



BARTOLOMEU FÉLIX TANGUNE

**PRODUÇÃO DE BRÓCOLIS IRRIGADO POR
GOTEJAMENTO, SOB DIFERENTES TENSÕES
DE ÁGUA NO SOLO**

LAVRAS - MG

2012

BARTOLOMEU FÉLIX TANGUNE

**PRODUÇÃO DE BRÓCOLIS IRRIGADO POR GOTEJAMENTO,
SOB DIFERENTES TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, área de concentração em Engenharia e Manejo de Irrigação e Drenagem, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Geraldo Magela Pereira

LAVRAS - MG

2012

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Tangune, Bartolomeu Félix.

Produção de brócolis irrigado por gotejamento, sob diferentes tensões de água no solo / Bartolomeu Félix Tangune. – Lavras : UFLA, 2012.

73 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Geraldo Magela Pereira.

Bibliografia.

1. Brócolis. 2. Manejo da irrigação. 3. Ambiente protegido. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.587

BARTOLOMEU FÉLIX TANGUNE

**PRODUÇÃO DE BRÓCOLIS IRRIGADO POR GOTEJAMENTO,
SOB DIFERENTES TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, área de concentração em Engenharia e Manejo de Irrigação e Drenagem, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 26 de Novembro de 2012.

Dra. Fátima Conceição Rezende UFLA

Dr. Hugo Adelande de Mesquita EPAMIG-URSM

Dr. Geraldo Magela Pereira
Orientador

LAVRAS – MG

2012

A Deus,

Pela vida, pela força e presença sempre constante

OFEREÇO

Aos meus pais Félix Tangune e Mónica Miambo, pelo amor, pelo vínculo sublime na minha vida e dedicação na minha formação pessoal e profissional.

Aos meus avós (*in memoriam*), pela lição da vida.

Aos irmãos, pela amizade, carinho e voto de confiança.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida;

Aos meus pais, pelo incentivo, educação e companheirismo;

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de realizar o curso e desenvolver esse trabalho;

Aos professores das disciplinas cursadas, pelo ensinamento e amizade;

Ao professor Geraldo Magela Pereira (orientador), pelo apoio, amizade e ensinamentos oferecidos;

Aos professores coorientadores, Prof. Dr. Rovilson José de Souza DAG/UFLA, Prof. Dr. Luiz Lima DEG/UFLA, pela atenção oferecida, apoio na realização deste estudo e pelos ensinamentos;

A todo corpo docente do curso de Pós- Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas do Departamento de Engenharia da UFLA;

Aos funcionários do Setor de Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas (Departamento de Engenharia), José Luiz, Oswaldo “Neném” e Gilson, pela ajuda prestada;

Ao Eng. Agrônomo Silvio Calazans, pelo apoio técnico.

Aos alunos de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Rafael Gatto, Beatriz da Conceição, João José da Silva Júnior e demais colegas, por terem contribuído de alguma forma para a minha formação profissional;

Aos alunos de graduação em Engenharia Agrícola, Daniel Soares Ambrosio de Araújo (bolsista de iniciação científica do CNPq) e Rodrigo Soares Ambrosio de Araújo (bolsista de atividade), pelo apoio prestado;

Ao CNPq – Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico e MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia de Moçambique, pela concessão da bolsa de estudo;

À Universidade Eduardo Mondlane (Moçambique), em especial a Escola Superior de Desenvolvimento Rural (ESUDER), pela permissão concedida para a continuidade dos estudos;

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Objetivou-se, com este estudo, avaliar o efeito de diferentes tensões de água no solo sobre a produção de brócolis, cultivado em ambiente protegido e irrigado por gotejamento, de forma a estabelecer critérios para o manejo adequado da irrigação. O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no período de Maio a Agosto de 2012. O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos casualizados (DBC), com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de seis tensões de água no solo (15, 30, 45, 60, 75 e 90 kPa). As tensões de água no solo foram monitoradas com base nos Sensores de Matriz Granular, *watermark*® instalados a 0,2 m (sensores de decisão) e 0,4 m (controle da percolação) de profundidade. Dos resultados obtidos, concluiu-se que para a obtenção de maiores valores de massa fresca total e comercial, diâmetro médio das inflorescências comerciais, circunferência da inflorescência comercial, produtividade total e comercial, as irrigações devem ser realizadas quando a tensão de água no solo estiver em torno de 15 kPa, à uma profundidade de 0,2 m. Os maiores valores atingidos foram de 0,84 kg; 0,76 kg; 20,5 cm; 64,5 cm; 26,47 t ha⁻¹ e 23,71t ha⁻¹, respectivamente. A variação da tensão de água no solo não produziu efeito significativo na eficiência no uso de água e na altura da inflorescência comercial. Contudo, máxima altura da inflorescência foi obtida na tensão de 15 kPa (11,7 cm) e máxima eficiência no uso de água na tensão de 60 kPa (97,08 kg ha⁻¹mm⁻¹).

Palavras-chave: Manejo da irrigação. Brócolis. Ambiente protegido.

ABSTRACT

This work aimed at evaluating the effect of different soil water tensions on broccoli production, cultivated in a protected environment and under drip irrigation, in a manner to establish criteria for the adequate management of irrigation. The experiment was conducted in the experimental area of the engineering department of Universidade Federal de Lavras (UFLA), in the period from May to August of 2012. A completely randomized blocks design was used, with six treatments and four replicates. The treatments constituted of six soil water tensions (15, 30, 45, 60, 75 and 90 kPa). The soil water tensions were monitored based on the Granular Matrix Sensor – GMS, Watermark®, installed at 0.2 m (decision sensors) and at 0.4 m (seepage control) of depth. From the results, it was concluded that to obtain higher total and commercial fresh mass values, average diameter of commercial inflorescence, circumference of commercial inflorescence, total and commercial yield; the irrigations must be performed when the soil water tension is at around 15 kPa, at a depth of 0.2 m. The highest values achieved were of 0.84 kg, 0.76 kg, 20.5 cm, 64.5 cm, 26.47 t ha⁻¹, and 23.71 t ha⁻¹, respectively. The variation of soil water tension did not present a significant effect in the efficiency of water use and in the height of the commercial inflorescence. However, maximum height of the inflorescence was obtained in a tension of 15 kPa (11.7 cm) and maximum efficiency in the use of water tension of 60 kPa (97.08 kg ha⁻¹ mm⁻¹).

Key-words: Irrigation management. Broccoli. Protected environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Visão geral do experimento no interior da casa de vegetação	26
Figura 2	Curva de retenção de água no solo	29
Figura 3	Planta de brócolis, sensor de matriz granular e medidor digital	31
Figura 4	Esquema de uma parcela experimental com o sistema de irrigação implantado e os sensores de umidade	32
Figura 5	Planta de brócolis dentro da casa de vegetação, cultivar Avenger ...	37
Figura 6	Temperaturas diárias máximas, médias e mínimas do ar ocorridas durante a condução do experimento	44
Figura 7	Umidades relativas diárias máximas, médias e mínimas do ar ocorridas durante a condução do experimento	45
Figura 8	Variação das tensões da água no solo ocorrida após a diferenciação dos tratamentos 1 (15 kPa); 2 (30 kPa) e 3 (45kPa), ao longo do ciclo da cultura de brócolis	48
Figura 9	Variação das tensões da água no solo ocorrida após a diferenciação dos tratamentos 4 (60 kPa); 5 (75 kPa) e 6 (90 kPa), ao longo do ciclo da cultura de brócolis	49
Figura 10	Massa fresca comercial de brócolis em diferentes tratamentos	50
Figura 11	Massa fresca total (MFT) e comercial (MFC) da cultura de brócolis	51
Figura 12	Diâmetro médio da inflorescência (DMI) da cultura de brócolis	54
Figura 13	Circunferência das inflorescências (CI) da cultura de brócolis	58
Figura 14	Produtividade total (PT) e comercial (PC) da cultura de brócolis	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Coeficiente de cultura de brócolis em diferentes estágios de desenvolvimento	20
Tabela 2	Resultados de análise química de amostras de solo do experimento	30
Tabela 3	Classificação do coeficiente de variação total da vazão (CVt)	36
Tabela 4	Lâminas de água aplicadas no brócolis, desde o transplante até o início da diferenciação dos tratamentos.....	38
Tabela 5	Tensões de água no solo à profundidade de 0,2 m, lâminas aplicadas antes da diferenciação dos tratamentos (Inic), lâminas aplicadas após a diferenciação dos tratamentos (Irrig), lâminas totais de água (Tot), lâmina média por irrigação (mpi) e o número de irrigações (NI).....	47
Tabela 6	Resumo de análise de variância e de regressão para massa fresca total (MFT; kg) e massa fresca comercial (MFC; kg) da cultura de brócolis.....	51
Tabela 7	Resumo de análise de variância e de regressão para o diâmetro médio da inflorescência (DMI; cm) da cultura de brócolis	53
Tabela 8	Resumo de análise de variância e de regressão para a altura das inflorescências (AMI; cm) da cultura de brócolis	56
Tabela 9	Resumo de análise de variância e de regressão para a circunferência da inflorescência (CI; cm) da cultura de brócolis	57
Tabela 10	Resumo de análise de variância e de regressão da produtividade total (PT; t ha ⁻¹) e comercial (PC; t ha ⁻¹) da cultura de brócolis.....	59
Tabela 11	Resumo de análise de variância e de regressão da eficiência no consumo da água (EUA; kg.ha ⁻¹ .mm ⁻¹) da cultura de brócolis	62

ANEXO A

Tabela 12 Valores médios de massa fresca total (MFT: kg), massa fresca comercial (MFC: kg), diâmetro médio da inflorescência comercial (DMI: cm), altura da inflorescência (AMI: cm), circunferência da inflorescência (CI: cm), produtividade total (PT: t ha⁻¹) e produtividade comercial (PC: t ha⁻¹) e eficiência no uso de água (EUA: kg ha⁻¹mm⁻¹) por tratamento 72

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Aspectos gerais da cultura de brócolis	16
2.2	Exigências climáticas da planta	17
2.3	Cultivo de brócolis em ambiente protegido	18
2.4	Irrigação de brócolis	20
2.5	Métodos de manejo da irrigação	22
3	MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1	Local de instalação do experimento	26
3.1.1	Clima	27
3.2	Solo	27
3.2.1	Análises físicas	28
3.2.2	Análises químicas	29
3.3	Delineamento experimental	30
3.4	Sistema e manejo da irrigação	32
3.5	Condução do experimento	36
3.6	Práticas culturais	39
3.6.1	Adubação	39
3.6.2	Controle de pragas, doenças e ervas daninhas	40
3.6.3	Tutoramento, amonta e colheita	40
3.6.4	Variáveis meteorológicas	41
3.7	Variáveis avaliadas	41
3.7.1	Massa fresca total das inflorescências	41
3.7.2	Massa fresca comercial das inflorescências	42
3.7.3	Diâmetro médio da inflorescência	42
3.7.4	Altura da inflorescência	42
3.7.5	Circunferência da inflorescência comercial	42
3.7.6	Produtividade total	43
3.7.7	Produtividade comercial	43
3.7.8	Eficiência no uso de água	43
3.8	Análise estatística	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1	Condições climáticas na casa de vegetação	44
4.2	Tensões e lâminas de água aplicadas	46

4.3	Massa fresca total e comercial das inflorescências de brócolis	50
4.4	Diâmetro médio da inflorescência	53
4.5	Altura da inflorescência.....	55
4.6	Circunferência da inflorescência comercial	57
4.7	Produtividade total e comercial.....	59
4.8	Eficiência no uso da água	61
5	CONCLUSÃO	64
	REFERÊNCIAS.....	65
	ANEXOS.....	72

1 INTRODUÇÃO

O brócolis pertence à família *Brassicaceae* e é originária da couve selvagem *Brassica oleracea L.*; planta nativa da Europa e provavelmente também da Ásia Ocidental. O brócolis, também conhecido como brócolos, ou couve brócolo é uma variedade botânica da mesma espécie que a couve selvagem e morfológicamente semelhante à couve-flor, especialmente na fase vegetativa e posteriormente produz uma inflorescência central, compacta (tipo “cabeça”) de coloração verde-escura, formada por pequenos botões florais ainda fechados e pedúnculos tenros (FILGUEIRA, 2000).

A produção de brócolis é dificultada nas épocas quentes e chuvosas com muito vento. As chuvas e ventos fortes quebram as folhas, espalham doenças e pragas, ainda derrubam as plantas e lixiviam os adubos dos canteiros, provocando sérios danos à produção (ARAÚJO, 1998).

Entre todas as brássicas, o brócolis se destaca por ser uma das mais ricas em proteínas, em cálcio e em pró-vitamina A (beta-caroteno) e vitamina C que, infelizmente, se perde, em parte, durante o cozimento. Entre 62 espécies de hortaliças, essa planta ocupa o primeiro lugar na concentração relativa de vitaminas A e B2 e dos minerais cálcio e ferro (LUENGO et al., 2012).

O brócolis é altamente exigente em água. A água é um recurso cujas reservas utilizáveis estão cada vez mais escassas, portanto, o uso da irrigação por gotejamento pode ser uma alternativa viável devido à economia de água. Contudo, é necessário conhecer o comportamento da cultura em função das diferentes quantidades de água aplicadas, pois tanto o excesso como o déficit de água no solo podem causar decréscimo acentuado nas atividades fisiológicas da planta e, conseqüentemente, afetar a produtividade e qualidade da produção.

