

VICTOR DE SOUZA ALMEIDA

**PRODUTIVIDADE, COMPOSTOS BIOATIVOS E CARACTERÍSTICAS
FÍSICO-QUÍMICAS DE TOMATES OBTIDOS EM DIFERENTES
SISTEMAS E AMBIENTES DE CULTIVO**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

A447p
2016
Almeida, Victor de Souza, 1986-
Produtividade, compostos bioativos e
características físico-químicas de tomates obtidos em
diferentes sistemas e ambientes de cultivo / Victor de
Souza Almeida. - Viçosa, MG, 2016.
viii, 50f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador : Derly José Henriques da Silva.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.45-50.

1. *Solanum lycopersicum*. 2. Tomate. 3. Compostos
bioativos das plantas. 4. Produtividade. 5. Plantas -
Meios de cultivo. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-
graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22 ed. 635.642

VICTOR DE SOUZA ALMEIDA

**PRODUTIVIDADE, COMPOSTOS BIOATIVOS E CARACTERÍSTICAS
FÍSICO-QUÍMICAS DE TOMATES OBTIDOS EM DIFERENTES SISTEMAS E
AMBIENTES DE CULTIVO**

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

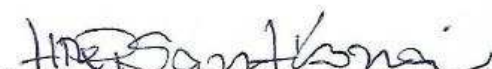
APROVADA: 15 de dezembro de 2016.




Adilson de Castro Antônio




Fabiana Silva de Souza



Helena Maria Pinheiro Sant'Ana



Carlos Nick Gomes
(Coorientador)



Derly José Henriques da Silva
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo grande esforço que fizeram para que eu chegasse até aqui.

À Nathália e toda a sua família pelo constante apoio.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realização da Pós-Graduação em Agronomia - Fitotecnia.

Ao CNPq, CAPES e Fapemig, pela concessão da bolsa e financiamento dos trabalhos.

Ao Prof. Derly José Henriques da Silva pela confiança, amizade, exemplo profissional e pessoal.

Aos Profs. Carlos Nick, Adilson e Paulo Roberto Cecon pelo incentivo e colaboração.

Às Profas. Ceres Mattos Della Lucia e Helena Maria Pinheiro Sant'Ana e às meninas do laboratório de análise de vitaminas, especialmente Bárbara pela paciência e apoio nas análises.

Aos meus amigos do Neo (Núcleo de Estudos em Olericultura), em especial Diego e Fabio, pelo auxílio na realização dos trabalhos.

Aos funcionários da Horta de Pesquisa da UFV, pelo auxílio na condução dos experimentos.

Em especial

A DEUS, por ter me dado a graça de alcançar mais este objetivo.

BIOGRAFIA

VICTOR DE SOUZA ALMEIDA, filho de Welington Albino de Almeida e Maria de Fátima de Souza Almeida, nasceu no dia 30 de abril de 1986, na cidade de Ubá, Minas Gerais, Brasil.

Em março de 2004, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, colando grau em agosto de 2010. Durante a graduação trabalhou como estagiário voluntário durante 2 anos e como bolsista de Iniciação Científica por mais 2 anos. Nesse período desenvolveu trabalhos de caracterização e avaliação de recursos genéticos do tomateiro. Também trabalhou com produção hidropônica de hortaliças na Nova Zelândia, no período de agosto de 2008 a janeiro de 2010.

Atuou também com pesquisa e extensão no Setor de Frutas e Hortaliças da UFV, durante a graduação e pós-graduação, desenvolvendo trabalhos principalmente com a cultura do tomateiro.

Em agosto de 2010, iniciou o Programa de Pós-Graduação, a nível de Mestrado em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa, obtendo o título de Mestre em julho de 2012.

Em agosto de 2012, iniciou o curso de Doutorado em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa, submetendo à defesa de tese em Dezembro de 2016.

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPÍTULO I. PRODUTIVIDADE DO TOMATEIRO EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO EM CONDIÇÕES DE CAMPO E AMBIENTE PROTEGIDO	3
RESUMO.....	4
ABSTRACT	5
INTRODUÇÃO	6
MATERIAL E MÉTODOS.....	7
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
CAPÍTULO II. COMPOSTOS BIOATIVOS E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE FRUTOS DO TOMATEIRO EM DIFERENTES SISTEMAS E ÉPOCAS DE CULTIVO.....	25
RESUMO.....	26
ABSTRACT	27
INTRODUÇÃO	28
MATERIAL E MÉTODOS.....	29
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
CONCLUSÕES.....	45
CONCLUSÕES GERAIS.....	45
REFERÊNCIAS.....	45

RESUMO

ALMEIDA, Victor de Souza, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Dezembro de 2016. **Produtividade, compostos bioativos e características físico-químicas de tomates obtidos em diferentes sistemas e ambientes de cultivo.** Orientador: Derly José Henriques da Silva. Coorientadores: Carlos Nick Gomes e Paulo Roberto Cecon.

Foi lançado recentemente um sistema de cultivo do tomateiro, denominado Sistema Viçosa, onde os autores propuseram uma série de práticas culturais com o objetivo de aumentar a produtividade e qualidade dos frutos. Este sistema foi avaliado em quatro densidades de plantio e comparado com sistemas tradicionalmente utilizados pelos agricultores, chegando-se a conclusão de que o Sistema Viçosa, na densidade de 25.000 plantas ha⁻¹, poderia aumentar em até 61% e 223% a produtividade e o lucro, respectivamente, sem alterar as características físico-químicas do fruto. No entanto, esse sistema foi avaliado apenas em condição de campo na densidade máxima de 25.000 plantas ha⁻¹ e não foram estudadas características nutricionais como os compostos bioativos. Assim, o objetivo neste estudo foi comparar a produção, as características físico-químicas e os compostos bioativos do Sistema Viçosa de cultivo do tomateiro em uma maior densidade de plantio com sistemas tradicionalmente utilizados, em condições de campo e ambiente protegido. Dois experimentos foram conduzidos em blocos ao acaso e sistema fatorial duplo (2 ambientes x 4 sistemas de cultivo) com nove repetições. Para a avaliação das características físico-químicas e dos compostos bioativos foram utilizadas quatro repetições. O Sistema Viçosa constitui-se das práticas culturais: espaçamento 2 x 0,2 m (25.000 plantas ha⁻¹), tutoramento com inclinação de, aproximadamente, 75° em relação ao solo, no qual as plantas são inclinadas alternadamente para um lado e para o outro formando um “V”, condução das plantas com uma haste, raleamento de frutos deixando-se quatro a seis por rácemo, oito rácemos por planta, retirada das duas inflorescências após o 8º rácemo deixando-se nove folhas acima deste e retirada das folhas baixas até o terceiro rácemo. No Sistema Viçosa Adensado, as práticas culturais são as mesmas do sistema Viçosa, porém as plantas são conduzidas no espaçamento 1,6 x 0,1 m (62.500 plantas ha⁻¹). Esse sistema proposto foi comparado aos sistemas Viçosa, Vertical e Cerca Cruzada. Avaliou-se a

produção por planta e por área em cada classe de fruto (comercial, grande e médio) bem como a cor, acidez titulável (AT), sólidos solúveis totais (SST), pH, firmeza, relação SST/AT, fenólicos totais, capacidade antioxidante e carotenoides. As médias foram submetidas à análise de variância e teste Tukey a 5% de probabilidade. As condições de ambiente protegido foram responsáveis pelo aumento da produção por área no experimento I (33%) e o sistema mais produtivo em ambos experimentos foi o Sistema Viçosa Adensado, com incremento de até 148% na produtividade. Porém, observou-se frutos menores com 99.5 g a 124.5 g. Não foi verificado efeito significativo dos sistemas de cultivo nas características físico-químicas e nos compostos bioativos dos frutos. No entanto, frutos produzidos em condições de campo possuíam maior concentração de fenólicos totais nas duas épocas avaliadas. Portanto, o sistema Viçosa Adensado pode ser indicado para cultivo em condição de campo ou ambiente protegido, desde que o tamanho do fruto não seja fator limitante para o mercado local.

ABSTRACT

ALMEIDA, Victor de Souza, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2016. **Yield, bioactive compounds and physical-chemical characteristics of tomatoes cultivated in different growing systems and environments.** Adviser: Derly José Henriques da Silva. Co-Advisers: Carlos Nick Gomes and Paulo Roberto Cecon.

A system of tomato cultivation was recently launched, named Viçosa Tomato Growing System, where the authors proposed a series of cultural practices with the objective of increasing fruit yield and fruit quality. This system was evaluated in four planting densities and compared to systems traditionally used by farmers, and it was concluded that the Viçosa System, at a density of 25,000 plants ha⁻¹, could increase yield and profitability up to 61% and 223%, without changing the physical-chemical characteristics of the fruit. However, this system was evaluated only under field condition at a maximum density of 25,000 plants ha⁻¹ and no nutritional characteristics such as bioactive compounds were studied. Thus, the objective of this study was to compare the yield, physico-chemical characteristics and bioactive compounds of the Viçosa System of tomato cultivation in a higher plant density with systems traditionally used under field and greenhouse conditions. Two experiments were conducted in randomized blocks in a double factorial system (2 environments x 4 growing systems) with nine replications. Four replicates were used for the evaluation of physicochemical characteristics and bioactive compounds. The Viçosa System is constituted by the following cultural practices: spacing 2.0 x 0.2 m (25,000 plants ha⁻¹), tiling with a slope of approximately 75° to the ground, in which the plants are inclined alternately to a side to side forming a "V", plants pruned to one a stem, thinning of fruits leaving four to six per truss, eight trusses per plant, removal of the two inflorescences after the 8th truss leaving nine leaves above it and lower leaves removal until the third truss. In the Viçosa Adensado System, the cultural practices are the same as those of the Viçosa System, but the plants are conducted in spacing of 1.6 x 0.1 m (62,500 plants ha⁻¹). This proposed system was compared to Viçosa, Vertical and Cerca Cruzada systems. It was evaluated the plant productivity, marketable yield, fruit yield in each class (large and medium), color, titrable acidity, Total soluble solids, pH, firmness, ratio

SST / AT, total phenolics, antioxidant capacity and carotenoids. The means were submitted to analysis of variance and Tukey test at 5% of probability. The greenhouse condition were responsible for the increase in yield in experiment I (33%) and the most productive system in both experiments was the Viçosa Adensado System, with an increase of up to 148% in yield. However, smaller fruits were observed with 99,5 to 124,5 g. No significant effect of the growing systems was observed on the physical-chemical characteristics and the bioactive compounds of the fruits. However, fruits produced under field conditions had a higher concentration of total phenolics in the two evaluated periods. Therefore, the Viçosa Adensado System system can be indicated for cultivation under field or greenhouse conditions, provided that the size of the fruit is not a limiting factor for the local market.

INTRODUÇÃO GERAL

O tomateiro (*Solanum lycopersicum*) é uma planta pertencente à família das solanáceas e uma das culturas mais cultivadas e consumidas no mundo (BAKHT *et al.*, 2014). De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), a produção mundial em 2014 foi de, aproximadamente, 171 milhões de toneladas com produtividade média de 34,0 t ha⁻¹. No mesmo ano, o Brasil produziu 3,4 milhões de toneladas com produtividade média de 63,7 t ha⁻¹ (AGRIANUAL, 2016).

Para atender à crescente demanda de maior qualidade do produto, principalmente quanto a aparência e tamanho dos frutos, o produtor tem investido cada vez mais em tecnologias que proporcionem alta produtividade e qualidade (ABAURRE, 2010).

O cultivo protegido é uma tecnologia de produção que permite o controle total ou parcial de algumas condições de cultivo tais como temperatura, umidade relativa, luminosidade e concentração de CO₂. O uso desse sistema resulta em aumento de produtividade e qualidade do produto, além de permitir a produção em épocas desfavoráveis ao desenvolvimento da cultura, aumentando a sua disponibilidade ao longo do ano (WITTEWER & CASTILLA, 1995).

A alteração das condições de cultivo no ambiente protegido pode resultar em mudanças no conteúdo de compostos bioativos nos frutos. O aumento da luminosidade favorece o acúmulo de vitamina C nos frutos enquanto temperaturas elevadas diminuem a concentração de carotenoides (LEVYA *et al.*, 2013).

As práticas culturais utilizadas no cultivo do tomateiro tais como sistemas

de tutoramento, densidade de plantio e podas também podem influenciar diretamente na produtividade e qualidade dos frutos.

Recentemente foi desenvolvido um novo sistema de cultivo do tomateiro, denominado Sistema Viçosa de cultivo do tomateiro (ALMEIDA *et al.*, 2015). Neste sistema reuniu-se os melhores resultados de pesquisa com técnicas culturais como tutoramento, condução de plantas, podas e raleamento de frutos.

