

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DÉFICIT HÍDRICO NA CULTURA DO AMENDOIM EM
SUPERFÍCIES IRRIGADAS SOBRE DIFERENTES
EXPOSIÇÕES E DECLIVIDADES**

Ana Carla Nogueira Tobias Vieira

Engenheira Agrícola

2019

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DÉFICIT HÍDRICO NA CULTURA DO AMENDOIM EM
SUPERFÍCIES IRRIGADAS SOBRE DIFERENTES
EXPOSIÇÕES E DECLIVIDADES**

Ana Carla Nogueira Tobias Vieira

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Pitelli Turco

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutora em Agronomia (Ciência do Solo).

2019

V658d

Vieira, Ana Carla Nogueira Tobias
Déficit hídrico na cultura do amendoim em superfícies irrigadas sobre diferentes exposições e declividades / Ana Carla Nogueira Tobias Vieira. -- Jaboticabal, 2019
55 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: José Eduardo Pitelli Turco

1. Amendoim. 2. Manejo de água e solo. 3. Radiação.
4. Superfícies inclinadas. 5. Estresse hídrico. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal




CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

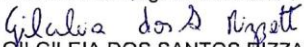
TÍTULO DA TESE: DÉFICIT HÍDRICO NA CULTURA DO AMENDOIM EM SUPERFÍCIES IRRIGADAS SOBRE DIFERENTES EXPOSIÇÕES E DECLIVIDADES

AUTORA: ANA CARLA NOGUEIRA TOBIAS VIEIRA

ORIENTADOR: JOSÉ EDUARDO PITELLI TURCO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO PITELLI TURCO
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Dra. GILCILEIA DOS SANTOS RIZZATTI
Coordenadoria de Desenvolvimento Rural Sustentável / Sertãozinho/SP


Prof. Dr. NIVALDO CARLETO
Centro Est. de Educação Tecnológica Paula Souza / FATEC - Taquaritinga/SP


Prof. Dr. AFONSO LOPES
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. DAVID LUCIANO ROSALEN
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 16 de agosto de 2019

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

ANA CARLA NOGUEIRA TOBIAS VIEIRA – Nascida em 20 de novembro de 1986, na cidade de Três Corações/MG. Filha de José Celso Círio Nogueira e Alessandra Maria Nogueira de Carvalho. Casada, desde 2015, com Douglas Silva Tobias Vieira. Mãe de Maria Eduarda Nogueira Tobias Vieira. Graduada em Engenharia Agrícola, em julho de 2011, pela Universidade Federal de Lavras - UFLA. Ingressou, em agosto de 2011, no Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, na Universidade Federal de Lavras – UFLA, concluindo o Mestrado em 28 de fevereiro de 2014. Durante o período de abril de 2013 até junho de 2015, trabalhou como projetista técnica, elaborando projetos na área de irrigação paisagística, na empresa Sistemaq, na cidade de Limeira/SP. Ingressou no Doutorado, em agosto de 2015, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista.

*“Tudo posso Naquele que me fortalece!”
(Filipenses, 4:13)*

Dedico este trabalho a minha filha, Maria Eduarda, que tem sido o motivo maior de todos os esforços e lutas. Meu raio de sol. Minha inspiração!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por ser meu porto seguro!

Agradeço o apoio incondicional e orações recebidos de meus pais, José Celso e Alessandra, para que eu pudesse subir mais esse degrau em minha vida.

Ao meu esposo, Douglas, por me apoiar e ser meu suporte nas horas em que pensei em desistir. Por estar ao meu lado em todas as decisões, entendendo e compreendendo as minhas ausências para estudar. Sendo um dos maiores incentivadores para que eu pudesse obter mais esse título acadêmico.

A minha filha, Maria Eduarda, que veio no meio de todos os estudos. Por ser meu motivo maior para continuar em busca do sucesso profissional. Por ela, as madrugadas começaram a fazer parte das horas de estudos e com certeza tudo vale a pena. Todo esforço tem sido válido ao receber o melhor sorriso do mundo.