A prática de produção de hortaliças em ambientes protegidos é uma tecnologia de grande importância pelas inúmeras vantagens que oferece em

relação à produção a céu aberto, mas os produtores na sua maioria não dispõem de informação suficiente sobre a quantidade de água a ser aplicada e do momento em que a irrigação deve ser efetuada. Desta forma, os irrigantes usualmente fazem aplicações de água no solo, sem levar em consideração às consequências técnicas por advir.

Muitas vezes os produtores, por falta de informação ou de assistência técnica pensam que a aplicação de baixas lâminas de irrigação é o fator que mais condiciona à baixa produtividade e qualidade dos produtos agrícolas, mantendo o resto constante. Este pensamento, não é completamente correto, pois de acordo com Faria et al. (1998), apesar da deficiência de água no solo ser normalmente um fator limitante para a obtenção de produtividades elevadas e produtos de boa qualidade, o excesso também pode ser prejudicial. Desse modo, é necessário o investimento em pesquisa, pois ela é capaz de fornecer o suporte técnico para o desenvolvimento seguro do cultivo em ambiente protegido.

Diante do exposto, o autor do presente trabalho teve como objetivo, avaliar o efeito de diferentes tensões de água no solo sobre a produção de brócolis, irrigado por gotejamento em ambiente protegido, visando estabelecer critérios para manejo adequado da irrigação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos gerais da cultura de brócolis

No Brasil, cultivam-se brócolis do grupo ramoso e de cabeça. O primeiro caracteriza-se por apresentar grande número de inflorescências pequenas e com botões florais grandes. As colheitas são parceladas e as inflorescências comercializadas em maços. O segundo grupo, conhecido como de cabeça, apresenta uma inflorescência central de interesse comercial com poucas ramificações laterais. A inflorescência central é de tamanho grande, mais compacta, com botões florais menores do que os do grupo ramoso. O ponto de colheita ocorre quando a cabeça central ou as ramificações laterais apresentam-se com botões florais bem desenvolvidos, com coloração verde-escura, porém antes da abertura das flores (FILGUEIRA, 2000).

No Brasil, o plantio de verão geralmente é problemático, devido ao excesso de chuvas e calor durante o ciclo, com maior incidência de pragas e doenças, especialmente na época da colheita. O produto final colhido sob essas condições tem aspecto comercial inferior, com cabeças menores, mais leves, de coloração mais clara, granulação maior, mais grossa, de pior textura e menor conservação pós-colheita (TAVARES, 2000).

De acordo com Toledo (2001), o desenvolvimento de brócolis é favorecido por clima predominantemente frio, plantios entre os meses de Abril e Junho, permitem, no Paraná, colheitas desde Julho até início de Outubro, estando em andamento naquele Estado experimentos que visam à ampliação do período de colheita, nos períodos de Abril a Junho e nos meses de Novembro e Dezembro.

2.2 Exigências climáticas da planta

O brócolis cresce satisfatoriamente em diferentes partes do mundo, mas temperaturas acima de 30 °C podem provocar a deformação das cabeças em cultivares sensíveis a altas temperaturas, tornando a cultura de altos riscos nessas condições (BJÖRKMAN; PEARSON, 1998). De acordo com Filgueira (1982), as exigências climáticas de brócolis são as mesmas da couve-flor, embora seja menos sensível que esta às temperaturas altas, podendo ser cultivado em locais onde a couve-flor não produz satisfatoriamente.

Períodos prolongados de temperatura acima de 25 °C podem retardar a formação da cabeça em plantas que se encontram em fase de crescimento vegetativo, enquanto que plantas com cabeças em formação podem reverter para crescimento vegetativo, reduzindo o tamanho das cabeças e causando desenvolvimento de folhas ou brácteas nos pedúnculos florais (UNIVERSITY OF CALIFORNIA, 1987). Por outro lado, elevações abruptas de temperatura podem provocar crescimento excessivamente rápido da cabeça e alongamento do pedúnculo em determinadas cultivares (SONNENBERG, 1985; UNIVERSITY OF CALIFORNIA, 1987).

De acordo com InfoAgro (2012), durante a fase de crescimento de brócolis, temperaturas entre 20 e 24 °C proporcionam um desenvolvimento normal da planta. Na fase de indução floral, durante várias horas do dia, a temperatura deve situar-se entre 10 e 15 °C e a umidade relativa entre 60 e 75%.

Haynes, Everhart e Jauron (2003) mencionam que condições estressantes podem conduzir ao florescimento precoce (buttoning), como por exemplo, a exposição prolongada à temperaturas abaixo de 10 °C, déficit hídrico e solos com baixa fertilidade.

A temperatura e umidade relativa do ar são fatores climáticos que exercem grande influência nos diversos estádios de desenvolvimento de

brócolis. As cultivares de verão resistem a temperaturas médias de até 28 ou 29 °C, enquanto as de inverno se desenvolvem melhor com temperaturas entre 8 e 21 °C. De acordo com Alvarenga (2004), em ambiente protegido, a cobertura plástica, por si só, pode reduzir a luminosidade em 20 a 40%, especialmente em locais com baixa radiação, provocando prejuízos nessas condições e com relação à composição dos frutos, a alta intensidade luminosa contribui para aumentar o teor de “vitamina C”.

De acordo com Strange, Koike e Smith (2010), a germinação da semente e o desenvolvimento de brócolis pode ocorrer na faixa de 4 a 35 °C, mas a faixa ótima ocorre quando a temperatura média mensal do ar oscila entre 16 a 18 °C.

2.3 Cultivo de brócolis em ambiente protegido

A cultura de brócolis pode ser conduzidas sob diferentes sistemas de produção dependendo da região e do poder aquisitivo do produtor (STRANGE; KOIKE; SMITH, 2010). De acordo com Alvarenga (2004), a diversidade dos sistemas de produção subdivide-se em sistemas a céu aberto e em ambiente protegido, esse último em cultivo no solo, hidropônico e aeropônico.

De acordo com Alvarenga (2004), uma série de detalhes de ordem técnica deve ser observada, de maneira a atender as exigências da planta, visando a não comprometer o seu potencial produtivo.

O cultivo em ambiente protegido tem apresentado uma série de vantagens, tais como aumento de produtividade; melhoria na qualidade dos produtos; diminuição na sazonalidade da oferta, conferindo maior competitividade pela possibilidade de oferecer produtos de qualidade o ano todo, inclusive na entressafra; melhor aproveitamento dos fatores de produção, principalmente adubos, defensivos e água; controle total ou parcial dos fatores climáticos; fixação do homem no campo, diminuindo o êxodo rural e gerando

empregos; melhoria nas condições do ambiente de trabalho; e opção de aumento da rentabilidade da empresa agrícola (MARTINS, 2003). Contudo, apesar das vantagens anteriormente mencionadas, o manejo inadequado da irrigação e da adubação via água de irrigação constitui uma das principais causas de salinização nas condições de cultivo protegido (SOUSA et al., 2011).

De acordo com Faria et al. (1998), os problemas de salinidade ocorrem geralmente em regiões áridas e semiáridas, ou mesmo em condição de cultivo protegido, devido ao excesso de fertilizantes e alta evaporação. Sendo assim, recomendam a aplicação de uma fração adicional para manter o balanço de sais no solo em níveis aceitáveis, a mesma recomendação é feita por Alvarenga (2004).

De acordo com Sousa et al. (2011), pode-se prevenir ou minimizar problemas de salinidade por meio da adoção de práticas que aumentem a infiltração e a percolação e que reduzam a evaporação da água do solo, do uso de sistemas por gotejamento e sulco, em detrimento da aspersão, e a seleção de cultivares mais adaptadas aos níveis de salinidade existentes.

O cultivo de hortaliças em ambiente protegido é bastante difundido e aceito nas áreas de produção em todo o País. A sua aceitação e expansão entre produtores deve-se à exploração racional de pequenas áreas e à garantia de colheita, permitindo a obtenção de produções elevadas e de melhor qualidade (QUEIROZ; TESTEZLAF; MATSURA, 2004).

De acordo com Santos e Pereira (2004), apesar da importância do cultivo em ambiente protegido para a olericultura brasileira, ainda são insuficientes os resultados de pesquisa que subsidiem o aproveitamento do potencial dessa tecnologia nas diferentes regiões climáticas do país, especialmente no que tange ao adequado manejo da irrigação. Este, por sua vez, permite o uso racional da água de irrigação e a obtenção de maiores

produtividades com qualidade superior, especialmente para cultivares de alta capacidade produtiva.

Não se tem notícia de plantios comerciais de brócolis em ambiente protegido em grande escala, pois a área ocupada por planta é relativamente grande (GOTO; COSTA, 1999). De acordo com os mesmo autores, ao se optar pelo plantio de brócolis em ambiente protegido, deve-se escolher materiais mais adaptados ao verão ou meia estação, os quais necessitam de temperaturas nunca abaixo de 20 °C. Se for utilizado cultivares do inverno, pode não ocorrer à formação da cabeça.

De acordo com Sousa et al. (2011), os valores médios do coeficiente de cultura (K_c) para brócolis sem estresse, em condições de clima subúmido ($UR_{\min} \approx 45\%$, $U_2 \approx 2\text{m/s}$) variam de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 Coeficiente de cultura de brócolis em diferentes estágios de desenvolvimento

Cultura	Estágio da cultura		
	$K_{c_{\text{inicial}}}$	$K_{c_{\text{médio}}}$	$K_{c_{\text{final}}}$
Brócolis	0,65	1,05	0,95

2.4 Irrigação de brócolis

A cultura de brócolis requer umidade de solo adequada para a maximização do rendimento e da qualidade, principalmente durante a formação da cabeça. A umidade excessiva do solo pode causar a queda da cabeça, formação do caule oco e ocorrência de doenças de solo. Alguns produtores cultivam brócolis usando a irrigação por sulco ou por aspersão até a fase de

emergência da semente ou até ao transplante e posteriormente usam a irrigação por gotejamento (STRANGE; KOIKE; SMITH, 2010).

De acordo com Strange, Koike e Smith (2010), na Costa Central da Califórnia, a irrigação por gotejamento é pouco usada durante o verão em virtude da alta taxa de evapotranspiração, quando usada é suplementada pela irrigação por sulco ou por aspersão principalmente durante a fase de formação da cabeça.

A irrigação pode ser conduzida por aspersão, sulcos ou gotejamento. A irrigação por aspersão, por molhar as folhas, provoca mais doenças de origem fúngica do que os métodos por sulcos ou gotejamento (ALVARENGA, 2004). De acordo com Bernardo, Soares e Mantovani (2006), a irrigação por aspersão adapta-se a quase todos os tipos de cultura, embora interfira um pouco nos tratamentos fitossanitários, ou seja, pulverizações e polvilhamento, por lavar a sua parte aérea

A irrigação por sulcos consiste na condução da água em pequenos canais ou sulcos. Em contraste com os outros métodos, a irrigação por sulco não molha toda a superfície do solo, pois, normalmente, molha de 30 a 80% da superfície total, diminuindo, assim, a perda por evaporação, reduzindo a formação da crosta na superfície dos solos argilosos e tornando possível cultivar o solo e realizar colheitas logo após as irrigações, o que não ocorre com os outros métodos, exceto o gotejamento (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). Alvarenga (2004) relata que esta irrigação (gotejamento), embora exija investimentos altos, torna possível a aplicação da água com frequência maior, tem alta eficiência de aplicação, utiliza pouca mão-de-obra e tem também a vantagem de permitir a fertirrigação.

O excesso de irrigação geralmente reduz a produtividade e a qualidade da produção, podendo provocar o crescimento excessivo da planta, o retardamento da maturação dos frutos, a lixiviação de nutrientes solúveis (N e

K), maior ocorrência de doenças do solo e distúrbios fisiológicos, maiores gastos de energia e o desgaste do sistema de irrigação (CARRIJO; MAROUELLI; SILVA, 1999). San Bautista et al. (2005) verificaram em experimento com a cultivar Marathon, que alta frequência de irrigação proporcionou a maior produtividade comercial e a deficiência hídrica favoreceu a deformação dos botões florais e a formação de brácteas na inflorescência.

De acordo com Marques (2003), num sistema de produção é fundamental que se saiba se a água que está sendo aplicada é efetivamente utilizada pela planta, pois o mesmo autor justifica que o fornecimento a mais de água é desnecessário por aumentar os custos de produção, quando se leva em consideração o custo de água no processo produtivo.

Jenni et al. (2001) constataram que o fornecimento regular da água diminuiu a incidência e severidade de botão marrom (brownbead) na inflorescência de brócolis, tanto em semeadura direta quanto em transplante.

A cultura é moderadamente sensível a salinidade e mais tolerante que a maioria das hortaliças como, por exemplo: pimentão, alho, alface e cenoura. A redução do rendimento de brócolis verifica-se quando a condutividade elétrica passa de $2,8 \text{ dSm}^{-1}$ (STRANGE; KOIKE; SMITH, 2010).

2.5 Métodos de manejo da irrigação

As hortaliças, em condições de campo ou em ambiente protegido, têm um desenvolvimento intensamente influenciado pela condição do clima e umidade do solo. A reposição de água ao solo por meio da irrigação na quantidade adequada e no momento oportuno é decisiva para o sucesso da produção de hortaliças (SILVA; MAROUELLI, 1998). De acordo com os mesmos autores, as hortaliças irrigadas por gotejamento apresentam melhor desempenho quando submetidas a tensões baixas (10 – 40 kPa). Afirmam ainda,

que a tensão de água no solo em que se deve promover a irrigação por aspersão para a produtividade máxima de brócolis varia de 40 – 70 kPa.

