

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Richard Alberto Rodríguez Padrón

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA NO
CULTIVO DO PIMENTÃO COM E SEM SOMBREAMENTO**

Santa Maria, RS
2016

Richard Alberto Rodríguez Padrón

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA NO CULTIVO DO
PIMENTÃO COM E SEM SOMBREAMENTO**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Prof. PhD. Alexandre Swarowsky

Santa Maria, RS
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Rodríguez Padrón, Richard Alberto
Manejo da irrigação e eficiência do uso da água no cultivo do pimentão com e sem sombreamento / Richard Alberto Rodríguez Padrón.-2016.
80 p.; 30cm

Orientador: Alexandre Swarowsky
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2016

1. Capsicum annum 2. Tela de sombreamento 3. Coeficiente de cultivo duplo 4. Eficiência do uso da água 5. Irrigação por gotejamento I. Swarowsky, Alexandre II. Título.

©2016

Todos os direitos autorais reservados a Richard Alberto Rodríguez Padrón. A reprodução de partes ou de todo o trabalho poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Urbanização El Carrizal B, Rua Los Caobos, Casa 155, Mérida-Venezuela.

E-mail: rarpadron@gmail.com/richardpadron@mail.ufsm.br

Richard Alberto Rodríguez Padrón

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA NO CULTIVO DO
PIMENTÃO COM E SEM SOMBREAMENTO**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Engenharia Agrícola**.

Aprovado em 16 de junho de 2016:



Alexandre Swarowsky, Dr.
(Presidente/Orientador)



Afranio Almir Righes, PhD. (UNIFRA)



Galileo Adeli Bueriol, Dr. (UNIFRA)



Hercules Nogueira Filho, Dr. (UFSM)



Toshio Nishijima, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2016

DEDICATÓRIA

A

*Meus pais Bertha e Benjamin[†], pelo amor incondicional em todo momento.
Minha companheira Roxanna por sua paciência, apoio, compreensão e amor.*

Meus filhos Sabrina e Mathias, fontes de minha inspiração.

Minhas tias Celia e Marianela.

Os amos.

AGRADECIMENTOS

Meus mais sinceros agradecimentos a:

Deus, todo poderoso, pela vida, pela saúde e a força para conseguir alcançar as metas propostas.

A toda minha família, pelo apoio incondicional, exemplo de união e sinônimo de amor.

Aos professores Alexandre Swarowsky e Jerson Vardelei Carús Guedes, pelo tempo de dedicação; orientação e amizade.

Aos membros da banca examinadora da qualificação e da defesa da tese, pela disponibilidade em participar, sugestões e considerações na contribuição da pesquisa.

Ao professor Luis Rázuri Ramírez, pela formação, pelos ensinamentos, orientação, amizade e profissionalismo.

Ao professor Sidinei José Lopes, pelos ensinamentos, apoio fundamental e amizade.

A professora Marcia Xavier Peiter, pelo acolhimento e pelos ensinamentos.

Aos colegas Cicero Urbanetto Nogueira e Helena Maria Camilo de Moraes Nogueira, pelo companheirismo, paciência, amizade e apoio incondicional nestes quatro anos de estadia no Brasil.

A família Nogueira e Moraes por abrir as suas casas e brindar-nos o calor de família.

Ao Colégio politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, pelo apoio e colaboração no desenvolvimento da pesquisa.

Ao pessoal técnico e bolsistas do laboratório das energias alternativas do Colégio Politécnico da UFSM, em especial aos senhores Luís Augusto Bueno e José Tomaz Pires Soares que contribuíram para o desenvolvimento do trabalho.

A Fundação Gran Mariscal de Ayacucho pela bolsa concedida.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram.

A todos, muito obrigado.

RESUMO

MANEJO DA IRRIGAÇÃO E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA NO CULTIVO DO PIMENTÃO COM E SEM SOMBREAMENTO

AUTOR: Richard Alberto Rodríguez Padrón
ORIENTADOR: Alexandre Swarowsky

Estratégias no manejo de irrigação podem levar a melhores resultados como: o uso eficiente da água, produtividade e qualidade dos frutos. O presente estudo teve como objetivo determinar o efeito de diferentes lâminas de irrigação suplementar e a eficiência do uso da água na cultura do pimentão cultivado em campo aberto e com 50% de sombreamento. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições em esquema fatorial. Os tratamentos de irrigação consistiram na aplicação de: 25, 50, 75 e 100% da evapotranspiração e a testemunha sem irrigação. A unidade experimental foi formada por 2 linhas de 5 m de comprimento, sem as plantas de bordadura. A cultivar utilizada foi o híbrido Arcade, as mudas foram transplantadas dois meses após a germinação, com o espaçamento entre linha de 1 m e entre plantas de 0,4 m, no dia 16 de novembro de 2013 e 23 de novembro de 2014. O sistema de irrigação foi por gotejamento, com o espaçamento entre emissor de 0,2 m e vazão de 0,8 L h⁻¹. A frequência de irrigação foi diária. A evapotranspiração de referência foi calculada pela equação de Penman-Monteith/FAO e a evapotranspiração da cultura com o método de coeficiente de cultivo duplo. Determinou-se os parâmetros de solo: análise química, textura, densidade do solo, capacidade de campo e taxa de infiltração. O monitoramento do conteúdo da água no solo foi pela reflectometria no domínio do tempo (TDR) e sonda de nêutrons. Avaliaram-se os seguintes parâmetros: rendimento, altura da planta, diâmetro do caule, índice da área foliar, índice de clorofila, matéria seca (da planta, da raiz e do fruto), número de frutos por planta, comprimento e diâmetro do fruto. Também foi realizada a análise econômica com e sem irrigação. O maior rendimento foi obtido sem sombra (35,1 t ha⁻¹) com 75% da evapotranspiração, e com sombra (22,2 t ha⁻¹) com 50% da evapotranspiração. A máxima eficiência técnica foi obtida com 69,4% e 54,5% da evapotranspiração, sem e com sombra, respectivamente. Com sombra ocorreu a economia de 15% da água de irrigação. A lâmina de irrigação aplicada oscilou de 70,4 a 401,8 mm nos anos de estudo. O uso eficiente da água de irrigação encontrado sem e com sombra foram de 30 kg m⁻³ e 20 kg m⁻³, respectivamente. O coeficiente de cultura foi influenciado pelas precipitações, durante as fases inicial e de crescimento. Os valores do coeficiente da cultura foram $k_{c_{ini}} = 0,71$, $k_{c_{med}} = 1,17$ e $k_{c_{final}} = 0,92$, sendo estes valores maiores que os recomendados pela FAO-56. No tratamento sem sombra resultaram valores maiores em: taxa de crescimento do diâmetro do caule; índice de clorofila e número de frutos por planta. No tratamento com sombra resultaram valores maiores em: taxa de crescimento da altura da planta; índice de área foliar; número de folhas por planta; matéria seca total da planta; diâmetro, comprimento e massa dos frutos. A menor rentabilidade foi sem irrigação e a maior com a lâmina de irrigação de 75% da evapotranspiração, com taxa interna de retorno de 29 e 84%, respectivamente. O déficit e o excesso de água afetaram a fenologia, o rendimento, o crescimento da planta e o desenvolvimento da área foliar.

Palavras-chaves: *Capsicum annuum*. Tela de sombreamento. Coeficiente de cultivo duplo. Eficiência do uso da água. Irrigação por gotejamento.

ABSTRACT

IRRIGATION MANAGEMENT AND WATER USE EFFICIENCY IN BELL PEPPER WITH AND WITHOUT SHADING

AUTHOR: Richard Alberto Rodríguez Padrón

ADVISOR: Alexandre Swarowsky

Strategies for managing irrigation can lead to better outcomes, such as performance, quality fruit and efficient use of irrigation water. This study aimed to determine the effect of different supplemental irrigation depth and water use efficiency in bell pepper crop, cultivated in open-field and with 50% shading. The experimental was in a randomized block design with four replications, in factorial arrangement. Irrigation treatments were: application of 25, 50, 75 and 100% of evapotranspiration and the control treatment without irrigation. The experimental unit was composed of 2 lines of 5 m long, without embroidery plants. The hybrid used was Arcade, The seedlings were transplanted two months after germination, with a separation of 1 m between line and 0.4 m between plants, 16 November 2013 and 23 November 2014. The irrigation system drip, with spacing of 0.2 m and emitter flow rate of 0.8 L h⁻¹. The frequency of irrigation was daily. The reference evapotranspiration by Penman-Monteith/FAO crop evapotranspiration and the method of dual crop coefficient was calculated. Soil parameters were determined is: chemical analysis, texture, bulk density, field capacity and infiltration rate. The soil water content monitoring was performed with a time domain reflectometer and neutron probe. The parameters evaluated were: yield, plant height, stem diameter, leaf area index, chlorophyll index, dry matter and plant root, number of fruit per plant, fruit dry matter, fruit diameter and length. Also, economic analysis on system with and without irrigation was performed. The highest yield was obtained without shade (35.1 t ha⁻¹) with 75% of evapotranspiration and with shade (22.2 t ha⁻¹) with 50% of evapotranspiration. The maximum technical efficiency was obtained with 69.4% and 54.5% evapotranspiration, with and without shade, respectively. With shade, saving of 15% less irrigation water was obtained. The applied irrigation depth ranged from 70.4 to 401.8 mm in the years of study. The efficient use of irrigation water without and with shade was 30 kg m⁻³ and 20 kg m⁻³, respectively. The crop coefficient was influenced by precipitation, especially during the initial phase of growth, the values were $k_{Cini}= 0.71$, $k_{Cmed}= 1.17$ and $k_{Cfinal}= 0.92$, higher than those recommended by FAO-56. The without shade treatments resulted in higher values in: growth rate of stem diameter, chlorophyll index, number of fruit per plant. Treatments shade resulted in higher values in: growth rate of plant height; leaf area index; number of leaf per plant; the total plant dry matter; diameter, length and weight of fruits. The lower profitability was without irrigation and higher with the irrigation depth of 75% of evapotranspiration, with internal rate of return of 29 and 84%, respectively. The excess water deficit affects the phenology, yield, plant growth and leaf area development.

Keywords: *Capsicum annuum*. Shade mesh. Dual crop coefficient. Water use efficient. Drip irrigation.

RESUMEN

MANEJO DE LA IRRIGACIÓN Y EFICIENCIA DE USO DE AGUA EN EL CULTIVO DE PIMENTÓN CON Y SIN SOMBRA

AUTOR: Richard Alberto Rodríguez Padrón

TUTOR: Alexandre Swarowsky

Estrategias para la gestión de la irrigación puede conducir a mejores resultados, tales como: rendimiento, calidad de frutos y el uso eficiente del agua de irrigación. Este estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de diferentes láminas de irrigación suplementaria y la eficiencia de uso del agua de irrigación en el cultivo de pimentón, cultivado en campo abierto y con 50% de sombra. El diseño experimental fue de bloques al azar, con cuatro repeticiones, en esquema factorial. Los tratamientos de irrigación consistieron en la aplicación de 25, 50, 75 y 100 de la evapotranspiración y el control sin irrigación. La unidad experimental estaba conformada por 2 líneas de 5 m de largo, sin incluir las plantas de bordadura. El híbrido utilizado fue Arcade, las plántulas fueron trasplantadas dos meses después de la germinación, con separación de 1 m entre línea y 0,4 m entre planta, el 16 de noviembre de 2013 y el 23 de noviembre de 2014. El sistema de irrigación fue localizado (goteo), con separación entre emisor de 0,2 m y caudal del emisor de 0,8 L h⁻¹. Se estableció frecuencia de irrigación diaria. La evapotranspiración de referencia se calculó por la ecuación de Penman-Monteith/FAO y la evapotranspiración del cultivo con el método de coeficiente dual del cultivo. Se determinó los parámetros del suelo: análisis químico, textura, densidad aparente, tasa de infiltración y capacidad de campo. Se realizó monitoreo del contenido de humedad del suelo, con reflectómetro de dominio de tiempo y sonda de neutrones. Las variables evaluadas fueron: rendimiento, altura de planta, diámetro del tallo, índice de área foliar, índice de clorofila, materia seca en (planta, raíz y fruto), número de fruto por planta, diámetro y longitud de fruto. También, se realizó análisis económico con y sin irrigación. El mayor rendimiento se logró sin sombra (35,1 t ha⁻¹) con 75% de la evapotranspiración y con sombra (22,2 t ha⁻¹) con 50% de la evapotranspiración. La máxima eficiencia técnica se logró con 69,4% y 54,5% de la evapotranspiración, con y sin sombra, respectivamente. Con sombra se logra 15% de ahorro de agua de irrigación. La lámina de irrigación aplicada varió de 70,4 a 401,8 mm en los años de estudio. El uso eficiente del agua de irrigación sin y con sombra fue de 30 kg m⁻³ y 20 kg m⁻³, respectivamente. El coeficiente de cultivo fue influenciado por la precipitación, principalmente durante las fases inicial y crecimiento, los valores fueron: $k_{c\text{ini}}= 0,71$, $k_{c\text{med}}= 1,17$ y $k_{c\text{final}}= 0,92$, estos valores fueron superiores a los recomendados por la FAO-56. Los tratamientos sin sombra mostraron valores mayores en: tasa de crecimiento de diámetro del tallo, índice de clorofila, número de fruto por planta. Los tratamientos con sombra mostraron valores mayores en: tasa de crecimiento de la altura de planta, índice de área foliar, número de hoja por planta, materia seca total en planta, diámetro, longitud y peso de los frutos. La menor rentabilidad fue sin irrigación y la mayor con lámina de irrigación de 75% de la evapotranspiración, con tasa interna de retorno de 29 y 84%, respectivamente. El déficit y exceso de agua afecta a la fenología, rendimiento, crecimiento de la planta y el desarrollo del área foliar.

Palabra claves: *Capsicum annuum*. Malla sombra. Coeficiente dual. Uso eficiente del agua. Irrigación por goteo.

LISTA DE FIGURAS

MATERIAIS E MÉTODOS

- Figura 1 – Climograma da área experimental (a; b), a temperatura média diária (b) e a radiação (d) durante o período do ensaio..... 23
- Figura 2 – Croqui da área experimental e a parcelas, com e sem sombreamento. 24
- Figura 3 – Esquema de distribuição da água na unidade experimental. 24

ARTIGO 1

- Figure 1 – (a, b) Climograph of the experimental area, (c) average daily temperature and (d) radiation during the seasons 2013-2014 and 2014-2015. 33
- Figure 2 – Soil moisture and effective rainfall. Soil moisture in the 0-0.30 cm depth layer and effective rainfall..... 37
- Figure 3 – Dual crop coefficient for bell pepper in a sub-tropical region. 37
- Figure 4 – Relationship between fruit yield and irrigation rate applied as fraction of crop evapotranspiration in bell pepper grown under shade mesh or in open field. 40
- Figure 5 – Water productivity and irrigation water productivity in bell pepper under shade mesh and in open-field. 41

ARTIGO 2

- Figure 1 – (a, b) Climograph of the experimental area, (c) average daily temperature and (d) radiation during the seasons 2013-2014 and 2014-2015. 50
- Figure 2 – The absolute growth rates of the plant height and stem diameter of bell pepper in open field (a, c) and under shade mesh (b, d). 54
- Figure 3 – Leaf area index of the bell pepper in open field (a) and under shade mesh (b). 55
- Figure 4 – Chlorophyll content (index), Chlorophyll *a*, Chlorophyll *b* and Chlorophyll total of the bell pepper in open field (a) and under shade mesh (b). 56

ARTIGO 3

- Figure 1 – The net profit in bell pepper, when irrigation water is supplied properly by gravity (a) and using pumping system (b) according to irrigation rate..... 69

LISTA DE TABELAS

MATERIAIS E MÉTODOS

Tabela 1 – Dados climáticos, a umidade relativa média, a insolação e a evaporação durante o período do ensaio.....	22
Tabela 2 – Características química do solo da área experimental.....	26
Tabela 3 – Características físicas do solo da área experimental.....	26

ARTIGO 1

Table 1 – Monthly climatic data of the experimental area during the 2013-2014 and 2014-2015 seasons.	33
Table 2 – Average soil attributes of the experimental area.	35
Table 3 – Crop evapotranspiration, effective rainfall and irrigation applications during two seasons in bell pepper.	36
Table 4 – Average of dual crop coefficients (Kc) for bell pepper irrigation in a sub-tropical region.	38
Table 5 – Average of fruit quality in bell pepper under shade mesh and in open-field.	42

ARTIGO 2

Table 1 – Monthly climatic data of the experimental area during the 2013-2014 and 2014-2015 seasons.	49
Table 2 – Average soil attributes of the experimental area.	51
Table 3 – Average of the absolute growth rate of the plant height and stem diameter of the bell pepper in open field and under shade mesh.	53
Table 4 – Average leaf area index and number of leaves per plant at 90 days after transplanting of the bell pepper in open field and under shade mesh.	55
Table 5 – Average of dry mass of stem, root and vegetative top of the bell pepper in open field and under shade mesh.	57

ARTIGO 3

Table 1 – Investment costs for one hectare of bell pepper cultivated on open field in rainfed and under irrigation.	67
Table 2 – Yield, average irrigation depth, gross profit and net profit in bell pepper cultivated on open field by each crop cycle.....	68
Table 3 – The estimating the economic value in different irrigation depth.	68
Table 4 – Financial indicators calculated for 10 years in bell pepper, cultivated on open field and different irrigation depths.....	70

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	A CULTURA DO PIMENTÃO	15
2.2	TELA DE SOMBREAMENTO	17
2.3	NECESSIDADES HÍDRICAS DA CULTURA	18
2.4	GESTÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA	19
2.5	ANÁLISE ECONÔMICA	21
3	MATERIAIS E MÉTODOS	22
4	ARTIGO 1 – SUPPLEMENTAL IRRIGATION LEVELS IN BELL PEPPER UNDER SHADE MESH AND IN OPEN-FIELD: CROP COEFFICIENT, YIELD, FRUIT QUALITY AND WATER PRODUCTIVITY	30
4.1	ABSTRACT	30
4.2	INTRODUCTION	31
4.3	MATERIALS AND METHODS	32
4.3.1	Irrigation Strategy	34
4.4	RESULTS AND DISCUSSION	36
4.5	CONCLUSIONS	42
4.6	CONFLICT OF INTEREST	43
4.7	ACKNOWLEDGEMENTS	43
	REFERENCES	43
5	ARTIGO 2 – SUPPLEMENTAL IRRIGATION LEVELS IN BELL PEPPER UNDER SHADE MESH AND IN OPEN-FIELD: ABSOLUTE GROWTH RATE, DRY MASS, LEAF AREA AND CHLOROPHYLL	46
5.1	ABSTRACT	46
5.2	INTRODUCTION	47
5.3	MATERIALS AND METHODS	48
5.4	RESULTS AND DISCUSSION	52
5.5	CONCLUSIONS	57
5.6	CONFLICT OF INTEREST	57
5.7	ACKNOWLEDGEMENTS	57
	REFERENCES	58
6	ARTIGO 3 – ECONOMIC ANALYSIS IN BELL PEPPER CROP ON OPEN FIELD PRODUCTION SYSTEM AND UNDER IRRIGATION DEPTHS	61
6.1	ABSTRACT	61
6.2	RESUMO	61
6.3	INTRODUCTION	62
6.4	MATERIAL AND METHODS	64
6.5	RESULTS AND DISCUSSION	66
6.6	CONCLUSIONS	71
	REFERENCES	71
7	DISCUSSÃO	74
8	CONCLUSÃO	75
	REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais mais importantes para a agricultura, a disponibilidade está em declínio devido ao aumento populacional mundial. Considera-se que o manejo eficaz deste recurso é importante e o uso eficiente da água de irrigação é a chave para a sustentabilidade e rentabilidade da cultura. O alto consumo de água em regiões onde a água é limitada, incentiva o desenvolvimento de novas técnicas para analisar e gerir eficientemente este recurso. O manejo adequado e a qualidade da água de irrigação são de fundamental importância para a obtenção de alta produtividade, qualidade, redução de custos e ao uso racional da água (PADRÓN et al., 2015a). Segundo Souza et al. (2011b), a agricultura irrigada é considerada a atividade de maior consumo de água, dentre os seus vários usos múltiplos, sendo por isso, fundamental a adoção de mecanismos que favoreçam o aumento da eficiência do uso, sem que a produtividade das culturas seja afetada. Associado ao uso racional deste recurso, a busca por manejos que viabilizem a produção ecologicamente correta e sustentável de alimentos tem sido constante preocupação dos vários segmentos da sociedade envolvidos no processo de produção.

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) é da família das solanáceas, nativas do México, Centro América e o Norte de América do Sul (FILGUEIRA, 2003; SOUZA et al., 2011a), ocupando o segundo lugar na produção mundial. Os principais países produtores são a China; o México; a Turquia; a Indonésia; a Espanha e os Estados Unidos (FAOSTAT, 2013).

O pimentão é considerado, sob o ponto de vista econômico, uma das dez hortaliças mais importantes do mercado brasileiro (ALBUQUERQUE et al., 2012). Anualmente, são cultivados cerca de 13 mil ha, com produção aproximada de 290 mil toneladas (MAROUELLI; SILVA, 2012). Somente o mercado nacional de sementes movimenta US\$ 1,5 milhão (RIBEIRO; CRUZ, 2002). A produção existe em todos os Estados da Federação, mas concentram-se nos Estados de São Paulo e Minas Gerais que plantam, em conjunto, cerca de 5 mil ha, alcançando produção de 120 mil toneladas. O estado de Rio Grande do Sul representa 2% da produção nacional, 14% da produção da Região Sul e 40% da concentração de produtores da região (IBGE, 2006). O que representa a importância da cultura na região para pequenos e médios horticultores. Além de isso, destaca-se entre as primeiras cinco culturas com relevância econômica e maior área cultivada em ambiente protegidos (LORENTZ et al. 2002; ARAÚJO et al., 2009).

O adequado manejo da irrigação tem por objetivo maximizar a produção agrícola, racionalizando o uso de mão-de-obra, energia e água, evitando a ocorrência de problemas

fitossanitários relacionados a aplicações excessivas ou deficientes de água (REGINA et al., 1999; VILLELA JÚNIOR; ARAÚJO; FACTOR, 2003). Por ser a produção de pimentão realizada em campo aberto, especialmente durante a estação seca, ou em casas-de-vegetação com cobertura plástica, a irrigação é prática fundamental para suprir a demanda hídrica das plantas. Assim, o manejo correto da irrigação é fundamental para o sucesso da cultura (MAROUELLI; SILVA, 2012).

A deficiência de água na cultura do pimentão é um dos fatores limitantes para a obtenção de elevada produtividade e qualidade dos frutos, tanto em ambiente protegido quanto em campo aberto. A falta de água em plantas de pimentão durante a fase inicial de frutificação pode restringir a translocação de nutrientes como o cálcio e reduzir a cobertura foliar, contribuindo, para o surgimento das anomalias fisiológicas e enfermidades, tais como: a podridão apical e a escaldadura (HARTZ et al., 2008).

Nos últimos anos está crescendo substancialmente o número de produtores que deixam para trás a agricultura intensiva tradicional em favor de novas formas de agricultura e produtos com maior valor agregado. O papel das culturas protegidas tem sido fundamental nesse desenvolvimento. Alguns produtores combinam em suas fazendas os cultivos em estufas durante os meses de frio, com os cultivos ao ar livre durante os meses de verão. A tela de sombreamento é o mais adequado para os meses quentes porque atenua os altos níveis de radiação solar sobre a cultura e garante maior controle dos fatores externos, como a chuva, o vento ou granizo, que nos meses de verão podem danificar as culturas. Também, torna-se solução promissora para as culturas de tomate, pimentão, pepino, ou até mesmo de melão e melancia, por exemplo. Com a proteção com tela de sombreamento, colhe-se frutos de melhor qualidade, com menores danos, mais brilho e com maior aceitação no mercado. Ainda, a estrutura permanente construída permite utilizar culturas que tipicamente requerem tutoramento, poupando, assim, tempo e dinheiro.

Pelo exposto, propõe-se estabelecer estratégias e critérios do uso adequado do manejo da irrigação, para a implantação de agricultura planejada, tendo em vista a conservação dos recursos hídricos. O presente estudo teve como objetivo geral determinar o efeito de diferentes lâminas de irrigação suplementar e a eficiência do uso da água na cultura do pimentão cultivado em campo aberto e com 50% de sombreamento, e como objetivos específicos: determinar o uso eficiente da água de irrigação e a lâmina de máxima eficiência técnica; avaliar as lâminas de irrigação no rendimento; avaliar o desenvolvimento vegetativo (qualidade do fruto; índice de clorofila; índice de área foliar; taxa de crescimento da altura da planta e o diâmetro do caule); determinar o coeficiente de cultivo em campo aberto e a análise econômica com e sem irrigação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A CULTURA DO PIMENTÃO

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) pertence à família *Solanaceae* e ao gênero *Capsicum* (CASALI; STRINGHETA, 1984), é tipicamente de origem americana e ocorre em formas silvestres desde o Sul dos Estados Unidos da América até o Norte do Chile (FILGUEIRA, 2003; SOUZA et al., 2011a). Segundo Filgueira (2003), já era cultivado e consumido pelos indígenas séculos antes da colonização espanhola. Foi introduzido na Espanha em 1493, de onde sua cultura expandiu-se ao longo do século XVI para outras nações da Europa, Ásia e África, tornando-se alimento apreciadíssimo e há registros de que a primeira cultivar que chegou ao Brasil foi do grupo “Cascadura”. Introduzido inicialmente nos municípios de Mogi das Cruzes e Suzano no Estado de São Paulo, esse grupo produz o tipo de fruto preferido pela maioria dos consumidores, com formato aproximadamente cônico, ligeiramente alongado e coloração verde-escura (REIFSCHNEIDER, 2000).