O Sistema Viçosa, em quatro densidades de plantio (10.000, 12.500, 16.667 e 25.000 plantas ha⁻¹), foi comparado à quatro sistemas convencionais de cultivo, obtendo-se um incremento de até 61% e 131% na produtividade e produção de frutos grandes, respectivamente e 222% no lucro sem que houvesse alteração nas características físico-químicas dos frutos (ALMEIDA *et al.*, 2015).

Os melhores resultados foram obtidos quando se utilizou a maior densidade de plantio (25.000 plantas ha⁻¹). No entanto, um maior adensamento poderia resultar em aumentos ainda mais expressivos na produtividade. Além disso, alterações no microclima ao longo do dossel da planta, provenientes de uma maior densidade de plantio e do tipo sistema de tutoramento, também podem contribuir para alterações na produção de compostos bioativos.

Por isso, o objetivo nesse trabalho foi avaliar a produtividade, as características físico-químicas e os compostos bioativos dos frutos no Sistema Viçosa de cultivo do tomateiro com uma maior densidade de plantas e compará-lo ao Sistema Viçosa e outros sistemas tradicionais, bem como medir o efeito do ambiente de cultivo nessas características.

**Capítulo I. Produtividade do Tomateiro em Diferentes Sistemas
de Cultivo em Condições de Campo e Ambiente Protegido**

Produtividade do Tomateiro em Diferentes Sistemas de Cultivo em Condições de Campo e Ambiente Protegido

RESUMO

Recentemente, foi proposto o Sistema Viçosa de cultivo do tomateiro, onde reuniu-se diversas técnicas culturais com o objetivo de maximizar a produção por área. No entanto, esse sistema foi avaliado apenas em condição de campo e na densidade máxima de 25.000 plantas ha⁻¹. Por isso, o objetivo neste trabalho foi estudar a produção do Sistema Viçosa de Cultivo do tomateiro com uma maior densidade de plantas e compará-lo ao Sistema Viçosa e outros sistemas tradicionais, em condições de campo e ambiente protegido. Dois experimentos foram conduzidos em blocos ao acaso e sistema fatorial duplo (2 ambientes x 4 sistemas de cultivo) com nove repetições nos períodos de Julho de 2014 a Janeiro de 2015 (experimento I) e Março a Outubro de 2015 (experimento II). O Sistema Viçosa constitui-se das seguintes práticas culturais: espaçamento 2 x 0,2m (25.000 plantas ha⁻¹); tutoramento com inclinação de, aproximadamente, 75° em relação ao solo, no qual as plantas são inclinadas alternadamente para um lado e para o outro, formando um “V”; condução das plantas com uma haste; raleamento de frutos deixando-se quatro a seis por rácemo; oito rácemos por planta; retirada das duas inflorescências após o 8º cacho deixando-se nove folhas acima deste e retirada das folhas baixas até o terceiro rácemo. No sistema Viçosa Adensado, as práticas culturais são as mesmas do Sistema Viçosa, porém as plantas são conduzidas no espaçamento 1,6 x 0,1 m (62.500 plantas ha⁻¹). O sistema foi comparado aos sistemas Viçosa, Vertical e Cerca Cruzada. Avaliou-se a produção por planta e por área em cada classe de fruto (comercial, grande e médio) e as médias foram submetidas à análise de variância e teste Tukey a 5% de probabilidade. As condições de ambiente protegido foram responsáveis pelo aumento da produção por área no experimento I (33%) e o sistema mais produtivo em ambos experimentos foi o Viçosa Adensado (com incremento de até 148% na produtividade), porém com frutos menores (99,5 g a 124,5 g). Portanto, pode ser indicado para cultivo em condição de campo ou

ambiente protegido, desde que o tamanho do fruto não seja fator limitante para o mercado local.

Palavras chave: *Solanum lycopersicum*, ambiente protegido, densidade de plantas.

ABSTRACT

Recently, the Viçosa Tomato Growing System was proposed, where several cultural techniques were gathered with the objective of maximizing yield. However, this system was evaluated only under field condition and in the maximum density of 25.000 ha⁻¹ plants. Therefore, the objective of this work was to study the yield of the Viçosa Tomato Growing System in a higher plant density and compare to the Viçosa System and others traditional systems, under field and greenhouse conditions. Two experiments were carried out in a randomized blocks in a double factorial system (environments x growing systems) with nine replicates from July 2014 to January 2015 (experiment I) and from March to October 2015 (experiment II). The Viçosa System consists of the following cultural practices: plants spaced of 2 x 0,2 m (25.000 plants ha⁻¹); plants staked in an angle of approximately 75 ° to the ground, in which the plants are inclined alternately to one side and the other forming a "V"; plants pruned to one stem; fruit thinning leaving four to six per truss; eight trusses per plant; removal of the two inflorescences after the 8th cluster leaving nine leaves above it and lower leaf removal third cluster. In the Viçosa Adensado System, the cultural practices are the same as those of the Viçosa System, but the plants are conducted in spacing 1,6 x 0,1 m (62,500 plants ha⁻¹). This system was compared to Viçosa, Vertical and Cerca Cruzada systems. The production per plant and area was evaluated in each fruit class (commercial, large and medium) and the means were submitted to analysis of variance and Tukey test at 5% of probability. The greenhouse conditions were responsible for the increase in yield in experiment I (33%), and the most productive system in both experiments was the Viçosa Adensado (with up to 148% increase in yield), but with smaller fruits (99,5 g to 124,5 g). Therefore, it can be indicated for cultivation under field or greenhouse conditions, provided that the size of the fruit is not a limiting factor for the local market.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, greenhouse, plant density.

INTRODUÇÃO

O tomateiro (*Solanum lycopersicum*) é uma planta pertencente à família Solanácea e uma das hortaliças mais cultivadas no mundo (BAKHT *et al.*, 2014). A produção brasileira em 2015 foi de aproximadamente 3,4 milhões de toneladas, com produtividade média de 63,7 t ha⁻¹ (AGRIANUAL, 2016).

O cultivo em ambiente protegido é uma técnica que vem crescendo muito no país. Com o uso do ambiente protegido, pode-se ter a oferta do produto em maior quantidade e qualidade mesmo nos períodos de entressafra (BOGIANI *et al.*, 2008). No entanto, os custos de implantação do sistema são elevados, podendo ultrapassar R\$100,00 por metro quadrado dependendo da estrutura e nível de tecnologia utilizada. Por essa razão, torna-se imprescindível o uso de técnicas culturais que permitam a otimização do uso da área a fim de se obter a máxima produção por área.

Dentre as práticas culturais utilizadas para maximizar a produção do tomateiro podemos citar a densidade de plantio, sistemas de poda e tutoramento (ALVARENGA, 2013).

Recentemente foi lançado um sistema de cultivo do tomateiro denominado Sistema Viçosa, onde reuniram-se um conjunto de técnicas culturais visando a maximização da produção por área (ALMEIDA *et al.*, 2015).

Como resultado, foi possível aumento de 61% e 223% na produtividade e lucro, respectivamente, no Sistema Viçosa. O aumento proporcionalmente maior na lucratividade foi devido à maior produção de frutos grandes, devido a menor densidade de plantio, sendo que esses possuem maior valor comercial (ALMEIDA *et al.*, 2015).

Dentre as práticas culturais que possivelmente tiveram maior efeito no aumento da produtividade destaca-se a maior densidade de plantio. Uma população de plantas adequada leva a otimização no uso da área e de recursos como água, luz e nutrientes (ALI & MOUSA, 2014). A densidade de plantio inadequada é um dos principais fatores na redução da produtividade do tomateiro (MEHLA *et al.*, 2000). Por outro lado, espaçamentos adequados aumentam a disponibilidade de água,

nutrientes, luz e aeração para as plantas (NAGAZ *et al.*, 2012). Plantas cultivadas em um espaçamento que resulte em um índice de área foliar próximo a 3, absorvem aproximadamente 90% da radiação incidente. Acima disso, os ganhos em absorção de luz e produtividade são pequenos e pode haver aumento na respiração e diminuição da fotossíntese líquida e produtividade (Heuvelink *et al.*, 2005)

Com o aumento da densidade de plantio, ocorre a diminuição da produção por planta e aumento na produção por área e no risco de incidência de doenças (AMUNDSON, 2012). Por outro lado, em espaçamentos maiores, a produção por planta e massa média dos frutos são maiores. Vários outros autores relatam a maior produção por área e menor produção por planta em cultivos mais adensados (PAPADOPOULOS & ORMROD, 1990; CHARLO *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2010).

Neste sentido, o objetivo neste trabalho foi estudar a produção do Sistema Viçosa de Cultivo do tomateiro com uma maior densidade de plantas e compará-lo ao Sistema Viçosa e outros sistemas tradicionais, em condições de campo e ambiente protegido.

MATERIAL E MÉTODOS

CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos foram conduzidos na Unidade Experimental de Pesquisa e Extensão da Universidade Federal de Viçosa (UEPE UFV), Viçosa, MG (20° 45' 14" S/ 42° 52' 55" O), em duas épocas e dois ambientes de cultivo (campo aberto e ambiente protegido). O experimento I correspondeu ao cultivo de primavera-verão e as plantas foram cultivadas de julho de 2014 a janeiro de 2015. O experimento II, correspondente ao cultivo de outono-inverno, foi conduzido no período de março a outubro de 2015. O ambiente protegido utilizado foi do tipo arco, com 210 m², coberto com filme agrícola SunCover Blue® e tela lateral citrus.

As plantas foram cultivadas em solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo de topografia plana. As características químicas na camada de 0-20 cm do solo do ambiente protegido (Tabela 1) e do campo (Tabela 2) foram determinadas

mediante análise de solo realizada antes de cada cultivo. A recomendação de adubação foi baseada na 5ª Aproximação (RIBEIRO *et al.*, 1999).

Tabela 1. Características químicas do solo no interior do ambiente protegido nos Experimentos I e II.

Exp.	pH	P	K	Ca²⁺	Mg²⁺	Al³⁺	H + Al	SB	T	V	MO	P-rem
	H ₂ O	---mg/dm ³ ---		-----cmol _c /dm ³ -----						%	dag/Kg	mg/L
I	5,7	132,0	151,0	3,2	0,60	0,0	3,63	4,2	7,8	54,0	2,6	22,8
II	5,9	145,0	162,0	2,8	0,70	0,0	3,52	4,2	7,7	54,0	2,4	25,2

Tabela 2. Características químicas do solo do campo nos Experimentos I e II.

Exp.	pH	P	K	Ca²⁺	Mg²⁺	Al³⁺	H + Al	SB	T	V	MO	P-rem
	H ₂ O	---mg/dm ³ ---		-----cmol _c /dm ³ -----						%	dag/Kg	mg/L
I	6,0	98,0	112	2,2	0,5	0,0	2,5	2,7	5,2	51,2	2,6	24,5
II	5,8	110	98	3,1	0,6	0,0	2,8	3,7	6,5	57,0	2,8	26,1

O híbrido comercial utilizado foi o Pegasus[®], da empresa Agristar. A planta possui crescimento indeterminado e produz frutos tipo Santa Cruz. É resistente à Murcha de Fusário Raça 1 e 2, Nematóides, Vírus do Mosaico do Tabaco, Geminivirus e Murcha de Verticílio.

As mudas foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido com 128 células preenchidas com substrato comercial Carolina[®] e transplantadas quando atingiram três a quatro folhas definitivas.

Os tratos culturais como capinas, desbrotas, amarrios e o controle de pragas e doenças foram realizados conforme recomendação para a cultura (SILVA & VALE, 2007).

As adubações foram feitas via sistema de fertirrigação e a irrigação por sistema de gotejamento. A demanda hídrica foi calculada com base nos dados meteorológicos (temperatura, radiação, umidade relativa e velocidade do vento) coletados em estação meteorológica modelo Davis Vantage Pro2. A partir desses dados calculou-se a evapotranspiração de referência (ET_o) e com os coeficientes da cultura (k_c), irrigação localizada (k_l) e do solo (k_s) foi obtido a evapotranspiração da cultura (ET_c)

DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados meteorológicos foram registrados diariamente em duas estações meteorológicas modelo Davis Vantage Pro2 instaladas dentro e fora do ambiente protegido.