Estratégias de manejo das irrigações baseiam-se em dados de clima, da planta, do solo ou na combinação de dois ou três desses tipos de dados. Extensa literatura descreve os diversos métodos de programação da irrigação (HOFFMAN; HOWELL; SOLOMON, 1992), entretanto, os mais promissores combinam dados de clima e da planta, com informações de solo, para indicar o momento de irrigar e a quantidade de água a aplicar. De uma forma geral, utilizam-se dados de solo-água para indicar o momento de irrigar e dados de clima e planta para determinar a lâmina líquida a aplicar. Dessa forma, além do monitoramento da umidade ou do potencial matricial (tensão) da água do solo, parâmetros de água-solo como a capacidade de armazenamento da água na zona das raízes e a tensão máxima (crítica) para retorno da irrigação para as culturas devem ser conhecidos.

A irrigação, utilizando a tensão de água no solo para o manejo, deve ser realizada sempre que a tensão atingir um determinado valor crítico que não afete o desempenho da cultura. De acordo com Morgan, Parsons e Wheaton (2001), o teor de água no solo deve ser mantido entre certos limites críticos que não prejudiquem a planta, enquanto a lixiviação é prevenida.

De acordo com Carvalho e Oliveira (2012), há várias técnicas ou métodos para a determinação direta ou indireta do teor de água no solo. Os principais métodos são o padrão de estufa, também denominado gravimétrico, que fornece de forma direta os valores de umidade no solo, e os indiretos que tomam como base medidas de moderação de nêutrons, da resistência do solo à passagem de uma corrente elétrica, da constante dielétrica do solo e da tensão de água no solo. Entre os sensores de resistência elétrica, destacam-se os de blocos de matriz granular (GMS, por exemplo, *Watermark*®) que operam com o mesmo princípio de resistência elétrica dos blocos de gesso e contém uma

pastilha de gesso inserida na matriz granular, conectado a um medidor de corrente elétrica. O sensor é introduzido no solo, que após certo intervalo de tempo receberá ou transferirá umidade para o solo, até atingir o equilíbrio higroscópico. Ao se ligar o sensor ao medidor flui uma corrente elétrica entre os eletrodos, que fornecerá o correspondente valor da tensão de água no solo. Este tipo de metodologia é um procedimento de forma geral, bastante simples e de extrema importância, pois auxilia no monitoramento da dinâmica da água no solo, uma vez que avalia a tensão de água no solo na faixa de 0 a 200 kPa, que é a faixa onde a maior parte dos fluxos ocorrem. Além disso, a medição dos sensores pode ser feita à distância, por intermédio de fios elétricos, fazendo com que as plantas e o solo permaneçam relativamente intactos ao longo do monitoramento.

De acordo com o fabricante (IRROMETERCOMPANY, 2012), o sensor de matriz granular (watermark®) deve ser instalado sempre saturado após a sua imersão em água. Vale ressaltar que antes da sua instalação, deve-se fazer um furo no solo com a ajuda de um trado de diâmetro externo igual ao diâmetro do sensor, a seguir enche-se o furo com a água e logo a seguir procede-se com a sua instalação. Diferentemente dos tensiômetros, quando se usa o sensor de matriz granular não há necessidade de calibração, pois, a resistência elétrica é convertida automaticamente em tensão de água no solo.

Outro método que se destaca é a tensiometria que utiliza sensores chamados de tensiômetros. De acordo com Silva et al. (1999), as principais vantagens dos tensiômetros em relação a outros indicadores de manejo da irrigação com base no solo são: medição direta e em tempo real da tensão de água no solo, sendo a umidade determinada indiretamente; qualidade no manejo da água desde que convenientemente instalado, mantido e interpretado; custo relativamente baixo e facilidade de ser encontrado no mercado. O tensiômetro é um instrumento composto por um tubo de PVC de $\frac{1}{2}$ " de diâmetro e

comprimento variável conforme a profundidade da camada do solo que se deseja alcançar, com uma cápsula de cerâmica porosa colocada na ponta inferior.

De acordo com Faria e Costa (1987), o tensiômetro opera na faixa de 0 a 80 kPa. Leituras de tensão zero ou próximas, indicam que o solo está saturado e que as plantas sofreriam com a falta de oxigênio. Leituras de 6 a 25 kPa correspondem à condição ideal de umidade e aeração do solo. Em leituras acima de 25 kPa pode ocorrer deficiência hídrica em plantas sensíveis, com sistema radicular mais superficial. Marouelli, Silva e Silva (1996) estabelecem como limite para o funcionamento a tensão de 70 kPa; e apesar de sua limitada faixa de leitura, o autor considera útil no controle da irrigação, devido às tensões consideradas adequadas para a maioria de hortaliças serem menores que esse valor.

De acordo com Jones (2004), os indicadores de manejo de irrigação com base no solo podem ser expressos por meio do teor de água no solo, tensão de água no solo e/ou uma junção dos dois, utilizando-se a curva de retenção de água no solo. De acordo com o mesmo autor, esses indicadores apresentam inúmeros problemas tais como: variabilidade espacial do solo, o que exige a amostragem ou instalação de sensores em vários locais da área; dificuldade de selecionar a distância da planta e a profundidade de instalação que efetivamente represente a zona radicular; a maioria dos sensores não mede teor de água diretamente, necessitando de calibração.

Shock, Feibert e Jaderholm (2002), realizando uma comparação entre tensiômetro e sensor de matriz granular (Watermark[®] *sensor model 200SS*), obtiveram boa correlação entre esses sensores na medição da tensão de água no solo, para a faixa de alcance dos tensiômetros em diversos ciclos de molhamento e secagem do solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de instalação do experimento

O experimento foi instalado no campo experimental da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras, que está situado na região sul de Minas Gerais, tendo como referência as seguintes coordenadas geográficas: latitude 21° 14' S, longitude 45° 00' W Gr. e 918 m de altitude.

O experimento foi realizado no período de Maio a Agosto de 2012 em casa de vegetação com 7 m de largura e 30 m de comprimento (210 m²), do tipo teto em arco, construída com estrutura metálica apresentando 3,0 m de pé-direito e 4,5 m de altura no ponto mais alto. A casa de vegetação está revestida na parte superior com filme de polietileno aditivado anti-UV de 0,15 mm de espessura e nas laterais com tela antiafídeos (Figura 1).



Figura 1 Visão geral do experimento no interior da casa de vegetação

3.1.1 Clima

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima de Lavras é Cwa, ou seja, clima temperado chuvoso (mesotérmico), com inverno seco e verão chuvoso, subtropical (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007). A temperatura média do mês mais frio é inferior a 18 °C e superior a 3 °C e o verão apresenta temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C (22,1 °C em fevereiro). Lavras mantém a temperatura do ar média anual de 19,4 °C, umidade relativa do ar média de 76,2% e tem uma precipitação média anual de 1.529,7 mm, bem como uma evaporação média anual de 1.034,3 mm (BRASIL, 1992).

3.2 Solo

O solo, classificado originalmente como um Latossolo Vermelho Distroférico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA, 1999), foi coletado na camada de 0 a 0,4 m de profundidade. As análises físicas e químicas foram realizadas em uma amostra composta representativa enviada aos Laboratórios de Física e de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, respectivamente.

A preparação do solo foi feita com a ajuda de uma enxada rotativa e de um subsolador. A calagem foi realizada 90 dias antes do plantio de brócolis, aplicando-se 42 kg de calcário dolomítico com 95% de PRNT (14% de MgO) recomendado por Fontes (1999).

3.2.1 Análises físicas

A curva de retenção de água no solo foi determinada no Laboratório de Física de Solo da UFLA, a partir das amostras deformadas coletadas dentro da casa de vegetação na camada de 0 a 0,4 m de profundidade. Os pontos de baixas tensões (2, 4, 6 e 10 kPa) foram determinados com base no funil de Haines usando-se uma amostra saturada em contato hidráulico com a placa porosa, mantendo-se o nível do tubo flexível a uma altura um pouco superior à da amostra e os de altas tensões (33, 100, 500 e 1500 kPa) foram determinados com base no extrator de Richards.

De posse dos valores da umidade do solo em base no peso e na massa específica ($0,92 \text{ g cm}^{-3}$), calculou-se a umidade volumétrica para cada tensão de água no solo (produto da umidade gravimétrica pela massa específica do solo) e com ajuda do modelo de Genuchten (1980), gerou-se a Equação 1 que traduz o comportamento da umidade do solo em função da tensão para a camada de 0 a 0,4 m. O ajuste dos dados ao modelo foi feito com uso da planilha eletrônica (Ferramenta “Solver” do Excel®).

$$\theta = 0,232 + 0,313 \cdot \left[\frac{1}{1 + (0,411|\varphi_m|)^{1,6613}} \right]^{0,3981} \quad (1)$$

em que:

θ = umidade atual com base em volume ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

φ_m = tensão da água no solo (kPa).

A umidade volumétrica na capacidade de campo foi determinada substituindo a tensão da água no solo na Equação 1 por 10 kPa e obteve-se o valor de $0,319 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Para a determinação da umidade de saturação e residual

considerou-se as umidades correspondentes as tensões de 2 e 1500 kPa, respectivamente.

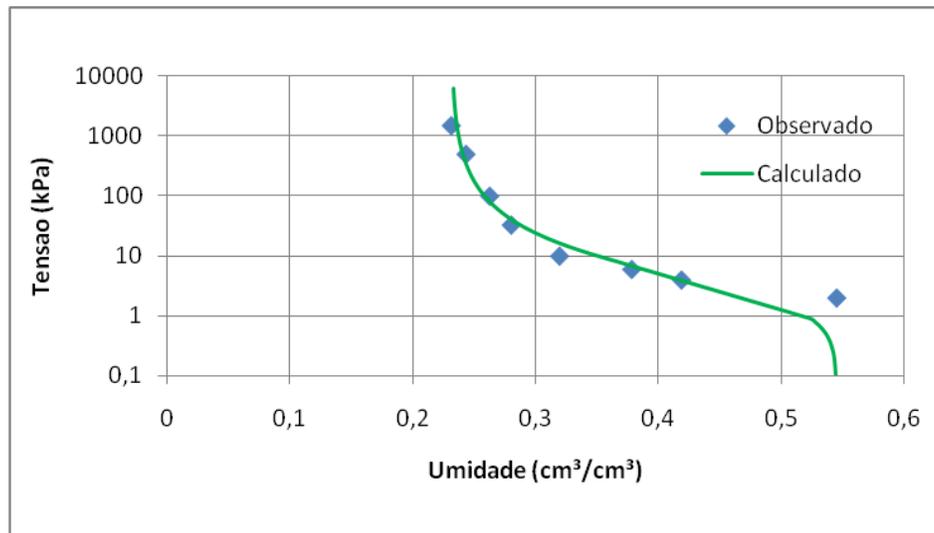


Figura 2 Curva de retenção de água no solo

Fonte: Gerada a partir do modelo de Genuchten (1980)

3.2.2 Análises químicas

Na tabela 2 são apresentados os teores de nutrientes encontrados no solo antes da adubação de plantio. Para a obtenção dessas características químicas foi coletada uma amostra composta de solo no local do experimento, correspondente a camada de 0 a 0,4 m de profundidade.

Tabela 2 Resultados de análise química de amostras de solo do experimento

Sigla	Descrição	Quantidade ou Valor	Unidade
P ^h	Em água, KCl e CaCl ₂ (1:2,5)	6,3	---
P	Fósforo	23,9	mg dm ⁻³
K	Potássio	132,6	mg dm ⁻³
Ca	Cálcio	5,4	cmol dm ⁻³
Mg	Magnésio	1,1	cmol dm ⁻³
Al	Alumínio	0,0	cmol dm ⁻³
H+Al	Acidez Potencial	1,7	cmol dm ⁻³
SB	Soma de bases trocáveis	6,8	cmol dm ⁻³
T	Capacidade de troca catiônica efetiva	6,8	cmol dm ⁻³
T	Capacidade de troca catiônica a pH 7	8,5	cmol dm ⁻³
V	Índice de saturação de bases	80,5	%
M	Índice de saturação de alumínio	0,00	%
M.O	Matéria orgânica	1,9	dag kg ⁻¹
P – Rem	Fósforo remanescente	2,7	mg L ⁻¹

3.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi de blocos completos casualizados (DBC), com seis (6) tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por seis tensões de água no solo (15, 30, 45, 60, 75 e 90 kPa).

De acordo com *Food and Agriculture Organization of the United Nations* - FAO (1998), a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura de brócolis varia de 0,4 – 0,6 m, neste trabalho considerou-se a profundidade efetiva do sistema radicular de 0,4 m. Instalou-se 3 sensores de matriz granular (GMS), *watermark*® a 0,2 m de profundidade que serviram como indicadores indiretos sobre quando e quanto irrigar (sensores de decisão), e um a 0,4 m de

profundidade para efeitos de eventuais perdas de água por percolação profunda ou lixiviação de nutrientes e usou-se o espaçamento entre sensores de 0,4 m.

Para o efeito acima, e como forma de minimizar os custos de aquisição dos sensores, foram utilizados 48 sensores de matriz granular (GMS), *watermark*®, isto é, instalou-se 4 sensores em cada tratamento em apenas duas repetições para cada tratamento.



Figura 3 Planta de brócolis, sensor de matriz granular e medidor digital

Cada parcela experimental tinha 0,8 m de largura e 2,4 m de comprimento (1,92 m²). As parcelas eram compostas por duas linhas de plantio espaçadas de 0,8 m entre si e 0,4 m entre plantas. As parcelas úteis foram compostas por 6 plantas (3 plantas por linha de plantio), sendo descartadas 1 planta no início e 2 plantas no final da linha (Figura 4).