Derivado das pimentas, com frutos graúdos e sem ardume, o pimentão é cultura anual e os frutos possuem formas diversas (CAMARGO, 1992). Classificado como fruto tipo baga, com pericarpo um tanto carnoso, constitui a parte utilizável e o epicarpo de cor verde-escura, torna-se colorido quando amadurece. É sempre oco, com sementes brancas, achatadas, reniformes, de 3 a 5 mm de comprimento, ligadas a um cordão existente no interior do fruto (CAMARGO, 1992; FILGUEIRA, 2003).

O cálice não possui constrição na junção com o pedicelo, pode apresentar-se enrugado principalmente em plantas de fruto largo. A planta é de origem tropical, termófila, sendo o intervalo ideal de temperatura para o seu desenvolvimento entre 16 °C a 28 °C. Segundo Fontes (2005), a temperatura ideal para germinação está entre 25 °C a 30 °C, para o desenvolvimento vegetativo entre 25 °C a 27 °C durante o dia e 20 °C a 21 °C durante a noite.

A planta é arbustiva, suas raízes atingem até um metro de profundidade, com pouco desenvolvimento lateral e o caule semilenhoso pode ultrapassar um metro de altura. Suporta carga leve de frutos, e por isso exige tutoramento, devido à alta produtividade dos híbridos atuais, onde em campo a média é de 40 a 60 t ha⁻¹, enquanto em cultivo protegido chega a 180 t ha⁻¹. É autógama, embora a taxa de cruzamento possa ser elevada, dependendo da ação de insetos polinizadores. As flores são solitárias, hermafroditas e o pedicelo é pendente ou inclinado, na fase de antese. A corola é branca, sem manchas na parte basal dos lóbulos, que são eretos (FILGUEIRA, 2008).

Para o cultivo protegido, recomenda-se temperatura noturna de 20 °C e diurna entre 27 °C a 30 °C (ZATARIM et al., 2005; AMORIM; REZENDE; BERGAMIN FILHO, 2011). O ciclo da cultura desde a sementeira até o início da colheita de frutos verdes é de aproximadamente 110 dias, sendo o período mais prolongado na produção de frutos maduros de coloração vermelha, amarela ou outra. A colheita prolonga-se por 3 a 6 meses, dependendo do estado fitossanitário e nutricional das plantas (FILGUEIRA, 2008).

O pimentão é cultivado em regiões tropicais e temperadas, sendo que dentre os fatores climáticos a temperatura tem influência direta em algumas funções vitais para as plantas, tais como: germinação; transpiração; respiração; crescimento; floração e frutificação, sendo que para cada fase de desenvolvimento, apresenta sua faixa ótima de temperatura (TIVELLI, 1998).

Para Filgueira (2008), o fotoperíodo não é limitante na cultura do pimentão, pois a floração e a frutificação ocorrem em qualquer comprimento do dia. No entanto, pode-se dizer que é planta de dia curto facultativa, ou seja, o florescimento, a frutificação e a maturação dos frutos são mais precoces em dias curtos, favorecendo assim a produtividade. A combinação de umidade relativa baixa e temperatura elevada podem causar transpiração excessiva das plantas, com conseqüente queda de gemas, flores e formação de frutos pequenos (REIS, 2002).

A comercialização dos frutos de pimentão pode ocorrer de várias maneiras como na forma de frutos frescos, frutos desidratados, em conservas, em flocos ou em pó (páprica). A páprica é obtida pela desidratação e moagem de frutos vermelhos e é utilizada principalmente como corante natural na indústria de processamento de alimentos, como ingrediente de enlatados e embutidos (FINGER; SILVA, 2005).

Para Chitarra (1998), a qualidade de frutos e hortaliças é caracterizada com base em atributos como aparência, sabor, textura e valor nutritivo. Esta caracterização, segundo Rocha et al. (2006) é importante, devendo ser observadas as variáveis necessárias para a melhoria da comercialização no mercado interno e externo, bem como, para o desenvolvimento de técnicas de armazenamento e de manejo pós-colheita. Assim, é de fundamental importância a avaliação do efeito de práticas de manejo sobre a produtividade, a qualidade química e física do produto e a longevidade durante o processo de comercialização.

Devido às mudanças requeridas pelo mercado e as exigências do consumidor, o melhoramento desta hortaliça vem priorizando não apenas a produtividade, mas também a qualidade do produto. Por conseguinte, os principais objetivos têm sido a obtenção de frutos uniformes e com alta qualidade, polpa grossa, plantas precoces e resistentes a patógenos e pragas. Assim sendo, o uso de híbridos vem sendo cada vez mais empregado devido às suas vantagens, como a maior resistência a pragas e doenças, maior uniformidade, vigor de planta,

homeostase, maturação precoce, aumento da qualidade, do rendimento e patente natural, que garante o retorno do investimento (MIRANDA; CASALI, 1988).

2.2 TELA DE SOMBREAMENTO

O Brasil, com dimensões continentais de 8.500.000 km², possui cinco regiões geográficas (Norte, Sul, Sudeste, Centro Oeste e Nordeste), climaticamente influenciadas pela ação de grandes centros de circulação atmosférica localizadas nos Oceanos Pacífico Sul, Atlântico Sul e pelo centro localizado na Zona de Convergência Intertropical. Esses centros de circulação atmosférica atuam sazonalmente nas regiões geográficas brasileiras de modos distintos, gerando condições de clima favorável e adverso à produção agrícola. Em certas circunstâncias, estas condições impõem a necessidade de desenvolvimento de pesquisas para regularizar o abastecimento de certas espécies hortícolas, tanto na ordem temporal como espacial. Baseando-se em dados de observações meteorológicas e de outros, como levantamentos de solo, resultados de pesquisas, mercado e tecnologias utilizadas na produção hortícola (REIS, 2005).

O sombrites são cada vez mais utilizado, reduzindo a incidência direta dos raios solares nas espécies que necessitam de menor fluxo de energia radiante (BEZERRA, 2005). Também, Rylski e Spigelman (1986) comentam que é alternativa relativamente econômica, que protege as plantas da alta radiação solar direta e em consequência, reduz o número de frutos com danos pela queimadura do sol. Além disso, Gruda (2005) obteve plantas mais vigorosas com frutos de melhor qualidade e maior rendimento, em comparação com a produção em campo aberto. Setubal e Silva (1992) ressaltam que a alface, procedente de regiões de clima temperado, quando cultivada em condições de temperatura e luminosidade elevadas, deixam de manifestar todo seu potencial genético, havendo redução do ciclo e antecipação da fase reprodutiva.

Devido aos fatores característicos de regiões tropicais como alta luminosidade e altas temperaturas, encontra-se em crescente a utilização de telas de sombreamento (SILVA, 1999; QUEIROGA et al., 2001). As telas reduzem a incidência direta dos raios solares, favoráveis às espécies que necessitam de menor fluxo de energia radiante ocorrendo assim, redução da temperatura. Essa menor incidência de energia solar pode contribuir para diminuir os efeitos extremos da radiação, principalmente a fotorrespiração e proporcionar melhores condições ambientais, aumentando a produtividade e qualidade das folhas para consumo de alface (MACIEL et al., 2007). Whatley e Whatley (1982) verificaram que as plantas mantidas em sombreamento tendem a ser mais altas e apresentam maior área foliar que as que crescem em

plena luz do sol, pois a luz intensa favorece o desenvolvimento de células longas, enquanto as que crescem em ambiente coberto apresentam maior formação de parênquima lacunoso, confirmando assim o que Kendrick e Frankland (1981) observaram, afirmando que plantas que crescem em ambiente coberto têm maior massa foliar das que crescem em plena luz do sol.

2.3 NECESSIDADES HÍDRICAS DA CULTURA

Em geral, pode-se dizer que a planta do pimentão tem necessidade uniforme de água durante e seu ciclo. A planta é sensível tanto aos excessos radiculares quanto à falta de água. A deficiência hídrica, entre outros fatores, provoca a queda das flores. Um excesso de rega pode conduzir à asfixia radicular, que provoca a podridão da raiz e do pé da planta. As irregularidades no fornecimento de água podem favorecer a aparição de necroses apicais, ou seja, a rega deve manter o solo úmido, mas sem excesso (CERMEÑO, 1990; FILGUEIRA, 2008).

A irrigação efetuada por aspersão, gotejamento ou em sulco é aplicada objetivando-se manter o solo junto às raízes com 80% ou mais de água útil. Deve-se manter esse conteúdo elevado de água ao longo do ciclo cultural, especialmente durante a frutificação e a colheita. Entretanto, a drenagem da gleba deve estar assegurada, evitando-se o excesso de água no solo, que entre outros malefícios, favorece a podridão-do-colo. Observa-se que as cultivares híbridas, que apresentam maior potencial produtivo, são mais exigentes, tanto em adubação como em disponibilidade de água (FILGUEIRA, 2003).

O gotejamento é sistema bastante eficiente para a irrigação do pimentão, pois oferece inúmeras vantagens, tais como: economia de água, de energia e de mão-de-obra; maior uniformidade de aplicação de água; ser usado em qualquer tipo de solo e topografia; menor severidade de doenças da parte aérea; facilidade de fertirrigação e de automação e maior produtividade. As irrigações por gotejamento podem e devem ser realizadas em regime de alta frequência, pois se trata de sistema fixo, que molha somente parte do solo e que minimiza a ocorrência da maioria das doenças da parte aérea (MAROUELLI; SILVA, 2012).

Albuquerque et al. (2011) avaliaram o crescimento e a produtividade da cultura do pimentão sob influência de lâminas de irrigação e doses de potássio. As variáveis de crescimento e de rendimento foram influenciadas pelas lâminas de irrigação e doses de potássio. Quando se fixou a menor dose, a estimativa do maior número de frutos por planta, peso médio de frutos e produtividade ocorreram com o emprego da lâmina de irrigação de máxima eficiência equivalente a 96, 102 e 120% da ETc, respectivamente.

Cunha et al. (2002) caracterizou e relacionou a radiação líquida com o calor latente equivalente, em mm de água, nos cultivos protegido e em campo, na cultura de pimentão. O cultivo protegido, apesar de receber menor quantidade de radiação solar global, foi mais eficiente na conversão da radiação líquida disponível em matéria seca total e na produtividade de frutos. Apresentou, ainda, menor quantidade de radiação líquida disponível e menores perdas de energia, mostrando-se mais eficiente no uso da água.

Magalhães e Castro (1983) observaram evapotranspiração máxima média (ET_m) em pimentão a campo de 524,22 mm. Também, Marouelli e Silva (2012) indicaram as necessidades de água entre 450 e 650 mm, dependendo essencialmente dos sistemas do ciclo de tempo e de irrigação adotados. Juntamente com Doorenbos e Kassam (1994) afirmaram que a necessidade de água do pimentão em campo é da ordem 600 a 900 mm e Santos et al. (2009) encontraram 414,40 mm de evapotranspiração.

2.4 GESTÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA

O conhecimento das áreas irrigadas e sua distribuição geográfica no Brasil são de fundamental importância para o planejamento da gestão de recursos hídricos do país. Estima-se que a área irrigada no mundo ocupe cerca de 17% de toda a terra agricultável e responda pela produção de mais de 40% de todo o alimento consumido. A área irrigada mundialmente equivale a quase 2,5 vezes a produção de alimentos das áreas de sequeiro. No Brasil, cada hectare irrigado equivale a três hectares de sequeiro em produtividade física e a sete em produtividade econômica (ANA, 2004).

O Brasil demonstra grande potencial, com cerca de 5% da área cultivada irrigada, respondendo por 16% da produção total e por 35% do valor dessa produção. Segundo, Santos (1998), a atual situação das áreas sob irrigação, nos diversos estados brasileiros é o indicador de área irrigada/plantada, ante o potencial de solos e água disponíveis, demonstrando larga margem para ampliar os 2,68 milhões de hectares em 1997, para a área estimada de 16 milhões de hectares para aproveitamento hidroagrícola, sem se considerar as várzeas com área adicional presumida de 33 milhões de hectares (PAZ et al., 2000).

Existe tendência natural de aumento do uso da água no futuro, seja pelo aumento populacional, culminando com a maior necessidade por alimentos, seja pela disponibilidade de terras com aptidão para uso na agricultura irrigada estimadas em 470 milhões de hectares. Portanto, existe expectativa de aumento da demanda de água para o futuro próximo, mas não há previsão de aumento da água doce no planeta. Pelo contrário, os intermináveis

desmatamentos e uso inadequado do solo têm mantido elevado escoamento superficial com baixa reposição contínua dos mananciais e fontes hídricas (CHRISTOFIDIS, 2002).

Como resultado das mudanças climáticas para os agricultores, será mais difícil prever o abastecimento de água, as secas e as enchentes se tornará mais frequentes. No entanto, esses impactos vão variar muito de um lugar para outro. Os cientistas preveem que as altas temperaturas beneficiarão a agricultura nas latitudes norte, enquanto a maior parte das regiões tropicais áridas e semiáridas enfrentará declínio de chuvas e do escoamento superficial, as tendências sinistras para os países dessas regiões sofrerão mais a insegurança alimentar (FAO, 2008).

As zonas onde se prevê a redução das precipitações terão que aumentar o armazenamento e melhorar a gestão da água. Os grandes sistemas de irrigação têm de se adaptar às mudanças que irão ocorrer nos sistemas de abastecimento de água e apoiar as medidas de controle de água em pequena escala.

Há cinco intervenções políticas fundamentais:

- a) Incluir medidas de adaptação e mitigação para a gestão da água para a agricultura nos planos de desenvolvimento nacionais;
- b) Promover medidas técnicas e de gestão para aumentar a flexibilidade da agricultura de sequeiro e irrigação, e reduzir a perda de água nos sistemas de produção irrigados;
- c) Melhorar o conhecimento sobre a mudança climática e da água e difundir as boas práticas entre os países e regiões;
- d) Promover políticas nacionais para a gestão de riscos por meio de melhores redes de monitorização e garantia de produtos inovadores;
- e) Mobilizar fundos de adaptação para enfrentar os desafios da água e segurança alimentar causada pelas alterações climáticas.

A agricultura de sequeiro, que compreende 96% da terra agrícola total na África Subsaariana, 87% na América do Sul e 61% na Ásia, será a mais afetada. Em áreas marginais semiáridas, com estações secas prolongadas terá maior risco de quebra de safra sem garantia da estabilidade de produção, ocasionando a migração de pessoas. Para 2080, a área não apropriada para a agricultura de sequeiro na África sub-saariana, devido às condições meteorológicas e as limitações do solo e da terra, poderá aumentar de 30 a 60 milhões de hectares (FAO, 2008). Segundo, Carvalho et al., (2011), o manejo da irrigação é importante não apenas por suprir as necessidades hídricas das culturas, mas também, por minimizar os problemas de doenças, lixiviação de nutrientes e gastos com consumo de água e energia.

2.5 ANÁLISE ECONÔMICA

A análise econômica, conforme Richetti (2014) auxiliará o produtor a planejar futuras ações buscando a otimização do capital investido, maximizando o lucro, devendo para tanto maximizar a produtividade e minimizar os custos de produção. Menegatti e Barros (2007) afirmaram que para o cálculo do custo de produção deve considerar os diferentes níveis tecnológicos abrangendo todas as condições de cultivo, sendo estes custos classificados como fixos ou variáveis.

A produção das culturas em resposta a irrigação depende de vários fatores: quantidade e frequência de irrigação; método de aplicação; estágio de desenvolvimento da cultura; de fertilizantes aplicados; o manejo do cultivo; a idade de corte; o método de colheita adotado; a variabilidade do solo; as condições climáticas; as pragas e doenças. Assim, faz-se necessário realizar análises que permitam a obtenção de resultados da viabilidade econômica de projetos de produção (FRIZZONE, 1993).

O processo de análise pode ser mais sofisticado em função das hipóteses que sejam adotadas e, sobretudo, em função da importância da decisão para os responsáveis. As análises comumente adotadas pelas empresas para sua decisão são os critérios baseados no fluxo de caixa e no valor do dinheiro no tempo, tendo a exceção do *payback* descontado que é o tempo de recuperação do capital investido, tendo este último grande aceitação na prática (WOILER; MATHIAS, 1996).

A receita bruta, a taxa de interna de retorno, o valor presente líquido e o *Payback* são indicadores que avaliam a viabilidade dos investimentos. A taxa interna de retorno torna o valor dos lucros futuros equivalentes aos dos gastos realizados com o projeto, caracterizando a taxa de remuneração do capital investido (FRIZZONE; ANDRADE JÚNIOR, 2005).

O valor presente líquido traz os fluxos de caixa esperados durante a vida útil do projeto para o tempo zero a taxa de juros que representa o mínimo retorno para o capital. O período de recuperação do capital ou *Payback* é o tempo que o projeto leva para retornar o capital investido.

Segundo, Frizzone e Andrade Júnior (2005), a determinação da viabilidade econômica de um sistema produtivo deve ser levada em consideração para a adoção ou não de novas práticas tecnológicas. Para a realização da análise do benefício/custo é necessário determinar a produtividade e os respectivos custos de produção de atividade tecnológica.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na área experimental do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, localizado nas coordenadas geográficas, latitude 29° 41' 25" S, longitude 53° 48' 42" W e altitude de 110 m, durante a Primavera-Verão nos períodos de 2013-2014 e 2014-2015. O solo predominante na região denomina-se como Argissolos Amarelos Distrófico Típico, de textura franca (STRECK et al., 2008). O clima na região é subtropical úmido (Cfa), segundo a classificação de Köppen-Geiger. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a média anual da evaporação, a temperatura e a precipitação é de 800-1200 mm, 18-20 °C e 1450-1650 mm, respectivamente. Os dados climáticos mensais médios durante a pesquisa são apresentados mostram na Tabela 1. A insolação e evaporação no período 2013-2014 foram superiores aos 2014-2015, exceto umidade relativa média que foi reduzida de 2013 para 2014. A radiação solar, a evaporação, a precipitação e a temperatura diária durante o ensaio, se mostram na Figura 1. A média mensal da radiação solar, a temperatura e a precipitação foram superiores no período 2013-2014 em comparação ao período 2014-2015. As temperaturas médias diárias em 2013-2014 foram maiores que em 2014-2015, exceto nos meses de dezembro, março e as temperaturas máximas mensais foram maiores em dezembro, janeiro e fevereiro. A precipitação acumulada foi maior em 2013-2014 com 892,8 mm e em 2014-2015 com 834 mm; as precipitações máximas mensais foram em novembro e dezembro, respectivamente. A radiação solar mensal em 2013-2014 foi maior nos meses de dezembro e janeiro.

Tabela 1 – Dados climáticos, a umidade relativa média, a insolação e a evaporação durante o período do ensaio.

Mês	Umidade relativa média (%)		Insolação (hora)		Evaporação (mm)	
	2013-2014	2014-2015	2013-2014	2014-2015	2013-2014	2014-2015
Nov.	71,6	71,0	229,2	173,1	144,5	131,8
Dez.	69,5	76,1	286,2	211,0	175,2	142,2
Jan.	73,2	78,3	219,2	212,4	158,3	142,0
Fev.	73,8	79,7	211,2	218,0	137,9	123,9
Mar.	76,9	77,6	212,6	208,4	112,8	114,1
Soma	-	-	1376,8	1189,6	850,8	804,7

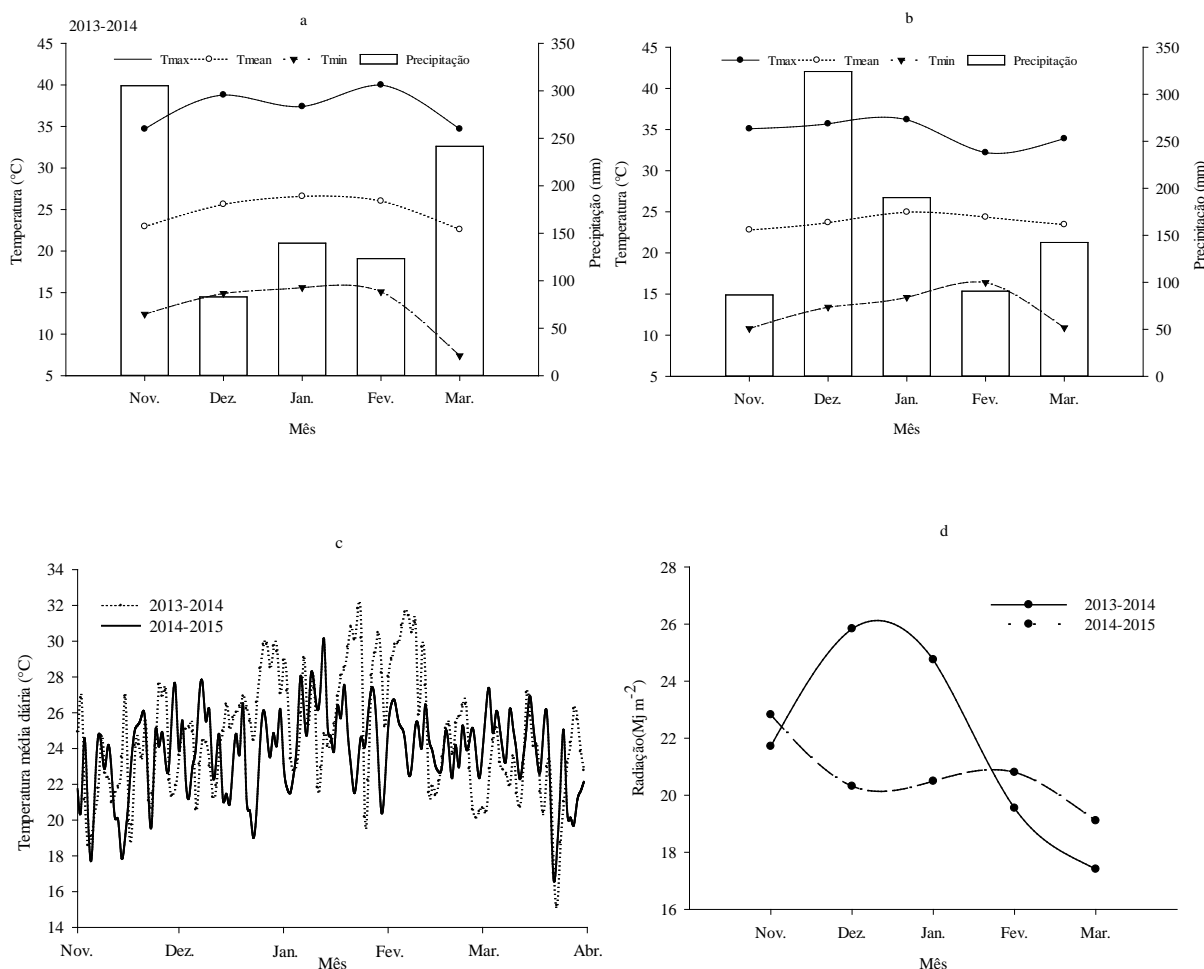


Figura 1 – Climograma da área experimental (a; b), a temperatura média diária (b) e a radiação (d) durante o período do ensaio.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições em esquema fatorial, onde os fatores foram: as lâminas de irrigação e a cobertura com tela de sombreamento. Os tratamentos de irrigação foram: 25, 50, 75 e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc) e a testemunha sem irrigação. O tratamento de sombreamento foi a redução de 50% da radiação fotossinteticamente ativa (de acordo com o fabricante) e em condições de campo aberto. Estabeleceu-se 40 parcelas experimentais de 5,0 m de comprimento e 2 m de largura (10 m²), com área total de 400 m², sem incluir as plantas de bordadura, o croqui da área experimental, se mostram na Figura 2.

A variedade do pimentão foi o híbrido Arcade, amplamente utilizado na região. As plantas foram transplantadas dois meses após a germinação, com 1,0 m de separação entre linhas e 0,4 m entre plantas (densidade de plantio de 2,5 plantas m⁻²) em 16 de novembro de 2013 e 23 de novembro de 2014. A tela de sombreamento utilizada foi de polietileno preto,

apoiada com cabo metálico e com formação de estrutura retangular com o ponto mais alto a 2 m do solo. A tela foi instalada duas semanas antes do transplante. O sombreamento foi verificado usando radiômetro digital (Modelo: MS-100) e a temperatura foi monitorada com o termômetro infravermelho (Modelo: AR 320).