TRATAMENTOS

Foram avaliados quatro sistemas de cultivo do tomateiro em condição de campo e ambiente protegido (Figura 1):

I – Sistema Vertical: plantas tutoradas verticalmente com fitilho e conduzidas com uma haste, em espaçamento de 1,2 x 0,5 m (16.667 plantas ha⁻¹);

II- Cerca Cruzada: similar ao fitilho, porém foi utilizado o tutoramento triangular com bambu;

III- Sistema Viçosa: plantas cultivadas em espaçamento 2 x 0,2 m (25.000 plantas ha⁻¹), tutoradas com fitilho e inclinadas a aproximadamente 75° em relação ao solo, onde foram dispostas alternadamente para um lado e para o outro, de dentro para fora da linha

de cultivo, formando um “V”. As plantas foram conduzidas com uma haste, com retirada das inflorescências acima do 8º rácemo, deixando-se nove folhas acima deste, e retirada das folhas baixas até o terceiro rácemo. Foi realizado o raleamento de frutos mantendo-se de quatro a seis frutos por rácemo, quando estes possuíam de dois a três centímetros de diâmetro. Retirou-se também frutos desuniformes, defeituosos ou com problemas fitossanitários;

IV- Sistema Viçosa Adensado: similar ao Sistema Viçosa, porém com as plantas conduzidas em espaçamento 1,6 x 0,1 m (62.500 plantas ha⁻¹).



Figura 1. Sistemas de Cultivo do Tomateiro: Cerca Cruzada (a), Vertical (b), Sistema Viçosa (c), Sistema Viçosa Adensado (d)

CARACTERÍSTICAS AVALIADAS

Os frutos foram colhidos semanalmente, pesados e classificados segundo normas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2002). Considerou-se como frutos grandes aqueles com diâmetro maior que 60 mm, frutos médios com diâmetro entre 50 e 60 mm e frutos pequenos com diâmetro entre 40 e 50 mm. Determinou-se a Produção de Frutos Grandes (PFG), médios (PFM) e Comercial (PC) em g/planta, a Produtividade de Frutos Grandes (PFGHa), Médios (PFMHa) e Comercial (PCHa) em t ha⁻¹ e Massa Média de Frutos (MMF) em g.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os tratamentos foram dispostos no delineamento de blocos ao acaso e sistema fatorial duplo (2 ambientes x 4 sistemas de cultivo) com nove repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No cultivo de primavera-verão (experimento I) foram obtidos os maiores valores de temperatura, precipitação e radiação solar, como já era esperado para essa época do ano (Figuras 2 e 3).

Os valores de temperatura média e umidade relativa dentro do ambiente protegido foram semelhantes aos observados no campo nas duas épocas de cultivo. No entanto, a radiação solar dentro do ambiente protegido foi muito inferior devido ao bloqueio dos raios solares pelo filme agrícola (Figuras 2 e 3).

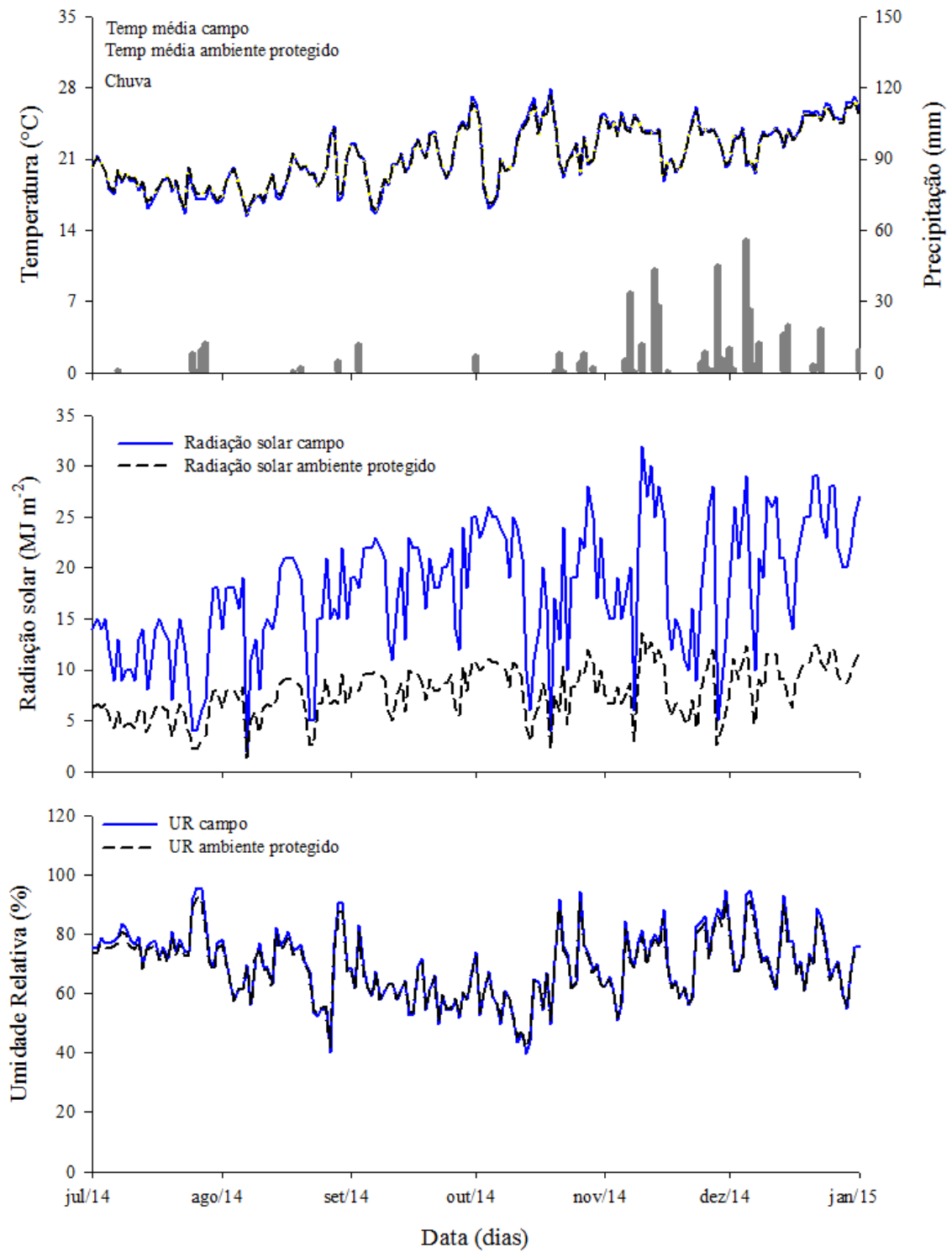


Figura 2. Temperatura, radiação e umidade relativa no campo e em ambiente protegido no cultivo de primavera-verão (Jul/2014 a Jan/2015).

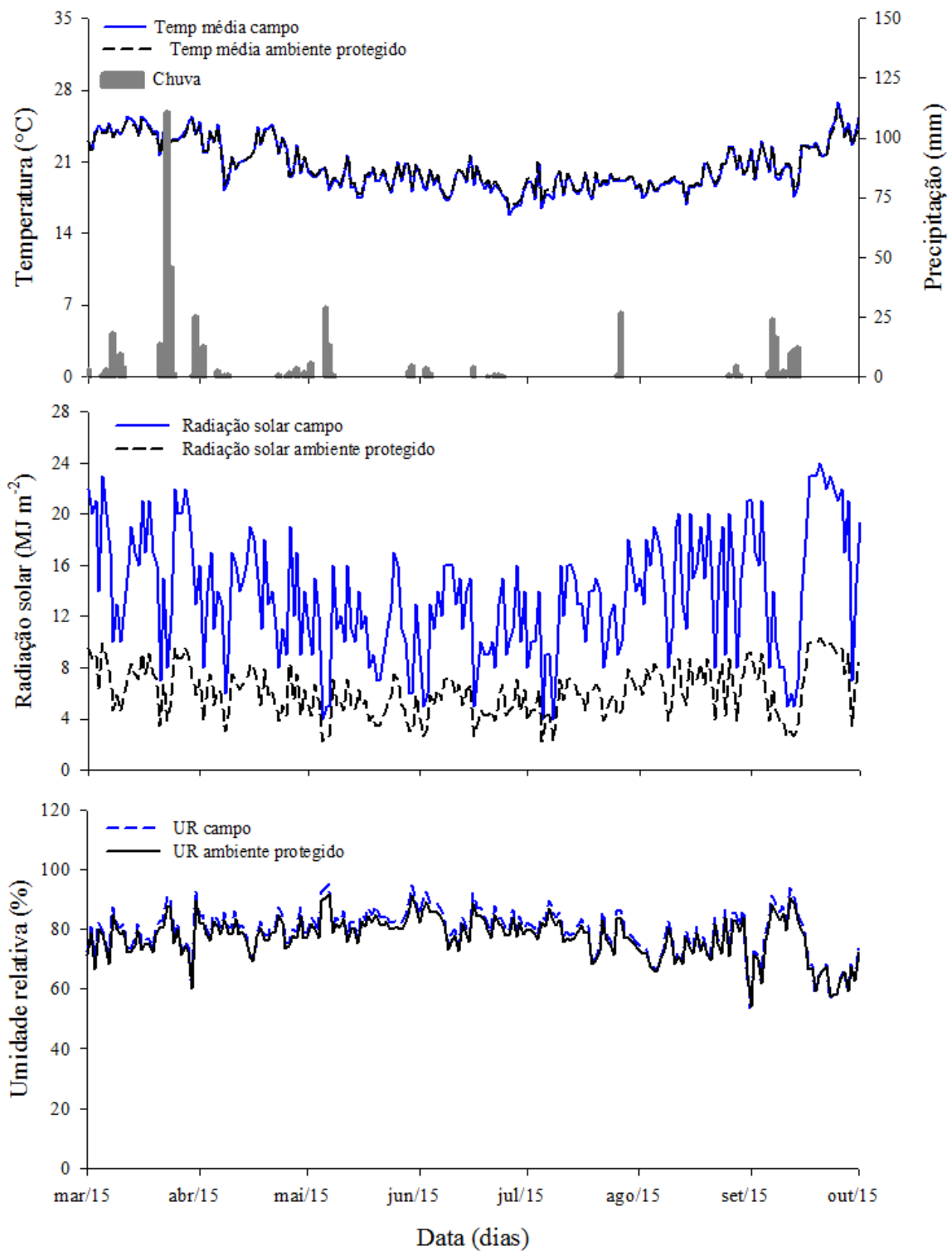


Figura 3. Temperatura, radiação e umidade relativa no campo e em ambiente protegido no cultivo de outono-inverno (Mar/2015 a Nov/2015).

No experimento I (cultivo de primavera-verão) foram observados efeitos independentes apenas para as características massa média de fruto (MMF) e produção comercial em t ha⁻¹ (PCHa) (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios de Massa Média dos Frutos (MMF) e Produtividade Comercial (PCHa) em dois ambientes e quatro sistemas de cultivo no Experimento I (primavera-verão).

Ambiente	MMF (g)		PCHa (t ha ⁻¹)	
Campo	154,19	a	102,59	b
Ambiente Protegido	139,52	b	153,23	a
CV (%)	9,44		22,25	
Sistema				
Viçosa Adensado	124,47	b	188,00	a
Viçosa	148,73	a	132,80	b
Vertical	155,96	a	97,60	c
Cerca Cruzada	158,27	a	93,23	c
CV (%)	9,37		18,89	

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A MMF no ambiente protegido foi, aproximadamente, 10% inferior quando comparado àqueles produzidos em condições de campo. Porém, a PCHa no ambiente protegido foi 33% superior, chegando a 153 t ha⁻¹.

A maior produção encontrada no ambiente protegido já era esperada uma vez que há maior proteção das plantas contra fatores climáticos adversos, como chuva e radiação. O tomateiro é susceptível a mais de uma centena de doenças, sendo a água fator primordial para o desenvolvimento de grande parte delas (LOPES *et al.*, 2005). Portanto, em condições onde não há precipitação, espera-se que a incidência de doenças seja menor e, conseqüentemente, a produção aumente.

Entre os sistemas de cultivo testados, o Sistema Viçosa Adensado produziu frutos com a menor massa média, porém, este foi o Sistema mais produtivo, com 188,00 t ha⁻¹. A segunda maior produção foi obtida no sistema Viçosa (132,80 t ha⁻¹), seguidos pelo sistema Vertical (97,60 t ha⁻¹) e Cerca Cruzada (93,23 t ha⁻¹), que não diferiram entre si nesta característica.

A menor MMF e maior produtividade no Sistema Viçosa Adensado está relacionada ao maior número de plantas por área nesse sistema. Vários autores relataram o aumento na produtividade e redução da massa média de frutos em plantios mais adensados (SELEGUINI *et al.*, 2002, ARA *et al.*, 2007, MABOKO *et al.*, 2011).

O maior índice de área foliar em sistemas adensados resulta em maior interceptação de luz que também contribuiu para o aumento da produtividade nesse sistema. Quando o índice de área foliar aumenta de 3 para 4, há um incremento de 4% na produtividade e, acima desse valor, o ganho é muito pequeno e difícil de ser medido (Heuvelink *et al.*, 2005). No entanto, se a população de plantas for muito alta, pode ocorrer o auto sombreamento, principalmente das folhas que se encontram na parte mais baixa do dossel, levando ao aumento da respiração, diminuição da fotossíntese líquida e, conseqüentemente, redução da produtividade (LAW-OGBOMO & EGHAREVBA, 2009). Além disso, quando a densidade de plantas é muito alta, ocorre aumento na competição por outros fatores essenciais ao crescimento e desenvolvimento da planta tais como água e nutrientes (RESENDE & COSTA, 2003).