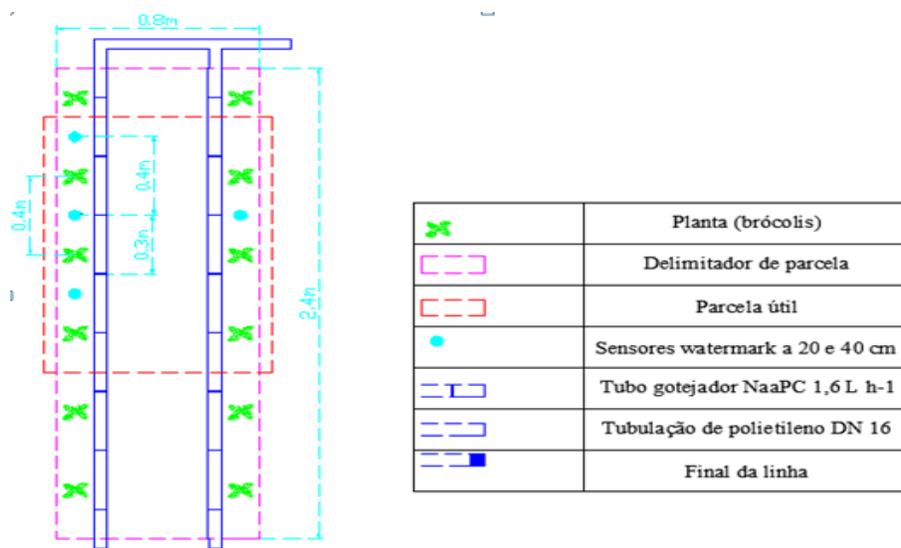


Figura 4 Esquema de uma parcela experimental com o sistema de irrigação implantado e os sensores de umidade

3.4 Sistema e manejo da irrigação

Foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento cujas vantagens já foram mencionadas ao longo do trabalho. Em cada parcela experimental (composta por 2 linhas de plantio), foi instalado dois tubos gotejadores auto compensantes de Polietileno, modelo Naan PC-DN 16, com emissores do tipo in – line, espessura de 0,90 mm e espaçamento entre gotejadores de 0,3. Os tubos gotejadores foram conectados nas linhas de derivação de Polietileno (DN16) e esta aos tubos de PVC (DN 35; PN40) com válvulas de comando elétrico localizadas na saída do cabeçal de controle. Os tubos gotejadores estavam distanciados em 0,7 m entre si, com 8 gotejadores por tubo e com uma vazão média de 1,7 L h⁻¹, valor este (vazão) obtido com o teste de uniformidade efetuado no campo sob pressão de 1, 6 kgf cm⁻² (160 kPa).

Utilizou-se uma válvula (Solenóide) para cada tratamento, sendo válvulas 17, 18, 19, 20, 21 e 22 para os tratamentos 1, 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente. As válvulas eram acionadas por um Controlador Lógico Programável (RAIN BIRD), previamente programado para fornecer a lâmina de água necessária para cada tratamento.

Em cada tratamento aplicou-se a quantidade de água necessária para elevar a umidade atual com base no volume (calculada com base na Equação 1) à umidade na capacidade de campo determinada com base na tensão de 10 kPa para a profundidade efetiva do sistema radicular de 0,4 m.

A lâmina bruta de irrigação foi calculada utilizando a Equação 2.

$$LBI = \frac{LLI}{(1 - K).CUD} \quad (2)$$

$$LLI = (\theta_{cc} - \theta_a).Z \quad (3)$$

$$K = 1 - Ea \quad (4)$$

$$K = cd = \frac{CE_i}{2.CE_e} \quad (5)$$

em que:

LLI= lâmina líquida de irrigação (mm);

LBI = lâmina bruta (mm);

θ_{cc} = umidade na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_a = umidade atual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

CUD = coeficiente de uniformidade do sistema de irrigação (%).

cd = coeficiente de drenagem;

Z = profundidade do sistema radicular (mm);

CE_i = condutividade elétrica da água de irrigação ($0,032 \text{ dSm}^{-1}$);

CE_e = condutividade elétrica do extrato de saturação ($0,43 \text{ dSm}^{-1}$);

K = constante que leva em conta a salinização e a eficiência do sistema;

Com base nas Equações 4 e 5, obteve-se os valores de 0,13 e 0,0069, respectivamente. Dado que $(1-Ea) > cd$, a perda por percolação supera a necessidade de lavagem do solo sendo assim, para o cálculo da lâmina bruta de irrigação usou-se o valor de $k = 0,13$.

Vale ressaltar que a partir do dia em que iniciou a diferenciação dos tratamentos até o dia 05 de Julho, a lâmina de água foi aplicada para atender as necessidades da cultura até a profundidade de 0,2 m, pois as plantas no seu primeiro estágio de crescimento consomem menos água, devido, por exemplo: sistema radicular menos desenvolvido e área foliar também menos desenvolvida, que ocasiona menores perdas de água por transpiração.

Após o cálculo da lâmina bruta de irrigação, calculou-se o tempo de funcionamento do sistema de irrigação em cada tratamento para elevar a umidade à capacidade de campo empregando-se a Equação 6.

$$T_f = \frac{LBI.A}{e.qa} \quad (6)$$

em que:

T_f = tempo de funcionamento do sistema de irrigação (h);

A = área ocupada pela planta (m^2);

qa = vazão média dos emissores (L h^{-1});

e = número de emissores por planta (1,3).

O momento a irrigar foi determinado com base na leitura da tensão de água no solo obtida com a ajuda de sensores de *watermark*®, instalados na profundidade de 0, 2 m e sorteado em 12 parcelas experimentais. Este momento, foi estabelecido quando 4 dos 6 sensores atingiam a tensão crítica estabelecida para cada tratamento. As leituras eram efetuadas todos os dias em dois períodos, sendo de manhã das 8 h às 09 h e de tarde das 14 h às 15 h.

Antes da instalação dos sensores de matriz granular e do transplante das mudas, fez-se o teste de uniformidade de emissão/distribuição (CUD), por este ser mais utilizado na irrigação localizada e por ser mais exigente que o teste de uniformidade de Christiansen. De acordo com Wu (1997), o estudo da variação da vazão dos emissores (gotejadores) é de grande importância em irrigação localizada (gotejamento).

O teste de uniformidade de emissão (92%) foi efetuado nos tratamentos 1, 3 e 6 (gotejadores 1, 4, 6 e 8 de cada tratamento) durante 5 min., tendo-se sorteado duas repetições em cada tratamento, calculado a partir da Equação 7. Este teste fez-se com ajuda dos coletores de 250 ml, provetas e com ajuda de um cronômetro. Para os tratamentos selecionados, adaptou-se o procedimento recomendado por Merriane Keller (1978 citados por CABELLO, 1996), em que se escolhe uma subunidade e nela se selecionam quatro laterais: início da lateral, 1/3 do comprimento da lateral, 2/3 do comprimento da lateral e no final da lateral.

$$CUD = \frac{q_{25}}{q_a} \quad (7)$$

em que:

q_{25} = média das 25% menores vazões coletadas ($L h^{-1}$);

q_a = média das vazões coletadas ($L h^{-1}$).

Depois de se determinara uniformidade de emissão, determinou-se a eficiência de aplicação do sistema de irrigação com base na Equação 8 recomendada por Wu (1997). Para além destes dois parâmetros (acima), determinou-se o coeficiente de variação total (11,4%) dado pela relação entre o desvio padrão das médias e a vazão média, recomendado por Cabello (1996) e classificado com base na Tabela 3 de acordo com o mesmo autor.

$$E_a = \frac{q_{\min}}{q_a} \quad (8)$$

em que:

E_a = eficiência de aplicação do sistema de irrigação (0,87);

q_{\min} = Vazão mínima(L h⁻¹);

q_{med} = Vazão média(L h⁻¹) .

Tabela 3 Classificação do coeficiente de variação total da vazão (CVt)

Valores de CVt	Classificação
$CVt \leq 0,10$	Excelente
$0,10 < CVt \leq 0,2$	Muito bom
$0,2 < CVt \leq 0,3$	Aceitável
$0,3 < CVt \leq 0,4$	Baixo
$CVt > 0,4$	Inaceitável

3.5 Condução do experimento

O transplante das mudas foi feito no dia 11 de Junho de 2012, no estágio de 4 folhas, diâmetro do colo entre 4 e 8 mm a 0,05 m de profundidade,

utilizando o espaçamento de 0,8 m entre fileiras e 0,4 m entre plantas. A partir deste dia até o início da diferenciação dos tratamentos (9 dias após o transplante), a irrigação foi por microaspersão com o tape SANTENO, composto por uma mangueira de Poliestireno linear, com micro furos de 0,3 mm perfurados a raio laser, com pressão máxima de 1kgf cm^{-2} (100 kPa) e com uma intensidade de precipitação de 20 mm h^{-1} , valor este obtido a partir do teste em campo. O uso da microaspersão até o início da diferenciação dos tratamentos teve como objetivo principal garantir o estabelecimento (pegamento) das mudas.

Na Figura 5, apresenta-se a planta de brócolis, Cultivar Avenger dentro da casa de vegetação.



Figura 5 Planta de brócolis dentro da casa de vegetação, cultivar Avenger

A seguir, apresentam-se as lâminas aplicadas em todos os tratamentos antes do início da diferenciação dos tratamentos.

Tabela 4 Lâminas de água aplicadas no brócolis, desde o transplante até o início da diferenciação dos tratamentos

Data	Lâmina aplicada (mm)	Tempo de irrigação(min.)
11/06/2012	6	20
12/06/2012	5	15
13/06/2012	3	9
14/06/2012	3	9
15/-6/2012	3	9
16/06/2012	3	9
17/06/2012	3	9
19/06/2012	3	9
20/06/2012	-	-
Total	29	89

Nos dois primeiros dias, aplicou-se maior quantidade de água comparativamente aos dias subsequentes (Tabela 4). Esta aplicação teve como objetivo reduzir o efeito de estresse hídrico que provavelmente as mudas teriam sofrido durante o seu transporte até ao local definitivo (novas condições de campo), aumentando desta forma a possibilidade do seu estabelecimento sem falhas. Nos demais dias, aplicou-se uma lâmina média diária de 3 mm baseada em lâmina média evaporada por dia. No dia 20 de Junho foram instalados os sensores de matriz granular (*watermark*®) e não se fez nenhuma irrigação a fim de se estabelecer um equilíbrio entre a matriz do solo e os sensores de umidade instalados nas diferentes profundidades. Ressalta-se que a partir do dia 21 de Junho (10 dias após o transplante), as irrigações foram realizadas em função das tensões de água no solo estabelecidas para cada tratamento.

3.6 Práticas culturais

A seguir apresentam-se as práticas culturais realizadas durante a condução do experimento.

3.6.1 Adubação

A adubação de base foi realizada a lanço no dia 04 de Junho de 2012 (6 dias antes do transplante) com 400 kg ha^{-1} de P_2O_5 (fonte: Superfosfato Simples); 30 kg ha^{-1} de N (fonte: Ureia), 36 kg ha^{-1} de K_2O (fonte: Cloreto de Potássio Vermelho), 10 kg ha^{-1} de Bórax e $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de Molibdato de Amônio de acordo com a recomendação de Fontes(1999). Fez-se uma gradagem antes da adubação para facilitar a aplicação do adubo, destruição de torrões e outra 3 dias após a adubação de base para garantir a incorporação do adubo no solo. Além da adubação química, fez-se a orgânica com 1 kg m^{-2} de PROVASO dez dias antes do transplante.

De acordo com os autores acima, os fertilizantes com nitrogênio e potássio em cobertura devem ser aplicados de forma parcelada, sendo 30 kg ha^{-1} de N e 36 kg ha^{-1} de K_2O aos 20 dias após o transplante e 45 kg ha^{-1} de N e 54 kg ha^{-1} de K_2O aos 40 e 60 dias após o transplante, respectivamente. Trani, Nagai e Passos (1996) relatam que pulverizações foliares com 1 kg ha^{-1} de Bórax, $0,25 \text{ kg ha}^{-1}$ de Molibdato de Sódio devem ser realizadas 3 vezes em cada 15 dias após o transplante. Portanto, o parcelamento da adubação de cobertura foi feito conforme as recomendações acima de forma a permitir a redução da concentração salina da solução do solo em contato com as mudas recém-transplantadas além de reduzir a sua perda por lixiviação. Ressalta-se que toda a adubação levou em conta os resultados de análise química anteriormente apresentados (Tabela 2).

3.6.2 Controle de pragas, doenças e ervas daninhas

Fez-se o controle de formigas dentro e fora da casa de vegetação. Este controle, foi realizado 1 dia após o transplante usando Termitox diluído em água na concentração de 2,5% v/v (250 ml de Termitox para 10 L de água) com ajuda de um pulverizador costal. Fez-se também o controle de pulgão (*Brevicoryne brassicae*) com Lannate® BR da classe inseticida (1000 L de calda/ ha) 13 dias e 50 dias após o transplante, 37 dias após o transplante fez-se o controle de ácaros aplicando-se Pirate® da classe inseticida/acaricida na concentração 5 ml por 10 L de água. O controle de pragas era feito à medida que elas eram identificadas no campo, tendo em conta a sua incidência.

Fez-se o controle de mildio (*Peronospora parasitica*) aplicando-se Dithane*NT da classe Fungicida/acaricida (dose de 2 kg ha⁻¹e 200 g/100L de água) aos 47 dias após o transplante. Em seguida, repetiu-se 2 controles de 7 em 7 dias aplicando-se as mesmas dosagens. As doses de pesticidas aplicadas tanto para o controle de pragas como de doenças, basearam-se na informação oferecida pelo fabricante no rótulo de cada produto químico.