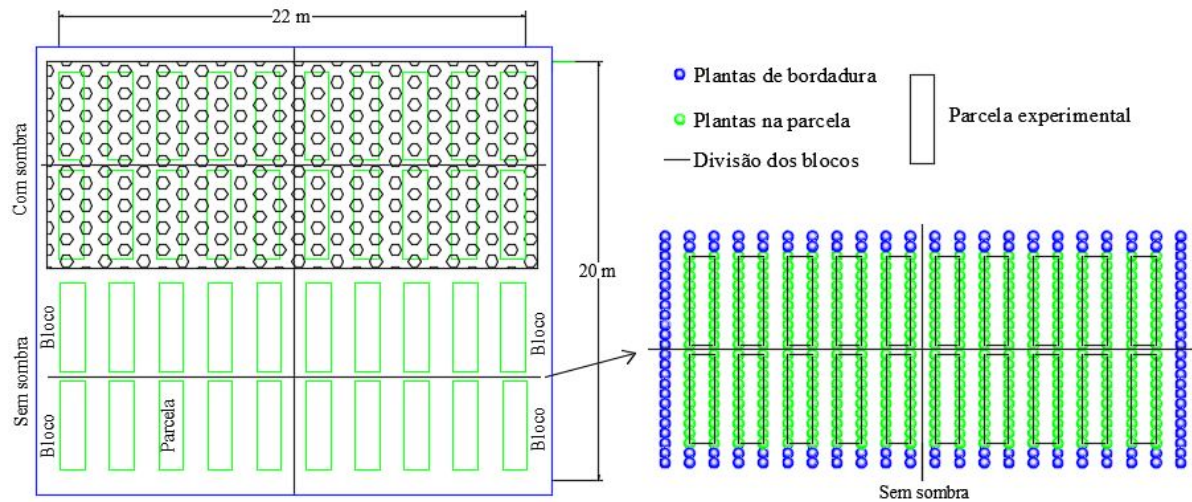


Figura 2 – Croqui da área experimental e as parcelas, com e sem sombreamento.

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento, com uma linha lateral em cada fileira de planta, com espaçamento entre gotejadores de 0,2 m e vazão do gotejador de $0,8 \text{ L h}^{-1}$. Em cada unidade experimental foi instalado um registro de esfera, para regular os tempos de irrigação e, uma válvula reguladora de pressão para obter a uniformidade de pressão da parcela, o esquema se mostra na Figura 3. Realizou-se a avaliação da uniformidade de distribuição do sistema de irrigação pelo método de Christiansen e a determinação do bulbo molhado aos tempos de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 minutos, dados publicados em (PADRÓN et al., 2015b).

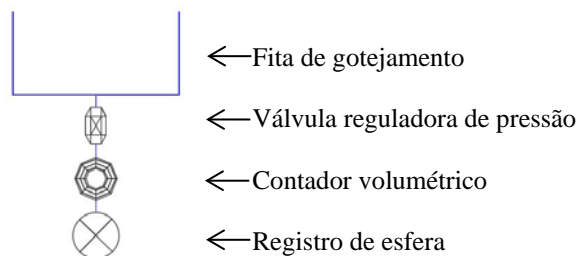


Figura 3 – Esquema de distribuição da água na unidade experimental.

A estratégia de irrigação foi aplicar a todos os tratamentos, de 0 a 20 dias após o transplante 100% da ETc, para garantir o estabelecimento das mudas. Os tratamentos de irrigação foram aplicados de 21 a 119 dias após o transplante, estabelecendo-se frequência de irrigação diária. Quando a precipitação efetiva ultrapassava a evapotranspiração de referência, a irrigação era aplicada dois dias após o evento.

A evapotranspiração de referência (ETo) foi calculada pela equação de Penman-Monteith/FAO (Equação 1), e a evapotranspiração da cultura (ETc) foi calculado pelo método do coeficiente de cultura duplo e os valores do coeficiente de cultivo utilizados foram: $K_{c_{ini}}=0,60$; $K_{c_{med}}=1,15$; $K_{c_{fin}}=0,9$ (Equação 2) (ALLEN et al., 2006). Os dados climáticos foram obtidos com frequência diária na estação meteorológica automática da Universidade Federal de Santa Maria, vinculada ao Instituto Nacional de Meteorologia, localizada aproximadamente a 1 km da área experimental, os quais foram: a precipitação (mm), a temperatura máxima e mínima (°C), a umidade relativa do ar máxima e mínima (%), a insolação (horas) e a velocidade do vento ($m\ s^{-1}$). O cálculo do tempo de irrigação foi realizado de acordo com as necessidades hídricas diárias do cultivo (Equação 3 e 4). Calculou-se a precipitação efetiva assumindo 80% da precipitação.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (1)$$

sendo: ETo= a evapotranspiração de referência ($mm\ dia^{-1}$); Rn= valor radiação líquida na superfície de cultivo ($MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$); G= o fluxo de calor no solo ($MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$); T= a temperatura média do ar a 2 m de altura (°C); u_2 = velocidade do vento a 2 m de altura ($m\ s^{-1}$); e_s = a pressão do vapor de saturação (kPa); e_a = a pressão real de vapor (kPa); $e_s - e_a$ = o déficit de pressão de vapor (kPa); Δ = a inclinação da curva de pressão de vapor ($kPa\ ^\circ C^{-1}$) e γ = constante psicrométrica ($kPa\ ^\circ C^{-1}$).

$$ET_c = (k_{cb} + k_e) ET_o \quad (2)$$

sendo: ETc= evapotranspiração da cultura ($mm\ dia^{-1}$); ETo= evapotranspiração de referência ($mm\ dia^{-1}$); k_{cb} = coeficiente de cultivo basal; k_e = coeficiente de evaporação.

$$N_r = (ET_c - P_e) \quad (3)$$

sendo: N_r = necessidade de irrigação (mm); E_{Tc} = evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1}); P_e = precipitação efetiva (mm).

$$T_r = \frac{A_t N_r P_u}{q E_a} \quad (4)$$

sendo: T_r = o tempo de irrigação (min); A_t = a área total da unidade experimental (m^2); P_u = a porcentagem de umedecimento (%); q = vazão da unidade experimental (L h^{-1}); E_a = a eficiência de aplicação.

Determinou-se os parâmetros do solo, selecionando-se aleatoriamente pontos de amostragem na área experimental, os quais foram: a análise química e física, a textura, a densidade aparente e a capacidade de campo (Tabela 2 e 3). Também, a capacidade de campo foi realizada pelo método direto (EMBRAPA, 2011) e o teste de infiltração pelo método de infiltrômetro de anéis (GRASSI, 1998), os dados foram publicados em (PADRÓN et al., 2015b).

Tabela 2 – Características química do solo da área experimental.

Prof. (m)	pH água	Ca	Mg	Al	(H+Al)	CTC efet.	Saturação (%)		Índice SMP	MO (%)	S	P-Mehlich
							Al	Base				
0-0,1	5,8	9,7	3,5	0,2	3,9	13,8	1,6	76,1	6,2	3,3	11,0	14,2
0,1-0,3	5,2	8,5	2,4	0,8	6,6	12,0	7,9	63,4	5,8	2,5	7,1	11,5

Tabela 3 – Características físicas do solo da área experimental.

Prof. (m)	Densidade aparente (g cm^{-3})	Capacidade de campo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	Ponto de murcha ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	Conteúdo de água ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	Taxa de infiltração (mm h^{-1})	Textura
0-0,2	1,42	0,31	0,14	0,18		Franca
0,2-0,4	1,38	0,34	0,17	0,17	15,0	Franco- argilosa
0,4-0,6	1,36	0,37	0,23	0,13		Argila

P conteúdo de água no solo durante o ensaio foi monitorada antes e após a irrigação com intervalo a cada dois dias (quatro leituras por parcela experimental), com reflectômetro no domínio do tempo portátil (Modelo: TDR-100), com duas hastas de sensores metálico com 0,2 m, inseridos verticalmente entre plantas na linha. Também, utilizou-se sonda de nêutrons (CPN Modelo 503, DR) para monitorar o conteúdo de água no perfil do solo, instalando-se tubos de PVC de 50 mm com profundidade de 0,7 m, entre plantas na linha, em cada parcela

experimental. As leituras foram realizadas com intervalo semanal a 0,125, 0,30 e 0,50 m de profundidade. Ambos instrumentos foram calibrados antes da execução do ensaio (PADRÓN et al., 2015b).

A colheita foi realizada com intervalo semanal, no período de 60 a 120 dias após o transplante, em ambos os anos. O rendimento foi determinado pela amostragem de 20 plantas por parcela, da linha do centro de cada parcela experimental. Para avaliar a incidência da queimadura dos frutos, pela radiação do sol, foi determinado o número de frutos afetados, selecionando-se 5 plantas selecionadas aleatoriamente por parcela, com intervalo semanal. Os parâmetros: o diâmetro, o comprimento e a massa seca dos frutos foram determinados em cada colheita, selecionando-se todos os frutos comerciais em 5 plantas selecionadas aleatoriamente em cada parcela experimental. As amostras dos frutos foram secas a 65 °C até a massa constante. A altura da planta foi medida a partir da superfície do solo até a extremidade da folha mais alta, quinzenalmente, com trena graduada, selecionando-se 10 plantas por parcela previamente identificadas. O diâmetro do caule de cada planta foi medido na base da primeira bifurcação da planta, quinzenalmente, com paquímetro digital, selecionando-se 10 plantas por parcela previamente identificada. Para calcular a taxa de crescimento absoluto da altura da planta e do diâmetro do caule foi utilizado a metodologia descrita por (RADFORD, 1967) (Equação 5).

$$TCA = \frac{M_2 - M_1}{T_2 - T_1} \quad (5)$$

sendo: TCA= taxa de crescimento absoluto, M= altura média da planta ou do diâmetro do caule, T= tempo (dias).

A área foliar foi determinada utilizando-se o medidor de área foliar (Modelo: LI-COR-3100) e a contagem do número de folhas por planta, quinzenalmente, em 3 plantas selecionadas aleatoriamente por parcela. O índice de clorofila foi determinado semanalmente, em 5 folhas por planta, utilizando-se o medidor de clorofila (Modelo: ClorofiLOG, CFL1030- Falker). A massa seca das plantas foi determinada no final do ciclo da cultura, em 5 plantas selecionadas aleatoriamente por parcela, separando-a em raiz e parte superior vegetativa. As amostras foram levadas a estufa com temperatura de 65 °C até a massa constante.

O uso eficiente da água (UEA) e o uso eficiente da água de irrigação (UEAI) foram determinados pelas (Equação 5 e 6) (MOLDEN et al., 2010; HEYDARI, 2014)

$$UEA = \frac{\text{Rendimento total (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Evapotranspiração (mm)}} \quad (5)$$

$$UEAI = \frac{\text{Rendimento total (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Água de irrigação aplicada (mm)}} \quad (6)$$

Para a análise econômica foi utilizada a metodologia dos custos de produção e custo operacional total, proposto por (REZENDE et al., 2009). Esta estrutura leva em conta os desembolsos reais feitos pelo produtor durante o ciclo de produção, cobrindo os custos de trabalho, reparação e manutenção de máquinas, implementos e insumos específicos, operações de máquinas, a quantidade de máquinas e depreciação, instrumentos e melhorias específicas utilizadas na produção do processo. A função da margem do lucro líquido é determinada com a análise de regressão quadrática entre as variáveis dependentes lucro líquido e a variável independente lâmina de irrigação (Equação 7).

$$y = a + bx + c x^2 \quad (7)$$

sendo: y = lucro líquido (R\$); x = lâmina de irrigação (mm); os parâmetros a , b , c = da equação de regressão. O ponto da máxima eficiência econômica da água de irrigação que maximiza o lucro líquido foi determinado pela (Equação 8).

$$X_{max} = \frac{-b}{2c} \quad (8)$$

O resultado da produção foi determinado a partir da diferença do valor da produção comercial, dos custos da água de irrigação e os custos fixos do sistema de produção, neste item, também, foram incluídos o custo do sistema de irrigação (Equação 9).

$$L_{(x)} = P_y y - P_x x - c \quad (9)$$

sendo: $L_{(x)}$ = lucro (R\$ h^{-1}); P_y = preço do produto (R\$ kg^{-1}); y = rendimento (kg ha^{-1}), P_x = preço da água de irrigação (R\$ mm^{-1}); x = lâmina de irrigação (mm), c = custo dos fatores fixos (R\$ ha^{-1}).

Para determinar o lucro máximo foi calculado a derivada de primeira ordem (Equação 9). No que diz respeito a variável (x), foi calculada a equação obtida e equalizada em relação

ao preço da água (P_x) e o preço do produto (P_y). Desta forma, determinou-se a lâmina ideal que maximizou o lucro (Equação 10).

$$x_{\text{opt}} = \frac{P_x - P_y b}{2 P_y c} \quad (10)$$

O preço médio de produção foi obtido ao nível do produtor, no período do ensaio, estipulando R\$ 2,0 kg⁻¹. O custo da água para irrigação foi adaptado de acordo com o utilizado na região central do Rio Grande do Sul, pela empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER-RS), considerando: (A) para fornecer água para irrigação para a propriedade agrícola por gravidade, é cobrado cerca de 8-10% do rendimento por hectare; (B) para fornecer água de irrigação para a propriedade agrícola, que requerer sistema de bombeamento, é cobrado cerca de 14% do rendimento por hectare. Os custos variáveis foram obtidos considerando: mão de obra do sistema de irrigação, fertirrigação, aplicação de fungicidas e inseticidas. Os custos fixos incluíram: o sistema de irrigação por gotejamento, tutoramento, poste de concreto, fios de arame número 12 e 20. Os preços dos insumos foram coletados em ambas safras agrícolas e o valor do dólar foi estabelecido em R\$ 3,5. Para definir a rentabilidade, determinou-se: o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR), a relação benefício-custo (B/C), calculados para 10 anos de análise e assumindo a taxa de juros anual de 10%.

As principais tarefas de gestão agrícola foram: tutoramento, capina, controle de plantas daninhas, fertirrigação e a aplicação de inseticida e fungicida. A fertirrigação foi realizada a cada dois dias e as doses foram calculadas de acordo com as necessidades nutricionais da cultura e da análise química do solo, para obter rendimento de 40 t ha⁻¹, aproximadamente. Todas as plantas receberam 368 kg ha⁻¹ de fertilizante completo (13N-14P₂O₅-13K₂O), 290 kg ha⁻¹ de nitrato de amônio (36% N) e 396 kg ha⁻¹ de potássio (35% K₂O).

A análise estatística foi realizada utilizando o software SPSS (versão 17.0). As diferenças significativas entre as médias para os diferentes tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados eram agrupados quando não apresentavam interação entre os anos.

4 ARTIGO 1 – SUPPLEMENTAL IRRIGATION LEVELS IN BELL PEPPER UNDER SHADE MESH AND IN OPEN-FIELD: CROP COEFFICIENT, YIELD, FRUIT QUALITY AND WATER PRODUCTIVITY¹

Richard Alberto Rodríguez Padrón, Jerson Vanderlei Carús Guedes, Alexandre Swarowsky, Cicero Urbanetto Nogueira, Roxanna Rosales Cerquera and Juan Carlos Díaz-Pérez

4.1 ABSTRACT

This study aims to evaluate the effects of supplemental irrigation in bell pepper crop under shade mesh and in open-field to improve management of water resources. The experimental was in a randomized complete block design with four replications and ten treatments in factorial arrangement (five irrigation levels combined with two shade levels). Irrigation treatments were 0.25, 0.50, 0.75 and 1.0 rate of crop evapotranspiration and the control (no supplemental irrigation). Shading treatments were 0 and 50% reduction of photosynthetically active radiation, compared to open field conditions. Crop coefficient was influenced by rainfall, especially during initial growth stage period when it was high and K_c values were 0.71, 1.17, and 0.92. Treatments under shade and open-field had no significant interaction effect, alike between the years of study. The yield in open-field and under shade mesh showed better performance in 0.75 and 0.50 of ET_c , respectively. Maximum water productivity and irrigation water productivity was obtained in open-field and deficit irrigation plots. Under shade, highest fruit quality was obtained; heavier fruits, less dry matter, no sunscald and increasing value added to production. Comparing water consumption in open-field and shading, it can be obtained up to 14 to 25% water saving, significantly improving yield and fruit quality.

Key words: *Capsicum annuum*, dual crop coefficient, drip irrigation, strategies for efficient irrigation.

¹Artigo publicado no 29 de outubro de 2015, na revista African Journal of Agricultural Research, volumem 10, número 44, páginas 4117-4125, DOI: 10.5897/AJAR2015.10341

4.2 INTRODUCTION

Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) is a member of the Solanaceous family, native to Mexico, Central America and northern South America (Echer et al., 2002; Filgueira, 2003). It is an important crop in many parts of the world, given their economic importance, ranking second in world production. Major producing countries are China, Mexico, Turkey, Indonesia, Spain and United States (FAOSTAT, 2013). It is considered one of the ten species of greatest economic importance in the Brazilian vegetable market. The area cultivated annually is about 13,000 ha, with fruit production close to 290,000 t, generally grown in open field (Marouelli and Silva, 2012).

The widespread lack of water for agricultural production has led to frequent need for strategies aimed at optimizing the efficiency of its use (Padrón et al., 2014). The strategy to ensure food supply to the world population for the next 25 years inevitably includes a parallel increase in agricultural production. A large part of this effort is relayed on irrigation; therefore the big challenge is to improve the efficiency and performance of agriculture, water and energy from existing irrigated fields (Mukherji and Facon, 2009; Melgarejo and López, 2012). The scarcity of water resources necessitates appropriate management and use of the available water, given that the agricultural sector is one of the activities that demand more water (Albuquerque et al., 2012). Therefore, techniques to minimize consumption of irrigation water and increase yield with water use efficiency are necessary.

Temperature affects the vital functions of plants such as germination, transpiration, respiration, photosynthesis, growth and flowering (Goto and Tivelli, 1998). Therefore, planting in a protected environment may reduce the effects of temperature to the plant (Santos et al., 2009). In agriculture, the use of shade mesh has increased to attenuate the flux of solar radiation received by the crop (Pezzopane et al., 2004). Excess radiation, usually accompanied by high temperatures can cause damage as: flower abortion; reduced yield and incidence of fruit physiological disorders such as: blossom end, rot and sunscald causing significant loss (Espinoza, 1991; Olle and Bender, 2009). Also, shade mesh reduces water requirements and increases the efficiency of irrigation water use (Möller and Assouline, 2007).

Effective management of water resources is the key to sustainability and profitability of the crop, thus encouraging the development of new techniques for the analysis and efficient water management. This study aims to evaluate the effects of supplemental irrigation levels in bell pepper crop yield and water use efficiency under shade mesh and in open-field.

4.3 MATERIALS AND METHODS

This field study was conducted at the experimental area of the Polytechnic School of the Federal University of Santa Maria (altitude of 110 m, and 29° 41' 25" S, and 53° 48' 42" W), during the Spring-Summer seasons of 2013-2014 and 2014-2015. The soil is classified as typical dystrophic yellow argissolo, with a loam texture (Streck et al., 2008). The climate of the region, according to the Köppen classification is subtropical humid (Cfa). According to the National Institute of Meteorology (INMET), mean annual evaporation, temperature and rainfall range from 800 to 1200 mm, 18 to 20 °C and 1450 to 1650 mm, respectively. Table 1 shows the summary of the mean monthly climate data during the experiment. The insolation and evaporation in season 2013 to 2014 were higher than those in 2014 to 2015, except mean relative humidity which was reduced in 2013 to 2014. Solar radiation, evaporation, rainfall and daily temperature during the experimental period are shown in Figure 1. The monthly mean solar radiations, temperature and rainfall were higher in 2013 to 2014 than in 2014 to 2015. The daily mean temperatures in 2013 to 2014 were higher than those in 2014 to 2015 except December and March. The monthly maximum temperatures were higher in December, January and February. The rainfall cumulative was higher in 2013 to 2014 (892.8 mm) and 2014 to 2015 (834 mm); the maximum monthly rainfalls were in November and December, respectively. The monthly radiation in 2013 to 2014 was higher in December and January.

The experimental was in a randomized complete block design with four replications and ten treatments in factorial arrangement (four irrigation levels combined with shade mesh). Irrigation treatments were: 25% ($I_{0.25}$), 50% ($I_{0.50}$), 75% ($I_{0.75}$), and 100% ($I_{1.0}$) rate of crop evapotranspiration (ETc) and the control [no irrigation (I_0)]. Shading treatments were 50% reduction of the photosynthetically active radiation (according to the manufacturer) and open field conditions (control, 0% shading). There were 40 experimental plots, each of 5.0 m long and 2 m wide (10 m²), for a total area of 400 m², not including border plants. The variety of bell pepper was Arcade, widely used in the region. Two-month old plants were transplanted in the field, with 1.0 m separation between rows and 0.4 m between plants (density of 2.5 plants m⁻²) on 16 November 2013 and 23 November 2014. Shade mesh (polyethylene black shade mesh) was supported with metallic cable and forming rectangular structure with the highest point at 2 m. The shade mesh was set two weeks before transplanting. The level of shading was verified by using digital radiometer (Model MS-100). Leaf temperature was measured in each plot with an infrared thermometer gun (Model: AR 320).

One drip irrigation tape was placed next to each row; emitters were spaced 0.2 m apart and had a flow rate of 0.8 L h⁻¹ per emitter. In each experimental plot there was a ball valve for regulating irrigation time, pressure, and uniformity.

Table 1. Monthly climatic data of the experimental area during the 2013-2014 and 2014-2015 seasons.

Month	Relative humidity mean (%)		Insolation (hour)		Evaporation (mm)	
	2013-2014	2014-2015	2013-2014	2014-2015	2013-2014	2014-2015
Nov.	71.60	71.0	229.2	173.1	144.5	131.8
Dec.	69.45	76.1	286.2	211.0	175.2	142.2
Jan.	73.15	78.3	219.2	212.4	158.3	142.0
Feb.	73.79	79.7	211.2	218.0	137.9	123.9
Mar.	76.87	77.6	212.6	208.4 <td 112.8	114.1	
Sum	-	-	1376.8	1189.6	850.8	804.7

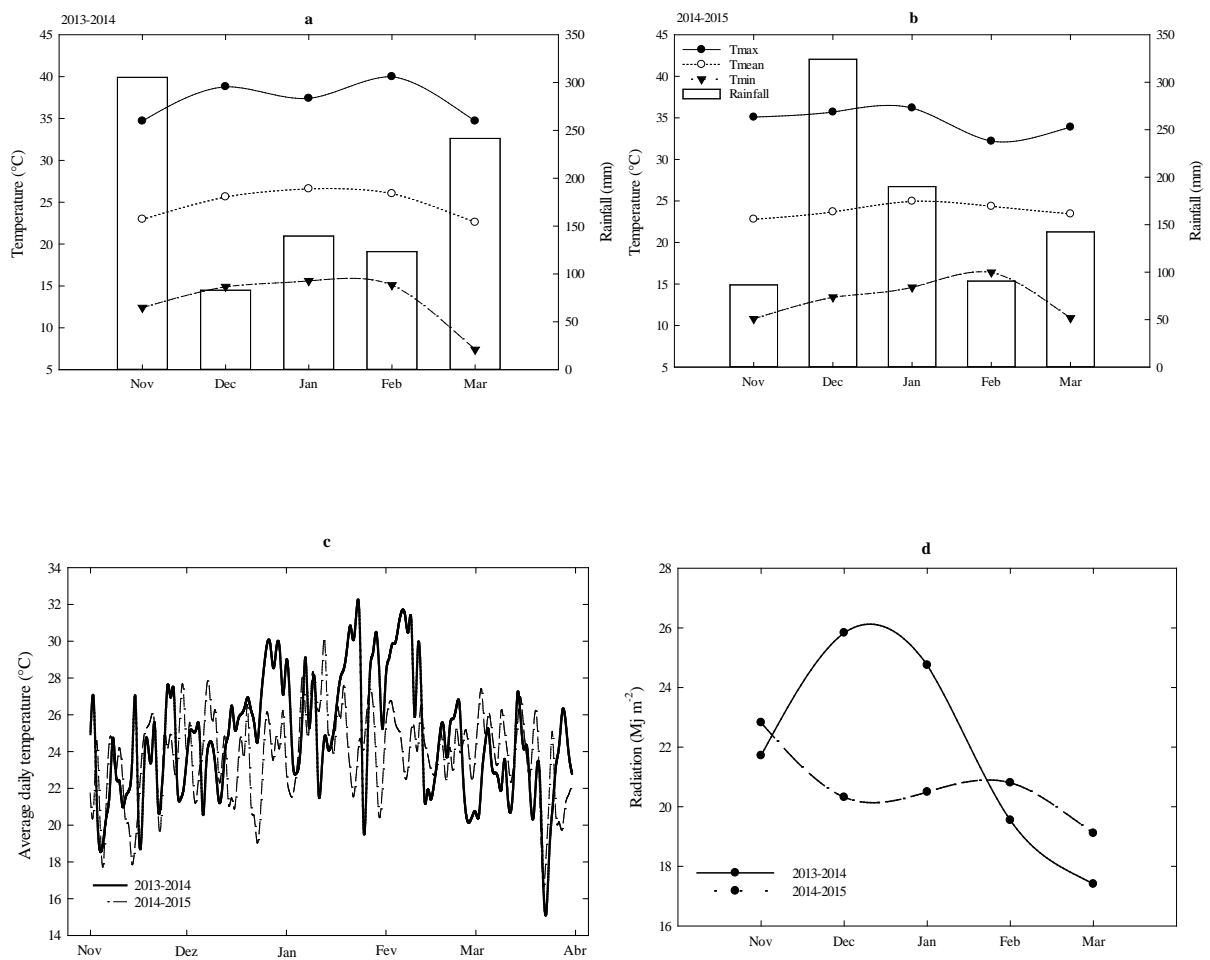


Figure 1. (a, b) Climograph of the experimental area, (c) average daily temperature and (d) radiation during the seasons 2013-2014 and 2014-2015.