No primeiro experimento as plantas foram cultivadas no período de maior irradiância (Figura 2). Portanto, o fator luz parece não ter sido limitante mesmo no plantio mais adensado (Sistema Viçosa Adensado), o que resultou em aumento da produtividade e otimização do uso da área.

Para as características Produção de Frutos Grandes (PFG), Médios (PFM) e Produção Comercial (PC) e Produtividade de Frutos Grandes (PFGHa) e Médios (PFMHa) houve interação significativa entre o ambiente de cultivo e os sistemas estudados. Ou seja, a resposta de cada sistema para essas características variou de acordo com o ambiente onde as plantas foram cultivadas (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios de Produção de Frutos Grandes (PFG), Médios (PFM) e Comercial (PC), em g/planta, e Produtividade de Frutos Grandes (PFGHa) e Médios (PFMHa), em t ha⁻¹, em quatro sistemas de cultivo em condições de Campo e Ambiente Protegido (AP) no Experimento I (primavera-verão).

Sistemas	PFG (g/planta)				PFM (g/planta)				PC (g/planta)			
	AP		Campo		AP		Campo		AP		Campo	
Viçosa Adensado	2826,0	Ac	1612,8	Bb	725,0	Ab	774,4	Aa	3596,0	Ac	2420,0	Bb
Viçosa	4660,6	Ab	4106,7	Aa	1133,9	Aab	623,9	Bab	5853,3	Ab	4770,6	Ba
Vertical	5956,2	Aa	4093,4	Ba	1290,6	Aa	295,6	Bb	7320,1	Aa	4389,0	Ba
Cerca Cruzada	5892,2	Aab	3463,6	Aa	1221,7	Aa	536,1	Bab	7186,1	Aa	3999,7	Ba
CV (%)	24,65				44,88				20,23			

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Continuação Tabela 4.

Sistemas	PFGHa (t ha ⁻¹)				PFMHa (t ha ⁻¹)			
	AP		Campo		AP		Campo	
Viçosa Adensado	176,6	Aa	100,8	Bab	45,3	Aa	48,4	Aa
Viçosa	116,5	Ab	102,7	Aa	28,4	Ab	15,6	Bb
Vertical	99,3	Ab	68,2	Bbc	21,5	Ab	4,9	Bb
Cerca Cruzada	98,2	Ab	57,7	Bc	20,4	Ab	8,9	Bb
CV (%)	25,89				44,09			

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A menor PFG foi observada no sistema Viçosa Adensado nos dois ambientes estudados. Nas condições de ambiente protegido o maior valor para essa característica foi observado no sistema Vertical (5956,2 g/planta). Nas condições de campo não houve diferença entre os sistemas Viçosa, Vertical e Cerca Cruzada, que obtiveram as maiores médias (Tabela 4).

Quando comparamos os ambientes de cultivo pode-se observar que em condições de campo não houve diferença entre os sistemas Viçosa, Vertical e Cerca Cruzada, que obtiveram os maiores valores (Tabela 4).

Em condições de ambiente protegido houve incremento na PFG apenas nos sistemas Viçosa Adensado e Vertical. Os sistemas que obtiveram a maior PC foram o Vertical (7320,1 g/planta) e Cerca Cruzada (7186,1 g/planta), seguidos por Viçosa (4770,6 g/planta) e Viçosa Adensado (2420,0 g/planta), respectivamente (Tabela 4). Pode-se observar que o cultivo nessas condições contribui para aumento da PC em todos os sistemas estudados (Tabela 4).

A maior PC observada nos sistemas Vertical e Cerca Cruzada no ambiente protegido pode ser atribuída a menor densidade de plantio nesses sistemas. Em espaçamentos maiores, ocorre aumento na interceptação da radiação por planta, principalmente nas folhas baixas, o que leva a maior fixação de CO₂ e incremento na produção por planta e no tamanho do fruto (PAPADOPOULOS & ORMROD, 1990).

A menor PC no Sistema Viçosa em relação aos sistemas Cerca Cruzada e Vertical no cultivo protegido pode ter ocorrido em função de limitação pelo dreno (frutos), uma vez que no Sistema Viçosa realiza-se o desbaste dos frutos. Em ambiente protegido, como a incidência de pragas e doenças é menor, a planta pode manter uma maior área fotossinteticamente ativa por mais tempo. Nessa condição, a disponibilidade de fotoassimilados é maior e a retirada de frutos pode interferir de forma negativa na produção.

A PFGHa foi superior no sistema Viçosa Adensado quando cultivado em ambiente protegido (176,6 t ha⁻¹), não havendo diferença nos demais sistemas. Já em condições de campo, a maior PFGHa foi observada no Sistema Viçosa (102,7 t ha⁻¹), superando os sistemas Vertical (68,2 t ha⁻¹) e Cerca Cruzada (57,7 t ha⁻¹) (Tabela 4).

A PFGHa, em condições de ambiente protegido, teve incremento nos sistemas Viçosa Adensado, Vertical e Cerca Cruzada, não sendo verificado aumento no Sistema Viçosa (Tabela 4).

A PFMHa foi maior no sistema Viçosa Adensado nas condições de campo e

ambiente protegido. Para os demais sistemas não houve diferença para essa característica nos dois ambientes estudados.

No ambiente protegido, verificou-se incremento na PFMHa nos sistemas Viçosa, Vertical e Cerca Cruzada, porém, esse efeito não foi observado para o sistema Viçosa Adensado.

No experimento II (outono-inverno), foram observados efeitos independentes para as características Produção de Frutos Grandes (PFG), Produtividade Comercial (PCHa) e de Frutos Médios (PFMHa) e Massa Média dos Frutos (MMF) (Tabela 5).

Tabela 5. Valores médios de Produção de Frutos Grandes (PFG), Produtividade Comercial (PCHa) e de Frutos Médios (PFMHa) e Massa Média de Frutos (MMF) em dois ambientes e quatro sistemas de cultivo no experimento II (outono-inverno).

Ambiente	PFG (g/planta)		PCHa (t ha ⁻¹)		PFMHa (t ha ⁻¹)		MMF (g)	
Ambiente Protegido	1302,6	b	72,56	a	33,11	a	97,77	b
Campo	1798,8	a	67,35	a	18,57	b	132,73	a
CV (%)	41,10		27,17		54,01		9,32	
Sistema								
Viçosa Adensado	745,5	b	110,01	a	49,7	a	99,50	b
Viçosa	1874,3	a	71,94	b	20,8	b	123,68	a
Vertical	2001,8	a	53,45	c	17,87	b	122,32	a
Cerca Cruzada	1581,1	a	44,42	c	14,99	b	115,3	a
CV (%)	38,48		26,81		44,69		8,84	

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A PFG e MMF foram 38,2% e 35,7% superiores quando as plantas foram cultivadas em condições de campo. Por outro lado, o ambiente protegido foi responsável pelo aumento de 78,3 % PFMHa.

Ao contrário do que se esperava, a produção em ambiente protegido não resultou em maior PCHa. Uma possível causa para esse resultado foi uma intoxicação que ocorreu na fase inicial de cultivo com o herbicida 2,4-D. O 2,4-D é um herbicida auxínico que, mesmo em doses reduzidas, pode causar desde o crescimento anormal e perdas na produtividade até mesmo a morte das plantas (NASCIMENTO & YAMASHIDA, 2009). Essa intoxicação pode ter impedido que as plantas expressassem o seu potencial genético, mesmo quando cultivadas em ambiente mais favorável (ambiente protegido).

Outro fator que pode ter contribuído foi a menor incidência de luz nessa época do ano, que pode ter sido fator limitante para a atividade fotossintética das plantas em

ambiente protegido.

Os sistemas que obtiveram as maiores médias para PFG foram Viçosa (1874,3 g/planta), Vertical (2001,8 g/planta) e Cerca Cruzada (1581,1 g/planta), diferindo-se apenas do sistema Viçosa Adensado (745,5 g/planta). Os resultados obtidos de MMF e PCHa foram semelhantes ao experimento de primavera-verão, onde o sistema Viçosa Adensado proporcionou a maior PCHa e menor MMF (Tabela 5).

Houve interação significativa dos fatores sistemas e ambiente de cultivo para as características PFM, PC e PFGHa (Tabela 6).

Tabela 6. Valores médios de Produção de Frutos Médios (PFM), Produção Comercial (PC) e Produtividade de Frutos Grandes (PFGHa) em quatro sistemas de cultivo em condições de Campo e Ambiente Protegido (AP) no experimento I (primavera-verão).

Sistemas	PFM (g/planta)				PC (g/planta)				PFGHa (t ha ⁻¹)			
	AP		Campo		AP		Campo		AP		Campo	
Viçosa Adensado	898,6	Ab	691,7	Aa	1684,3	Ac	1836,1	Ab	23,48	Bab	69,71	Aa
Viçosa	1087,0	Aab	562,5	Ba	2857,4	Ab	2897,2	Aa	39,56	Ba	55,86	Aa
Vertical	1629,0	Aa	514,7	Ba	3928,9	Aa	2484,1	Bab	34,52	Aab	32,21	Ab
Cerca Cruzada	1293,0	Aab	505,6	Ba	2882,2	Ab	2446,7	Aab	20,82	Ab	31,9	Ab
CV (%)	54,04				30,25				38,03			

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No ambiente protegido, o maior valor de PFM foi obtido no sistema Vertical (1629,0 g/planta), porém diferiu-se apenas do sistema Viçosa Adensado (898,6 g/planta). Em condições de campo não foi verificada diferença entre os sistemas estudados, com valores variando de 691,7 a 565,5 g/planta (Tabela 6).

Em relação ao ambiente de cultivo, os maiores valores de PFM foram observados quando as plantas foram cultivadas no ambiente protegido, com exceção do sistema Viçosa Adensado, onde o ambiente não influenciou na PFM (Tabela 6).

A maior PC no ambiente protegido foi obtida no sistema Vertical (3928,9 g/planta), seguidos pelos sistemas Cerca Cruzada (2882,2 g/planta) e Viçosa (2857,4 g/planta) que não diferiram entre si. O menor valor foi observado no sistema Viçosa Adensado (1836,1 g/planta). Em condições de campo destacou-se o Sistema Viçosa, com a maior média (2897,2 g/planta), diferindo-se apenas do sistema Viçosa Adensado (1836,1 g/planta) (Tabela 6).

O ambiente protegido foi responsável pelo aumento da PC apenas no sistema Vertical, com incremento de 58% nessa característica (Tabela 6).

A PFGHa foi maior no sistema Viçosa (39,56 t ha⁻¹), diferindo-se apenas do sistema Cerca Cruzada (20,82 t ha⁻¹) em condições de ambiente protegido. No cultivo em condições de campo, os maiores valores de PFGHa foram obtidos nos sistemas Viçosa Adensado (69,71 t ha⁻¹) e Viçosa (55,86 t ha⁻¹) (Tabela 6).

Almeida *et al* (2015), também estudando os sistemas Viçosa, Vertical e Cerca Cruzada em condições de campo, obtiveram resultados semelhantes ao deste trabalho. Os autores observaram que não houve diferença na PC entre os sistemas estudados. No entanto, quando se avaliou a produtividade (produção por área), o Sistema Viçosa obteve os maiores valores para PCHa e PFGHa, uma vez que a densidade de plantio nesse sistema é maior.

Segundo os autores, a integração de práticas como raleio de frutos, tutoramento inclinado, condução com uma haste, retirada de inflorescências e folhas baixas no sistema Viçosa contribuíram para que a produção por planta fosse semelhante aos demais sistemas tradicionais mesmo em uma maior densidade de plantio, onde se esperaria uma redução na produção individual (ALMEIDA *et al.*, 2015).

CONCLUSÕES

Pode-se concluir que foi possível o aumento de produtividade no ambiente protegido durante o cultivo de primavera-verão, onde os preços do produto tendem a ser mais elevados e as condições de cultivo mais limitantes, principalmente pelo excesso de precipitação.

Dentre os sistemas testados, o Viçosa Adensado foi o mais produtivo em ambas as épocas estudadas, porém com frutos de menor tamanho.

A utilização do ambiente protegido e do sistema Viçosa Adensado resultam em um ganho expressivo em produtividade e otimiza o uso da área disponível. Porém, o agricultor deve levar em consideração o mercado onde será comercializado o produto, uma vez que esse aumento na produtividade também resulta em produção de frutos menores, que geralmente tem menor valor comercial.