O controle de plantas daninhas foi manual, realizado à medida que as plantas daninhas apareciam no campo (dentro da casa de vegetação) de forma a reduzir a competição entre plantas daninhas e a cultura. Realizou-se no total 3 capinas manuais em intervalos de 15 dias.

3.6.3 Tutoramento, amonta e colheita

Tendo-se verificado que o brócolis tombava nos dias ventosos, fez-se o seu tutoramento com estacas de bambu e a amontoa para aumentar a fixação da planta no solo.

A colheita ocorreu aos 78 dias após o transplante quando as inflorescências (cabeças) dos tratamentos de 15, 30 e 45 kPa apresentavam o máximo desenvolvimento antes da abertura dos botões florais. É de referir que os tratamentos de 60, 75 e 90 kPa também foram colhidas aos 78 dias após o transplante de forma a reduzir a ocorrência do efeito ciclo nas variáveis em estudo.

3.6.4 Variáveis meteorológicas

Com base na estação meteorológica automática instalada no centro da casa de vegetação, fez-se o registro diário dos valores de temperatura e umidade de ar, os quais serviram como indicadores para o controle preventivo de doenças.

3.7 Variáveis avaliadas

Após a colheita de brócolis, foram avaliadas as variáveis abaixo:

3.7.1 Massa fresca total das inflorescências

No momento da colheita, após a separação da inflorescência com as demais partes da planta com ajuda de uma faca, pesou-se 6 inflorescências por parcela útil com a ajuda de uma balança digital e obteve-se o valor médio por repetição do tratamento, determinando-se desta forma a massa fresca total das inflorescências. Os dados foram expressos em kilograma (kg).

3.7.2 Massa fresca comercial das inflorescências

Trevisan et al. (2003) consideram inflorescências comerciais aquelas que não apresentam danos provocados por pragas, doenças e distúrbios fisiológicos. Dado que nenhuma inflorescência apresentou os problemas acima mencionados, após a determinação da massa fresca total, retirou-se as folhas protetoras e cortou-se a haste na base da inflorescência. Feito isso, procedeu-se com a pesagem de 6 inflorescências e posteriormente o valor médio, determinando-se desta forma a massa fresca comercial. Os dados foram expressos em kilograma (kg).

3.7.3 Diâmetro médio da inflorescência

Foi determinado no momento da colheita com ajuda de dois sarrafos de madeira e de uma régua graduada em centímetros. Mediram-se dois diâmetros perpendiculares e determinou-se a média que foi considerada como diâmetro da inflorescência. Os dados foram expressos em centímetros (cm).

3.7.4 Altura da inflorescência

Foi medida a partir da base das inflorescências comerciais até o topo das mesmas com ajuda de uma régua graduada em centímetros e um nível de pedreiro. Os dados foram expressos em centímetros (cm).

3.7.5 Circunferência da inflorescência comercial

Foi determinada com ajuda de uma fita métrica. Os dados foram expressos em centímetro (cm).

3.7.6 Produtividade total

Estimou-se a população de plantas que teria em um hectare (31250 plantas), a partir da dimensão da parcela e do espaçamento utilizado na cultura de brócolis. Tendo essa população e a massa fresca total das inflorescências, estimou-se a produtividade total das inflorescências. Os dados foram expressos em $t\ ha^{-1}$.

3.7.7 Produtividade comercial

Foi estimada empregando o procedimento acima descrito, para inflorescências comerciais. Os dados foram expressos em $t\ ha^{-1}$.

3.7.8 Eficiência no uso de água

Foi determinada com na base na relação entre a produtividade comercial e a lâmina total aplicada (mm) por tratamento durante a realização do experimento. A produtividade comercial foi convertida para $kg\ ha^{-1}$. Os resultados foram expressos em percentagem ($kg.ha^{-1}.mm^{-1}$).

3.8 Análise estatística

Após a obtenção de dados, foi realizada a análise de variância pelo teste F e análise de regressão a 5 e 1% de probabilidade. Foi utilizado o Software Sisvar (FERREIRA, 1999).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Condições climáticas na casa de vegetação

Na Figura 6, são apresentadas as temperaturas máximas, médias e mínimas verificadas no local de condução do experimento (dentro da casa de vegetação) a partir da diferenciação dos tratamentos até a colheita.

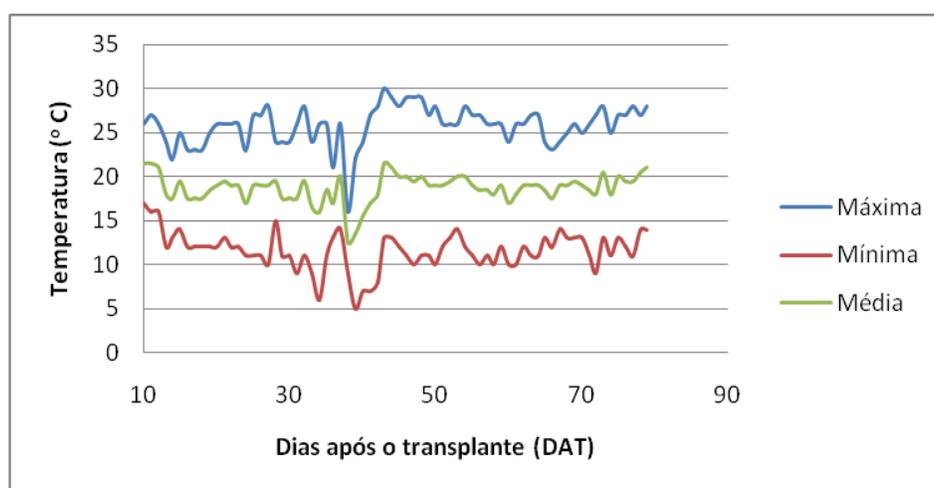


Figura 6 Temperaturas diárias máximas, médias e mínimas do ar ocorridas durante a condução do experimento

Com base na Figura 6, verifica-se que durante o período de condução do experimento a temperatura média do ar foi de 18,69 °C e as médias máximas e mínimas foram de 25,8 e 11,57 °C, respectivamente. Nos meses de Junho, Julho e Agosto verificaram-se temperaturas médias mensais de 19; 18,27 e 19,02 °C, respectivamente.

A Figura 7 apresenta os valores diários máximos, médios e mínimos da umidade relativa do ar ocorridas durante a condução do experimento.

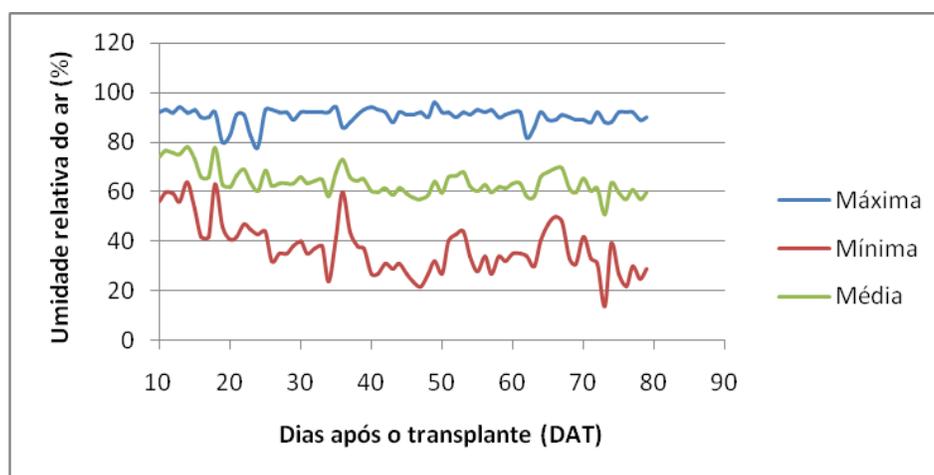


Figura 7 Umidades relativas diárias máximas, médias e mínimas do ar ocorridas durante a condução do experimento

Da Figura 7, observa-se que uma umidade relativa média do ar de 64,04% e umidades relativas médias máximas e mínimas de 90,46 e 37,61%, respectivamente.

De acordo com Björkman e Pearson (1998), a couve brócolis cresce satisfatoriamente em diferentes partes do mundo, mas temperaturas acima de 30 °C podem provocar a deformação da cabeça em cultivares sensíveis à temperaturas altas, tornando a cultura de alto risco nessas condições. Com base nesta constatação, pode-se afirmar que as temperaturas média do ar, médias máximas e mínimas, verificadas no experimento, são ideais para o crescimento da cultura de brócolis, pois estão abaixo do limite proposto pelos autores acima mencionados.

Períodos prolongados de temperatura acima de 25 °C podem retardar a formação da cabeça em plantas que se encontram em fase de crescimento vegetativo, enquanto que plantas com cabeças em formação podem reverter para crescimento vegetativo, reduzindo o tamanho das cabeças e causando desenvolvimento de folhas ou brácteas nos pedúnculos florais (UNIVERSITY

OF CALIFORNIA, 1987). Esta constatação, provavelmente não tenha se refletido no experimento apesar de se ter verificado temperatura média máxima de 25,8 °C, pois este valor está bem próximo do limite estabelecido pelo autor acima (25 °C), podendo não produzir diferenças significativas. Pode-se ainda afirmar-se que as temperaturas médias mensais verificadas (19; 18,27 e 19,02 °C) nos meses de Junho, Julho e Agosto, respectivamente são também ideais para o crescimento de brócolis dado que elas (temperaturas) estão abaixo da temperatura médias máxima recomendado por Casseres(1980) para o crescimento e qualidade de brassicáceas que é de 23,8 °C. As mesmas temperaturas observadas no presente trabalho são ideais, pois Schiavon Júnior (2008) relata que durante a fase de crescimento, temperaturas entre 20 e 24 °C proporcionam um desenvolvimento normal de brócolis.

O valor de umidade relativa média (64,04%) observado é propenso para o desenvolvimento da cultura de brócolis. Porém, o mesmo não se pode afirmar para a umidade relativa média mínima (37,61%) e média máxima (90,46%), pois de acordo com InfoAgro (2012), a umidade relativa ótima para o desenvolvimento de brócolis oscila entre 60 e 75%.

4.2 Tensões e lâminas de água aplicadas

Na Tabela 5, apresentam-se as lâminas de água aplicadas antes (Inic) e, após a diferenciação dos tratamentos (Irrig), bem como as lâminas totais de água (Tot), lâmina média por irrigação (mpi) e o número de irrigações por tratamento (NI).

Tabela 5 Tensões de água no solo à profundidade de 0,2 m, lâminas aplicadas antes da diferenciação dos tratamentos (Inic), lâminas aplicadas após a diferenciação dos tratamentos (Irrig), lâminas totais de água (Tot), lâmina média por irrigação (mpi) e o número de irrigações (NI)

Tensão (kPa)	Lâmina (mm)				NI (ud)
	Inic	Irrig	Tot	mpi	
15	29	422,6	451,6	11,12	38
30	29	276,7	305,7	25,15	11
45	29	216,8	245,8	30,97	7
60	29	137,1	166,1	34,28	4
75	29	145,8	174,8	36,45	4
90	29	114,0	143	38	3

Antes da diferenciação dos tratamentos aplicou-se uma lâmina total de 29 mm por tratamento e após a diferenciação as lâminas de água foram aplicadas em função das tensões de água no solo estabelecidas para o início da irrigação em cada tratamento (Tabela 5). A lâmina total aplicada aumentou com a diminuição da tensão de água no solo, tendo atingido um valor máximo na tensão de 15 kPa.

Nas Figuras 8 e 9, estão apresentadas as tensões médias registradas pelos sensores de umidade instalados a 0,2 m de profundidade (sensores de decisão) após o transplante de brócolis. Nas mesmas Figuras, observa-se que a frequência de irrigação foi maior em tratamentos de baixa tensão, porém o tempo do funcionamento do sistema de irrigação foi maior em tratamentos de alta tensão dado que o sistema tinha que funcionar para fornecer uma lâmina de irrigação maior em relação aos tratamentos de baixa tensão por irrigação efetuada.

Thompson, Doerge e Godin (2002) verificaram em seu estudo com a cultura de brócolis que tratamentos de menor tensão receberam maior quantidade de água. No geral, esta constatação, foi também observada no presente experimento.