4.3.1 Irrigation strategy

During the first 20 days after transplanting 100% of crop evapotranspiration (ET_c) was applied to all treatments to ensure plants establishment. Levels of supplementary irrigation were applied from 20 to 119 days after transplant and the frequency of daily watering was established. After effective rainfall exceeded reference evapotranspiration, irrigation was applied two days after the event.

Crop reference evapotranspiration (ET_o) and crop evapotranspiration (ET_c) were calculated using Equations 1 and 2. The use of reference evapotranspiration leads to increasing uncertainty comparing actual evapotranspiration. There are other models that can estimate evapotranspiration reference than have had successful results. Also, they are useful for selecting the best model when researchers must apply temperature-based models on the basis of available data (Valipour and Eslamian, 2014; Valipour, 2014a, b, c; Valipour, 2015a, b). Weather data were collected from an automatic weather station located 1 km from the experimental area. Crop reference evaporation was calculated based on the method of FAO Penman-Monteith (Allen et al., 2006), (Equation 1) as follows:

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$

where: ET_o is the reference evapotranspiration (mm day⁻¹), R_n, G and T are net radiation value at crop surface (MJ m⁻² day⁻¹), soil heat flux density (MJ m⁻² day⁻¹) and mean daily air temperature at 2 m height (°C), respectively. Also, u₂, e_s, e_a, (e_s - e_a), Δ and represent wind speed at 2 m height (m s⁻¹), saturation vapor pressure (kPa), actual vapor pressure (kPa), saturation vapor pressure deficit (kPa), slope of the saturation vapor pressure curve (kPa/°C) and psychrometric constant (kPa/°C), respectively.

Crop evapotranspiration (ET_c) was calculated with the method of dual crop coefficients for each crop phenological stage (Allen et al., 2006), (Equation 2) as follows:

$$ET_c = (K_{cb} + K_e) \times ET_o \quad (2)$$

where: ET_c is crop evapotranspiration (mm), ET_o is reference crop evapotranspiration (mm) and splitting K_c into two separate coefficients, basal crop coefficient (K_{cb}) and soil water evaporation coefficient (K_e).

Before the plants were transplanted, sampling points in the experimental area were randomly selected to determine basic soil attributes, including soil texture, bulk density, field capacity, and permanent wilting point (Table 2). Also, an infiltration test of wet bulb was performed to design the irrigation system.

Table 2. Average soil attributes of the experimental area.

Soil layers (m)	Bulk density (g cm ⁻³)	Field capacity (m ³ m ⁻³)	Wilting point (m ³ m ⁻³)	Water content (m ³ m ⁻³)	Infiltration (mm h ⁻¹)	Texture
0-0.2	1.42	0.31	0.14	0.18		Loam
0.2-0.4	1.38	0.34	0.17	0.17	15.0	Clay-loam
0.4-0.6	1.36	0.37	0.23	0.13		Clay

Soil water content over the season was measured before and after irrigation every two days (four readings per experimental plot), with a portable time domain reflectometry (TDR-100). The two metallic sensor (0.2 m rods of the TDR) were inserted vertically within the row between plants. Also soil water monitoring was performed with neutron probe (CPN Model 503, DR), with calibration previous to execution of the experiment (Padrón et al., 2015). PVC tubes (50 mm) were installed between row (1 m distance) and plant of each experimental plot at a depth of 0.7 m. Readings was performed once a week at 0.125, 0.30 and 0.50 m of soil depth.

Fruit were picked weekly during two months (60-120 day after transplanting) for yield, in both years. Fruit yield per plot was determined by harvesting 20 plants from center rows. To evaluate incidence of sunscald, number of affected fruit was determined. Fruit diameter, length and dry weight were determined at each harvest, using fruit from five plants per plot. Fruit samples were dried at 65°C until constant weight was obtained. Water productivity (WP) and irrigation water productivity (IWP) were calculated with the fresh total yield (kg ha⁻¹) divided by crop evapotranspiration (ET_c) Equation (3) and total irrigation water applied Equation (4), respectively (Heydari, 2014; Molden et al., 2010), as follows:

$$WP = \frac{\text{Total yield (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{evapotranspiration (mm)}} \quad (3)$$

$$IWP = \frac{\text{Total yield (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Irrigation water applied (mm)}} \quad (4)$$

Herbicides, fungicides and insecticides were applied as necessary. Fertigation was according to the nutritional needs of the crop and chemical analysis of the soil. Fertigation was performed with irrigation (daily) calculated to produce 40 t ha⁻¹. All plants received 368 kg ha⁻¹ of a complete fertilizer (13N-14P₂O₅-13K₂O), 290 kg h⁻¹ of ammonium nitrate (36% N) and 396 kg ha⁻¹ of potassium nitrate (35% K₂O). Statistical analysis was performed using the SPSS software package (SPSS V17.0). Significant differences between means for different treatments were compared using Tukey test at P≤0.05. Data from all years were pooled when no treatment interactions were found.

4.4 RESULTS AND DISCUSSION

Crop evapotranspiration, effective rainfall and effective irrigation are shown in Table 3. In 2013-2014, crop was irrigated 74 times and total irrigation applied was 401.8 mm. In 2014 to 2015, crop was irrigated 57 times and total irrigation was 281.5 mm. Thus, in 2014 to 2015 number of irrigations and irrigation volume were reduced. ETc in 2014-2015 was 59.5 mm lower than in 2013 to 2014. Effective rainfall was also higher in 2014 to 2015 than in 2013 to 2014.

Table 3. Crop evapotranspiration, effective rainfall and irrigation applications during two seasons in bell pepper.

Treat.	2013-214				2014-2015			
	ETc (mm)	Rainfall (mm)	Irrigation (mm)	Days irrigation	ETc (mm)	Rainfall (mm)	Irrigation (mm)	Days irrigation
I ₀	-	-	-	-	-	-	-	-
I _{0.25}	140.1		100.4		125.2		70.4	
I _{0.50}	280.1	345.1	200.9	74	250.4	543.8	140.8	57
I _{0.75}	420.2		301.3		375.5		211.2	
I _{1.0}	560.2		401.8		500.7		281.5	

Treat: Treatments, Effective rainfall; Effective Irrigation

Soil moisture and daily effective rainfall is shown in Figure 2. The 0-0.25 m soil profile presented sharp moisture decrease between irrigations. Soil moisture below 0.250 m depth remained almost constant in all treatments. Soil moisture under shade remained near field capacity and presented an average decrease of 0.02 m³ m⁻³ when compared to treatments on open field. In general, under shade mesh soil water content was higher compared to treatments in open field. Shading reduces demand for crop evapotranspiration, causing reduction of

transpiration, resulting in decreased soil water uptake in bell pepper (Möller et al., 2004; Kittas et al., 2009; Díaz-Pérez, 2013).

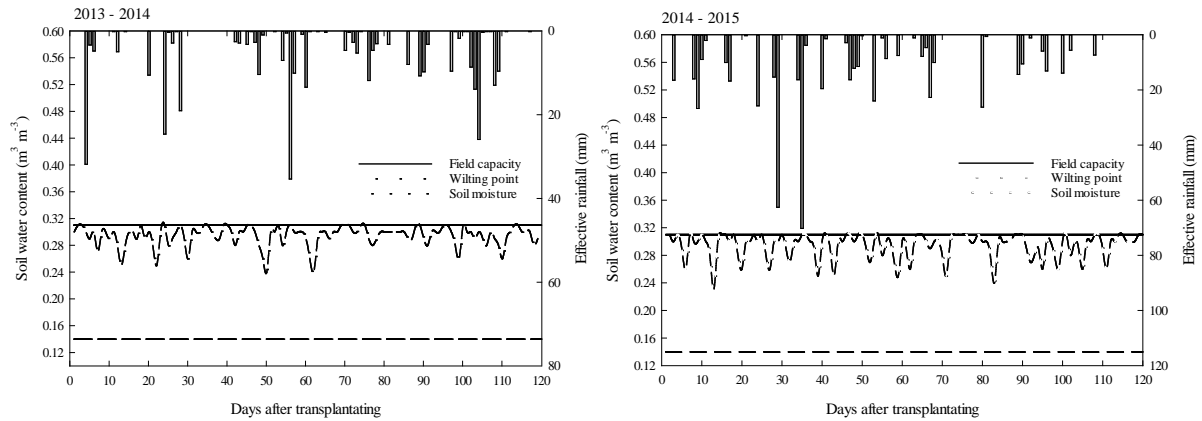


Figure 2. Soil water content and effective rainfall in the 0-0.30 cm depth layer and effective rainfall.

The dual crop coefficient during the study is shown in Figure 3. In both seasons, crop coefficient K_{cb} gradually increased reaching the highest values between 60 and 100 days after transplanting. Coefficient K_e was highest during the first 50 days after transplanting and then decreased. Both factors were most affected by the frequent rainfall in the 2014 to 2015 season. The biggest difference between the values of K_e and K_{cb} occurred in the initial crop growth stage where evapotranspiration was mainly composed of soil evaporation, while crop transpiration, was relatively small.

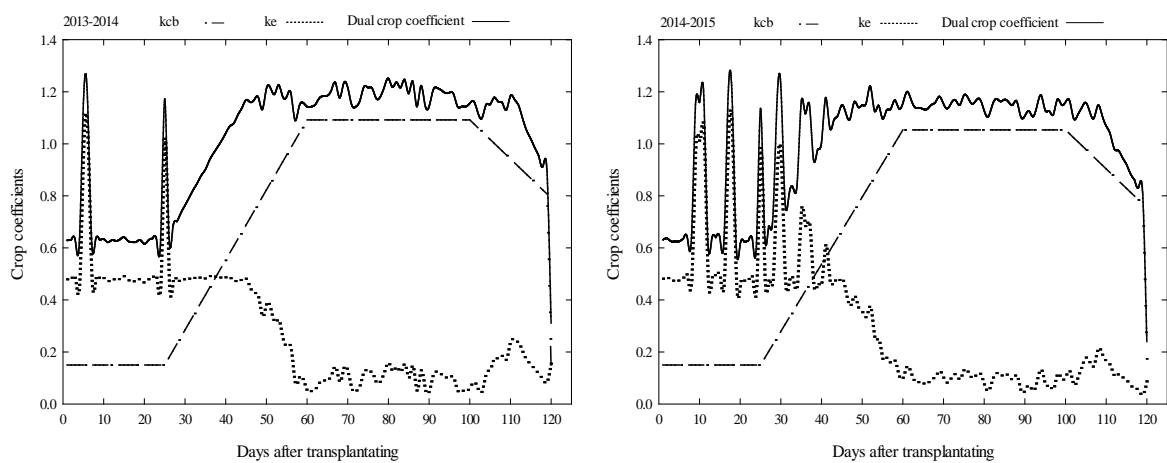


Figure 3. Dual crop coefficient for bell pepper in a sub-tropical region.

Dual crop coefficient values at different stages of bell pepper crop growth are shown in Table 4. At different stages K_c values were similar or higher than those recommended by FAO-56 values. Shukla et al. (2013) reported that early in the season K_c values were higher than those of the classic K_c curve reported in the literature (e.g., FAO-56) and increased as the crop developed until it reached maximum values at crop maturity. Due to increased water table at the time of transplanting, soil evaporation losses were higher than those of other regions leading to increased ET_c and as a result increased K_c ; K_c for bell pepper reached values of : $K_{c_{ini}}= 0.86$, $K_{c_{med}}= 1.21$, $K_{c_{fin}}= 1.28$. Also, rainfall during the initial stage further increased the surface soil water content, which resulted in increased soil evaporation. Results show that K_c for pepper grown using sub-irrigation is highly dependent on the soil water content of the bare soil area. In semiarid climate, Kong et al. (2012), reported increased K_c values ($K_{c_{ini}}= 0.66-0.69$; $K_{c_{med}}= 1.19-1.30$; $K_{c_{fin}}= 0.89-0.93$) (FAO 56).

Table 4. Average of dual crop coefficients (K_c) for bell pepper irrigation in a sub-tropical region.

Crop growth stage	2013-2014	2014-2015	Average	FAO-56 ^z
Initial growth	0.67	0.74	0.71	0.6
Crop development	1.03	1.05	1.04	
Mid-season	1.19	1.15	1.17	1.15
Late season	0.97	0.87	0.92	0.80

^z K_c recommended by FAO-56

There was no significant interaction effect for treatments under shade mesh and open-field between the years of study for yield data. Ilahy et al. (2013) reported that there were no significant differences between shaded and non-shaded conditions in commercial yield of sweet pepper ‘Herminio’. However, statistical difference between the levels of irrigation on yield, fruit weight, fruit dry matter and number fruit per plant was found. Fruit weight showed significant interaction between treatments under shade netting and open field.

The relationship between fruit yield and irrigation rate under shade mesh and open-field is shown in Figure 4. Fruit yield in open-field was increased with $I_{0.50}$ and $I_{0.75}$. In the 2013 to 2014 season, values ranged from 13.8 t ha⁻¹ in I_0 to 37.1 t ha⁻¹ in $I_{0.75}$. Treatment I_0 showed a reduction in yield of 54.7% and that of $I_{1.0}$ was reduced by 19.9% relative to maximum yield ($I_{0.75}$). Kara and Yıldırım (2015), reported similar results in *Capsicum annuum* L. cv. Carliston with different irrigation levels (0.2, 0.5, 0.8, 1.0 and 1.2 ET_c); yields were 18.78, 20.60, 21.57, 18.90 and 15.16 Mg ha⁻¹, respectively, with maximum yield with 0.8 ET_c . Padrón et al. (2014), evaluated irrigation frequency and irrigation rates finding that daily irrigation resulted in better

crop performance compared to irrigation every other day; crop yields were similar with daily irrigations at 60, 80 or 100% ETc. Moreover, Sezen et al. (2015), reported the highest yield values with full irrigation (44.2-47.8 t ha⁻¹) and deficit irrigation of 50 and 75% (34.9-36.0 t ha⁻¹ and 40.8 to 47.2 t ha⁻¹, respectively). Our results showed that cultivation of bell pepper was affected by deficit irrigation as well as excess water caused by high rainfall. Bell pepper crop irrigated more frequently tends to be more efficient in water use, without affecting yield, compared to a crop irrigated less frequently. Also, Yildirim et al. (2012), studying the effect of different irrigation treatments (0.0, 0.2, 0.5, 0.8, 1.0, 1.2 of ETc) in bell pepper to determine stress with a fixed interval of 7 days throughout the whole drought season, reported yields of 3.25, 8.64, 16.93, 20.08, 27.67 and 24.61 t ha⁻¹, respectively. They mentioned that the most important factor that affect growth and yield in pepper crops is the amount of irrigation water applied throughout the development period.

The maximum yield under shade mesh was obtained at I_{0.50}. Yield ranged from 11.0 t ha⁻¹ in I₀ to 22.2 t ha⁻¹ in I_{0.50}. Treatment I₀ presented 50.3% reduction in yield and 13.4% reduction in I_{1.0}. Díaz-Pérez (2014), studying the effect of shade levels of 0, 30, 47%, 63 and 80% in *Capsicum annuum* cv. Heritage, reported that yield increased with increasing shade level up to 35% shade and then decreased with increasing shade levels; Möller and Assouline (2007), reported yield in Sweet pepper *C. annuum* cv. Selika between 5.93 and 9.26 kg m⁻² in 30% shade. Ilahy et al. (2013), reported yield in (*C. annuum* cv 'Beldi'), grown at 0, 50 and 100% shade, varied between 0.9 kg/plant and 1.15 kg/plant, respectively. Also, López-Marin et al. (2012) reported that commercial yield of sweet pepper cv 'Herminio' ranged from 2.55 kg/plant under unshaded conditions compared to 2.53 kg/plant in shaded conditions.

The open-field treatments showed highest cumulative yields and the trend was observed throughout the harvest period, which is probably due to increased radiation and greater photosynthetic activity. López-Marin et al. (2012), reported highest yields with 40% shade. This was attributed to reduction of the incident radiation. Also, it was observed that the crop was negatively affected by high temperatures, with shading decreasing average daily temperature by 2.5 °C at noon and 0.6 °C in the morning, creating a micro climate favorable to crop development. Díaz-Pérez (2013), reported that moderate levels of shade (30 and 47%) were the most favorable for plant growth and function in bell pepper. Möller and Assouline (2007), reported that 30% mesh black shade reduces solar radiation, wind speed, water needs and increases the efficiency of water use in bell pepper.

In open-field, fruit sunscald was observed with greater intensity 55 to 85 days after transplanting, when the crop had reduced leaf area, with yield losses of 1.4, 2.2, 2.3%, 3.3 and

1.7% in irrigation treatments I_0 , $I_{0.25}$, $I_{0.50}$, $I_{0.75}$ and $I_{1.0}$, respectively. Under shade mesh fruit showed no sunscald. Ilahy et al. (2013), reported yield losses due to sunscald ranging from 0.69 kg/plant in open-field and 0.18 kg/plant in shady conditions.

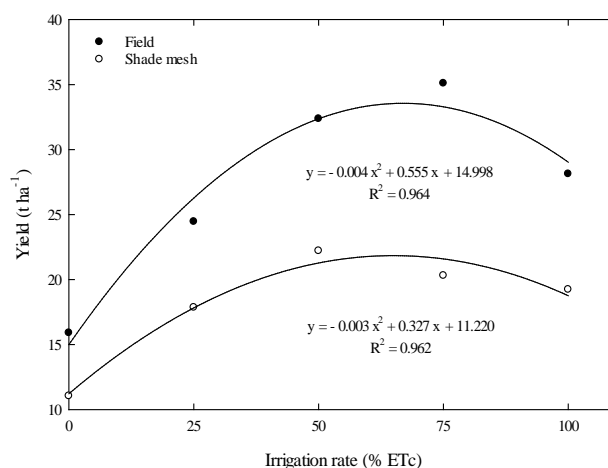


Figure 4. Relationship between fruit yield and irrigation rate applied as fraction of crop evapotranspiration in bell pepper grown under shade mesh or in open field.

Water productivity and irrigation water productivity both decreased with increasing irrigation rate (Figure 5). Both WP and IWP were higher in open field than under shade mesh. Plots without irrigation showed reduced WP (3.0 kg m^{-3} in the open-field and 2.1 kg m^{-3} under shade mesh). Values of WP in open-field oscillated between 18.5 kg m^{-3} in $I_{0.25}$ and 5.3 kg m^{-3} in $I_{1.0}$ and under shade mesh between 13.5 kg m^{-3} in $I_{0.25}$ and 3.6 kg m^{-3} in $I_{1.0}$. IWP values in open-field varied between 29.4 kg m^{-3} in $I_{0.25}$ and 8.5 kg m^{-3} in $I_{1.0}$ and under shade mesh between 21.6 kg m^{-3} in $I_{0.25}$ and 5.8 kg m^{-3} in $I_{1.0}$. The WP and IWP values of this study were similar to those previously reported. Kong et al. (2012), through drip irrigation determined WP values between 7.76 kg m^{-3} and 10.71 kg m^{-3} in bell pepper. Sezen et al. (2015), reports of WP of 6.9 kg m^{-3} and IWP of 5.7 kg m^{-3} by applying irrigation water of 570.4 mm for the whole growing season at intervals of 3 to 6 days. Guang-Cheng et al. (2010), determined the WP and IWP hot pepper in greenhouses values oscillate between 6.7 to 10.4 kg m^{-3} and 6.3 to 10.6 kg m^{-3} , respectively. Demirel et al. (2012) determined the values WP and IWP in pepper grown in the Thrace region of Turkey varying from 2.4 to 7.0 kg m^{-3} and 0.3 to 9.1 kg m^{-3} , respectively. Kara and Yildirim (2015), reported WUE in *C. annuum* L. cv. Carliston with irrigation levels of 0.2, 0.5, 0.8, 1.0 and 1.2% of ETC, between 6.0, 4.1, 3.6, 2.7, and 2.1 kg m^{-3} , respectively. Moreover, Yildirim et al. (2012), reported results of WUE and IWUE in bell pepper with irrigation treatments (0.0, 0.2, 0.5, 0.8, 1.0, 1.2 of ETC) of 1.6, 3.3, 5.3, 5.5, 6.9 and 5.7 kg m^{-3}

and 2.0, 3.8, 6.0, 6.1, 7.5, and 6.2, respectively. The peaks were obtained from 1.0 ETc treatment.

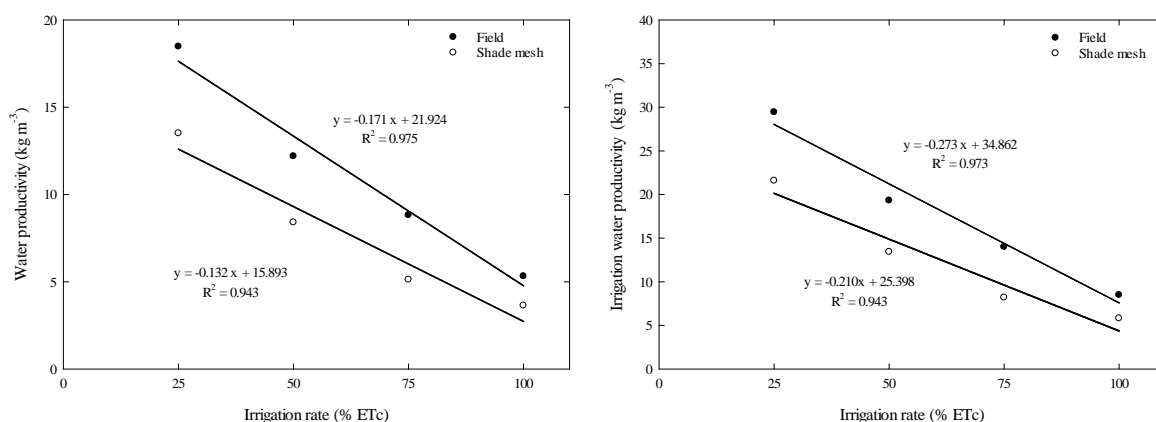


Figure 5. Water productivity and irrigation water productivity in bell pepper under shade mesh and in open-field.

Results on average of fruit quality in bell pepper under shade mesh and in open-field are presented in Table 5. Plots in open-field presented difference on fruit quality, number of fruits per plant, fruit diameter, fruit weight and under shade mesh, the number of fruit per plant, weight and fruit dry matter. The variable that showed interaction effect between under shade mesh and in open-field was the fruit weight. The quality of fruit in the open-field and under shade mesh were affected significantly, showing the smallest fruit diameter, length, and weight and lowest number of fruits per plant. Irrigation levels of 50 and 75% ETc obtained the best fruit quality. However, the maximum fruit weight and lower fruit dry matter content was presented by treatment I_{1.0}, under shade mesh. In summary, highest quality fruit (increased weight and reduced dry matter and sunscald incidence) was obtained under shade. Sezen et al. (2015), reported increased fruit yield to augmented fruit number. In addition, a uniform supply of water in the soil throughout the growing season is needed to prevent poor fruit size and shape and to improve yield.

Rylski and Spigelman (1986), reported changes in plant development due to the shading affected. According to the authors, shading affected fruit set, number of fruits per plant, fruit location on the plant, fruit development and yield. Also, the lowest number of fruits per plant was obtained under 47% shading at 5 plants m⁻² density, under 47 and 26% shading at 6.7 plants m⁻² density. Under shading, individual fruits were larger and had a thicker pericarp. Shading reduced sunscald damage of the fruits from 36% in full sunlight to 3 and 4% under 26 and 47% shading. The highest yield of high-quality fruits was obtained with 12 to 26% shade. On the

other hand, Milenković et al. (2012), refer shading of pepper plants affected both fruit yield and quality. Total and marketable yield increased with 40% shading level and then decreased (with 50% shade). Shading of pepper (40%) may be an option to reduce heat stress conditions and extend the spring-summer season toward September and concludes the photosensitive, light dispersive shade nets provide a new, tool for crop protection. Changing the light intensity and radiation spectrum has a large impact on the total production system.