Capítulo II. Compostos Bioativos e Características Físico-Químicas de Frutos do Tomateiro em Diferentes Sistemas e Épocas de Cultivo

Compostos Bioativos e Características Físico-Químicas de Frutos do Tomateiro em Diferentes Sistemas e Épocas de Cultivo

RESUMO

O tomate é fonte de diversos compostos bioativos para a saúde como licopeno, β -caroteno, vitamina C e compostos fenólicos. As condições de cultivo como luz e temperatura, armazenamento e as características genéticas podem influenciar nos teores dessas substâncias. Neste estudo, o objetivo foi avaliar o efeito de quatro sistemas de cultivo (Sistema Viçosa Adensado, Sistema Viçosa, Vertical e Cerca) e dois ambientes (ambiente protegido e campo) nos compostos bioativos e características físico-químicas de frutos de tomateiro. Dois experimentos foram conduzidos em blocos ao acaso e sistema fatorial duplo (ambientes x sistemas de cultivo) com quatro repetições nos períodos de Julho de 2014 a Janeiro de 2015 (experimento I) e Março a Outubro de 2015 (experimento II). Foram avaliadas as seguintes características: cor, acidez total titulável (AT), sólidos solúveis totais (SST), pH, firmeza, relação SST/AT (sabor), fenólicos totais, capacidade antioxidante e carotenoides. Não foi verificado efeito dos sistemas de cultivo nas características avaliadas. No experimento 1, os SST e a AT foram maiores e a relação SST/AT foi menor em frutos produzidos a campo. Nas duas épocas de cultivo, os frutos produzidos em condições de campo tiveram maior quantidade de compostos fenólicos. No cultivo outono-inverno foi observado menor conteúdo de licopeno e maior atividade antioxidante nos frutos colhidos em condições de campo. O ambiente de cultivo foi o único fator que afetou a qualidade dos frutos, aumentando principalmente o conteúdo de compostos fenólicos.

Palavras chave: *Solanum lycopersicum*, carotenoides, antioxidantes

ABSTRACT

Tomato is a source of several bioactive compounds for health such as lycopene, β -carotene, vitamin C and phenolic compounds. Growing conditions such as light and temperature, storage and genetic characteristics may influence the levels of these substances. The objective of this study was to evaluate the effect of four tomato growing systems (Viçosa, Viçosa Adensado, Vertical and Cerca Cruzada) and two environments (greenhouse and field) in bioactive compounds and physicochemical characteristics of tomato fruits. Two experiments were carried out in a randomized blocks in a in a double factorial system (environments x growing systems) with four replications from July 2014 to January 2015 (experiment I) and from March to October 2015 (experiment II). The following characteristics were evaluated: color, total titratable acidity (TA), total soluble solids (TSS), pH, firmness, SST/AT ratio, total phenolics, antioxidant capacity and carotenoids. No effect of the growing systems on the evaluated characteristics was verified. In experiment 1, the TSS and TA were higher and SST/AT was lower in the fruits produced under field conditions. In the two growing seasons, the fruits produced under field conditions had a higher amount of phenolic compounds. In experiment II, lower lycopene content and higher antioxidant activity were observed in fruits harvested under field conditions. The cultivation environment was the only factor that affected fruit quality, mainly increasing the content of phenolic compounds.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, carotenoids, antioxidants

INTRODUÇÃO

O tomate é considerado um alimento “nutracêutico”, pois promove benefícios à saúde e ajuda na prevenção de doenças (JACK, 1995). É responsável pelo fornecimento de mais de 85% do licopeno na dieta humana, que está relacionado com a prevenção de várias enfermidades como câncer e doenças cardiovasculares (PERVEEN *et al.*, 2013).

O fruto também possui vitamina C, carotenoides e compostos fenólicos que atuam como agentes antioxidantes no corpo humano, ajudando na prevenção de doenças como câncer, doenças cardiovasculares, Parkinson e Alzheimer. Esses compostos auxiliam o organismo na eliminação de radicais livres formados, principalmente, devido à má alimentação e condições de stress (HALLMANN, 2012).

Nos frutos, a vitamina C tem papel importante na proteção contra danos oxidativos que ocorrem com o aumento da respiração no processo de amadurecimento (SLIMESTAD & VERHEUL, 2005).

Os principais carotenoides presentes no tomate são o licopeno e o β -caroteno. O licopeno, um dos mais importantes pigmentos naturais, é responsável pela cor vermelha e uma de suas principais funções é absorver a luz e proteger a planta contra o excesso de luminosidade (Perveen *et al.*, 2013). O β -caroteno, precursor da vitamina A, é um carotenoide que confere coloração amarela, presente em menor concentração (ILIC *et al.*, 2012).

Os compostos fenólicos são provenientes do metabolismo secundário das plantas, principalmente em condições de estresse. Eles podem ter a função de proteção contra pragas, atração de polinizadores, coloração, proteção contra excesso de luz, entre outros (NACZK & SHAHIDI, 2006).

Além das vitaminas, carotenoides e compostos fenólicos, outras características como cor, firmeza, concentrado de açúcares e ácidos orgânicos, que são responsáveis pelo sabor, também estão relacionadas com a qualidade dos frutos do tomateiro (TINYANE *et al.*, 2013). Essas características podem variar de acordo com diferenças genéticas, técnicas de cultivo, condições de armazenamento pós-colheita (JAGADEESH *et al.*, 2011) e condições ambientais como luz e temperatura (LEVYA *et al.*, 2013).

Em geral, condições que causam estresse à planta podem aumentar a concentração de compostos antioxidantes como vitamina C, carotenoides e compostos fenólicos. Plantas cultivadas em ambiente protegido recebem menor irradiância, o que pode levar à diminuição na concentração de sólidos solúveis totais e aumento na concentração de

ácidos (GAUTIER *et al.*, 2009).

A vitamina C também pode ser alterada pela menor irradiância. Frutos que estão menos expostos a luz, como ocorre em ambiente protegido ou em plantios com maior densidade de plantas, possuem maior concentração de vitamina C (GAUTIER *et al.*, 2009).

O desenvolvimento de técnicas de cultivo com objetivo de aumentar a produtividade deve estar aliado a preservação ou aumento da qualidade dos frutos. No Sistema Viçosa, pode ocorrer alterações na qualidade nutricional dos frutos, pois a maior densidade de plantio pode diminuir a exposição dos frutos a radiação e diminuir a condições que causam estresse às plantas, como a redução na temperatura foliar (CASTRO, 2013).

O cultivo protegido também pode diminuir condições de estresse como ataque de pragas e doenças e menor incidência de luz, o que pode afetar a concentração de licopeno, vitamina C e compostos fenólicos (LEVYA *et al.*, 2013).

Neste sentido, o objetivo no presente estudo foi verificar o efeito de quatro sistemas de cultivo do tomateiro cultivado em duas épocas do ano, em condições de campo e ambiente protegido, nas características físico-químicas e nos compostos bioativos dos frutos.

MATERIAL E MÉTODOS

CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos foram conduzidos na Unidade Experimental de Pesquisa e Extensão da Universidade Federal de Viçosa (UEPE UFV), Viçosa, MG (20° 45' 14" S/ 42° 52' 55" O), em duas épocas e dois ambientes de cultivo (campo aberto e ambiente protegido). O experimento I correspondeu ao cultivo de primavera-verão e as plantas foram cultivadas de julho de 2014 a janeiro de 2015. O experimento II, correspondente ao cultivo de outono-inverno, foi conduzido no período de março a outubro de 2015.

O ambiente protegido utilizado foi do tipo arco, com 210 m², coberto com filme agrícola SunCover Blue® e tela lateral citrus. As plantas foram cultivadas em solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo de topografia plana. As características químicas na camada de 0-20 cm do solo do ambiente protegido (Tabela 7) e do campo

(Tabela 8) foram determinadas mediante análise de solo realizada antes de cada cultivo. A recomendação de adubação foi baseada na 5ª Aproximação (RIBEIRO et al., 1999).

Tabela 7. Características químicas do solo no interior do ambiente protegido nos Experimentos I e II.

Exp.	pH	P	K	Ca²⁺	Mg²⁺	Al³⁺	H + Al	SB	T	V	MO	P-rem
	H ₂ O	----mg/dm ³ ----		-----cmol _c /dm ³ -----						%	dag/Kg	mg/L
I	5,7	132,0	151,0	3,2	0,60	0,0	3,63	4,2	7,8	54,0	2,6	22,8
II	5,9	145,0	162,0	2,8	0,70	0,0	3,52	4,2	7,7	54,0	2,4	25,2

Tabela 8. Características químicas do solo do campo nos Experimentos I e II.

Exp.	pH	P	K	Ca²⁺	Mg²⁺	Al³⁺	H + Al	SB	T	V	MO	P-rem
	H ₂ O	----mg/dm ³ ----		-----cmol _c /dm ³ -----						%	dag/Kg	mg/L
I	6,0	98,0	112	2,2	0,5	0,0	2,5	2,7	5,2	51,2	2,6	24,5
II	5,8	110	98	3,1	0,6	0,0	2,8	3,7	6,5	57,0	2,8	26,1

O híbrido comercial utilizado foi o Pegasus®, da empresa Agristar. A planta possui crescimento indeterminado e produz frutos tipo Santa Cruz. É resistente à Murcha de Fusário Raça 1 e 2, Nematóides, Vírus do Mosaico do Tabaco, Geminivirus e Murcha de Verticílio.

As mudas foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido com 128 células preenchidas com substrato comercial Carolina® e transplantadas quando atingiram três a quatro folhas definitivas.

Os tratos culturais como capinas, desbrotas, amarrios e o controle de pragas e doenças foram realizados conforme recomendação para a cultura (SILVA & VALE, 2007).

As adubações foram feitas via sistema de fertirrigação e a irrigação por sistema de gotejamento. A demanda hídrica foi calculada com base nos dados meteorológicos (temperatura, radiação, umidade relativa e velocidade do vento) coletados em estação meteorológica modelo Davis Vantage Pro2. A partir desses dados calculou-se a evapotranspiração de referência (ET_o) e com os coeficientes da cultura (k_c), irrigação localizada (k_l) e do solo (k_s) foi obtido a evapotranspiração da cultura (ET_c)

DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados meteorológicos foram registrados diariamente em duas estações meteorológicas modelo Davis Vantage Pro2 instaladas dentro e fora do ambiente protegido.

TRATAMENTOS

Foram avaliados quatro sistemas de cultivo do tomateiro em condição de campo e ambiente protegido (Figura 1):

I – Sistema Vertical: plantas tutoradas verticalmente com fitilho e conduzidas com uma haste, em espaçamento de 1,2 x 0,5 m (16.667 plantas ha⁻¹);

II- Cerca Cruzada: similar ao fitilho, porém foi utilizado o tutoramento triangular com bambu;

III- Sistema Viçosa: plantas cultivadas em espaçamento 2 x 0,2 m (25.000 plantas ha⁻¹), tutoradas com fitilho e inclinadas a aproximadamente 75° em relação ao solo, onde foram dispostas alternadamente para um lado e para o outro, de dentro para fora da linha

de cultivo, formando um “V”. As plantas foram conduzidas com uma haste, com retirada das inflorescências acima do 8º rácemo, deixando-se nove folhas acima deste, e retirada das folhas baixas até o terceiro rácemo. Foi realizado o raleamento de frutos mantendo-se de quatro a seis frutos por rácemo, quando estes possuíam de dois a três centímetros de diâmetro. Retirou-se também frutos desuniformes, defeituosos ou com problemas fitossanitários;

IV- Sistema Viçosa Adensado: similar ao Sistema Viçosa, porém com as plantas conduzidas em espaçamento 1,6 x 0,1 m (62.500 plantas ha⁻¹).

ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

Foram colhidos de três a quatro frutos por planta, no 3º e 4º rácemo, quando estes possuíam mais de 90% da superfície com coloração vermelha. As análises foram realizadas no laboratório de Manejo de Recursos Genéticos, do Departamento de Fitotecnia (DFT-UFV) e no Laboratório de Análise de Vitaminas, do Departamento de Nutrição (DNS-UFV).

Avaliou-se características de cor, acidez total titulável (AT) (% ácido cítrico), sólidos solúveis totais (SST) (°Brix), pH, firmeza (N), relação SST/AT, fenólicos totais, capacidade antioxidante e carotenoides (licopeno e β-caroteno).

A cor da superfície dos frutos foi avaliada em dois pontos, no sistema CIE-Lab com auxílio de um medidor de cor (Konica Minolta, Japão) e descrita pelos parâmetros L*, a*, b*. Com esses valores foram calculados a relação a*/b* e o ângulo Hue (Hue = $\text{tg}^{-1}b^*/a^*$).

A acidez total titulável foi determinada de acordo com a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (1985) e expressa em % de ácido cítrico

A concentração de sólidos solúveis, expresso em °Brix, e o pH, foram medidos na polpa dos frutos com auxílio de um refratômetro (HANNA HI 96801) e um peagâmetro (HANNA pH 20).