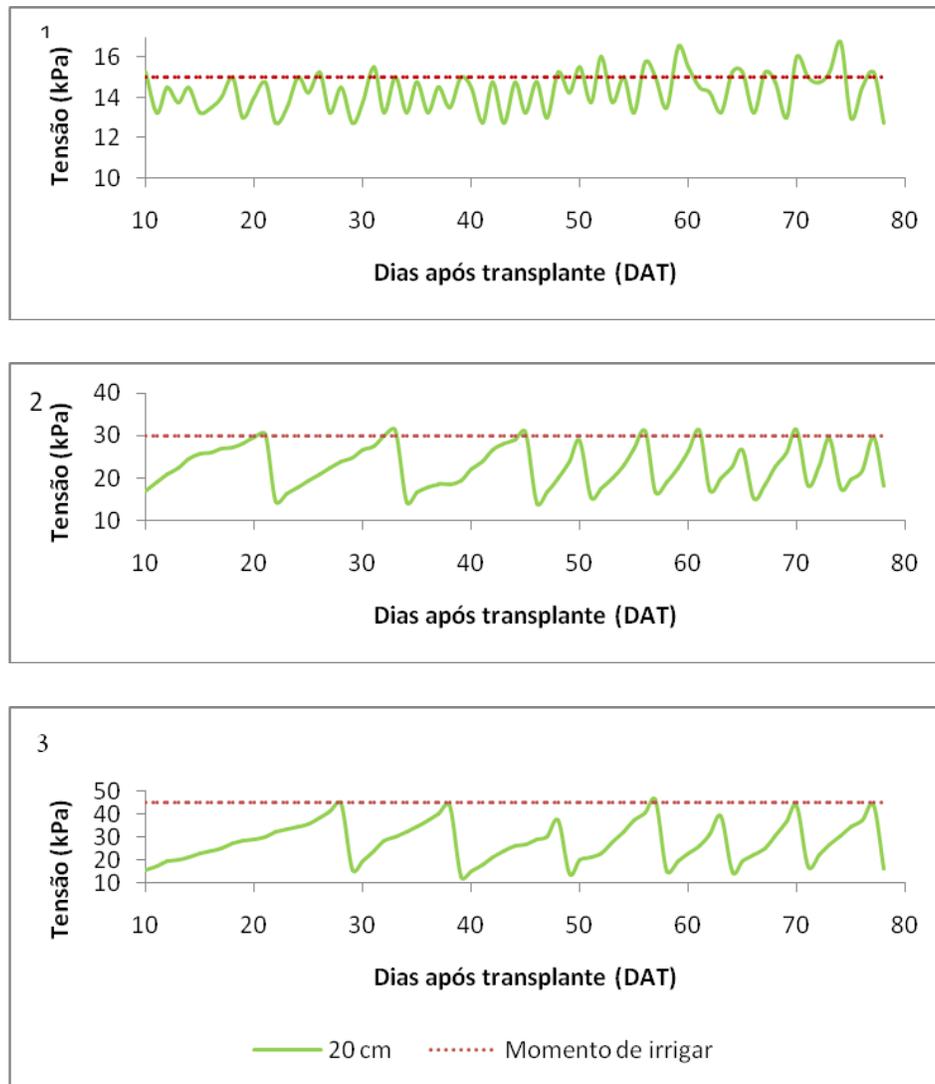


Figura 8 Variação das tensões da água no solo ocorrida após a diferenciação dos tratamentos 1 (15 kPa); 2 (30 kPa) e 3 (45kPa), ao longo do ciclo da cultura de brócolis

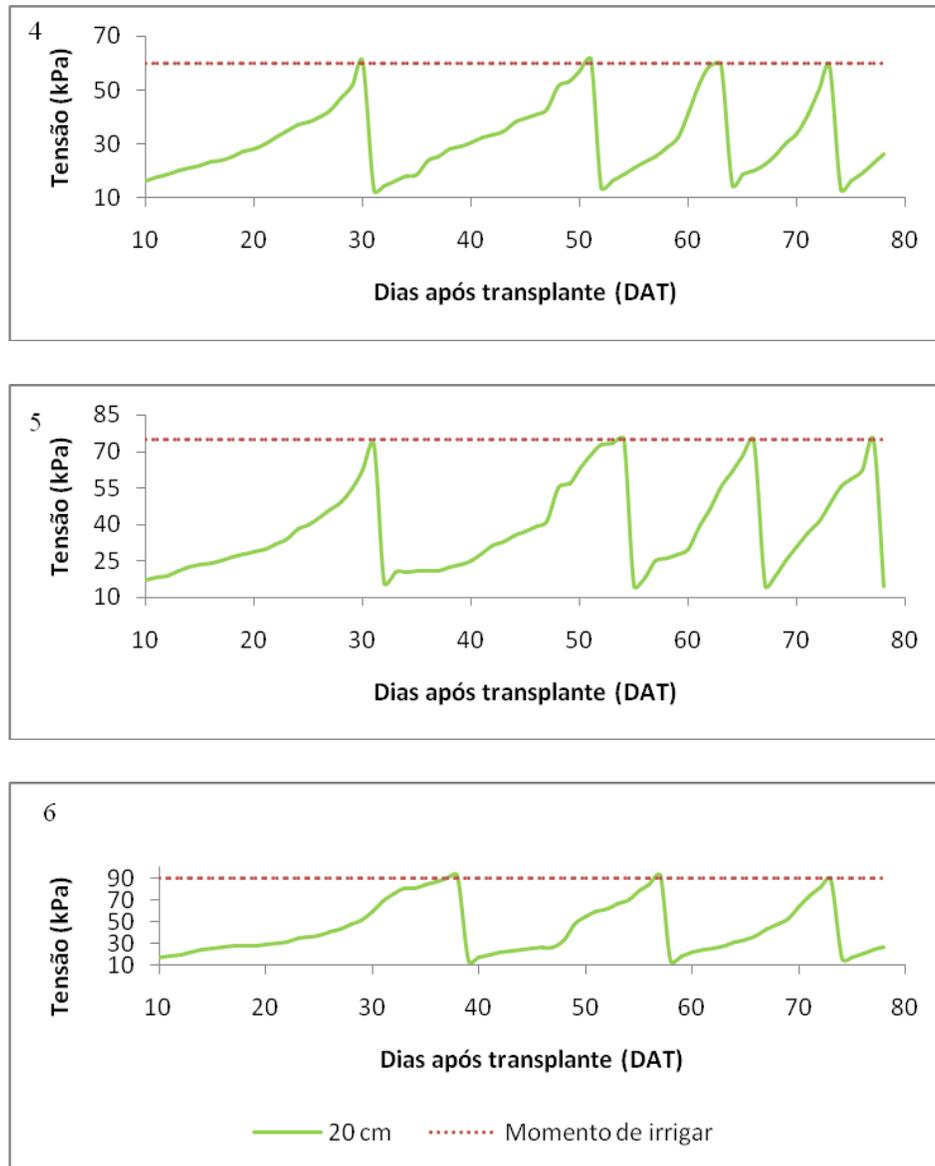


Figura 9 Variação das tensões da água no solo ocorrida após a diferenciação dos tratamentos 4 (60 kPa); 5 (75 kPa) e 6 (90 kPa), ao longo do ciclo da cultura de brócolis

4.3 Massa fresca total e comercial das inflorescências de brócolis

Os níveis de tensão de água no solo tiveram efeito significativo tanto na massa fresca total (MFT) como na massa fresca comercial (MFC) a 1% de probabilidade pelo teste F (Tabela 6).

Observa-se na Figura 10, as diferenças de massa fresca comercial de brócolis para diferentes tratamentos em estudo.



Figura 10 Massa fresca comercial de brócolis em diferentes tratamentos

Nota: Onde está escrito 60 lê-se 45 e vice-versa

Tabela 6 Resumo de análise de variância e de regressão para massa fresca total (MFT; kg) e massa fresca comercial (MFC; kg) da cultura de brócolis

Fonte de Variação	G.L	Q.M	
		MFT	MFC
Tensão	5	0,088**	0,073**
Bloco	3	0,049 ^{ns}	0,032 ^{ns}
Resíduo	15	0,017	0,015
Média	-	0,654	0,580
C.V. (%)	-	20,40	21,47
Linear	1	0,436**	0,364**
Quadrática	1	0,000 ^{ns}	0,000 ^{ns}
Cúbica	1	0,003 ^{ns}	0,002 ^{ns}
Desvios	2	0,001 ^{ns}	0,000 ^{ns}
Resíduos	15	0,017	0,015

Em que: ^{ns} – não significativo pelo teste F, ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente pelo teste F

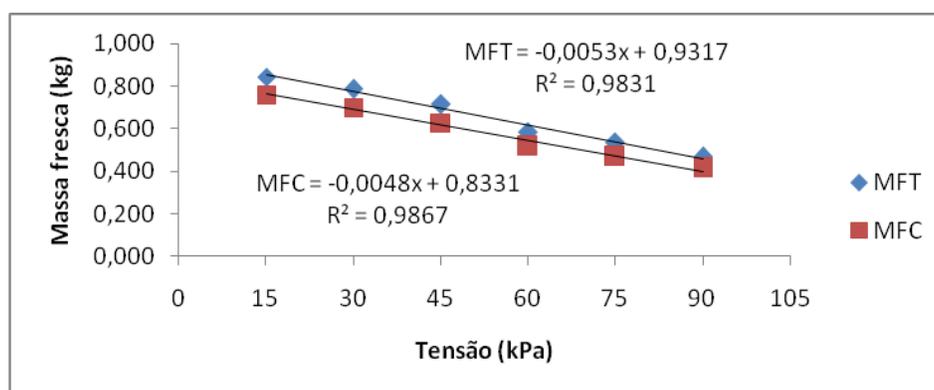


Figura 11 Massa fresca total (MFT) e comercial (MFC) da cultura de brócolis

A massa fresca total e comercial relaciona-se de forma linear com a tensão de água no solo a 1% de probabilidade (Figura 11). Observa-se valores altos tanto para a massa fresca total como para a comercial com o uso da tensão

mais baixa (15 kPa), decrescendo de forma linear até a tensão mais alta (90 kPa). A tensão de 15 kPa produziu 0,84 e 0,76 kg de massa fresca total e comercial por planta, respectivamente. A tensão de 90 kPa produziu 0,47 e 0,41 kg de massa fresca total e comercial por planta, respectivamente.

Melo, Madeira e Peixoto (2010), estudando o cultivo de brócolis de inflorescência única em diversas cultivares (Avenger, Demoleador, Green Storm Bonanza, Grandisismo e HECB – 01 -06) no verão em plantio direto, obtiveram uma massa média comercial das inflorescências de 0,46 kg para a cultivar Avenger. Este valor de massa fresca é inferior aos valores de massa fresca comercial correspondentes as tensões de 15 a 75 kPa deste experimento, porém o mesmo valor é superior ao de massa fresca comercial correspondente a tensão de 90 kPa (0,41 kg). Vargas, Charlo e Braz (2006), estudando o desempenho de cultivares do brócolis de cabeça única no verão, obtiveram maior massa fresca comercial na cultivar Marathon (0,73 kg), cujo valor é menor ao obtido no presente experimento na tensão de 15 kPa (0,76 kg). Coelho (2005), em trabalho de dissertação sobre manejo da irrigação na cultura de brócolis de “cabeça única” em ambiente protegido, obteve uma massa fresca total e comercial de 0,69 e 0,61 kg, respectivamente. Apesar de o presente trabalho ter sido feito em condições diferente dos autores acima, pode-se afirmar que o tratamento de 15 kPa produziu uma massa fresca maior, decrescendo com o aumento da tensão de água no solo.

Arjonae Greig(1984) verificaram a redução da massa fresca das inflorescências com a redução do espaçamento. Comportamento similar foi observado por Schiavon Júnior (2008). No presente experimento, verificou-se que o espaçamento utilizado (0,4x 0,8 m) era reduzido, portanto, baseando-se nos autores acima, pode-se afirmar que se tivesse sido utilizado um espaçamento mais largo, a massa fresca das inflorescências (total e comercial) provavelmente

teria sido maior em relação à obtida, pois, espaçamentos mais largos diminuem a competição entre plantas.

4.4 Diâmetro médio da inflorescência

Os níveis de tensão de água no solo exerceram efeito significativo no diâmetro médio da inflorescência (DMI) a 1% de probabilidade pelo teste F (Tabela 7).

Tabela 7 Resumo de análise de variância e de regressão para o diâmetro médio da inflorescência (DMI; cm) da cultura de brócolis

Fonte de Variação	G.L	Q.M
		DMI
Tensão	5	26,972 ^{**}
Bloco	3	13,504 ^{ns}
Resíduo	15	4,552
Média	-	17,540
C.V (%)	-	12,16
Linear	1	127,575 ^{**}
Quadrática	1	3,893 ^{ns}
Cúbica	1	1,785 ^{ns}
Desvios	2	0,804 ^{ns}
Resíduos	15	4,552

Em que: ^{ns} – não significativo pelo teste F, ^{**} e ^{*} significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente pelo teste F

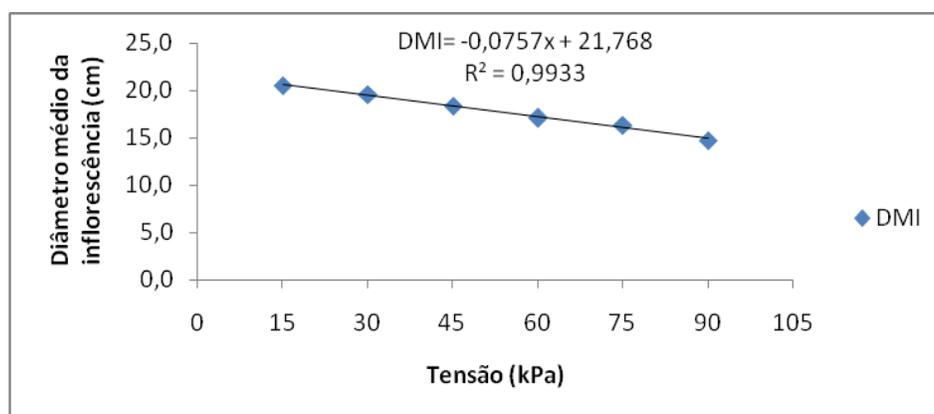


Figura 12 Diâmetro médio da inflorescência (DMI) da cultura de brócolis

A regressão linear simples explica a variação do diâmetro da inflorescência de brócolis em função da tensão de água no solo a 1% de probabilidade pelo teste F (Figura 12). O diâmetro médio da inflorescência decresceu de forma linear com o aumento da tensão de água no solo, atingindo menor valor na tensão de 90 kPa. O diâmetro médio da inflorescência foi de 20,5; 19,6; 18,4; 17,1; 16,4 e 14,8 cm nas tensões de 15, 30, 45, 60, 75 e 90 kPa, respectivamente.