Table 5. Average of fruit quality in bell pepper under shade mesh and in open-field.

	Treat.	Fruit per plant (number)	Fruit length (cm)	Fruit diameter (cm)	Fruit weight (g)	Dry matter (%)
Field	I ₀	6 ^b	13.4	5.6 ^b	126.50 ^{bC}	5.3
	I _{0.25}	7 ^{ab}	14.8	6.6 ^a	134.00 ^{bBC}	5.3
	I _{0.50}	9 ^a	14.3	6.1 ^{ab}	142.10 ^{bAB}	5.3
	I _{0.75}	9 ^a	14.9	5.9 ^{ab}	153.20 ^{bA}	5.2
	I _{1.0}	8 ^{ab}	15.0	5.5 ^b	144.70 ^{bAB}	5.0
	Sig.	*	ns	*	*	ns
Shade	I ₀	5 ^b	16.9	6.0	154.20 ^{aC}	5.1 ^a
	I _{0.25}	7 ^{ab}	16.5	6.5	176.60 ^{aB}	5.0 ^{ab}
	I _{0.50}	8 ^a	18.0	6.7	179.50 ^{aB}	5.2 ^a
	I _{0.75}	8 ^a	16.4	6.2	188.6 ^{aAB}	4.9 ^{ab}
	I _{1.0}	7 ^{ab}	17.8	6.3	198.90 ^{aA}	4.6 ^b
	Sig.	*	ns	ns	**	*

Treat: Treatments, Letters indicate significant differences at *P≤0.05 and **P≤0.01. Sig.: Significance.

Maximum production efficiency in open-field was 34.2 t ha⁻¹ with 69.4% of ETc; under shade mesh it was 20.1 t ha⁻¹ with 54.5% of ETc. The difference of maximum production efficiency was of 14 t ha⁻¹ and reduction of 14% of ETc. Bell pepper under 50% shade could save 14 to 25% of irrigation water. Moreover, the sunscald in fruit is improved by increasing the number of plant per square meter.

4.5 CONCLUSIONS

Yield of bell pepper in open-field was significantly higher with 75% of ETc; it was highest with 50% ETc under shade. The point of maximum production efficiency was 69.4% of ETc in open-field and 54.5% of ETc under shade. Thus, under 50% shades, there may be up to 25% water savings. Crop coefficients values found in this study will be useful for irrigation scheduling, dual crop coefficients in bell pepper, developed for a region with a humid subtropical climate. Results indicate that the WP and IWP values decreased with increasing irrigation level in both open field and shaded conditions. Irrigation with increased frequency

tends to increase irrigation water use efficiency. Drip irrigations at 50% ETc and 75% of ETc may be recommended.

4.6 CONFLICT OF INTEREST

The authors have not declared any conflict of interest.

4.7 ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the Gran Mariscal de Ayacucho Foundation; Federal University of Santa Maria and Polytechnic School of the Federal University of Santa Maria by for support.

REFERENCES

- Albuquerque FDS, Silva EFF, Filho JACA, Lima GS (2012). Water requirement and crop coefficient of fertigated sweet pepper. *Irrigation*. 17(4):481-493.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (2006). Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). *Irrigation and Drainage Paper No. 56*, FAO, Rome. P 298.
- Demirel K, Genç L, Saçan M (2012). Effects of different irrigation levels on pepper (*Capsicum annuum*) yield and quality parameters in semi-arid conditions. *J. Tekirdag Agric. Fac.* 9(2):7-15.
- Díaz-Pérez JC (2013). Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) crop as affected by shade level: Microenvironment, plant growth, leaf gas exchange, and leaf mineral nutrient concentration. *HortSci.* 48(2):175-182.
- Díaz-Pérez JC (2014). Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) crop as affected by shade level: fruit yield, quality, and postharvest attributes, and incidence of phytophthora blight (caused by *Phytophthora capsici* Leon.). *HortSci.* 49(7):891-900.
- Echer MM, Fernandes MCA, Ribeiro RLD, Peracchi AL (2002). Evaluation of *Capsicum* genotypes for resistance to the broad mite. *Hortic. Bras.* 20(2):217-221.
- Espinoza W (1991). Manual de Produção de tomate industrial no Vale do São Francisco. Brasília: IICA/CODEVASF, P. 301.
- FAOSTAT (2013). Food and Agricultural Organization of the United Nations Statistical Database, Rome, Italy.
- Filgueira FAR (2003). Solanáceas: agrotecnologia moderna na produção de tomate, batata, pimentão, pimenta, berinjela e jiló. Lavras, MG: UFLA, P. 333.

Goto R, Tivelli SW (1998). Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais. Sao Paulo: UNESP, cap. 01. P. 319.

Guang-Cheng S, Na L, Zhan-Yu Z, Shuang-En Y, Chang-Ren C (2010). Growth, yield and water use efficiency response of greenhouse-grown hot pepper under Time-Space deficit irrigation. *Sci. Hortic.* 126(2):172-179.

Heydari N (2014). Water productivity in agriculture: challenges in concepts, terms and values. *Irrig. Drain.* 63:22-28.

Ilahy R, R'him T, Tlili I, Jebari H (2013). Effect of different dhading levels on growth and yield parameters of a Hot Pepper (*Capsicum annuum* L.) Cultivar 'Beldi' G rown in Tunisia. *Glob. Sci. Books.* 7(1):32-35.

Kara HO, Yıldırım M (2015). Water and radiation use efficiencies of pepper (*Capsicum annuum* L. cv. Carliston). *Scholars J. Agric. Vet. Sci.* 2(2A):87-93.

Kittas C, Rigakis N, Katsoulas N, Bartzanas T (2009). Influence of shading screens on microclimate, growth and productivity of tomato. *Acta Hortic.* 807:97-102.

Kong Q, Li G, Wang Y, Huo H (2012). Bell pepper response to surface and subsurface drip irrigation under different fertigation levels. *Irrig. Sci.* 30(3):233-245.

López-Marin J, Gálvez A, Conesa A, Martínez-Nicolás J, González A (2012). Comportamiento fisiológico del pimiento en invernadero bajo diferentes condiciones de sombreado. *Acta Hortic.* 60:337-342.

Marouelli WA, Silva WLC (2012). Irrigação na cultura do pimentão. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Circular Técnica. 101:20.

Melgarejo MJ, López OMI (2012). Las identidades española y argentina: Agricultura, Agua y Energía. *Estudios Rurales.* 1:1-39.

Milenković L, Ilić ZS, Durovka M, Kapoulas N, Mirecki N, Fallik E (2012). Yield and pepper quality as affected by light intensity using colour shade nets. *Agric. For.* 58(1):19-33.

Molden D, Oweis T, Steduto P, Bindraban P, Hanjra MA, Kijne J (2010). Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. *Agric. Water Manage.* 97:528-535.

Möller M, Assouline S (2007). Effects of a shading screen on microclimate and crop water requirements. *Irrigation Sci.* 25:171-181.

Möller M, Tanny J, Cohen S, Li Y, Grava A (2004). Water consumption of pepper grown in an insect proof screenhouse. *Acta Hortic.* 659:569-575.

Mukherji A, Facon T (2009). Revitalizing Asia's irrigation: to sustainable meet tomorrow's food needs. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, P. 38.

Olle M, Bender I (2009). Causes and control of calcium deficiency disorders in vegetables: A review. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 84:577-584.

- Padrón RAR, Nogueira HMCM, Cerquera RR, Albino GD, Nogueira CU (2015). Characterization physical-hydric of the yellow argisol soil for establishment of project and irrigation management. *Acta Iguazu*. 4(1):36-47.
- Padrón RAR, Ramírez LR, Swarowsky A, Daboín JR (2014). Effect of deficit irrigation and different frequencies in the production of bell pepper. *Interciencia*. 39(8):591-596.
- Pezzopane JEM, Oliveira PC, Reis EF, Lima JSS (2004). Microclimatological alterations caused by plastic screen uses. *Eng. Agríc*. 24(1):9-15.
- Rylski I, Spigelman M (1986). Effect of shading on plant development, yield and fruit quality of sweet pepper grown under conditions of high temperature and radiation. *Sci. Hortic*. 29(1):31-35.
- Santos CL, Seabra JRS, Lalla JG, Theodoro VCA, Nespoli A (2009). Performance of crisp lettuce cultivars under high temperatures in Cáceres-MT. *Agrarian*. 2(3):87-98.
- Sezen SM, Yazar A, Şengül H, Baytorun N, Daşgan Y, Akyildiz A, Tekin S, Onder D, Ağçam E, Akhoundnejad Y, Gügercin Ö (2015). Comparison of drip-and furrow-irrigated red pepper yield, yield components, quality and net profit generation. *Irrig. Drain*. 64(6):546-556.
- Shukla S, Jaber FH, Goswami D, Srivastava S (2013). Evapotranspiration losses for pepper under plastic mulch and shallow water table conditions. *Irrig. Sci*. 31(3):523-536.
- Streck EV, Kämpf N, Dalmolin RSD, Klamt E, Nascimento PD, Schneider P, Giasson E, Pinto LFS (2008). *Solos do Rio Grande do Sul*, 2 ed, Porto Alegre, EMATER/RS-ASCAR. p. 222.
- Valipour M (2014a). Assessment of different equations to estimate potential evapotranspiration versus FAO Penman Monteith method. *Acta Adv. Agric. Sci*. 2(11):14-27.
- Valipour M (2014b). Analysis of potential evapotranspiration using limited weather data. *Applied Water Science*. pp. 1-11.
- Valipour M (2014c). Application of new mass transfer formulae for computation of evapotranspiration. *J. Appl. Water Eng. Res*. 2(1):33-46.
- Valipour M (2015a). Calibration of mass transfer-based models to predict reference crop evapotranspiration. *Appl. Water Science*. pp. 1-11.
- Valipour M (2015b). Evaluation of radiation methods to study potential evapotranspiration of 31 provinces. *Meteorol. Atmos. Phys*. 127:289-303.
- Valipour M, Eslamian S (2014). Analysis of potential evapotranspiration using 11 modified temperature-based models. *Int. J. Hydrol. Sci. Technol*. 4(3):192-207.
- Yildirim M, Demirel K, Bahar E (2012). Effect of restricted water supply and stress development on growth of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) under drought conditions. *J. Agro Crop Sci*. 3(1):1-9.

5 ARTIGO 2 – SUPPLEMENTAL IRRIGATION LEVELS IN BELL PEPPER UNDER SHADE MESH AND IN OPEN-FIELD: ABSOLUTE GROWTH RATE, DRY MASS, LEAF AREA AND CHLOROPHYLL²

Richard Alberto Rodríguez Padrón, Jerson Vanderlei Carús Guedes, Alexandre Swarowsky, Cicero Urbanetto Nogueira, Roxanna Rosales Cerquera and Helena Maria Camilo de Moraes
Nogueira

5.1 ABSTRACT

This study aims to evaluate the effect of supplemental irrigation levels on vegetative parameters of bell pepper grown in open field and under shade mesh. The experimental was in a randomized complete block design with four replications and ten treatments in factorial scheme (four irrigation levels combined with shade). Irrigation treatments consisted in 0.25, 0.50, 0.75 and 1.0 rate of crop evapotranspiration and the control (no-irrigation). Shading treatment was of 50% reduction of the photosynthetically active radiation compared to open field conditions. Vegetative parameters were influenced by irrigation. The growth rate of plants present no significant difference. The growth rate of stem diameter present difference, being treatments 0.50 and 0.75 the highest. Significant interaction was present in the rate of chlorophyll, dry matter, leaf area index and number of leaves per plant. Plots under shade mesh showed the highest growth rate in plant height and stem diameter and leaf area index, number of leaves per plant, dry matter and lower chlorophyll index. As irrigation strategy, considering the water use efficient and vegetative characteristics of bell pepper, the most favorable irrigation levels were 0.5 and 0.75 of ET_c, under shade and in open field, respectively, without affecting the vegetative parameters and yield.

Key words: *Capsicum annuum*, water stress, water use efficiency, drip irrigation.

²Artigo publicado no 15 de outubro de 2015, na revista African Journal of Agricultural Research, volumem 10, número 42, páginas 3968-3976, DOI: 10.5897/AJAR2015.10342

5.2 INTRODUCTION

Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) is a member of the Solanaceous family, native to Mexico, Central America and northern South America (Echer et al., 2002; Filgueira, 2003; Souza et al., 2011). It is an important crop in many parts of the world, given their economic importance, ranking second in world production. It is considered one of the ten species of greatest economic importance in the Brazilian vegetable market, and the area annually cultivated is around 13 mil hectares, with production close to 290 mil tons of fruit, generally grown in open field (Marouelli and Silva, 2012). Water use by plants and all the physiological processes are directly related to their status in the soil-water-plant system. The interrelationships between these factors are fundamental for the planning and the operation of irrigation systems to maximize yield and product quality (Trani and Carrijo, 2004). There are many motivations to study the physiology of plants under stress, among which: knowledge of stressors on plants can be crucial for the development of mechanistic models predictive in nature, for example, the study of the possible effects of climate change. The analysis of the interaction of the plants with the environmental factors are fundamental to comprise the distribution of the species in the different ecosystems and the performance of the crop is strongly limited by the impact of the environmental stress (Nilsen and Orcutt, 1996).

Increased temperatures occurring in late spring and early summer reduce bell pepper yields and increase incidence of physiological disorders in fruit, such as blossom-end rot and sunscald (Olle and Bender, 2009). High temperatures induce flower abortion and fruit in bell pepper (Deli and Tiessen, 1969). Bell pepper is a very demanding plant in luminosity, especially in the early stages of reproduction (Prieto et al., 2003). The increment in crop production is able to be possible only knowing the pushing effects of irrigation and radiation on plant growth and yield (Kara and Yildirim, 2015). The amount of solar radiation intercepted by plants is a major determinant for the total dry matter produced by a crop (Biscoe and Gallagher, 1978). The most effective development forces on plants are “Carbon”, “Water”, “Radiation” and energy supply of plants” comes from radiation also (Steduto, 2003). Plant development depends on the amount of radiation, duration of light in a day, relative humidity, wind speed and temperature (Boztok, 2003). Also, plant water, nutrient uptake and transpiration rate are closely related with solar radiation (Adams, 1992).

The analysis of plant growth allows evaluating the behavior of crop genotype in relation to different crop systems, influenced by management, climate and crop physiology (Oliveira et al., 2015). The indexes wrapped in the analysis of growth, as foliar area index, growth rate, and

liquid assimilation indicate the capacity of plants assimilatory system in synthesize and destine the organic matter in the diverse organs (Monte et al., 2009; Silva et al., 2010). That depend on photosynthesis, breathing and assimilate translocation of carbon fixation sites for local use and storage, where there are growth and differentiation of organs (Lopes et al., 2011). Studying water requirements of plants has become increasingly important for agriculture, mainly for areas with deficit of irrigation water. This study aims to evaluate the effect of supplemental irrigation levels on vegetative parameters of bell pepper grown in open field and under shade mesh.

5.3 MATERIALS AND METHODS

The field study was conducted in the experimental area of the Polytechnic School of the Federal University of Santa Maria, located at an altitude of 110 m in the geographic coordinates 29° 41' 25" S, 53° 48' 42" W, during the Spring Summer seasons of 2013-2014 and 2014-2015. The soil is classified as typical dystrophic yellow argissolo, with a loam texture (Streck et al., 2008). The climate of the region, according to the Köppen classification is subtropical humid (Cfa). According to the National Institute of Meteorology (INMET), mean annual evaporation, temperature and rainfall range from 800 to 1200 mm, 18 to 20 °C and 1450 to 1650 mm, respectively. In Table 1 we can see the summary of the mean monthly climate data during the period of the experiment. The monthly cumulative insolation and evaporation in 2013-2014 season were higher than those in 2014-2015, except mean relative humidity. Solar radiation, evaporation, rainfall and daily temperature during the experimental period are shown in Figure 1. The monthly mean solar radiations in 2013-2014 were higher than in 2014-2015. The daily mean temperatures in 2013-2014 were higher than those in 2014-2015 except December and March. The monthly maximum temperatures were higher in December, January and February. The rainfall cumulative was higher in 2013-2014 (892.8 mm) and 2014-2015 (834 mm); the maximum monthly rainfalls were in November and December, respectively. The monthly radiation in 2013-2014 was higher in December and January.

The experimental was in a randomized complete block design with four replications and ten treatments in factorial arrangement (four irrigation levels combined with shade mesh). Irrigation treatments were: 25% ($I_{0.25}$), 50% ($I_{0.50}$), 75% ($I_{0.75}$), and 100% ($I_{1.0}$) rate of crop evapotranspiration (ETc) and the control [no irrigation (I_0)]. Shading treatments were 50% reduction of the photosynthetically active radiation (according to the manufacturer) and open field conditions (control, 0% shading). There were 40 experimental plots, each of 5.0 m long

and 2 m wide (10 m²), for a total area of 400 m², not including border plants. Moisture overlap between rows was avoided by border plants (1 m). Arcade was the variety of bell pepper used due to its commercial importance in the region. Plants were transplanted in the field with two months old at separation of 1.0 m between rows and 0.4 m between plants (density of 2.5 plants m⁻²), in Nov. 16, 2013 and Nov. 23, 2014. Shade mesh (polyethylene black shade mesh) was supported with metallic cable, in a rectangular structure with the highest point at 2 m. The shade mesh was set two weeks before transplanting. The level of shading was verified by using digital radiometer (Model: MS-100). Leaf temperature was measured in each plot with an infrared thermometer gun (Model: AR 320).

Table 1. Monthly climatic data of the experimental area during the 2013-2014 and 2014-2015 seasons.

Month	Relative humidity mean (%)		Insolation (hour)		Evaporation (mm)	
	2013-2014	2014-2015	2013-2014	2014-2015	2013-2014	2014-2015
Nov.	71.60	71.0	229.2	173.1	144.5	131.8
Dec.	69.45	76.1	286.2	211.0	175.2	142.2
Jan.	73.15	78.3	219.2	212.4	158.3	142.0
Feb.	73.79	79.7	211.2	218.0	137.9	123.9
Mar.	76.87	77.6	212.6	208.4	112.8	114.1
Sum	-	-	1376.8	1189.6	850.8	804.7

It was used a localized irrigation system (drip) placed as lateral by row, spacing among emitters of 0.2 m and flow of 0.8 L h⁻¹. It was installed in each experimental plot a ball valve for regulating the irrigation time and pressure regulating valve for uniformity. The irrigation strategy is described as follow: during the first 20 days after transplantation it was applied 100% of ET_c to all treatments, to ensure in plants establishment. The levels of supplementary irrigation were applied from 20 to 119 days after transplanting and the frequency of daily watering was established. Due to the characteristics of soils and climatic conditions after the effective precipitation exceeds evaporation, irrigation was applied two days after with the frequency set.

The crop reference evapotranspiration (ET_o) and crop evapotranspiration (ET_c) were calculated using the following Equations (1) to (2). Use of reference evapotranspiration leads to increasing uncertainty comparing actual evapotranspiration. There are other models that can estimate evapotranspiration reference than have had successful results. Also, they are useful for selecting the best model when researchers must apply temperature-based models on the basis of available data (Valipour and Eslamian, 2014; Valipour, 2014a, b, c; Valipour, 2015a, b). Weather data was collected from an automatic weather station located 1 km from the

experimental area. The crop reference evaporation (ET_o) was calculated based on the method of FAO Penman-Monteith (Allen et al., 2006), (Equation 1) as follows:

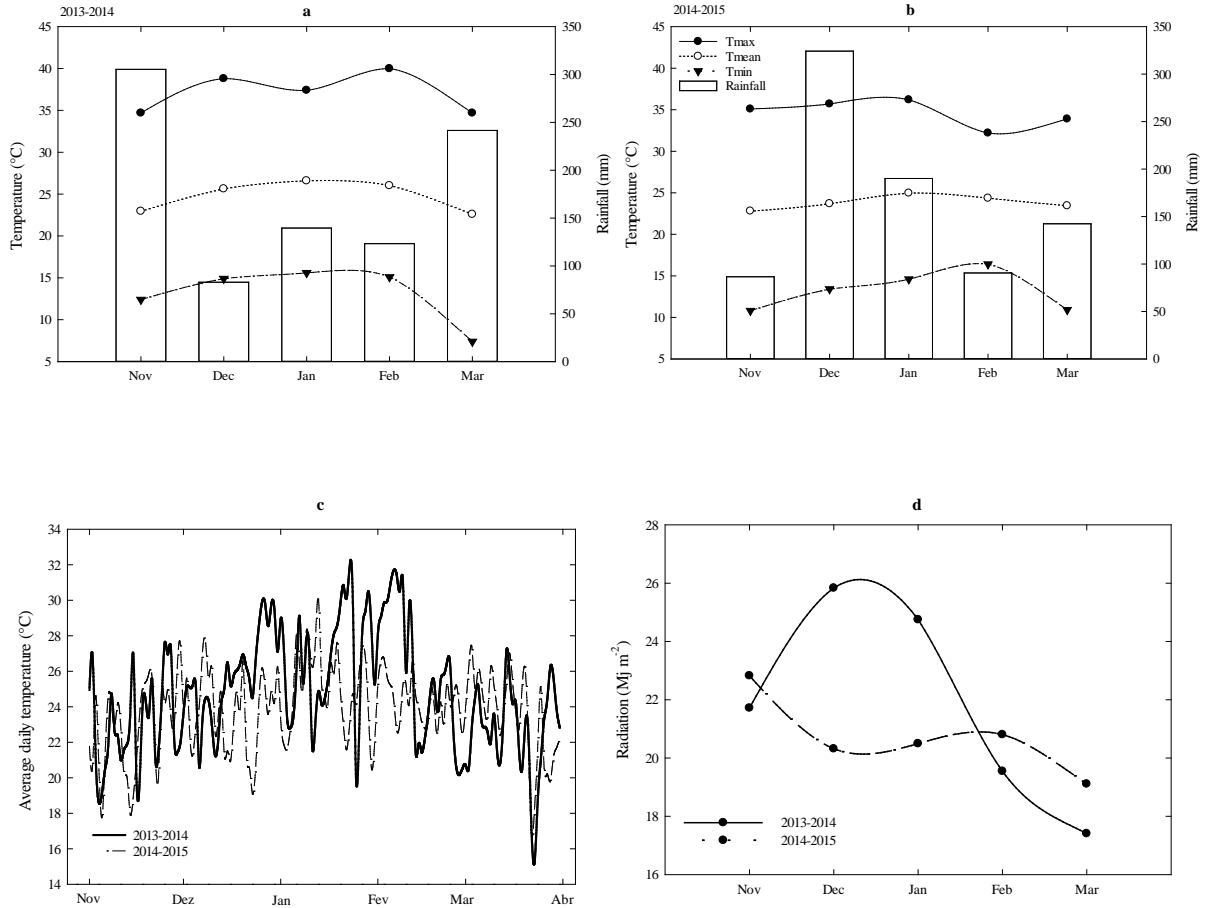


Figure 1. (a, b) Climograph of the experimental area, (c) average daily temperature and (d) radiation during the seasons 2013-2014 and 2014-2015.

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$

where: ET_o is reference evapotranspiration (mm day⁻¹), R_n, G and T are net radiation value at crop surface (MJ m⁻² day⁻¹), soil heat flux density (MJ m⁻² day⁻¹) and mean daily air temperature at 2 m height (°C), respectively. Also, u₂, e_s, e_a, (e_s - e_a), Δ and γ represent wind speed at 2 m height (ms⁻¹), saturation vapor pressure (kPa), actual vapor pressure (kPa), saturation vapor pressure deficit (kPa), slope of the saturation vapor pressure curve (kPa/°C) and psychrometric constant (kPa/°C), respectively. The crop evapotranspiration (ET_c) was calculated with the

method of dual crop coefficient for each crop phenological stage (Allen et al., 2006), (Equation 2) as follows:

$$ET_c = (K_{cb} + K_e) \times ET_o \quad (2)$$

where: ET_c crop evapotranspiration (mm), ET_o reference crop evapotranspiration (mm) and splitting K_c into two separate coefficients, the basal crop coefficient K_{cb} and soil water evaporation coefficient K_e .

Before the plants were transplanted randomly sampling points were selected in the experimental area, to determine basic soil parameters, including soil texture, bulk density, field capacity, and permanent wilting point (Table 2). Also, it was performed an infiltration test to design the irrigation system.

Table 2. Average soil attributes of the experimental area.