A relação SST/AT foi calculada pela relação entre sólidos solúveis totais e acidez total titulável, de acordo com KADER & STEVENS (1978).

A firmeza foi medida com um penetrômetro (Instrutherm DD-200) em dois pontos na região equatorial dos frutos e expressa em Newton.

ANÁLISE DOS COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS

Para a determinação dos compostos fenólicos totais e atividade antioxidante, os extratos foram obtidos segundo Bloor (2001). Um grama da polpa dos frutos foi homogeneizada com 10 mL da solução de extração (metanol:água 60:40 v v⁻¹) e submetida à agitação (180 rpm) por 15 min em temperatura ambiente. A amostra foi centrifugada a 3.500 rpm por 5 min e as frações do sobrenadante foram diluídas para obtenção de extratos na concentração de 0,066 g de polpa mL⁻¹.

Na determinação de fenólicos totais foi utilizado o reagente Folin-Ciocalteu (SINGLETON *et al.*, 1999). Em 0,5 mL do extrato foram adicionados 0,5 mL do reagente Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich, Alemanha) diluído 5 vezes em água e 0,5 mL de solução de carbonato de cálcio 7,5%. Foi realizada agitação em vórtex e, em seguida, deixou-se reagir por 30 min. A absorvância foi lida em espectrofotômetro (Shimadzu UV-VIS; Kyoto, Japão) a 765 nm. Os resultados foram expressos em miligramas de equivalentes de ácido gálico e os cálculos obtidos por meio de uma curva analítica de ácido gálico (Sigma-Aldrich, Alemanha).

ANÁLISE DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

A atividade antioxidante foi medida de acordo com Blois (1958). Uma alíquota de 100 µL do extrato foi adicionada a uma solução metanólica de 2,2-diphenil-2-picril-hidrazil (DPPH) (Sigma Aldrich, Alemanha) 0,1 mM. A mistura foi agitada por 1 minuto em vórtex e deixada em repouso por 15 min em temperatura ambiente, ao abrigo de luz. Foi lida a absorvância em espectrofotômetro (Shimadzu UV-VIS; Kyoto, Japão) a 517 nm. A capacidade para eliminar o radical DPPH foi calculada utilizando-se a seguinte equação:

$$ARR = 100 - \left[\frac{(Ab_{\text{amostra}} - Ab_{\text{branco}}) \times 100}{Ab_{\text{controle}}} \right]$$

em que:

ARR = Atividade de retirada de radical (%)

Ab_{controle} = Absorvância da solução de DPPH sem amostra,

Ab_{amostra} = Absorvância da amostra teste mais DPPH e,

Ab_{branco} = Absorvância da solução de extração

EXTRAÇÃO E ANÁLISE DOS CAROTENOIDES

A extração dos carotenoides foi realizada segundo Rodriguez *et al.*, (1976) com algumas modificações. Aproximadamente 10 g da polpa do tomate foram trituradas e com 20 mL de acetona resfriada durante 1 minuto, por três vezes, para que o extrato ficasse o mais claro possível. Após a extração, o extrato foi filtrado a vácuo com funil de Buchner utilizando-se papel filtro e transferido para funil de separação com éter de petróleo resfriado (50 mL) para a transferência do pigmento da acetona para o éter. A fração foi lavada com água destilada 6 vezes para eliminar toda a acetona.

Foi acrescentado sulfato de sódio anidro à solução de pigmentos para retirar qualquer resíduo de água que pudesse prejudicar a evaporação do material. Em seguida procedeu-se a evaporação do extrato em éter de petróleo no evaporador rotativo, na faixa de temperatura de 35 a 37 °C. Após dissolveu-se novamente em éter de petróleo completando-se o volume para um balão volumétrico de 25 mL. Por último, o extrato foi transferido para um frasco âmbar, identificado e armazenado em freezer a -5 °C até o momento da análise dos carotenoides, que ocorreu em até 4 horas.

A análise cromatográfica foi realizada segundo Pinheiro-Sant'Ana *et al.* (1998) com pequenas modificações.

Foi evaporado uma alíquota de 2 mL do material obtido na etapa da extração de pigmentos sob fluxo de nitrogênio e em seguida recuperado em 2 mL de metanol. Após filtrou-se o extrato em unidade filtrante HV Millex em polietileno, com 0,45 µm de porosidade em endorffs com capacidade de 1,5 mL e injetou-se na coluna cromatográfica para análise.

O Sistema de cromatografia líquida de alta eficiência - CLAE (Shimadzu, modelo SCL 10AD VP) empregado para análise de carotenoides foi composto de bomba de alta pressão com injetor automático com alça de amostragem (loop) de 50 µL, coluna Synergi Hydro – RP (Phenomenex 5 µm, 250 mm x 4,6 mm); (modelo SIL-10AF) detector de UV-visível (arranjos de diodos), software Class VP 6.14 SP2 para controle do sistema.

A fase móvel foi composta da mistura metanol:acetato de etila:acetonitrila (50:40:10) com eluição isocrática e fluxo de 2 mL min⁻¹. O β-caroteno e o licopeno foram detectados nas faixas de 450 e 469 nm.

Para identificação dos carotenoides, foram comparados os tempos de retenção com seus respectivos padrões analisados sob as mesmas condições, e pela comparação dos espectros de absorção dos padrões e picos de interesse das amostras por meio de

detector de arranjo de diodos.

EXTRAÇÃO E ANÁLISE DE VITAMINA C

A concentração de vitamina C, na forma de ácido ascórbico, foi obtida de acordo com Campos et al (2009). Aproximadamente 5 gramas do fruto foram homogeneizados por 5 minutos com 15 mL da solução extratora (ácido metafosfórico a 3%, ácido acético a 8%, H₂SO₄ 0,3 N e 1 mM EDTA) usando um micro triturador. O extrato foi centrifugado (HermLe[®], modelo Z216MK, Alemanha) a 4000 rpm por 8 minutos e filtrado em funil de Buncher com papel filtro. O filtrado foi transferido para um balão de 25 mL e completado com água ultrapura. O extrato foi novamente filtrado em unidades filtrantes com 0,45 µm (Millipore, Brazil).

A análise foi realizada em sistema de cromatografia de alta eficiência - CLAE (Shimadzu, modelo SCL 10AD VP), munida de coluna cromatográfica Lichrospher 18 RP (100, 250 x 4 mm, 5 µm). A fase móvel foi composta por água ultrapura contendo 1 mM NaH₂PO₄, 1mMde EDTA e pH 3.0 ajustado com H₃PO₄. O fluxo foi ajustado para 1,0 mL/min e os cromatogramas foram obtidos a 245 nm.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os tratamentos foram dispostos no delineamento de blocos ao acaso e sistema fatorial duplo (2 ambientes x 4 sistemas de cultivo) com nove repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com auxílio do software Sisvar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas figuras 4 e 5 encontram-se os dados climáticos (radiação, temperatura, umidade relativa e precipitação) medidos no campo e no ambiente protegido nas duas épocas de cultivo do tomateiro.

No experimento I (primavera-verão), observou-se maiores valores de temperatura, precipitação e radiação solar, como comumente se observa para essa época do ano na

região de Viçosa.

O ambiente de cultivo pouco afetou os valores de temperatura e umidade relativa nas duas épocas de cultivo. No entanto, devido a presença do filme agrícola, a radiação no ambiente protegido foi bem inferior àquela observada no campo nas duas épocas de cultivo.

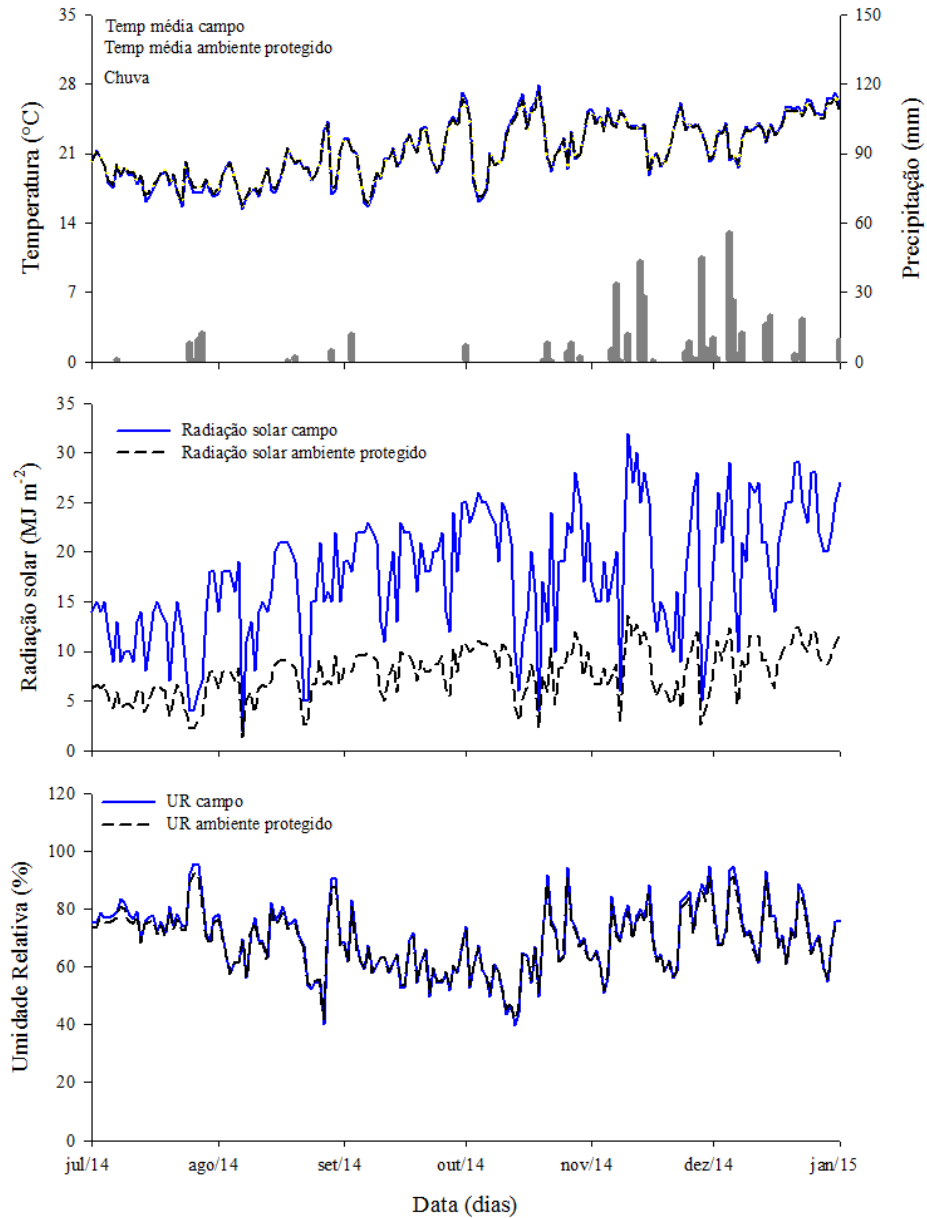


Figura 4. Temperatura, radiação e umidade relativa dentro e fora do ambiente protegido no cultivo de primavera-verão (Jul/2014 a Jan/2015)

