | 69 | 2,1221 | 4,6321 |
| CV | | 30,26 | 3,38 |

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