Soil layers (m)	Bulk density (g cm ⁻³)	Field capacity (m ³ m ⁻³)	Wilting point (m ³ m ⁻³)	Water content (m ³ m ⁻³)	Infiltration (mm h ⁻¹)	Texture
0-0.2	1.42	0.31	0.14	0.18		Loam
0.2-0.4	1.38	0.34	0.17	0.17	15.0	Clay-loam
0.4-0.6	1.36	0.37	0.23	0.13		Clay

The soil water content over the season was measured before and after irrigation every two days (four readings per experimental plot), with a portable time domain reflectometry (TDR-100). The two metallic sensor 0.2 m rods of the TDR were inserted vertically within the row between plants. Also monitoring was performed with neutron probe (CPN Model 503, DR), with calibration previous to execution of the experiment (Padrón et al., 2015a). PVC tubes (50 mm) were installed between row (1 m distance) and plant of each experimental plot at a depth of 0.7 m. Readings were performed once a week at 0.125, 0.30 and 0.50 m of soil depth.

Plant height and stem diameter was measured in ten plants per plot, sampled in a fifteen day interval. The absolute growth rate determination was done according to the formula described by Radford (1967). Equation (3), as follows:

$$AGR = \frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1} \quad (3)$$

where: AGR = absolute growth rate, W = mean plant height and mean stem diameter, T = time.

Leaf area index and leaf number per plant was measured in three plants randomly selected per experimental plot, which were sampled in a fifteen-day interval. Eight samples during the experiment were determined with the application of model (LI-COR, Inc., USA). The leaf chlorophyll index was determined once a week over the season in five leaves per plant, in each plot, using a chlorophyll meter (ClorofiLOG, CFL1030, FALKER). Dry weight of the plant was performed at the end of the culture cycle in five plants per plot, randomly selected. The samples were determined separately (root and vegetative top). The plant samples were dried at 65 °C until constant weight was obtained.

The main tasks of agricultural management were: weeding, weed control, insecticide and fungicide application and fertigation was according to the nutritional needs of the crop and chemical analysis of the soil. Fertigation was performed with irrigation (daily) at an irrigation rate of 40 t ha⁻¹. All plants received 368 kg ha⁻¹ of a complete fertilizer (13N-14P₂O₅-13K₂O), 290 kg h⁻¹ of ammonium nitrate (36% N) and 396 kg ha⁻¹ of potassium nitrate (35% K₂O). The statistical analysis was performed using the SPSS software package (SPSS V17.0). Significant differences between means for different treatments were compared using Tukey test at P≤0.05. Data from all years were pooled if no treatment interactions were found.

5.4 RESULTS AND DISCUSSION

The absolute growth rate of the plant height and diameter of stem for each treatment are shown in (Table 3). There was no significant interaction effect between treatments in open field and under shade mesh. On the other hand, the treatments under shade mesh showed higher growth rate. The stem diameter in open field and under shade mesh (P≤0.05), the treatments I_{0.75} and I_{1.0} showed the highest growth rate in open field and under shade mesh I_{0.25} and I_{0.50}. The treatments with lower growth rate were without irrigation.

The absolute growth rate of plant height and stem diameter during the crop cycle, for each treatment is shown in Figure 2. The height of the bell pepper plant showed a sigmoidal growth curve with a rapid vegetative growth from the transplanting until 65 days after transplantation (DAT). The maximum rate was of 1.1 cm day⁻¹ on open field in I_{0.75} and under shade was 70 DAT, with a maximum of 1.32 cm day⁻¹ in I_{0.50}, according to the results of polynomial regression curve. Valles et al. (2009), found out that pepper plants showed a sigmoidal growth curve in where a rapid vegetative growth from the transplanting until 47 DAT, moment from which the growth rhythm decreased toward 62 DAT. This change point in

growth rate corresponded with the formation of reproductive structures, which confirmed the undetermined growth of pepper plant.

Table 3. Average of the absolute growth rate of the plant height and stem diameter of the bell pepper in open field and under shade mesh.

Treat.	Open field		Shade mesh	
	Plant height (cm day ⁻¹)	Stem diameter (mm day ⁻¹)	Plant height (cm day ⁻¹)	Stem diameter (mm day ⁻¹)
I ₀	0.75	0.12 ^b	0.97	0.11 ^b
I _{0.25}	0.79	0.13 ^{ab}	1.01	0.13 ^a
I _{0.50}	0.85	0.13 ^{ab}	1.00	0.13 ^a
I _{0.75}	0.85	0.15 ^a	0.91	0.11 ^{ab}
I _{1.0}	0.81	0.14 ^{ab}	1.01	0.12 ^{ab}
Significance	ns	*	ns	*

Treat: Treatments, Letters indicate significant differences at *P≤0.05 and **P≤0.01.

The stem diameter showed rapid growth until 40 DAT in I_{0.75} and 43 DAT in I_{0.50} on open field and under shade, respectively. Under shade the growth rate is slower compared to open field conditions. Generally, in open field plots, lower plant height and higher stem diameter was observed. These results are similar to Díaz-Pérez (2013), that studied shade net levels in bell pepper, reporting that the stem diameter and the plant height were increased with increasing levels of shade. Stems under shade were thinner and presumably less lignified than those in higher light conditions. Also, Ayala et al. (2015), studying different shade mesh colors in bell pepper, reported that shading provide an increase in plant height. This effect occurs significantly with black mesh, beige, red and green, where the plants grew from 23.1 to 33.0% more than those grown in the open field. Similarly, Márquez et al. (2014), studied different shade mesh colors (30% shade) in the cultivation of cherry tomato and they recorded an increase in final plant height in all treatments compared to open field. The increase in plant height is a response of the reduced light. In this regard, Rylski and Spigelman (1986), studied the effect of different levels of shading (0, 12, 26 and 47% shading) in the development of sweet pepper plants cultivar 'Maor', reported that plant height increased as light intensity decreased (29.9, 30.3, 35.9 and 40.2 cm), respectively. The increase in plant height of shaded plants was a result of both internode elongation and node number, the apical growth was strongest under the lowest radiation.

The average of leaf area index and number of leaves per plant at 90 DAT, is shown in (Table 4). Treatments in open field and under shade mesh had significant interaction effect on the leaf area index and number of leaves per plant. In all plots under shade it could be seen a greater leaf area index and number of leaves per plant. In the open-field plots, I_{0.50} and I_{0.75}, had

a greater development during the crop cycle and under shade, $I_{1.0}$ and $I_{0.75}$ (Figure 3). In I_0 and $I_{1.0}$ open field plots, a less leaf area index was observed and under shade, I_0 and $I_{0.25}$. The leaf area index of $I_{0.50}$ was similar in both environments. It could be infer that the leaf area index was affected by the deficit and excess water. Generally, excess damp have an adverse effect on treatment with 50% shading, possibly optimal humidity is 50% of ET. Yildirim et al. (2012), observed that the plant development parameters of the bell peppers, such as plant weight, canopy and stem diameter, and LAI, decreased according to the amount of water applied from 367 to 164 mm.

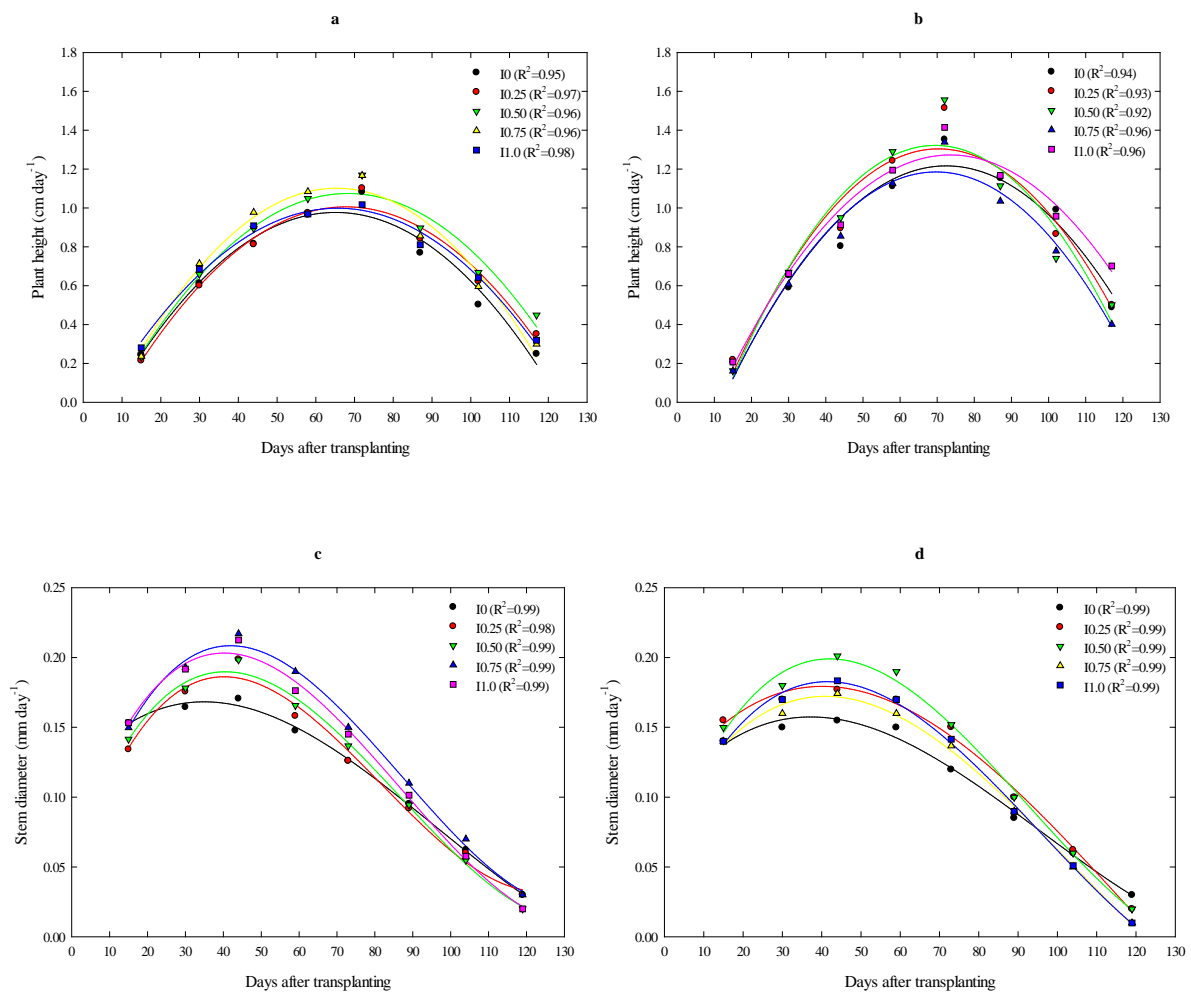


Figure 2. The absolute growth rates of the plant height and stem diameter of bell pepper in open field (a, c) and under shade mesh (b, d).

Good plant development in terms of whole plant weight, leaf area and LAI were observed in the full irrigation treatment, and those parameters were, 340 g plant^{-1} , 4012.9 cm^2 and 1.22. Excess water application did not increase the quality and development parameters of the peppers. Rylski and Spigelman (1986), reported leaf size increased as light intensity

decreased. In shaded environment, leaves were bigger, total leaf area measured between the first and the fourth flower node was about 60% greater than that on plants grown in full light. These results are similar with studies showing that pepper under shade has large internodes, larger leaves, greater leaf area, and thinner leaves (Kittas et al., 2008; Ayala et al., 2011; Díaz-Pérez, 2013).

Table 4. Average leaf area index and number of leaves per plant at 90 days after transplanting of the bell pepper in open field and under shade mesh.

Treat.	Open field		Shade mesh	
	Leaf area index	leaves per plant (number)	Leaf area index	leaves per plant (number)
I ₀	0.43 ^{cb}	119 ^{bb}	0.95 ^{bA}	187 ^{abA}
I _{0.25}	0.60 ^{bcB}	131 ^{abB}	0.95 ^{bA}	215 ^{bA}
I _{0.50}	1.01 ^{aA}	204 ^{aA}	1.13 ^{bA}	209 ^{aBA}
I _{0.75}	0.73 ^{bb}	144 ^{abB}	1.51 ^{aA}	269 ^{abA}
I _{1.0}	0.45 ^{cb}	121 ^{bb}	1.48 ^{aA}	316 ^{aA}
Significance	*	*	*	*

Treat: Treatments, Letters indicate significant differences at *P≤0.05 and **P≤0.01

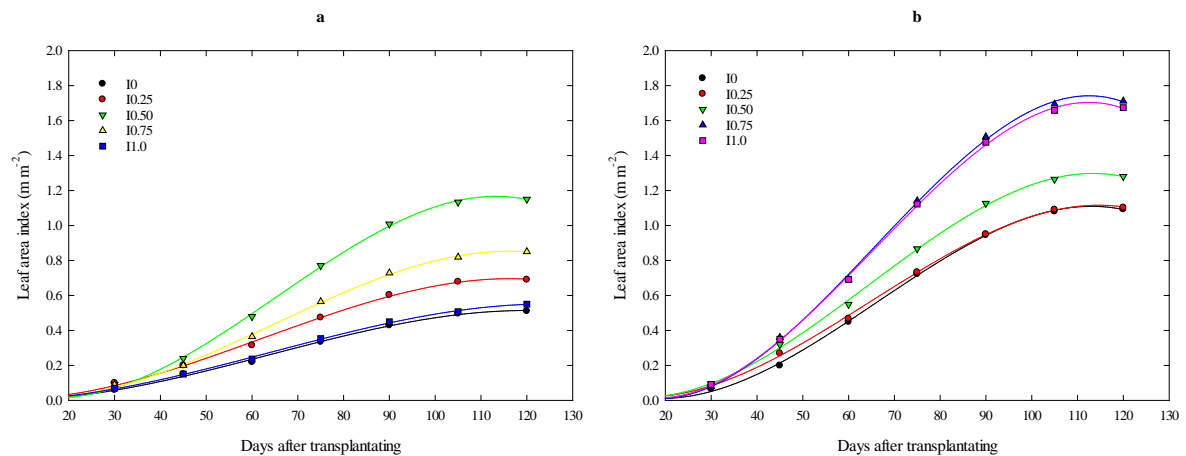


Figure 3. Leaf area index of the bell pepper in open field (a) and under shade mesh (b).

Chlorophyll index was higher in open plots in all measurements and irrigation shows no significant effect (Figure 4). However, in open field plots, it was observed a significant effect ($P \leq 0.05$) at 60 DAT, being I₀ the lowest. On the other hand, significant interaction between treatments in open field and under shade mesh was observed in 90 and 105 DAT. Díaz-Pérez (2013), studying shade levels in bell pepper, reported that chlorophyll index decreases as shading levels increase. Also they noted that a possible cause of inaccuracy under shade is related to the increased thickness of the leaf. Xiao et al. (2012), studying the effect of low light on the characteristics of photosynthesis and chlorophyll as fluorescence during leaf area

development of sweet pepper, reported that under low light chlorophyll content, net photosynthetic rate, photosynthetic apparent quantum efficiency and carboxylation efficiency of sweet pepper leaves increased gradually and decreased after reaching the maximum levels on 21st day under optimal light and the 42nd day under low light. Ferreyra et al. (1985), study chlorophyll content in pepper with different soil moistures, reported that with increasing soil moisture, apparently chlorophyll content decreases.

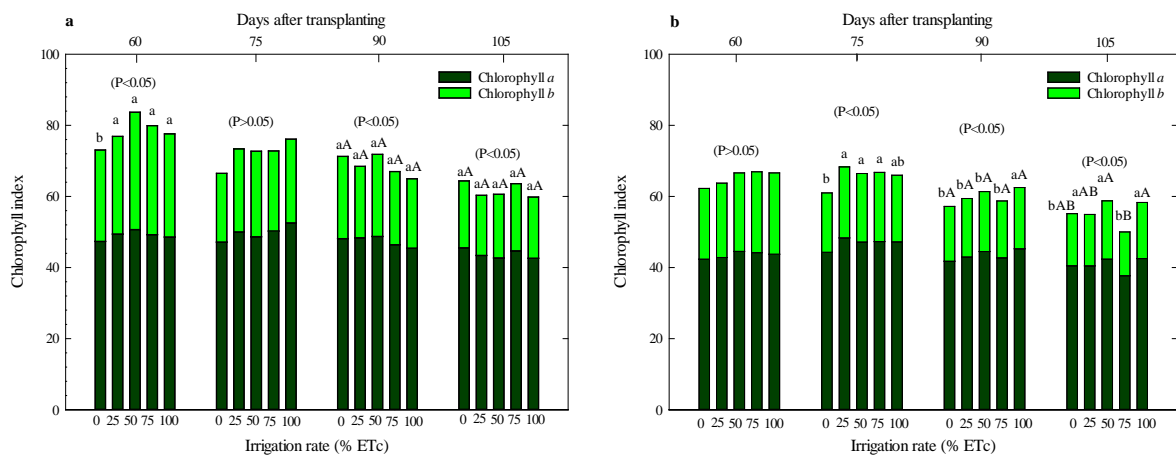


Figure 4. Chlorophyll content (index), Chlorophyll *a*, Chlorophyll *b* and Chlorophyll total of the bell pepper in open field (a) and under shade mesh (b).

The average stem weight, root and part vegetative top, is shown in (Table 5). The treatments in open field and under shade showed significant effect interaction on stem weight, root and part vegetative top ($P \leq 0.05$). The treatments $I_{0.75}$ and $I_{1.0}$ showed greater weight on part vegetative top in open field and under shade on $I_{0.50}$ and $I_{1.0}$. This result correlates with the leaf area index. Possibly open field plants are more lignified. Root development was higher in the treatments $I_{0.75}$ and $I_{1.0}$ in open field and under shade mesh on $I_{0.50}$ and $I_{0.75}$. This is due to excess moisture under shade, affecting soil aeration and consequently affecting root growth. In open field plots, weight of root and stem represent 21.9% and the aerial part of the plant 78.1%. The plant dry matter was 32.4 and 29.1%, in open field and under shade mesh, respectively.

The higher moisture content in soil was determined under shade mesh. Root development was mainly on 0 to 30 cm depth. Under shade, plants grew vigorously, leading to increased water consumption. On open field conditions, water consumption was lower, which contributed to low plant height and leaf area. Ferreyra et al. (1985), studied the effect of excessive use of water in pepper, reported that the total amount of root decreased markedly with excessive water application. Padrón et al. (2015b), studied irrigation levels in bell pepper, and

reported that a decrease in irrigation water of 60% ET, roots grown deeper and the adventitious roots are thicker. On 100% of ET, it has the highest vegetative growth. Nilsen and Orcutt (1996), reported that plants, as a strategy to increase water absorption capacity, increases the root surface, decreasing hydraulic resistance. This is common in plants known as wasteful water. Tambussi (2004), studying water saving plants, adopted as reverse strategy, minimizing water loss through various pathways, as: stomata closing and reducing perspiration cuticle, within this same line conservative procedure. It could be included plants that produce less biomass to suffer water stress and increasing the relative proportion of the radicular mass.

Table 5. Average of dry mass of stem, root and vegetative top of the bell pepper in open field and under shade mesh.

Treat.	Open field (g plant ⁻¹)			Shade mesh (g plant ⁻¹)		
	Vegetative top	Root and stem	Total	Vegetative top	Root and stem	Total
I ₀	117.7 ^{eB}	38.7 ^{cB}	156.3	157.8 ^{dA}	44.6 ^{bB}	202.4
I _{0.25}	141.3 ^{dB}	39.8 ^{cA}	181.1	150.5 ^{eA}	35.1 ^{dB}	185.6
I _{0.50}	145.1 ^{cB}	34.3 ^{dB}	179.4	228.4 ^{aA}	61.7 ^{aA}	290.1
I _{0.75}	206.7 ^{aA}	55.4 ^{bA}	262.0	164.2 ^{cB}	45.6 ^{bA}	209.7
I _{1.0}	201.7 ^{bA}	58.6 ^{aA}	260.3	179.9 ^{bB}	41.9 ^{cB}	221.8
Sig.	*	*	-	*	*	-

Treat: Treatments, Letters indicate significant differences at *P≤0.05 and **P≤0.01. Sig: Significance.

5.5 CONCLUSIONS

The determination of irrigation optimum levels provides vegetative and sustainable production characteristics. The cultivation of bell pepper with daily irrigation interval in a condition of 50% shading is recommended with the application of 0.50 of ET_c and in open field 0.75 of ET_c. These levels are not affected by the vegetative parameters of the crop.

5.6 CONFLICT OF INTEREST

The authors have not declared any conflict of interest.

5.7 ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the Gran Mariscal de Ayacucho Foundation; Federal University of Santa Maria and Polytechnic School of Federal University of Santa Maria by for support.

REFERENCES

- Adams P (1992). Crop nutrition in hydroponics. In symposium on soil and soilless media under protected cultivation in mild winter climates. 323:289-306.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (2006). Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO. Irrigation and Drainage Paper N°56, FAO, Rome, p. 298.
- Ayala TF, Sánchez MR, Partida RL, Yáñez, JMG, Ruiz EHF, Velázquez ATJ, Valenzuela LM, Parra DJM (2015). Bell pepper production under colored shade nets. Rev. Fitotecnia Mexicana. 38(1):93-99.
- Ayala TF, Zatarain LDM, Valenzuela LM, Partida RL, Velázquez ATJ, Díaz VT, Osuna SJA (2011). Growth and yield of tomato in response to sun radiation transmitted by shade nets. Terra Latinoamericana. 29:403-410.
- Biscoe PV, Gallagher JN (1978). Physical analysis of cereal yield. Production of dry matter. Agric. Progress pp. 34-50.
- Boztok K (2003). Sera sebze yetiştiriciliğinde solar radyasyon a gör esulama, Türkiyeve Seracılık Sempozyumu. İzmir, pp. 109-117.
- Deli J, Tiessen H (1969). Interaction of temperature and light intensity on flowering of *Capsicum frutescens* var. *grossum* cv. California Wonder. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 40:493-497.
- Díaz-Pérez JC (2013). Bell Pepper (*Capsicum annuum* L.) crop as affected by shade level: microenvironment, plant growth, leaf gas exchange, and leaf mineral nutrient concentration. Hortscience. 48(2):175-182.
- Echer MM, Fernandes MCA, Ribeiro RLD, Peracchi AL (2002). Evaluation of *Capsicum* genotypes for resistance to the broad mite. Hortic. Bras. 20(2):217-221.
- Ferreira ER, Sellés VSG, Tosso TJ (1985). Effect of different amounts of water applied to peppers. Effect of excessive soil humidity. Agricultura Tecnica. 45(1):47-51.
- Filgueira FAR (2003). Solanáceas: agrotecnologia moderna na produção de tomate, batata, pimentão, pimenta, berinjela e jiló. Lavras, MG: UFLA, p. 331.
- Kara HO, Yıldırım M (2015). Water and radiation use efficiencies of pepper (*Capsicum annuum* L. cv. Carliston). Scholars J. Agric. Vet. Sci. 2(2A):87-93.
- Kittas C, Rigakis N, Katsoulas N, Bartzanas T (2008). Influence of shading screens on microclimate, growth and productivity of tomato. In: International Symposium on Strategies Towards Sustainability of Protected Cultivation in Mild Winter Climate. 807:97-102.
- Lopes WDA, Negreiros MZD, Dombroski JLD, Rodrigues GSDO, Soares AM, Araújo ADP (2011). Growth analysis of tomato plants “SM-16” cultivated under different mulching. Hortic. Bras. 29(4):554-561.

Marouelli WA, Silva WLC (2012). Irrigação na cultura do pimentão. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária(Embrapa Hortaliças). Circular Técnica 101:20.

Márquez QC, Robledo TV, Benavides MA, Vázquez BME, Cruz LE, Estrada BMA, López EST (2014). Shade nets: an alternative to increase the cherry tomato production. *Ecosistema y Recursos Agropecuarios*. 1(2):175-180.

Monte JA, Pacheco AS, Carvalho DF, Pimentel C (2009). Influence of the irrigation schedule on growth and production of tomato during summer. *Hortic. Bras.* 27(2):222-227.

Nilsen ET, Orcutt DM (1996). *Physiology of plants under stress. Abiotic factors*. John Wiley & Sons (Eds.) Inc. New York, pp. 199-230.

Oliveira AD, Carvalho DF, Pereira JBA, Pereira VDC (2015). Growth and yield of sweet pepper under two cropping systems. *Rev. Caatinga*. 28(1):78-89.

Olle M, Bender I (2009). Causes and control of calcium deficiency disorders in vegetables: A review. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 84(6):577-584.

Padrón RAR, Nogueira HMCM, Cerquera RR, Albino GD, Nogueira CU (2015a). Characterization physical-hydric of the yellow argisol soil for establishment of project and irrigation management. *Acta Iguazu*. 4(1):36-47.

Padrón RAR, Ramírez LR, Cerquera RR, Nogueira HMCM, Mujica JLU (2015b). Vegetative development of culture bell pepper with levels and frequencies of irrigation. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*. 9(2):49-55.

Prieto M, Peñalosa J, Sarro MJ, Zornoza P, Gárate A (2003). Growth and nutrient uptake in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) as affected by the growing season, pp. 362-365. In: Proc. Int. Fert. Soc. Dahlia Greidinger Symposium "Nutrient, Substrate and Water Management in Protected Cropping Systems".

Radford PJ (1967). Growth analysis formulae: Their use and abuse. *Crop Sci.* 7(3):171-175.