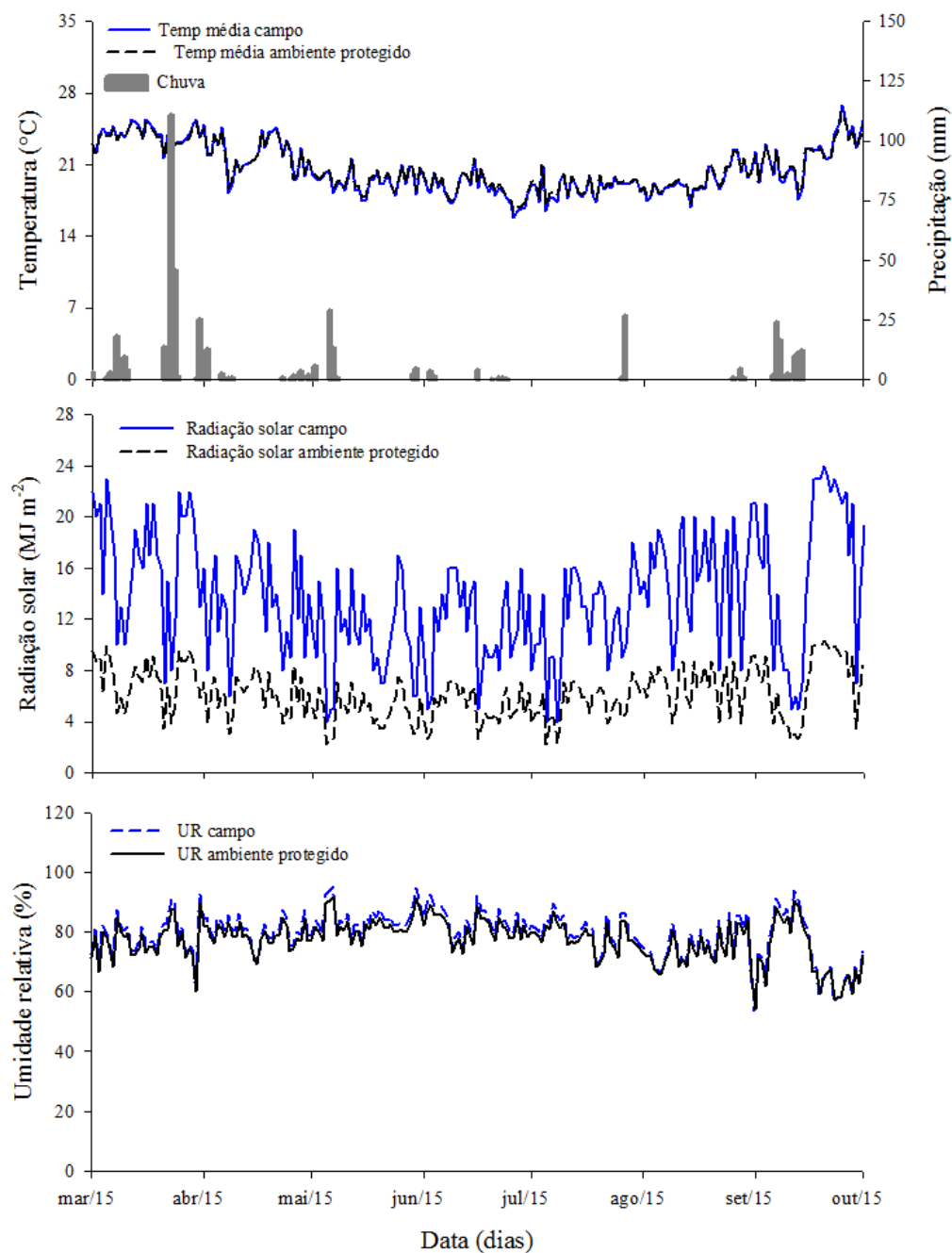


Figura 5. Temperatura, Radiação e Umidade Relativa dentro e fora do ambiente protegido no cultivo de outono-inverno (Mar/2015 a Nov/2015)

Não foi observado efeito da interação entre ambiente e sistemas de cultivo para todas as características avaliadas. O ambiente de cultivo influenciou nas características físico-químicas (Tabela 9) e nos compostos bioativos (Tabela 10). Nenhum efeito foi verificado nos sistemas de cultivo (Tabelas 11 e 12).

Tabela 9. Valores médios de a*/b*, Ângulo Hue, Sólidos Solúveis Totais (SST), Acidez Titulável (AT), pH e relação SST/AT em frutos de tomateiro produzidos em duas épocas do ano em condições de ambiente protegido (AP) e campo.

Época	Ambiente	a*/b*	Hue	SST (°Brix)	AT (%)	Firmeza	Relação SST/AT
Primavera-Verão	AP	1,37 a	0,63 a	3,8 b	0,424 b	11,98 a	9,03 a
	Campo	1,33 a	0,66 a	4,47 a	0,564 a	11,72 a	8,06 b
CV (%)		11,13	9,08	4,38	8,77	28,91	5,97
Outono-Inverno	AP	2,42 a	0,73 a	4,03 a	0,417 a	10,16 a	9,88 a
	Campo	2,11 a	0,7 a	4,23 a	0,399 a	11,9 a	11,17 a
CV (%)		5,48	2,24	14,98	12,39	21,60	9,87

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 10. Valores médios de Licopeno, β -Caroteno, Atividade Antioxidante (ARR), Compostos Fenólicos Totais e Ácido Ascórbico em frutos de tomateiro produzidos em duas épocas do ano em condições de ambiente protegido (AP) e campo.

Época	Ambiente	Licopeno (mg 100 g ⁻¹)	β -Caroteno (mg 100 g ⁻¹)	ARR (%)	Compostos Fenólicos Totais (mg GAE 100 g ⁻¹)	Ácido Ascórbico (mg 100 g ⁻¹)
Primavera-Verão	AP	15,51 a	0,482 a	11,18 a	15,61 b	-
	Campo	16,9 a	0,552 a	9,08 a	26,28 a	-
CV (%)		32,94	35,19	29,44	15,46	
Outono-Inverno	AP	4,92 a	0,458 a	9,51 b	12,36 b	4,09 a
	Campo	4,36 b	0,614 a	12,53 a	17,03 a	4,18 a
CV (%)		33,22	24,95	13,25	18,00	41,18

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 11. Valores médios de a*/b*, Ângulo Hue, Sólidos Solúveis Totais (SST), Acidez Titulável (AT), pH, Relação SST/AT em frutos do tomateiro produzidos em quatro sistemas de cultivo e duas épocas do ano.

Época	Sistema	a*/b*		Ângulo Hue		SST (°Brix)		AT (%)		Firmeza (N)		Relação SST/AT	
Primavera-Verão	Adensado	1,40	a	0,62	a	4,05	a	0,48	a	11,04	a	8,71	a
	Viçosa	1,41	a	0,61	a	4,05	a	0,47	a	11,46	a	8,68	a
	Vertical	1,33	a	0,65	a	4,01	a	0,48	a	11,32	a	8,57	a
	Cerca	1,25	a	0,69	a	4,45	a	0,54	a	13,58	a	8,22	a
Outono-Inverno	Adensado	2,19	a	0,70	a	4,01	a	0,40	a	11,19	a	10,11	a
	Viçosa	2,31	a	0,72	a	4,21	a	0,37	a	11,33	a	12,09	a
	Vertical	2,28	a	0,73	a	4,30	a	0,42	a	11,6	a	10,12	a
	Cerca	2,28	a	0,72	a	4,00	a	0,44	a	10,02	a	9,77	a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 12. Valores médios de Licopeno, β -Caroteno, Atividade Antioxidante (ARR), Compostos Fenólicos Totais e Ácido Ascórbico em frutos do tomateiro produzidos em quatro sistemas de cultivo em duas épocas do ano.

Época	Sistema	Licopeno (mg 100 g ⁻¹)		β -Caroteno (mg 100 g ⁻¹)		ARR (%)		Fenólicos (mg GAE 100 g ⁻¹)		Ácido Ascórbico (mg 100 g ⁻¹)	
Primavera-Verão	Adensado	16,21	a	0,498	a	10,36	a	16,19	a	-	-
	Viçosa	19,38	a	0,610	a	8,63	a	21,27	a	-	-
	Vertical	16,62	a	0,470	a	11,22	a	22,67	a	-	-
	Cerca	12,62	a	0,486	a	10,32	a	23,67	a	-	-
CV (%)		26,30		22,16		30,98		30,80			
Outono-Inverno	Adensado	3,77	a	0,556	a	10,57	a	15,71	a	4,58	a
	Viçosa	5,09	a	0,654	a	10,73	a	13,73	a	4,60	a
	Vertical	5,22	a	0,478	a	10,93	a	16,05	a	4,00	a
	Cerca	4,48	a	0,458	a	11,83	a	13,28	a	3,36	a
CV (%)		23,01		20,89		19,54		19,76		24,39	

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores de a^*/b^* variaram de 1,33 a 1,37 no cultivo primavera-verão e de 2,11 a 2,42 no cultivo de outono-inverno e não foram influenciados pelos ambientes ou sistemas de cultivo testados.

A relação a^*/b^* é um dos índices mais utilizados para medir a maturação dos frutos de tomateiro (CAMELO & GÓMEZ, 2004). Esse valor aumenta com o processo de maturação e se torna positivo com o aparecimento da coloração vermelha. Valores de a^*/b^* entre 0,95 e 1,21 significam que o fruto atingiu 90% ou mais de coloração vermelha e está no ponto ideal para comercialização (BATU, 2004). Portanto, pelos valores obtidos, confirma-se que os frutos foram colhidos e avaliados quando possuíam mais de 90% da superfície com coloração vermelha.

O teor de sólidos solúveis totais (SST) não foram afetados pelos sistemas de cultivo do tomateiro. No entanto, houve tendência de aumento dessa característica nos frutos produzidos em condições de campo nas duas épocas estudadas.

Os principais sólidos solúveis no tomateiro são os açúcares, principalmente a sacarose. Qualquer fator que afete a fotossíntese, tais como luz, temperatura e umidade relativa, pode influenciar o acúmulo de açúcares nos frutos (CALIMAN *et al.*, 2010).

Em ambiente protegido a disponibilidade de luz é menor devido ao efeito do filme agrícola, que bloqueia parte da radiação. Essa redução pode resultar em menor taxa fotossintética, reduzindo a produção e acúmulo de açúcares nos frutos e, conseqüentemente, o valor de SST (CALIMAN *et al.*, 2010).

No período de primavera-verão, os frutos produzidos em ambiente protegido foram menos ácidos, com valores 25% inferiores aos obtidos em condições de campo.

Os ácidos orgânicos podem ser produzidos a partir de carboidratos e translocados de folhas e raízes para os frutos (BERTIN *et al.*, 2000). Em ambiente protegido, a luz pode ser fator limitante, levando ao menor acúmulo de carboidratos, resultando em frutos menos ácidos (CALIMAN *et al.*, 2010).

A firmeza dos frutos não foi influenciada pelos sistemas ou pela época de cultivo do tomateiro. Essa característica está relacionada com a coloração e maturação dos frutos e diminui ao longo desse processo (BATU, 2004). Os frutos foram colhidos no mesmo estágio de maturação (valores de a^*/b^* iguais), o que pode ter contribuído para que não houvesse diferença nessa característica.

A relação SST/AT não variou entre os sistemas de cultivo, porém, no cultivo de primavera-verão, os frutos produzidos no ambiente protegido obtiveram maior relação, SST/AT, o que pode resultar em frutos mais saborosos (Tabela 9). A relação SST/AT tem

sido o índice mais utilizado para avaliar o sabor dos frutos, uma vez que os açúcares (SST) e ácidos (AT) são os responsáveis pelo sabor doce e ácido (HERNÁNDEZ *et al.*, 2014).

Um fruto saboroso é aquele com alta concentração de açúcares e relativamente alta concentração de ácidos. Frutos com alta concentração de ácidos em relação aos açúcares tem um sabor ácido enquanto que a alta concentração de açúcares e baixa acidez resulta em um fruto com sabor mais agradável. Se ambas características forem baixas, o fruto será insípido (CEBOLLA-CORNEJO *et al.*, 2011)

Apesar dos frutos produzidos a campo possuírem maior SST e AT, o maior incremento em AT (33%) em relação aos SST (18%) no cultivo primavera-verão resultou em uma relação SST/AT menor.

Frutos de alta qualidade são aqueles que possuem relação SST/AT, AT e SST maior que 10, 0,32% e 3 °Brix respectivamente (KADER & STEVENS, 1978). Esses valores foram obtidos em todos os sistemas e ambientes de cultivo para SST e AT. Por outro lado, os valores médios de SST/AT superiores a 10 foram obtidos apenas em frutos produzidos nos sistemas Viçosa Adensado, Viçosa e Vertical produzidos no outono/inverno.

Quando avaliou-se a concentração de licopeno nos frutos, observou-se que os sistemas de cultivo não influenciaram essa característica (Tabela 12). Porém, no outono-inverno, houve aumento de 12,8% na concentração de licopeno em frutos produzidos no ambiente protegido (Tabela 10).

Apesar de os sistemas de cultivo não terem influenciado na concentração de licopeno, houve uma tendência de aumento desse carotenoide no Sistema Viçosa, principalmente quando comparado ao Cerca Cruzada (53%) no cultivo primavera-verão. Os valores obtidos variaram de 12,62 a 19,21 mg 100 g⁻¹ e 3,77 a 5,22 mg 100 g⁻¹ de matéria fresca de fruto nos cultivos de primavera-verão e outono-inverno, respectivamente.

Na dieta humana, doses diárias de 30 mg de licopeno tem sido recomendadas para a prevenção contra danos oxidativos e doenças crônicas (RAO & SHEN, 2002). Se considerarmos os valores obtidos no cultivo primavera-verão, seria necessário o consumo de, aproximadamente, 155 e 240 g de tomate produzido nos sistemas Viçosa e Cerca, respectivamente, para atender a ingestão diária recomendada de licopeno. Em frutos produzidos no cultivo de outono-inverno, o consumo indicado seria de 590 e 670 g de tomate, produzidos nos sistemas Viçosa e Cerca, respectivamente.