Reyes et al. (2005), em experimento sobre o efeito da tensão de água no solo no rendimento e qualidade de brócolis, cultivar Patriot, irrigado por gotejamento utilizando as tensões de 28 kPa com “mulching” e 12, 20, 28, 36 e 45 kPa sem “mulching”, obtiveram valores de diâmetro médio da inflorescência variando de 14,6 a 16,6 cm, cujas diferenças não foram estatisticamente significativas. Estes valores (14,6 a 16,6 cm) são inferiores aos obtidos no presente experimento nas tensões de 15, 30, 45 e 60 kPa (20,6; 19,9 e 17,1, respectivamente). Contudo, não se podem tecer comparações, visto que, os estudos foram realizados em condições diferentes tais como: local; cultivar

utilizada; níveis de tensão de água utilizados, embora em ambos casos tenha se utilizado a tensão de 15 kPa.

Ayas, Orta e Yazgan (2011), em trabalho sobre o efeito do déficit hídrico no rendimento de brócolis, cultivar Monet, em ambiente protegido aplicando 100, 75, 50, 25 e 0% da lâmina de água evaporada a cada 2 dias, obtiveram valores médios do diâmetro da inflorescência na ordem de 24,5; 22; 16,5; 11 e 9,5 cm, respectivamente. Os dois primeiros e últimos valores do diâmetro médio da inflorescência não foram estatisticamente diferentes entre si, porém foram estatisticamente diferentes quando comparando com os demais valores a 1% de probabilidade. Há semelhança do caso anterior, as comparações não são totalmente válidas, mas pode-se notar claramente que tratamentos que receberam maior quantidade de água produziram melhores resultados, isto verificou-se também no presente estudo. Vale ressaltar que apesar de melhores resultados obtidos nos tratamentos que receberam maiores quantidade de água de irrigação, isto não significa de forma alguma que a resposta é infinitamente linear. Os tratamentos que receberam 100 e 75% da lâmina evaporada no estudo de Ayas, Orta e Yazgan (2011), produziram resultados maiores em relação ao maior resultado obtido no presente experimento (20,6 cm).

4.5 Altura da inflorescência

As tensões de água no solo não influenciaram de forma significativa na altura da inflorescência pelo teste F (Tabela 8).

Tabela 8 Resumo de análise de variância e de regressão para a altura das inflorescências (AMI; cm) da cultura de brócolis

Fontes de Variação	G.L	Q.M
		AMI
Tensão	5	2,206 ^{ns}
Bloco	3	3,142 ^{ns}
Resíduo	15	1,018
Média	-	11
C.V (%)	-	9,18

Em que: ^{ns} – não significativo pelo teste F, ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente pelo teste F

Embora a tensão de água no solo não tenha influenciado significativamente na altura da inflorescência, verificou-se uma tendência de redução da altura da inflorescência com o aumento da tensão de água no solo. Maior valor (11,7 cm) foi obtido na tensão de 15 kPa e menor valor (9,7 cm) na tensão de 90 kPa.

Vargas, Charlo e Braz (2006), cujo estudo já referenciado ao longo trabalho verificaram que a altura da inflorescência das cultivares analisadas variou de 18,4 a 14,3 cm, sendo o maior valor para a cultivar G. Bonanza e o menor para Lord Summer cujas diferenças foram estatisticamente significativas a 1% de probabilidade pelo teste F.

Ayas, Orta e Yazgan (2011), em trabalho sobre o efeito do déficit hídrico no rendimento de brócolis, cultivar Monet, em ambiente protegido aplicando 100, 75, 50, 25 e 0% da lâmina de água evaporada em cada 2 dias, observaram uma redução da altura da inflorescência com a redução da lâmina total de irrigação. Porém, houve efeito significativo da lâmina evaporada na altura de inflorescência a 1% de probabilidade.

4.6 Circunferência da inflorescência comercial

A circunferência das inflorescências foi influenciada pelos níveis de tensão empregados a 1% de probabilidade, conforme a Tabela 9.

Tabela 9 Resumo de análise de variância e de regressão para a circunferência da inflorescência (CI; cm) da cultura de brócolis

Fontes de Variação	G.L	Q.M
		CI
Tensão	5	176,265**
Blocos	3	44,598 ^{ns}
Resíduo	15	30,320
Média	-	55,441
CV (%)	-	9,93
Linear	1	876,645 **
Quadrática	1	1,852 ^{ns}
Cúbica	1	1,751 ^{ns}
Desvios	2	0,540 ^{ns}
Resíduos	15	30,320

Em que: ^{ns} – não significativo pelo teste F, ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente pelo teste F

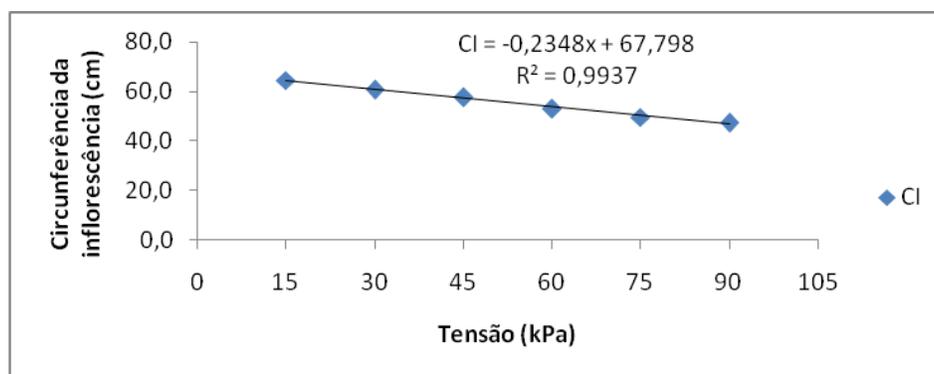


Figura 13 Circunferência das inflorescências (CI) da cultura de brócolis

A variação da tensão de água no solo explica o comportamento da circunferência das inflorescências de forma linear a 1% de probabilidade (Figura 13). Este comportamento pode ser interpretado por meio da equação de regressão acima. A semelhança de outras variáveis acima estudadas, maiores resultados são encontrados na tensão de 15 kPa e menores na de 90 kPa. Para o presente caso, na tensão de 15 kPa obteve-se 64,5 cm de circunferência da inflorescência e para a tensão de 90 kPa obteve-se 47,4 cm de circunferência da inflorescência.

Não se tendo encontrado trabalhos que avaliam a circunferência da inflorescência de brócolis, apenas se pode afirmar a partir dos dados do presente trabalho que maiores quantidades de água e maior frequência de irrigação, favoreceram o aumento significativo da circunferência da inflorescência comercial de brócolis. Contudo, estudos do gênero precisam ser feitos para se avaliar a veracidade da afirmação acima.

4.7 Produtividade total e comercial

A produtividade total e comercial foram significativamente influenciadas pelos níveis de tensão de água no solo a 1% de probabilidade (Tabela 10).

Tabela 10 Resumo de análise de variância e de regressão da produtividade total (PT; t ha⁻¹) e comercial (PC; t ha⁻¹) da cultura de brócolis

Fontes de Variação	G.L	Q.M	
		PT	PC
Tensão	5	86,745 ^{**}	72,176 ^{**}
Bloco	3	46,773 ^{ns}	31,980 ^{ns}
Resíduo	15	17,446	15,345
Média	-	20,478	18,140
C.V (%)	-	20,40	21,59
Linear	1	426,396 ^{**}	356,064 ^{**}
Quadrática	1	0,110 ^{ns}	0,734 ^{ns}
Cúbica	1	3,608 ^{ns}	2,409 ^{ns}
Desvios	2	1,805 ^{ns}	0,835 ^{ns}
Resíduos	15	17,446	15,345

Em que: ^{ns} – não significativo pelo teste F, ^{**} e ^{*} significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente pelo teste F

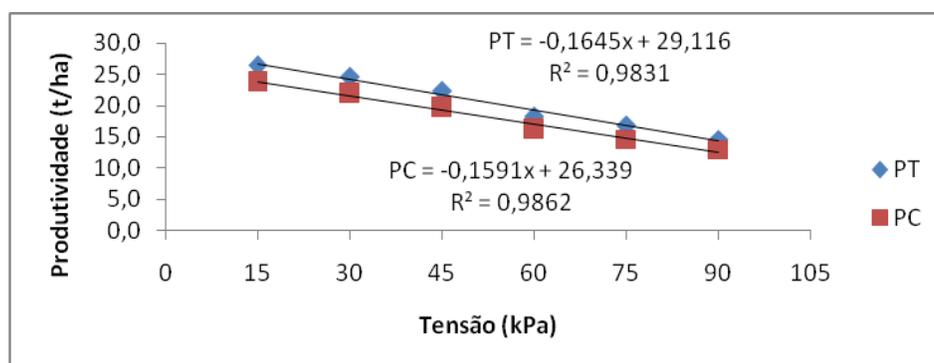


Figura 14 Produtividade total (PT) e comercial (PC) da cultura de brócolis

As variações na produtividade total e comercial podem ser explicadas pela equação de regressão linear a 1% de probabilidade e confirmadas pelos respectivos coeficientes de determinação (Figura 14). Maiores valores de produtividade total e comercial ocorreram com a tensão de 15 kPa e menores com a de 90 kPa. Para a produtividade total, estes valores variaram de 26,47 a 14,63 t ha⁻¹ e para a comercial de 23,71 a 12,94 t ha⁻¹ (Figura 14).

Erdem et al. (2010a), estudando o estresse hídrico para o manejo da irrigação por gotejamento na cultura de brócolis no Outono, aplicando 125, 100, 75, 50, 25 e 0% da lâmina evaporada em intervalo de rega de 7 dias, obtiveram 6,2; 7,2; 7,1; 8,1 e 0,5 t ha⁻¹ de produtividade comercial, respectivamente. Estes valores de produtividade comercial apresentaram diferenças estatisticamente significativas a 1% de probabilidade. Thompson, Doerge e Godin (2002), em trabalho sobre manejo da fertirrigação nitrogenada usando gotejamento enterrado sob tensões de 4; 12,3 e 25 kPa, obtiveram valores de produtividade comercial de 10,3; 10,6 e 9,7 t ha⁻¹, respectivamente.

Ayas, Orta e Yazgan (2011), cujo estudo já referenciado obtiveram valores máximos de produtividade comercial de 29,2 e 27,5 t ha⁻¹ aplicando 100 e 75% da lâmina evaporada, respectivamente.

Coelho (2005), estudando o manejo da irrigação na cultura de brócolis de “cabeça única” em ambiente protegido manejado com mini tanque, obteve uma produção máxima de 19,1 t ha⁻¹. Babik e Elkner (2002) obtiveram uma produção máxima de 22,6 t ha⁻¹ para o tratamento irrigado e com a aplicação de 600 kg ha⁻¹ de N.

Trevisan et al. (2003), em estudo sobre o rendimento de cultivares de brócolis sementeiras em Outubro na Região do Rio Grande do Sul, obtiveram uma produtividade total máxima de 16,3 t ha⁻¹ na cultivar Piracicaba precoce.

A produtividade máxima (total e comercial) observada no presente experimento está dentro da faixa recomendada por Sousa et al. (2011) em sistemas de gotejamento que varia de 10 a 20 kPa e da faixa recomendada por Silva e Marouelli (1998), que varia de 10 a 40 kPa. Provavelmente a maior produtividade verificada na tensão de 15 kPa esteja relacionado com o fato deste tratamento ter recebido maior quantidade de água em relação aos demais tratamentos, maior frequência de irrigação para além das irrigações terem sido realizadas dentro da faixa crítica recomendada por Sousa et al. (2011), pois o brócolis é altamente exigente em água e deve ser produzido em solo úmido.

4.8 Eficiência no uso da água

Na Tabela 11, observa-se que não houve efeito significativo na eficiência do consumo da água da cultura de brócolis em função dos níveis de tensão de água no solo.

Tabela 11 Resumo de análise de variância e de regressão da eficiência no consumo da água (EUA; $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) da cultura de brócolis

Fontes de Variação	G.L	Q.M
		EUA
Tensão	5	992,367 ^{ns}
Blocos	3	850,437 ^{ns}
Resíduo	15	312,978
Média	-	79,15
CV (%)	-	22,35

Em que: ^{ns} – não significativo pelo teste F, ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente pelo teste F

Embora a tensão de água no solo não tenha influenciado significativamente na eficiência no uso de água, observou-se uma tendência de redução da eficiência de uso de água com o aumento da tensão de água no solo. O valor máximo de eficiência no uso de água pela cultura de brócolis foi encontrado na maior tensão de água no solo (60 kPa), sendo de 97,08 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$

Imtiyaz et al. (2000), avaliando a produção e retorno líquido em diferentes hortaliças no inverno sob diferentes níveis de lâmina evaporada (20, 40, 60, 80 e 100%), obtiveram valor máximo de eficiência no uso de água para a cultura de brócolis 59 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ correspondente a 60% de lâmina evaporada, tendo se registrado a diminuição da eficiência no uso da água para valores acima de 60% de lâmina evaporada.

Erden et al. (2010b) verificam também o aumento da eficiência no uso de água na cultura de brócolis com o decréscimo da lâmina de água aplicada na primavera (aumento da tensão de água no solo) quando avaliavam a produção e qualidade do brócolis irrigado por gotejamento, aplicando diferentes níveis de lâmina evaporada (50, 75, 100 e 125%) e diferentes doses de nitrogênio em

diferentes épocas de plantio (Primavera e Outono), intervalo de rega de 7 dias. Estes autores, obtiveram o valor máximo de eficiência de uso de água de $43,3 \text{ kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ correspondente a 50% de lâmina evaporada, acima desta lâmina evaporada houve decréscimo até $33,9 \text{ kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$.