Rylski I, Spigelman M (1986). Effect of shading on plant development, yield and fruit quality of sweet pepper grown under conditions of high temperature and radiation. *Sci. Hortic.* 29:31-35.

Silva PIB, Negreiros MZD, Moura KKCDF, Freitas FCLD, Nunes GHDS, Silva PSL, Grangeiro, LC (2010). Growth of green pepper in different spatial arrangements. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 45(2):132-139.

Souza VF, Marouelli WA, Coelho EF, Pinto JM, Coelho FMA (2011). Irrigação e fertirrigação em fruteira e hortaliças. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (Informação Tecnológica), pp. 721-736.

Steduto P (2003). Biomass water-productivity. Comparing the growth-engines of crop models. In: FAO Expert Meeting on Crop Water Productivity Under Deficient Water Supply, Rome, pp. 26-28.

Streck EV, Kämpf N, Dalmolin RSD, Klamt E, Nascimento PC, Schneider P, Giasson E, Pinto LFS (2008). *Solos do Rio Grande do Sul*, 2 ed. Porto Alegre, EMATER/RS-ASCAR, P. 222.

Tambussi EA (2004). Fotosíntesis, Fotoprotección, Productividad y Estrés Abiótico: algunos casos de estudios. Universidad de Barcelona. Departamento de Biología Vegetal, P. 231.

Trani PE, Carrijo OA (2004). Fertirrigação em hortaliças. Campinas: Instituto Agronômico, (Boletim Técnico IAC, 196), P. 58.

Valipour M (2014a). Assessment of different equations to estimate potential evapotranspiration versus FAO Penman Monteith method. *Acta Adv. Agric. Sci.* 2(11):14-27.

Valipour M (2014b). Analysis of potential evapotranspiration using limited weather data. *Appl. Water Sci.* pp. 1-11.

Valipour M (2014c). Application of new mass transfer formulae for computation of evapotranspiration. *J. Appl. Water Eng. Res.* 2(1):33-46.

Valipour M (2015a). Calibration of mass transfer-based models to predict reference crop evapotranspiration. *Appl. Water Sci.* pp. 1-11.

Valipour M (2015b). Evaluation of radiation methods to study potential evapotranspiration of 31 provinces. *Meteorol. Atmos. Phys.* 127(3):289-303.

Valipour M, Eslamian S (2014). Analysis of potential evapotranspiration using 11 modified temperature-based models. *Int. J. Hydrol. Sci. Technol.* 4(3):192-207.

Valles RGJ, Lugo GJG, Rodríguez GZF, Díaz TLT (2009). Effects of substrate and plant spacing on growth of pepper (*Capsicum annuum* L.) plants in hydroponic system without cover. *Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia* 26(2):159-178.

Xiao LS, Sheng-Li M, Li-Hao W, Bao-Xi Z, Zhen-Xian Z (2012). Effect of low light on the characteristics of photosynthesis and chlorophyll *a* fluorescence during leaf development of sweet pepper. *J. Integr. Agric.* 11(10):1633-1643.

Yildirim M, Demirel K, Bahar E (2012). Effect of restricted water supply and stress development on growth of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) under drought conditions. *J. Agro Crop Sci.* 3(1):1-9.

6 ARTIGO 3 – ECONOMIC ANALYSIS IN BELL PEPPER CROP ON OPEN FIELD PRODUCTION SYSTEM AND UNDER IRRIGATION DEPTHS³

Richard Alberto Rodríguez Padrón, Alexandre Swarowsky, Alfredo Schons, Pancrácio Cánepa, Pablo Gamazo

6.1 ABSTRACT

In agriculture, the search for higher net profit is the main challenge in the economy of the producer. This study aims at the economic analysis in the bell pepper crop on open field production system and under different irrigation depth. Irrigation treatments consisted in 0.25, 0.50, 0.75 and 1.0 (rate of crop evapotranspiration) and the control (no-irrigation). Two trials were conducted in the 2013-2014 and 2014-2015 season from September to March. The determination of the costs of crop production was based on the methodology of the total cost and gross operating revenues calculated based at the producer level. The lowest yield was obtained with the open field treatment and the highest with irrigation rate of 0.75 of evapotranspiration, with internal rate of return of 0.29 and 0.84 respectively. The net profit for rainfed agriculture for a simulated 10 years of study, projections oscillate between R\$ 6,000-13,000, and with irrigation rate of 0.75 between R\$ 38,000-48,000. The investment of the irrigation system is justified, as a supplementary tool for production, necessary for profitability in the crop. The cultivation is economically profitable and has a fast return of investment.

Key words: *Capsicum annuum*, financial indicators, profitability, rainfed, drip irrigation.

Análise econômica no cultivo do pimentão cultivado em campo aberto e sub lâminas de irrigação

6.2 RESUMO

Na agricultura, a busca do lucro líquido mais elevado e minimizar os custos de produção é o principal desafio da economia do produtor. O estudo teve como objetivo realizar a análise econômica no cultivo do pimentão cultivado em campo aberto e comparar agricultura de

³Artigo publicado no 20 de maio de 2016, na revista Acta Iguazu, volumnem 5, número 1, páginas 11-21.

sequeiro com diferentes lâminas de irrigação. Os tratamentos de irrigação consistiam em 0,25, 0,50, 0,75 e 1,0 da taxa de evapotranspiração da cultura e m tratamento controle (sem irrigação). Dois experimentos foram realizados na temporada de setembro a março 2013-2014 e 2014-2015. A determinação dos custos de produção do cultivo, foi baseado na metodologia do custo operacional total e os ingressos brutos foram calculados com base no nível do produtor. A menor rentabilidade foi obtida com o tratamento sem irrigação e a mais alta com taxa de irrigação de 0,75 da evapotranspiração, com taxa interna de retorno de 0,29 e 0,84, respectivamente. O lucro líquido sem irrigação para 10 anos de estudo, oscilam entre R\$ 6.000-13.000, e com taxa de irrigação de 0,75 entre R\$ 38.000-48.000. Justifica-se o investimento no sistema de irrigação, como ferramenta de produção suplementar, necessária para a rentabilidade na cultura. O cultivo é economicamente rentável e rápido retorno do investimento.

Palavras-chave: *Capsicum annuum*, indicadores financeiros, rentabilidade, sequeiro, irrigação por gotejamento.

6.3 INTRODUCTION

The production of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) is a significant activity for the Brazilian agricultural sector, the area cultivated is about 13 thousands hectares annually, approximately 290 thousands of tons of fresh fruit, generally grown on open field, especially during the dry season and irrigation is a fundamental practice to meet the water demand of plants (Marouelli and Silva, 2012). From the economic point of view, it is among the top ten vegetables in the domestic market, being a crop that due to the short period for the start of production provides a rapid return on investment, which is widely exploited by small and medium producers (Marcussi and Boas, 2003).

Bell pepper production, permanently faces a series of risks such as: constant variation in prices paid to producers, poor performance due to the heterogeneity of management practices applied, commercial competition produced on open field that generate a permanent imbalance in the productive chain, as well as uncertainties about the real profitability. In addition, it is essential to understand the cost of water, which in the future, will demand that this resource is applied with economic efficiency and effectiveness. According to Roas (2001), the water in its natural conditions has an economic value. Its value derived from direct use (irrigation, industry, recreation, etc.), indirect use value (habitat, contaminants debugger, etc.), non-use value of existence and legacy (scenic beauties, cultural sites, historical sites) and option value

(biodiversity habitat, potential use and non-use). The cost of water is composed of capital costs, operation, maintenance, reliability of supply, and the opportunity cost of externalities imposed on society by their use. Also, Harou et al. (2009), say that a key to efficient water allocation concept is that the economic value of water and costs vary according to the amount used. In addition, factors such as location, water use (agricultural, industrial and residential consumption), availability of resources (abundance or shortage), also affect the economic value. Moreover, Booker et al. (2012), state that the use of water by farmers, including irrigated agricultural production and various industrial uses are among the largest in the world. Irrigation in the agriculture processes are one of the most significant factors in water use being even more important in countries with arid and semi-arid regions. Therefore, determining the economic value of water to users is an important tool to support the management of water resources in making decisions about public policies that lead to efficiency in water use and minimize shortage.

The estimation of production profit from the combination of available resources has been the subject of several studies. Frizzone (1993), says that among the factors of production, water and nutrients limit performance more frequently; therefore, control of irrigation and soil fertility are essential criteria for the success of agriculture. Moreover, Paz et al. (2002), is in arid or semi-arid regions where water is scarce and in humid regions, optimization of production depends on the rational use of water resources. Carvalho et al. (2011), state that the management of irrigation system should provide appropriate measures to improve the development and productivity of crop conditions. Therefore, an irrigation project should allow maximizing the efficiency of water use, rational management and minimize costs, investment and operation, so that the activity is economically viable and sustainable.

The use of production functions allows project useful solutions in optimizing the efficient use of water for irrigation and forecasting yields in agriculture (Frizzone, 1987). To determine the economic benefits of irrigation, it is necessary to know the quantity expected in production, according to the depths of water applied (Bernardo, 2006). Graphical or mathematical function of this relationship is called production function (water-culture). According, to Reis et al. (1999), the production function is a technical relationship between a possible specific set of factors included in the production process and the product obtained with the technology used and the analysis of production costs is crucial to determine the efficiency of economic profitability study of the resources used.

Through economic and financial analysis, one can identify strengths and weaknesses in terms of technical and economic performance, allowing decision-making actions of direct

investment at any time and in this way constituting a better management of the use of available resources. Due to the above, this study aims to the development of economic analysis of the bell pepper crop, cultivated on open field production system and under different irrigation depth, compared to rainfed agriculture.

6.4 MATERIAL AND METHODS

The study was conducted in the experimental area of the Polytechnic School of the Federal University of Santa Maria, located at an altitude of 110 meters and geographically at coordinates 29° 41' 25" S, 53° 48' 42" W, for the spring-summer seasons of 2013-2014 and 2014-2015. The soil is classified as loam, types of Ultisols (Streck et al. 2008), and described in the physical-hydric characteristics by (Padrón et al., 2015a). The climate of the region is humid subtropical (Cfa) according to the classification of Köppen.

The experimental was in a randomized complete block design with four replications. The irrigation treatments were 0.25, 0.50, 0.75 and 1.0 of crop evapotranspiration and a control treatment without irrigation. There were established 20 experimental plots, each one with 5.0 m long and 4 m wide (20 m²), for a total area of 400 m², not including the edge plants. The variety of bell pepper was Arcade, widely used in the region. The seedlings are transplanted on field with two months of age, with a separation of 1.0 m between rows and 0.4 m between plants (plant density of 2.5 plants m⁻²), on November 16, 2013 and November 23, 2014.

It was used a localized irrigation system (drip), by installing a lateral row, the emitters with a spacing of 0.2 m and flow rate of 0.8 L h⁻¹. In each experimental plot size, were installed: a ball valve to regulate the irrigation time and pressure control valves for uniformity. The irrigation strategy were: during the first 20 days after transplantation were applied 100% of crop evapotranspiration to all irrigated treatments to ensure the establishment of plants. The irrigation depth was applied from 20 days to 119 days after transplantation and the frequency of daily irrigation was established. The evaporation of reference crops is calculated based on the method of Penman-Monteith/FAO. The crop evapotranspiration was calculated with the method of crop coefficients for each phenological stage ($k_{c_{ini}}= 0.6$; $k_{c_{mid}}= 1.15$; $k_{c_{end}}= 0.8$) (Allen et al., 2006). The meteorological data were obtained from the automatic weather station located 1.0 km from the experimental area, on a daily basis; weather station recorded maximum and minimum temperature; relative humidity of air maximum and minimum; wind speed; insolation and rainfall.

The crop was harvest weekly for two months (from 60 days to 120 days after transplantation) in the years of study. The yield was determined in 20 plants per experimental plot size, located in the middle row. The methodology used in the production cost structure and total operating cost of production, was proposed by (Matsunaga et al., 1976; Rezende et al., 2009). This structure takes into account the actual disbursements made by the producer during the production cycle covering the costs of labor, repairs and maintenance of machinery, implements and specific inputs, machinery operations and the amount of depreciation machinery, instruments and specific improvements used in the production process.

To obtain the function of net profit margin is used the regression analysis between the dependent variables (net profit) and the independent variable (depth of irrigation applied), adjusted by the quadratic equation (Equation 1) as follows.

$$y = a + b x + c x^2 \quad (1)$$

where: y = net profit (R\$); x = depths of water applied (mm); a , b , c = equation parameters. Also, is calculated the point of maximum economic efficiency of irrigation water to maximize net profit (Equation 2) as follows.

$$X_{max} = \frac{-b}{2c} \quad (2)$$

The profit of production is determined from the difference in value of commercial yield, irrigation water costs and fixed costs of production system, in this item is included in the cost of the irrigation system (Equation 3) as follows.

$$L(x) = P_y y - P_x x - c \quad (3)$$

where: $L(x)$ = profit (R\$ h^{-1}); $P(y)$ = price of the product (R\$ kg^{-1}); y = yield ($kg\ ha^{-1}$), $P(x)$ = price of irrigation water (R\$ mm^{-1}); x = total depths water applied (mm), c = cost of fixed factors (R\$ ha^{-1}).

To determine the maximum profit was calculated the first order derivative (Equation 3), with respect to (x) was calculated and the equation obtained is equalized in relation to the price of water (P_x) and production (P_y). In this way, the optimum depths that maximizes profit (Equation 4) as follows.

$$x_{\text{opt}} = \frac{P_x - P_y b}{2 P_y c} \quad (4)$$

The average price of production was obtained at the producer level, referring to periods of crops, stipulating R\$ 2.0 kg⁻¹. The cost of water for irrigation was obtained according to the company of Technical Assistance and Rural Extension (EMATER-RS), the value of water in the central region of Rio Grande do Sul, is considered as follows; (a) to supply water for irrigation to the agricultural property by gravity, it is charged around 8-10% of the yield per hectare; (b) to supply irrigation water to the agricultural property, requires pumping system, it is charged around 14% of the yield per hectare. The variable costs were obtained considering: workmanship of the irrigation system, fertigation, application of fungicides and insecticides and agronomic crop management. Fixed costs include: cost drip irrigation system, staking, reinforced concrete pole, poles, wire 12 and 20. The input prices were collected from both agricultural harvests and the dollar for calculations was established at a rate of R\$ 3.5.

The analysis was performed from the economic and commercial point of view in the different irrigation depths. To set the project's profitability, it was determined: the net present value (NPV), internal rate of return (IRR), the cost-benefit ratio (B/C) calculated for 10 years of analysis and assuming annual interest rate of 10%.

6.5 RESULTS AND DISCUSSION

Evapotranspiration and effective rainfall in the 2013-2014 season were 560.0 mm and 345.1 mm respectively, for the 2014-2015 season were 500.7 mm and 543.8 mm respectively, showing a difference of 60.7 mm and 198.7 mm, respectively. The maximum interval between rainfalls in the 2013-2014 season was 13 days and in the 2014-2015 season was 11 days. Furthermore, in both seasons the minimum interval was 1 day, with 9 and 8 frequencies, respectively.

Investment costs for the production of bell pepper in rainfed and under irrigation, are shown in (Table 1). Overall, comparing the variables that influence production, excluding the value of land, inputs represent 47%-54%, services 29%-23% and harvesting 24%-23% of total cost in rainfed and under irrigation, respectively. The supplies represent the largest percentage of investment, in both cases, requiring greater investment in staking and irrigation system, with 53%-39%, respectively. This is also, affected by devaluation, availability and scarcity of products, among others. The costs in the work of harvesting are next to services; the

concentrated harvest requires more labor in a short time and the highest cost services is the work of staking. Rainfed plots showed higher percentage of investment in the work of services and irrigation plots on inputs because it is included the cost and management of the irrigation system. Fixed costs represent 35%-44% and variable costs 65%-56% in rainfed and irrigation, respectively. Variable costs are affected by the change in the value of inputs and fixed costs are affected by depreciation, lack of maintenance and/or deterioration, and therefore the replacement of the equipment. McCoy et al. (2013), conducted economic analysis of the bell pepper crop under shade net, reported that variable costs represented 75% of total costs and fixed costs are responsible for the remaining 25%, also, conclude that in general, the economic sustainability of netting under cultivation shadow seems profitable and it is more attractive to producers with adverse climate risk. Also, Sreedhara et al. (2013), reports that among the tools for implementation, the cost of network structure shading was the main cost item, accounting for 66.4%, the value of land 20.3%, the structure of irrigation 6.2%, the electrical structure 5.4% and soil preparation 1.7%.

Table 1. Investment costs for one hectare of bell pepper cultivated on open field in rainfed and under irrigation.

Variable	Rainfed		Under irrigation	
	R\$ ha ⁻¹	US\$ ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	US\$ ha ⁻¹
Supplies	14,230.0	4,065.7	25,350.0	7,242.9
Services	8,898.0	2,542.3	10,698.0	3,056.6
Harvest	7,350.0	2,100.0	10,950.0	3,128.6
Cost total	30,478.0	8,708.0	46,998.0	13,428.0
Fixed costs	10,530.0	3,008.6	20,530.0	5,865.7
Variable costs	19,948.0	7,048.0	26,468.0	7,562.3

The yield, average irrigation depths, gross profit and net profit, are shown in (Table 2). The irrigation rate that maximizes yield in bell pepper crop is 69.4% of evapotranspiration and technical efficiency maximum of yield of 33,534.2 kg ha⁻¹ with irrigation depths of 239.2 mm (Padrón et al., 2015b). From these results, the net profit is determined by selecting irrigation rates, showing higher yield (69.4% and 75% of evapotranspiration), not including the value of water, obtaining R\$ 40,600.4 and R\$ 43,732.0 respectively. The difference in net profit between irrigation rates is R\$ 3,131.6 and the average depth of irrigation of 43 mm. The minimum profit was obtained without irrigation with R\$ 11,852.0, including the value of water to the difference of the average depths it was obtained R\$ 1,064.7 and R \$ 1,862.9, when the irrigation water is supplied properly by using gravity and pumping system, respectively. Determining the maximum technical efficiency of irrigation on crops, savings obtained in irrigation water

consumption, increased yield and net profits. Rezende et al. (2005), obtained similar results, reporting net profit of R\$ 48,847.98, in intercropping bell pepper and lettuce, where yield of these items individually was 61% and 72% lower, respectively. In addition, it was reported on monoculture of bell pepper a net profit of R\$ 19,060.34. As well as Rezende et al. (2009), reported net profit associated to bell pepper and lettuce of R\$ 44,138.34. In order to maximize productivity and net profit, the producer need to improve crop management practices.

Table 2. Yield, average irrigation depth, gross profit and net profit in bell pepper cultivated on open field by each crop cycle.

Irrigation rate (ETc)	Irrigation depth applied (mm)	Yield ^z (kg ha ⁻¹)	Gross profit		Net profit	
			R\$	US\$	R\$	US\$
0	-	15,900.0	31,800.0	9,086.0	11,852.0	3,386.3
0.25	85.4	24,460.0	48,920.0	13,977.0	22,452.0	6,414.9
0.50	170.8	32,370.0	64,740.0	18,497.0	38,272.0	10,934.9
0.75	256.2	35,100.0	70,200.0	20,057.0	43,732.0	12,494.9
1.00	341.7	28,130.0	56,260.0	16,074.0	29,792.0	8,512.0

^(z)Font: (Padrón et al., 2015b).

The estimation of the economic value of irrigation water, are shown in (Table 3). According to the methodology established for the value of water, when lower irrigation depths are applied and lower yield is obtained, greater are the value of water, regardless of the water supply system for this study. Carvalho et al. (1996), calculated the value of water depth (R\$ mm⁻¹), obtained from the average of the experimental data, considering the value of the energy for irrigation, calculating the value of the unitary water depths applied at R\$ 1.10 per mm⁻¹. Also, the component costs of irrigation water will be used by employees (Melo, 1993 cited by Carvalho, 1995), reporting the costs of pumping of 1.0 mm of water depth: demand at 1.14%, energy at 46.2%, labor at 31.48% and maintenance and repairs at 21.77%.

Table 3. The estimating the economic value in different irrigation depth.

Irrigation rate (ETc)	Pumping system	Gravity system
	R\$ mm ⁻¹	R\$ mm ⁻¹
0.25	80.18	45.82
0.50	53.06	30.32
0.75	38.35	21.92
1.00	23.05	13.17

The net profit including the value of proper irrigation water supply by using gravity and pumping system, are shown in (Figure 1). The maximum economic efficiency, with gravity

system showing net profit of R\$ 37,548.3, and the pumping system showing a net profit of R\$ 33,375.7, with a difference of R\$ 4,172.7, excluding the cost of fuel and electricity. The methodology established in the region, regarding the value of water, is an alternative without impairing the profit of the producer. Other methodologies could also, be tested, as volumetric meter installed in each property, flat rate per hectare or per year fixed rate, among others. In this sense, Roas (2001) mentions different methods to measure the value of water, describing the techniques for resource valuation as intermediate good, highlighting the residual method divided into derivation of the residual value and change in net income; and the alternative cost method. Valuation techniques add water as a commodity, both private and public. On the other hand, it's up to the managers of this income to provide investment to the preservation and conservation of water resources. Also, as an alternative, it is being used in family farming, the use of rainwater as the main source, contributing to income and agricultural profitability.

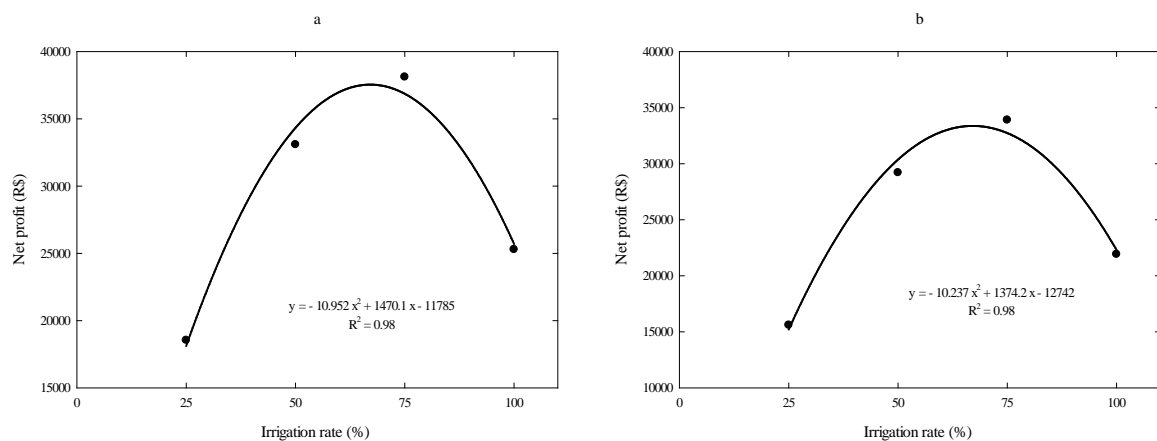


Figure 1. The net profit in bell pepper, when irrigation water is supplied properly by gravity (a) and using pumping system (b) according to irrigation rate.

The financial indicators of bell pepper cultivated on open field and different irrigation depths, are shown in (Table 4). All under irrigation treatments showed net profit and internal rate of return with positive value. The lower economic return was showed by the treatment without irrigation and the greater economic return was showed by the treatment rate of 0.75 of evapotranspiration. With this perspective, it can be estimated that with an investment of R\$ 46,998.0, the investment can be recovered in two years under irrigation and under rainfed, in three years, with one crop cycle per year. According to the results of the net present value, the investment would produce earnings above the expected return and the project is profitable. Rezende et al. (2005), reported the internal rate of return of 4.78 in bell pepper monoculture.

When associated with lettuce crop, the rate went to 8.2. On the other hand, Ayoola (2014), compared the economic performance of tomato, under irrigation and rain fed systems, with the aim of assessing the determinants of its profitability. The economic efficiencies were 1.380 and 0.986 for irrigated and rain-fed systems respectively and the conclusion was that tomato is more profitable and economically efficient under irrigation. Adewumi et al. (2005), state that tomato farming under small-scale irrigation systems is profitable, with a rate of return to investment greater than 1. Also, Gani and Omonona (2009), confirmed greater profitability and economic efficiency for maize production under irrigation system relative to rain-fed system.

Table 4. Financial indicators calculated for 10 years in bell pepper, cultivated on open field and different irrigation depths.

Irrigation rate (ETc)	NPV	IRR	Benefit (R\$)	Cost (R\$)	Relation (B/C)
0	31,793.10	0.29	348,201.13	273,692.9	1.27
0.25	72,438.69	0.38	535,660.35		1.40
0.50	177,251.11	0.72	708,884.94		1.85
0.75	213,425.30	0.84	768,670.41	383,295.5	2.01
1.00	121,068.47	0.54	616,031.30		1.61

IRR: internal rate of return; NPV: current net value; B/C: benefit/cost relation.