Grande variabilidade na concentração de licopeno pode ser observada em diversos trabalhos dependendo das condições de cultivo. Valores entre 2,1 e 4,5 mg 100 g⁻¹ foram

observados em frutos submetidos a diferentes temperaturas de armazenamento (PÉK *et al.*, 2010). Caliman *et al.*, (2010) não observaram diferença em frutos produzidos em condições de campo e ambiente protegido, com valores de 5,5 a 7,5 mg 100 g⁻¹ de matéria fresca, porém entre diferentes genótipos, foi observada diferença, com valores de 2,5 a 14,8 mg 100 g⁻¹.

A concentração de β -caroteno não foi afetada pelos ambientes e épocas de cultivo, com valores de 0,46 a 0,61 mg 100 g⁻¹ de matéria fresca. A biossíntese de β -caroteno é influenciada pela luz e temperatura (TINYANE *et al.*, 2013). Temperaturas acima de 30 °C e alta radiação solar estimulam a oxidação do licopeno a β -caroteno (GAUTIER *et al.*, 2005). No entanto, as temperaturas médias observadas nas duas épocas e nos dois ambientes de cultivo não ultrapassaram os 28 °C (Figuras 4 e 5).

No cultivo de primavera-verão, não houve diferença na capacidade antioxidante em frutos de tomates produzidos nos diferentes sistemas e ambientes de cultivo. No período de outono-inverno houve um incremento de 32% para essa característica nos frutos produzidos em condições de campo.

Em condições de campo as plantas estão mais sujeitas a ataques de pragas e doenças. Quando atacada por algum patógeno ou praga, a planta ativa mecanismos de defesas que levam a produção de substâncias que são geralmente antioxidantes (KANABUR & REDDY, 2014). Portanto, o ataque de patógenos como *Phytophthora infestans* que ocorreu no outono-inverno, nas plantas produzidas em condições de campo, pode ter elevado a concentração de antioxidantes como um mecanismo de defesa.

A concentração de compostos fenólicos não variou entre os sistemas de cultivo testados, porém foi 68% e 38% maior em frutos produzidos em condições de campo nos cultivos de primavera-verão e outono-inverno, respectivamente.

Os compostos fenólicos são os principais componentes com atividade antioxidante na fase solúvel nos frutos (HELYES & LUGASI, 2006). A maior exposição ao ataque de pragas e doenças nas plantas cultivadas a campo pode ter contribuído para o maior acúmulo de compostos fenólicos (KANABUR & REDDY, 2014).

A concentração de vitamina C não foi influenciada pelo ambiente e sistemas de cultivo. No entanto, pode-se observar uma tendência de aumento na concentração dessa vitamina nos sistemas Viçosa e Viçosa Adensado com valores de 4,60 e 4,58 mg 100 g⁻¹, respectivamente. Nos sistemas Vertical e Cerca, os valores obtidos foram 4,00 e 3,36 mg 100 g⁻¹.

CONCLUSÕES

Os sistemas de cultivo testados não influenciaram na qualidade nutricional e organolépticas dos frutos.

Frutos produzidos em condições de campo obtiveram maior concentração de compostos fenólicos, independente da época de cultivo.

Portanto, a escolha do produtor deve se basear em sistemas mais produtivos, uma vez que estes não afetaram os compostos bioativos e as características físico-química dos frutos.

CONCLUSÕES GERAIS

O cultivo protegido aumentou a produtividade dos frutos em até 49,3%. No sistema Viçosa adensado foi possível incremento de até 101% na produtividade comparado com os demais sistemas, porém, houve redução de até 21,3% na massa média dos frutos.

Em condições onde a área é um dos principais fatores limitantes, como ocorre no ambiente protegido, torna-se imprescindível a otimização desse recurso. Portanto, o cultivo do tomateiro no sistema Viçosa Adensado permite alcançar altas produtividades, tornando-se uma ótima opção para o cultivo tanto a campo quanto em ambiente protegido.

Os compostos bioativos e as características físico-química dos frutos não foram afetados pelos sistemas de cultivo, ou seja, foi possível o aumento da produtividade sem redução na qualidade dos frutos utilizando-se o sistema Viçosa Adensado.

REFERÊNCIAS

ABAURRE, M. E. O. Práticas Culturais. In: INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA E EXTENSÃO RURAL. Tomate. Vitória: Incaper, 2010. p. 133-148.

AGRIANUAL. Anuário da Agricultura Brasileira. (2016). FNP Consultoria e Agroinformativos, p. 435-439.

ALI, M.; MOUSA, A. (2014) Optimizing tomato productivity and water use efficiency using water regimes, plant density and row spacing under arid land conditions. **Irrigation and Drainage**. v. 63. p. 640-650.

ALMEIDA, V. S. et al. (2015). Sistema Viçosa para o cultivo de tomateiro. **Horticultura Brasileira**. v. 33, n. 1, p. 74–79.

ALVARENGA, M.A.A.R. (2004). Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia. UFLA.

AMUNDSON, S. K. et al. (2012) Optimizing Plant Density and Production Systems to Maximize Yield of Greenhouse-grown ‘Trust’ Tomatoes. **Horttechnology**. V. 22, n.1, p. 44-48

ARA, N. et al. (2007). Effect of Spacing and Stem Pruning on the Growth and Yield of Tomato. *Int. J. Sustain. Crop Prod. Bangladesh*, v. 2, n. 3 p. 35-39.

BAKHT, T. et al. (2014). Integration of row spacing, mulching and herbicides on weed management in tomato. **Pakistan Journal of Botany**, v. 46, n. 2 p. 543–547.

BATU, A. (2004). Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. **Journal of Food Engineering** v. 61 p. 471–475.

BOGIANI, J. C. *et al.* (2008). Poda apical, densidade de plantas e cobertura plástica do solo na produtividade do tomateiro em cultivo protegido. **Bragantia**, v. 67, p. 145–151.

BUETTNER, G. R. *et al.* (Eds), Handbook of Antioxidants, Marcel Dekker, New York 1996, p. 91.

CALIMAN, F. R. B., *et al.* (2010). Quality of tomatoes grown under a protected environment and field conditions. **Idesia**, v. 28, p. 75–82

CAMELO, A. F. L., & GÓMEZ, P. a. (2004). Comparison of color indexes for tomato ripening. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22 p. 534–537.

CEBOLLA-CORNEJO, J. *et al.* (2011). Evaluation of genotype and environment effects on taste and aroma flavor components of Spanish fresh tomato varieties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59 p. 2440–2450.

CHARLO, H.C.O. *et al.* (2007). Productivity of cherry tomatoes under protected cultivation carried out with different types of pruning and spacing. **Acta Horticulturae**, v. 761, p.323–326.

ERBA, D. *et al.* (2013). Nutritional value of tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) grown in greenhouse by different agronomic techniques. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 31 p. 245–251

GAUTIER, H. *et al.* (2005). Fruit load or fruit position alters response to temperature and subsequently cherry tomato quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85 p. 1009–1016.

HALLMANN, E. (2012). The influence of organic and conventional cultivation systems on the nutritional value and content of bioactive compounds in selected tomato types, p. 2840–2848.

HELYES, L., & LUGASI, A. (2006). Formation of certain compounds having technological and nutritional importance in tomato fruits during maturation. **Acta Alimentaria**, v. 35 p. 183–193.

HERNÁNDEZ, M. *et al.* (2014). Tomato fruit quality as influenced by the interactions between agricultural techniques and harvesting period. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 177 p. 443–448.

HEUVELINK, E. *et al.* (2005). Effect of leaf area on tomato yield. **Acta Horticulturae**, v. 691 p. 43–50.

ILIĆ, Z. S. *et al.* (2012). Effects of the modification of light intensity by color shade nets on yield and quality of tomato fruits. **Scientia Horticulturae**, v. 139 p. 90–95.

JACK, D. B. (1995). Keep taking the tomatoes the exciting world of nutraceutical. **Molecular Medicine Today**, v. 1 p. 118–121.

JAGADEESH, S. L. et al. (2011). Influence of Postharvest UV-C Hormesis on the Bioactive Components of Tomato during Post-treatment Handling, p. 1463–1472.

KADER, A., & STEVENS, M. A. (1978). Composition and Flavor Quality of Fresh Market Tomatoes as Influenced by Some Postharvest Handling Procedures. **Journal of the American Society for Horticultural Science**.

KANABUR, V., & REDDY, R. P. L. (2014). A study on antioxidant property of organic and conventional tomatoes. **IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Sciences**, v. 7(5) p. 12–17.

LAW-OGBOMO, K.E. & EGHAREVBA, R.K.A. (2009). Effects of planting density and NPK fertilizer application on yield and yield components of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) in forest location. **World Journal of Agricultural Sciences**. v. 5, n. 2, p. 152–158.

LEVYA, R., et al (2013). Effects of climatic control on tomato yield and nutritional quality in Mediterranean screenhouse. **Journal Science Food Agriculture**, v. 94 p. 63–7.

LOPES, C. A.; REIS, A.; BOITEUX, L. S. (2005). Doenças fúngicas. In: LOPES, C. A.; ÁVILA, A. C. (Ed.). **Doenças do tomateiro**. Brasília: Embrapa Hortaliças, p. 17-51.

MABOKO MM; PLOOY CP; CHILOANE S. 2011. Effect of plant population, fruit and stem pruning on yield and quality of hydroponically grown tomato. **African Journal of Agricultural Research**. v. 6, p. 5144-5148.

MAPA. 2002. Normas de identificação, qualidade, acondicionamento, embalagem e apresentação do tomate - Portaria nº 85, publicada no Diário Oficial da União de 18/03/2002.

MEHLA, C.P. *et al* (2000). Response of tomato varieties to N and P fertilization and spacing. **Indian Journal of Agricultural Research**. v. 34, p. 182–184.

MOUSA, A.A.M.; ISMAIL, S. (2014). Optimizing tomato productivity and water use efficiency using water regimes, plant density and row spacing under arid land conditions. **Irrigation and Drainage**. v. 63, p. 640-650.

NAGAZ, K.; MASMOUDI, M.M.; MECHLIA, B.N. (2012). Effects of deficit drip-irrigation scheduling regimes with saline water on pepper yield, water productivity and soil salinity under arid conditions of Tunisia. **Journal of Agriculture and Environment for International Development – JAEID**, v. 106 p. 85–103.

NASCIMENTO, E.R.; YAMASHITA, O.M. (2009). Desenvolvimento inicial de olerícolas cultivadas em solos contaminados com resíduos de 2,4-d + picloram. **Semina: Ciências Agrárias**. v. 30, n. 1 p. 47-54.

PAPADOPOULOS, A.; ORMROD, D. (1990). Plant spacing effects on yield of the greenhouse tomato. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 70 p.565–573.

PÉK, Z., HELYES, L., & LUGASI, A. (2010). Color changes and antioxidant content of vine and postharvest-ripened tomato fruits. **HortScience**, v. 45(3) p. 466–468.

PERVEEN, R., et al. (2013). Tomato (*Solanum lycopersicum*) carotenoids & lycopenes chemistry; Metabolism, absorption, nutrition and allied health claims- A comprehensive review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**.

RAO, A. V., & SHEN, H. (2002). Effect of low dose lycopene intake on lycopene bioavailability and oxidative stress. **Nutrition Research**, v. 22 p. 1125–1131.

RESENDE, G.M.; COSTA, N.D. (2003). Produção e qualidade do melão em diferentes densidades de plantio. **Horticultura Brasileira**, v.21 p.690-693.

RIBEIRO, A.C. et al. (Eds). (1999). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes

em Minas Gerais. **5ª aproximação**. Viçosa, UFV, 359p.

SANTOS, B.M.; SCOTT, J. W.; RAMIREZ-SANCHEZ, M. (2010). In-row distances and nitrogen fertilization programs for ‘Tasti-Lee’ specialty tomato. **HortTechnology**, v. 20 p. 579–584.

SELEGUINI A; SENO S; ZIZAS GB. 2002. Influência do espaçamento entre plantas e número de cachos por planta na cultura do tomateiro, em condições de ambiente protegido. **Horticultura Brasileira** v. 20 p. 25-28.

SHI, J., & MAGUER, M. Le. (2000). Lycopene in Tomatoes : **Chemical and Physical Properties Affected by Food Processing**.

SILVA, D. J.; VALE, F. X. R. (2007). **Tomate – Tecnologia de Produção**. Viçosa: ed Suprema.

SLIMESTAD, R., & VERHEUL, M. J., J. **Agric. Food Chem.** 2005, 53, 7251 – 7256.

TINYANE, P. P., SIVAKUMAR, D., & SOUNDY, P. (2013). Influence of photo-selective netting on fruit quality parameters and bioactive compounds in selected tomato cultivars. **Scientia Horticulturae**, v. 161 p. 340–349.

WITTEWER, S. H., & CASTILLA, N. (1995). Protected cultivation of horticultural crops worldwide. **HortTechnology**, v. 5 p. 6-23.