5 CONCLUSÃO

Diante das condições em que o experimento foi desenvolvido e dos resultados obtidos para a cultura de brócolis, pode-se concluir que:

- a) Para a obtenção de maiores valores de: produtividade total e comercial, de massa fresca total e comercial, do diâmetro médio da inflorescência, e da circunferência da inflorescência, as irrigações devem ser realizadas quando a tensão de água no solo estiver em torno de 15 kPa, a uma profundidade de 0,2 m;
- b) A produtividade (total e comercial) teve uma resposta linear crescente com a redução da tensão de água no solo. O mesmo aconteceu com a massa fresca (total e comercial), diâmetro médio da inflorescência e a circunferência da inflorescência.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, M. A. R. **Produção de tomate em campo, em casa de vegetação e em hidroponia.**Lavras: UFLA, 2004. 393p.

ARAÚJO, M. S. **Plasticultura de hortaliças para região tropical chuvosa.** 1998. 34 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Administração) - Faculdade de Ciência da Administração de Pernambuco, Belém, 1998.

ARJONA, D. H.; GREIG, J. Study of the effect of four planting distances and four levels of nitrogen fertilization on yields, Chlorophyll content and nitrate reductase activity in broccoli. **Agronomia Colombiana**, Bogotá, v. 2, n. 1/2, p. 71-84, 1984.

AYAS, S. H.; ORTA, H.; YAZGAN, S. Deficit irrigation effects on broccoli (*Brassica oleracea* L.var. *Monet*) yield in unheated greenhouse condition. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, Sofia,v. 17, n. 4,p. 551-559, May 2011.

BABIK, I.; ELKNER, K. The effect of nitrogen fertilization and irrigation on yield and quality of broccoli. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 571, p. 33-43, 2002.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.**8. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625 p.

BJÖRKMANN, T.; PEARSON, K. J. High temperature arrest of inflorescence development in broccoli. **Journal of Experimental Botany**,Lancaster,v.49, n.318, p. 101-106,1998.

BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas 1961-1990.**Brasília, 1992. 84 p.

CABELLO, F. P. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación.** 3rded. Madrid: Mundi, 1996. 511p.

CARRIJO, O. A.; MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R. da. Manejo da água na produção de hortaliças em cultivo protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n.200/201, p. 45-51, set./dez. 1999.

CARVALHO, D. F. de; OLIVEIRA, L. F. C. de. **Planejamento e manejo de água na agricultura irrigada**. Viçosa, MG: UFV, 2012. 240 p.

CASSERES, E. **Producción de hortalizas**. 3. ed. San José: IICA, 1980. 387p.

COELHO, G. S. **Manejo da irrigação na cultura de Brócolis tipo “cabeça única” em ambiente protegido**. 2005. 60 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Água) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

ERDEM, Y. et al. Crop water stress index for assessing irrigation scheduling of drip irrigated broccoli (*Brassica oleracea* L. var. italica). **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, n. 2, p. 148-156, Feb. 2010a.

_____. Yield and quality response of drip irrigated broccoli (*Brassica oleracea* L. var. italica) under different irrigation regimes, nitrogen applications and cultivation periods. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 2, p. 148-158, Feb. 2010b.

FARIA, M. A. et al. **Manejo da irrigação**. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. 378p.

FARIA, R. T.; COSTA, A. C. **Tensiômetro: construção, instalação e utilização: um aparelho simples para determinar quando irrigar**. Londrina: IAPAR, 1987. 24 p. (Circular, 56).

FERREIRA, D. F. **Sistema para análise de variância para dados balanceados (SISVAR)**. Lavras: UFLA, 1999. 92 p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de olericultura: cultura e comercialização de hortaliças**. São Paulo: Ceres, 1982. 357 p.

_____. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa, MG: UFV, 2000. 402 p.

FONTES, P. C. R. Sugestão de adubação para hortaliças. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVARAZ, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo, 1999. p. 171-174.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Agrometeorologia**. Rome, 1998. Disponível em: <http://javali.fcav.unesp.br/sgcd/Home/estacao_agro/20080728_100725.htm>. Acesso em: 10 ago. 2012.

GENUCHTEN, M. T. H. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.44, n.5, p. 892-898, Sept./Oct. 1980.

GOTO, R.; COSTA, P. C. Cultivo de hortaliças de flores em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 69-71, 1999.

HAYNES, C.; EVERHART, E.; JAURON, R. **Cole crops**. Ames: Iowa State University, 2003. 3p.

HOFFMAN, G. J.; HOWELL, T. A.; SOLOMON, K. H. **Management of farm irrigation systems**. Saint Joseph: ASAE, 1992. 1040p. (ASAE Monograph, 9).

IMTIYAZ, M. et al. Yield and economic return of vegetable crops under variable irrigation. **Irrigation Science**, New York, v. 19, n. 1, p. 87-93, Feb. 2000.

INFOAGRO. **El cultivo del brócoli**. Disponível em:<<http://www.infoagro.com/hortalizas/brocoli.htm>>. Acesso em: 10 set. 2012.

IRROMETER COMPANY. **Watermark®**. Disponível em:<<http://www.irrometer.com/>>. Acesso em: 10 set. 2012.

JENNI, S. et al. Brown bead of broccoli: II., relationships of the physiological disorder with nutritional and meteorological variables. **Hort Science**, Alexandria, v.36, n.7, p.1228-1234, Nov. 2001.

JONES,M.G. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls on plant: based methods. **Journal of Experimental Botany**, London, v.55,n.407,p.2427-2436,2004.

LUENGO, R. F. A.et al. **Tabela de composição nutricional das hortaliças**.Disponível em:<<http://cidadao.correioweb.com.br/hortalicas/tabelahortalicas.htm#>>. Acesso em: 7ago. 2012.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. K. C.; SILVA, H. R. da. **Manejo da irrigação em hortaliças**. 5.ed. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996. 72 p.

MARQUES, D. C. **Produção de berinjela (*Solanum melongena* L.) irrigada com diferentes lâminas e concentrações de sais na água**. 2003. 55p. Dissertação (Mestrado em Irrigação) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

MARTINS, G. Cultivo em ambiente protegido: o desafio da plasticultura. In: _____. **Novo manual de olericultura:agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa, MG: UFV, 2003. p. 139-150.

MELO, R.A.C.; MADEIRA,N.R.; PEIXOTO, J.R. Cultivo de brócolos de inflorescência única no verão em plantio direto.**Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 23-28, jan./fev. 2010.

MORGAN, K. T.; PARSONS, L. R.; WHEATON, T. A. Comparison of laboratory and field, derived soil water retention curves for a fine sand soil using tensiometric resistance and capacitance methods. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 234, n. 2, p. 153-157, July 2001.

QUEIROZ, S. O. P.; TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. F. Avaliação de equipamentos para a determinação da condutividade elétrica do solo. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 3, p. 279-287, 2004.

REYES, S. V. et al. Efecto de la tensión de humedad en el suelo sobre rendimiento y calidad del brócoli con riego por goteo. **Terra Latino americana**, Ciudad del México, v. 23, n. 3, p. 321-328, 2005.

SAN BAUTISTA, A. et al. Influence of different substrates and nutrient solutions on the yields and incidence of abiotic disorders of broccoli. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 697, p. 275-280, 2005.

SANTOS, S. R.; PEREIRA, G. M. Comportamento da alface americana sob diferentes tensões da água no solo, em ambiente protegido. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 569-577, set./dez. 2004.

SCHIAVON JÚNIOR, A. A. S. **Produtividade e qualidade de brócolis em função da adubação e espaçamento entre plantas**. Jaboticabal: UNESP, 2008. 67p.

SHOCK, C. C.; FEIBERT, E. B. G.; JADERHOLM, S. **A comparison of six soil moisture sensors**. Oregon: Oregon State University, 2002. Disponível em: <<http://www.cropinfo.net/AnnualReports/2001/Popsensortest01.htm>>. Acesso em: 7ago. 2012.

SILVA, E. M. et al. **Manejo de irrigação por tensiometria para culturas de grão na região do Cerrado**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 1999. 60 p. (Circular Técnica, 6).

SILVA, W. L. C.; MAROUELLI, W. A. Manejo da irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 11., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p. 311-348.

SONNENBERG, P.E. **Olericultura especial**. 3. ed. Goiânia: Líder, 1985. 149p.

SOUSA, V. E. et al. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: EMBRAPA, 2011. 771p.

STRANGE, M. L.; KOIKE, M.S.; SMITH, R.F. **Broccoli production in California**. Davis: University of California, 2010. 5 p.

TAVARES, C. A. M. Brócolos: o cultivo da saúde. **Revista Cultivar**, Pelotas, ano 1, n.2,p. 20-22, 2000.

THOMPSON, T. L.; DOERGE, T. A.; GODIN, R. E. Subsurface drip irrigation and fertigation od broccoli: I., yield, quality and nitrogen uptake. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 66, n. 2, p. 186-192, Apr. 2002.

TOLEDO, L. R. Opção pelo frio. **Globo Rural**, Jaguaré, ano 16, n.187, p.72-75, 2001.

TRANI, P. E.; NAGAI, H.; PASSOS, F. A. Brócolos, couve flor e repolho. In: RAIJ, B. van et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. p. 175. (Boletim Técnico, 100).

TREVISANI, J.N. et al. Rendimento de cultivares de brócolis semeadas em outubro na região centro do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n. 2, p. 233-239, mar./abr. 2003.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA. **Integrated pest management for cole crops and lettuce**. Berkeley: Division of Agriculture and Natural Resources, 1987. 112p.

VARGAS, P.F.; CHARLO, H. C. O.; BRAZ, L. T. **Desempenho de cultivares de brócolis de cabeça única cultivados no verão**. Jaboticabal: UNESP-FCAV, 2006. Disponível em: <http://www.abhorticultura.com.br/eventosx/trabalhos/ev_1/a295_t982_comp.pdf>. Acesso em: 10 set. 2012.

WU, I. P. An assessment of hydraulic design of micro-irrigation systems.
Journal of Agricultural Water Management, Amsterdam, v. 32, n. 3,p. 275-
284, June 1997.

ANEXOS

ANEXO A - Tabela

Tabela 12 Valores médios de massa fresca total (MFT: kg), massa fresca comercial (MFC: kg), diâmetro médio da inflorescência comercial (DMI: cm), altura da inflorescência (AMI: cm), circunferência da inflorescência (CI: cm), produtividade total (PT: t ha⁻¹) e produtividade comercial (PC: t ha⁻¹) e eficiência no uso de água (EUA: kg ha⁻¹mm⁻¹) por tratamento

Trat	Bloco	MFT	MFC	DMI	AMI	CI	PT	PC	EUA
15	1	0,94	0,84	20,11	12,02	67,17	29,35	26,31	58,26
15	2	0,62	0,56	19,18	10,35	57,33	19,50	17,59	38,95
15	3	0,75	0,68	18,98	11,65	63,33	23,51	21,34	47,24
15	4	1,06	0,95	23,85	12,95	70,17	33,12	29,60	65,54
Média		0,84	0,76	20,53	11,74	64,50	26,37	23,71	52,50
30	1	0,95	0,83	19,24	11,80	65,00	29,54	25,91	84,76
30	2	0,58	0,50	18,01	10,48	52,67	18,12	15,49	50,67
30	3	0,84	0,78	20,73	11,77	65,17	26,35	24,45	79,98
30	4	0,78	0,69	20,36	11,98	60,00	24,37	21,54	70,45
Média		0,79	0,70	19,59	11,51	60,71	24,60	21,85	71,46
45	1	0,65	0,57	16,72	11,08	55,00	20,33	17,70	72,01
45	2	0,76	0,67	19,73	11,77	58,50	23,64	20,81	84,64
45	3	0,62	0,55	16,62	10,23	56,33	19,51	17,27	70,25
45	4	0,83	0,72	20,46	12,52	60,33	25,85	22,55	91,72
Média		0,71	0,63	18,38	11,40	57,54	22,33	19,58	79,66
60	1	0,63	0,52	16,02	10,80	52,33	19,56	16,32	98,26
60	2	0,60	0,54	18,66	11,17	54,67	18,82	16,86	101,52
60	3	0,48	0,44	14,14	10,22	49,50	15,15	13,61	81,96
60	4	0,62	0,57	19,68	11,08	55,67	19,26	17,70	106,57
Média		0,58	0,52	17,13	10,82	53,04	18,20	16,13	97,08

“Tabela 12, conclusão”

Trat	Bloco	MFT	MFC	DMI	AMI	CI	PT	PC	EUA
75	1	0,66	0,58	16,91	11,12	55,33	20,71	18,02	103,07
75	2	0,73	0,65	19,71	12,52	58,17	22,76	20,29	116,06
75	3	0,24	0,21	11,68	7,82	36,47	7,47	6,42	36,71
75	4	0,51	0,44	17,22	10,68	48,67	16,06	13,84	79,20
Média		0,54	0,47	16,38	10,53	49,66	16,75	14,64	83,76
90	1	0,56	0,49	14,49	10,63	51,33	17,55	15,40	107,70
90	2	0,51	0,45	16,65	10,18	48,83	16,00	14,16	98,99
90	3	0,28	0,25	11,06	8,05	40,00	8,88	7,68	53,72
90	4	0,51	0,46	16,81	10,13	49,33	16,08	14,51	101,47
Média		0,47	0,41	14,75	9,75	47,38	14,63	12,94	90,47