The net profit projected in rainfed system with 10 years of simulated study range from R\$ 6.000-13.000, and irrigation rate of 0.75 between R\$ 38.000-48.000. The difference in net profit between these two hypotheses for 10 years of production represents 45%. In agriculture, the search for the greatest net profit, lower production costs is the main challenge in the economy of the producer. In this regard, it is important to know the risk involved in the acquisition of technology. In irrigated agriculture, it requires investments, primarily in the design, construction, equipment, transportation, control and distribution of water, including energy costs, labor to operate the system, representing additional significant costs. However, investment returns to producer with the product quality and higher yield.

The charge for the use of the water was the factor that most influenced in the annual net return with increase of 12.5% of the net cost. This study sample the average values of cost-benefit for irrigation rate of 0.5 and 0.75 were higher than 2.00, indicating economic viability. The use of the irrigation system for the region under study is indicated due to the economic viability and the decrease economic risks lower than the use of rainfed system, considering the appropriate management for drip irrigation.

6.6 CONCLUSIONS

The bell pepper crop on open field conditions is economically profitable and has a fast return of investment. Despite the frequent rainfall in the area, the investment is justified from an economic point of view in the drip irrigation system, as a supplementary tool production necessary, to get a cost-effective yield, with management strategy as the frequency of daily irrigation and irrigation rate between 65%-75% of evapotranspiration, optimizing the efficient water use. The producer, to improve crop management practices, achieve higher productivity and maximize the return of profit to the extent possible, may amend the net profits.

REFERENCES

- ADEWUMI, M.O.; OMOTESHO, O.A.; BELLO, T. Economics of irrigation farming in Nigeria: a case study of tomato based farming in Sokoto State, Nigeria. **International Journal of Agriculture and Rural Development**, South Africa, v.6, n.1, p.103-110, 2005.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration** (guidelines for computing crop water requirements). FAO. Irrigation and Drainage, paper N° 56, FAO, Rome, Italy, 2006, 298p.
- AYOOLA, J.B. Comparative economic analysis of tomato (*Lycopersicon esculenta*) under irrigation and rainfed systems in selected local government areas of Kogi and Benue States, Nigeria. **Journal of Development and Agricultural Economics**, Nigeria, v.6, n.11, p.466-471, 2014.
- BERNARDO, S. Manejo da Irrigação na cana-de-açúcar. **Revista Alcoolbrás**, São Paulo, v.106, p.72-80, 2006.
- BOOKER, J.F.; HOWITT, R.E.; MICHELSEN, A.M.; YOUNG, R.A. Economics and the modeling of water resources and policies. **Natural Resource Modeling Journal**, United Kingdom, v.25, n.1, 2012.
- CARVALHO, J.A.; BERNARDO, S.; SOUSA, E.F. **Cálculo do custo de energia para irrigação**. Campos dos Goytacazes: UENF, p.13, Boletim Técnico 1, 1996.
- CARVALHO, J.A.; REZENDE, F.C.; AQUINO, R.F.; FREITAS, W.A.D.; OLIVEIRA, E.C. Productive and economic analysis of red-pepper under different irrigation depths cultivated in greenhouse. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.6, p.569-574, 2011.
- FRIZZONE, J.A. **Funções de resposta das culturas à irrigação**. Piracicaba: ESALQ/DER, 53p. Série Didática 6, 1993.

FRIZZONE, J.A. **Funções de resposta do feijoeiro ao uso do nitrogênio e lâmina de irrigação**. In: Simpósio sobre o manejo de água na agricultura. Campinas, 1987. Anais. Campinas, p.123-133, 1987.

GANI, B.S.; OMONONA, B.T. Resource Use efficiency among small-scale irrigated maize producers in northern Taraba State of Nigeria. **Journal of Human Ecology**, New Delhi, v.28, n.2, p.113-119, 2009.

HAROU, J.J.; PULIDO-VELAZQUEZ, M.; ROSENBERG, D.E.; MEDELLÍN-AZUARA, J.; LUND, J.R.; HOWITT R.E. Hydro-economic models: Concepts, design, applications and future prospects. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.375, n.3, p.627-643, 2009.

MARCUSSI, F.F.N.; BÔAS, R.L. Micronutrient concentration in the bell pepper plant development under fertirrigation. **Irriga**, Botucatu, v.8, n.2, p.120-131, 2003.

MAROUELLI, W.; SILVA, W.L.C. **Irrigação na cultura do pimentão**. Brasília: Embrapa Hortaliças. 1 ed. Circular Técnico 101, 2012, 19p.

MATSUNAGA, M. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. **Agricultura**, São Paulo, v.1, n.1, p.123-140, 1976.

MCCOY, S.R.; HOCHMUTH, R.C.; LAUGHLIN, W.L.; GAZULA, A.; FENNEMAN, D.K. Economic analysis of fresh green bell pepper (*Capsicum annuum*) production under shade structures. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, Florida State, v.126, p.101-106, 2013.

PADRÓN, R.A.R.; GUEDES, J.V.C.; SWAROWSKY, A.; NOGUEIRA, C.U.; CERQUERA, R.R.; DÍAZ-PÉREZ, J.C. Supplemental irrigation levels in bell pepper under shade mesh and in open-field: crop coefficient, yield, fruit quality and water productivity. **African Journal of Agricultural Research**, Nigeria, v.10, n.44, p.4117-4125, 2015b.

PADRÓN, R.A.R.; NOGUEIRA, H.M.C.M.; CERQUERA, R.R.; ALBINO, G.D.; NOGUEIRA, C.U. Caracterização físico hídrica do solo argissolo amarelo para estabelecimento de projeto e manejo da irrigação. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.4, n.1, p.36-47, 2015a.

PAZ, V.P.S.; FRIZZONE, J.A.; BOTREL, T.A.; FOLEGATTI, M.V. Optimization of water use in sprinkler irrigation systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.404-408, 2002.

REIS, R.P.; TAKAKI H.R.C.; REIS, A.D. **Como calcular o custo de produção**. Lavras: UFLA, 1999, 15p.

REZENDE, B.L.A.; BARROS JÚNIOR, A.P.; CECÍLIO FILHO, A.B.; PÔRTO, D.R.Q.; MARTINS, M.I.E.G. Production cost and profitability of lettuce, radish, arugula and cabbage sole crop and intercropped with sweet pepper. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.1, p.305-312, 2009.

REZENDE, B.L.A.; CECÍLIO, FILHO A.B.; MARTINS, M.I.E.G.; COSTA, C.C.; FELTRIM, A.L. Economic feasibility of intercropped pepper, cabbage, rucola, lettuce and radish in spring and summer in the region of Jaboticabal, São Paulo state. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.35, n.3, p.22-37, 2005.

ROAS, J. **Valoración económica del agua**. Universidad de Los Andes (Venezuela). Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, Mérida, 2001.

SREEDHARA, D.S.; KERUTAGI, M.G.; BASAVARAJA, H.; KUNNAL, L.B.; DODAMANI, M.T. Economics of capsicum production under protected conditions in Northern Karnataka. **Karnataka Journal of Agricultural Sciences**, Karnataka, v.26, n.2, p.217-219, 2013.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2 ed. Porto Alegre, EMATER/RS-ASCAR, 2008, 222 p.

7 DISCUSSÃO

Nos últimos anos está crescendo substancialmente o número de produtores que deixam para trás a agricultura intensiva tradicional em favor de novas formas de agricultura e produtos com maior valor agregado. As culturas protegidas têm sido fundamentais nesse desenvolvimento. Também, o uso eficiente da água de irrigação é a chave para a sustentabilidade e rentabilidade da cultura. O manejo adequado e a qualidade da água de irrigação são de fundamental importância para a obtenção de alta produtividade, qualidade, redução de custos e ao uso racional da água.

O cultivo do pimentão apresentou maior rendimento cultivado em campo aberto em comparação com 50% de sombreamento. Em comparação com as variáveis avaliadas, com 50% de sombreamento resultou em valores menores de: taxa de crescimento do diâmetro do caule; índice de clorofila e número de frutos por planta. Por outro lado, resultou em valores maiores de: taxa de crescimento da altura da planta; índice de área foliar; número de folhas por planta e matéria seca total em plantas, porém apresentaram frutos com maior comprimento e diâmetro em comparação com os obtidos em campo aberto. O sombreamento de 50% estimulou o crescimento da planta, porém com menor diâmetro do caule, em resposta natural a diminuição da luz do sol. Em relação ao rendimento (número de frutos/ha) foi menor, a planta gastou mais energia com o crescimento e formação da área foliar do que a produção de frutos. Além disso, os frutos foram em menor quantidade, porém maior qualidade, observando-se que o amadurecimento dos frutos nestas condições foi mais lento e os frutos apresentaram paredes mais grossas. Pelos resultados de clorofila a e clorofila b, nota-se redução nas condições de sombreamento, com menor taxa de fotossínteses líquida do que as plantas em campo aberto. Também, a fotossíntese está ligada a respiração, fato que as plantas em sombras mostram baixa taxa de respiração, tornando-as com custo baixo de funcionamento, diminuindo o consumo de água de irrigação. Além disso, o conteúdo de clorofila nas folhas é um indicador do nível de estresse e estado nutricional da planta na agricultura de precisão. Também se observa que o sistema foliar sob sombreamento apresentou folhas maiores e delgadas, em comparação com as folhas em campo aberto. O solo, quando sob sombreamento resultou em maior retenção da umidade, interferindo em alguns processos fisiológicos da planta, atenuando a trocas de temperaturas e o crescimento de tecido vegetal.

O cultivo de pimentão em campo aberto resultou em parâmetros morfológicos com valores menores de: taxa de crescimento da planta; índice de área foliar; número de folhas por planta; matéria seca total em plantas; comprimento e diâmetro de frutos. Por outro lado, resultou

em valores maiores de diâmetro do caule e índice de clorofila. Quanto aos parâmetros de fruto resultaram em maior número de frutos por planta, com frutos de menor comprimento e diâmetro em comparação com os obtidos sob sombra. Em todos os tratamentos em campo aberto, o amadurecimento do fruto foi mais rápido em comparação ao tratamento com sombreamento. Nos tratamentos em campo aberto, o amadurecimento dos frutos foi mais precoce nas menores lâminas de água de irrigação aplicada, assim pode-se inferir que o déficit hídrico acelera o amadurecimento dos frutos de pimentão em campo aberto. As lâminas de máxima eficiência técnica do rendimento cultivado em campo aberto e com 50% de sombreamento foram de 69,4 e 54,5% da ETc, respectivamente. O rendimento em campo aberto e com 50% de sombreamento foi significativamente maior com 75% e 50% da ETc, respectivamente. Com 50% de sombra ocorreu aproximadamente economia de 25% água de irrigação. O uso eficiente da água de irrigação decresceu com o aumento da lâmina de irrigação, obtendo em campo aberto e com sombra, 30 kg m^{-3} e 20 kg m^{-3} , respectivamente. Os coeficientes de cultura foram $k_{c_{ini}} = 0,71$, $k_{c_{med}} = 1,17$ e $k_{c_{fin}} = 0,92$, desenvolvidos para a região com clima subtropical úmido e esses valores foram maiores aos recomendados pela FAO-56. O coeficiente de cultura na fase inicial e de crescimento foi afetado pelas chuvas e a frequência de irrigação.

O sombrites é alternativa para a produção hortícola, minimizando os efeitos da variabilidade ambiental, em verões com altas temperaturas, mitigando os níveis de radiação solar e assegurando maior controle dos fatores externos, chuva, vento, granizo e geadas. Em alguns casos, dependendo da porcentagem de sombreamento e dependendo da cor da tela, poderá melhorar o desenvolvimento dos cultivos, permitindo a produção agrícola durante todo o ano, com produtos de melhor qualidade e melhor preço de mercado, permitindo o uso racional de água de irrigação, aproveitando a estrutura para o tutoramento, como consequência, economia de tempo e dinheiro, possibilitando assim maior retorno financeiro. Além disso, a combinação dos cultivos sob tela de sombreamento e em campo aberto nos meses frios e durante o verão, será possível ter duas safras agrícolas ao ano. Porém, o uso de telas poderá apresentar o inconveniente de reduzir o fluxo de luz a níveis inadequados, promovendo prolongamento do ciclo, estiolamento das plantas e redução da produtividade.

8 CONCLUSÃO

A determinação das lâminas ótimas de irrigação fornecem características vegetativas e rendimentos economicamente rentáveis. O manejo da irrigação diária aumentou a eficiência do uso de água. A máxima eficiência técnica foi de 69,4% e 54,5% da evapotranspiração, com e

sem sombra, respectivamente, a manutenção de 50% de sombra proporcionou economia de 15% da água de irrigação. O uso eficiente da água de irrigação foi de 30 kg m⁻³ e 20 kg m⁻³, sem e com sombra, respectivamente. O maior rendimento foi verificado no tratamento sem sombra, de 35,1 t ha⁻¹, com redução de 41,6% daquele com sombra. Nos tratamentos sem sombra resultaram valores maiores em: taxa de crescimento do diâmetro do caule; índice de clorofila e número de frutos por planta e com sombra, valores maiores em: taxa de crescimento da altura da planta; índice de área foliar; número de folhas por planta; matéria seca total da planta e a massa dos frutos. O déficit e o excesso de água afetam a fenologia, o rendimento, o crescimento da planta e o desenvolvimento da área foliar. Os valores dos coeficientes de cultura foram $k_{c_{ini}} = 0,71$, $k_{c_{med}} = 1,17$ e $k_{c_{final}} = 0,92$, maiores que os recomendados pela FAO-56. Na região, apesar das frequentes e intensas precipitações, justifica-se investimento no sistema de irrigação para obter rendimento economicamente rentável na cultura do pimentão.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, F. D. S.; SILVA, E. F. F.; FILHO J. A. C. A.; LIMA G. S. Necessidade hídrica e coeficiente de cultivo do pimentão fertirrigado. **Irrigation**, Botucatu, v.17, n.4, p. 481-493, out./dez. 2012.
- ALBUQUERQUE, F. S.; SILVA, Ê. F. F.; ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C.; NUNES, M. F. F. N. Crescimento e rendimento de pimentão fertirrigado sob diferentes lâminas de irrigação e doses de potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.7, p. 686-694, jul. 2011.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome, FAO (Irrigation and drainage paper, 56), 2006, 323 p.
- AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos**. 4. ed. Volume 1 Piracicaba, SP: Ceres, 2011. 704 p.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, **Agricultura irrigada: estudo técnico preliminar**. Brasília, DF, 2004. 107 p.
- ARAÚJO, J. S.; ALBERÍCIO, A. P.; RAMALHO, C. I.; AZEVEDO, C. A. V. Características de frutos de pimentão cultivado em ambiente protegido sob doses de nitrogênio via fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.2, p. 152-157, 2009.
- BEZERRA NETO, F.; ROCHA, R. H. C.; ROCHA, R. C. C.; NEGREIROS, M. Z.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; NUNES, G. H. S.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; QUEIROGA, R. C. L. F. Sombreamento para produção de mudas de alface em alta temperatura e ampla luminosidade. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.1, p. 133-137, jan./mar. 2005.

CAMARGO, L. D. S. **As hortaliças e seu cultivo**. 3 ed. Campinas: Fundação Cargill. 1992. 252 p.

CARVALHO, J. A.; REZENDE, F. C.; AQUINO, R. F.; FREITAS, W. A.; OLIVEIRA, E. C. Análise produtiva e econômica do pimentão-vermelho irrigado com diferentes lâminas, cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.6, p. 569-574, 2011.

CASALI, V. W. D; STRINGHETA, P. C. Melhoramento do pimentão e pimenta para fins industriais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 10, n.113, p. 23-25, 1984.

CERMEÑO, Z. S. **Estufas-instalações e manejo**. Lisboa. Litexa Editora, Ltda. 1990. 355 p.

CHITARRA, M. I. F. Fisiologia e qualidade de produtos vegetais. In: BORÉM F.M. (Ed.). Armazenamento e processamento de produtos agrícolas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27. **Anais...** Poços de Caldas: SBEA, p. 1-58, 1998.

CHRISTOFIDIS, D. Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, v.54, n.2, p. 46-55. 2002.

CUNHA, A. R.; ESCOBEDO, J. F.; KLOSOWSKI, E. S. Estimativa do fluxo de calor latente pelo balanço de energia em cultivo protegido de pimentão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.6, p. 735-743, jun. 2002.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Trad. de H. R. GHEYI, A. A. DE SOUSA, F. A. V. DAMASCENO E J. F. DE MEDEIROS. Campina Grande: UFPB, (FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 33). 1994. 306 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2011. 230 p.

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. **Conferencia de Alto Nivel sobre la Seguridad Alimentaria Mundial: los Desafíos del Cambio Climático y la Bioenergía**. El cambio climático, el agua y la seguridad alimentaria. Roma, 3 a 5 junio, 2008.

FAOSTAT. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura, Rome, Italy. 2013.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. 242 p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Solanáceas: agrotecnologia moderna na produção de tomate, batata, pimentão, pimenta, berinjela e jiló**. Viçosa, MG: UFV, 2003. 333 p.

FINGER, F. L.; SILVA, D. J. H. **Cultura do pimentão e pimentas**. In: FONTES, P. C. R. (Ed.). Olericultura: teoria e prática. Viçosa, MG: UFV, 2005. p. 429-437.

FONTES, P. C. R. **Olericultura: teoria e prática**. Viçosa, MG: Editora Universidade Federal de Viçosa, 2005. 486 p.

FRIZZONE, J. A. **Irrigação por superfície**. São Paulo: ESALQ/USP, 1993. 183 p.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de (Eds). **Planejamento da irrigação: Análise de decisão de investimento**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 626 p.

GRASSI, C. **Fundamento de riego**. Mérida, CIDIAT, Venezuela. 1998. 392 p.

GRUDA, N. Impact of environmental factors on product quality of greenhouse vegetables for fresh consumption. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.24, n.3, p. 227-247, 2005.

HARTZ T. K.; CANTWELL M.; LESTRANGE M.; SMITH R. F.; AGUIAR J.; DAUGOVISH O. **Bell pepper production in California**. Oakland: University of California. (Vegetable Production Series. Publication, 7217), 2008. 4 p.

HEYDARI, N. Water productivity in agriculture: challenges in concepts, terms and values. **Irrigation and Drainage**, v.63, p. 22-28, 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Censo Agropecuário**. ISSN 0103-6157, Rio de Janeiro. 2006. 777 p.

KENDRICK, R. E.; FRANKLAND, B. **Fitocromo e crescimento vegetal**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1981. 76 p.

LORENTZ, L. H.; LÚCIO, A. D.; HELDWEIN, A. B.; SOUZA, M. F.; MELLO, R. M. Estimativa da amostragem para pimentão em estufa plástica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.2, 2002.

MACIEL, S.P.A.; ZANELLA, F.; LIMA, A.L.S. Efeito do sombreamento sobre a produção de alface em hidroponia. **Ciência & Consciência**, Ji-Paraná, v.2, n.1, 2007.

MAGALHÃES, C. D.; CASTRO, P. T. Determinação do Coeficiente de cultura (Kc) do pimentão (*Capsicum annuum*) através do balanço hídrico. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.14, n.1-2, p. 107-113, 1983.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Irrigação na cultura do pimentão**. Brasília: Embrapa Hortaliças, (Circular Técnica 101). 2012. 20 p.

MENEGATTI, A. L.; BARROS, A. L. M. Análise comparativa dos custos de produção entre soja transgênica e convencional: um estudo de caso para o Estado do Mato Grosso do Sul. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, v. 45, n. 01, p. 163-183, 2007.

MIRANDA J. D.; CASALI V. Métodos de melhoramento aplicados às espécies autógamas. In: Simpósio Brasileiro sobre *Capsicum*. 1. **Anais...**Dourados: p.15-30. 1988.

MOLDEN, D.; OWEIS, T.; STEDUTO, P.; BINDRABAN, P.; HANJRA, M. A.; KIJNE, J. Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. **Agricultural Water Management**, v.97, p. 528-535. 2010.

PADRÓN, R. A. R., RAMÍREZ L. R.; CERQUERA R. R.; NOGUEIRA H. M. C. M.; MUJICA, J. L. U. Desenvolvimento vegetativo de pimentão cultivado com lâminas e frequências de irrigação. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.9, n.2, p. 49-55, abr. 2015a.

PADRÓN, R.A.R.; NOGUEIRA, H.M.C.M.; CERQUERA, R.R.; ALBINO, G.D.; NOGUEIRA, C.U. Caracterização físico-hídrica do solo argissolo amarelo para estabelecimento de projeto e manejo da irrigação. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.4, n.1, p. 36-47, 2015b.

PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p. 465-473, 2000.

QUEIROGA, R. C. F.; BEZERRA NETO, F.; NEGREIROS, M. Z.; OLIVEIRA, A. P.; AZEVEDO, C. M. S. B. Produção de alface em função de cultivares e tipos de tela de sombreamento nas condições de Mossoró. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.19, n.3, p. 192-196, 2001.

RADFORD, P.J. Growth analysis formulae: their use and abuse. **Crop. Science**, v.7, p. 171-175, 1967.

REGINA C. M. P.; SAKAI, E.; ARRUDA, F. B.; FUJIWARA M.; CALHEIROS, R. O. **Métodos e manejo da irrigação**. Centro de Ecofisiologia e biofísica do Instituto agrônomo. 1999. 28 p.

REIFSCHNEIDER, F. J. B. (Ed.). **Capsicum: pimentas e pimentões no Brasil**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Embrapa Hortaliças, 2000.

REIS, J. B. S. **Análise da sensibilidade de duas cultivares de pimentão a diferentes condições de regime hídrico**. 92 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2002.

REIS, N. V. B. Construção de estufas para produção de hortaliças nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Circular técnica 38, 2005.

REZENDE, B. L. A.; BARROS JÚNIOR, A. P.; CECÍLIO FILHO, A. B.; PÔRTO, D. R. Q.; MARTINS, M. I. E. G. Production cost and profitability of lettuce, radish, arugula and cabbage sole crop and intercropped with sweet pepper. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.1, p. 305-312, 2009.

RIBEIRO, C. S. C.; CRUZ, D. M. R. Tendência de mercado: comércio de pimentão está em expansão. **Cultivar HF (Pelotas)**, Pelotas, v.3, n.14, p. 16-19, 2002.

RICHETTI, A. **Viabilidade econômica da cultura da soja na safra 2014/2015**, em Mato Grosso do Sul. Julho, 2014 Dourados, MS. Comunicado técnico 194 p.

ROCHA, M. C.; CARMO, M.; POLIDORO, J. C.; SILVA, D.; FERNANDES, M. D. C. A. Características de frutos de pimentão pulverizados com produtos de ação bactericida. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.24, n.2, p. 185-189, 2006.

RYLSKI, I.; SPIGELMAN, M. Effect of shading on plant development, yield and fruit quality of sweet pepper grown under conditions of high temperature and radiation. **Scientia Horticulturae**, v.29, n.1, p. 31-35, 1986.

SANTOS, E. S.; SILVA, E. F. R.; SILVA, A. O. Determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) e de cultura (ET_c) do pimentão no semi-árido pernambucano. **IX Jornada de ensino**, Pesquisa e Extensão (JEPEX), 2009.

SANTOS, J. R. M. Irrigar é preciso. **Agroanalysis**, Rio de Janeiro, v.18, n.3, p. 29-34, 1998.

SETUBAL, W. J.; SILVA, A. R. Avaliação do comportamento de alface de verão em condições de calor no município de Teresina-PI. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.10, n.69, 17 p. 1992.

SILVA, V.F. Cultivares de alface em diferentes espaçamentos sob temperatura e luminosidade elevadas. 1999. 25p. **Dissertação** (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido/ESAM. Mossoró-RN.

SOUZA A. P.; PEREIRA J. B. A.; SILVA L. D. B. D.; GUERRA J. G. M.; CARVALHO D. F. D. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 15-22, 2011b.

SOUZA V. F.; MAROUELLI W. A.; COELHO E. F.; PINTO J. M.; COELHO F. M. A. **Irrigação e fertirrigação em fruteira e hortaliças**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (Informação Tecnológica), p. 721-736, 2011a.

TIVELLI, S. W. A cultura de pimentão. In: GOTO, R.; TIVELLI, S. W. (Orgs.). **Produção de hortaliças em ambiente protegido**: condições subtropicais. São Paulo: UNESP, p. 225-226, 1998.

VILLELA JÚNIOR, L. V. E.; ARAÚJO, J. A. C.; FACTOR, T. L. Comportamento do meloeiro em cultivo sem solo com a utilização de biofertilizante. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.2, p. 153-157, 2003.

WHATLEY, J. M.; WHATLEY, F. R. **A luz e a vida das plantas: temas de biologia**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 101 p. 1982.

WOILER, S.; MATHIAS, W. (1996). **Projetos. Planejamento, Elaboração e Análise**. 15ª tiragem. São Paulo: Atlas.

ZATARIM, M.; CARDOSO, A. I. I.; FURTADO, E. L. Efeito de tipos de leite sobre oídio em abóbora plantadas a campo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.2 p. 198-201, 2005.