Agradeço ao carinho dos meus irmãos, Alexandre e Alice. E os sorrisos mais doces da minha sobrinha, Maria Fernanda.

Aos meus avós, tios/tias, familiares e amigos que, de alguma forma, estão sempre na torcida e orações.

Agradeço ao meu orientador, professor José Eduardo Pitelli Turco, pela orientação e, principalmente, pela amizade e compreensão nos momentos em que mais precisei durante essa jornada.

A Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV-UNESP-Jaboticabal) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, pela oportunidade e pelos conhecimentos transmitidos durante o curso de doutorado.

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, pelos ensinamentos, convívios e incentivos durante todo o percurso.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO**Página**

RESUMO.....	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 A cultura do amendoim.....	3
2.2 Déficit hídrico em amendoim	5
2.3 Amendoim irrigado	8
2.4 Exposição solar e declividade do terreno.....	10
2.5 Termometria a infravermelho	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Área experimental	16
3.2 Dados meteorológicos.....	17
3.3 Uso e Manejo da Irrigação	18
3.4 Determinação do Índice de Estresse Hídrico da Cultura (IEHC)	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5 CONCLUSÕES	32
REFERÊNCIAS.....	33

DÉFICIT HÍDRICO NA CULTURA DO AMENDOIM EM SUPERFÍCIES IRRIGADAS SOBRE DIFERENTES EXPOSIÇÕES E DECLIVIDADES

RESUMO - O amendoim é tolerante à seca, seu sistema radicular é profundo, permitindo que as raízes consigam alcançar as camadas de solo mais profundas. O uso do déficit hídrico nas fases de desenvolvimento da cultura pode no manejo da irrigação. Objetivou-se com este trabalho determinar déficit hídrico da cultura do amendoim utilizando-se a termometria a infravermelho em diferentes exposições e declividades. A pesquisa foi desenvolvida na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP, Jaboticabal-SP, situada a 22°15'22" de latitude sul, 48°18'58" de longitude oeste, e altitude de 575 m, em sua "Bacia Hidrográfica Experimental", utilizando superfícies com diferentes declividades (0%, 20% e 40%) e exposições solares (Norte, Sul, Leste e Oeste), sob déficit hídrico induzido. O solo da área experimental é o LE1, Vermelho-Escuro, eutrófico, A moderado, caulínico, hipoférrico, textura argilosa, relevo suave ondulado (Eustrtox). As análises foram realizadas in loco e em laboratório. Os resultados indicam que o momento de irrigar difere para cada fase de desenvolvimento do amendoim, em uma faixa entre 1,2 °C até 3,3 °C. A superfície mantida na capacidade de campo obteve menor índice de estresse hídrico (-1,4 °C) e maior produtividade (4225 kg ha⁻¹).

Palavras-chave: amendoim, manejo de água e solo, radiação, superfícies inclinadas, estresse hídrico

INDICATIONS OF WATER STRESS IN PEANUT, ON IRRIGATED SURFACES ON DIFFERENT EXPOSURES AND DECLIVITIES

ABSTRACT – The peanut is drought tolerant, root system is deep, allowing roots to reach deeper soil layers. The use of water deficit in the development stages of the crop can act as an essential tool in irrigation management. The objective of this study was to determine the water deficit of the peanut crop using infrared thermometry in different exposures and declivities. The research was developed in the experimental area of the Department of Rural Engineering of FCAV / UNESP, Jaboticabal-SP, located at 22°15'22" south latitude, 48°18'58" west longitude, and altitude of 575 m, in its "Hydrographic Basin (0%, 20% and 40%) and solar exposures (North, South, East and West), under induced water deficit. The soil of the experimental area is LE1, Red-Dark, eutrophic, A moderate, kaolinite, hypoferric, clayey texture, smooth undulating relief (Eutruxox). The analyzes were performed in loco and in the laboratory. The results indicate that the time of irrigation differs for each stage of development of the peanut, in a range between 1.2 °C and 3.3 °C. The area maintained in the field capacity obtained lower water stress index (-1.4 °C) and higher productivity (4225 kg ha⁻¹).

Keywords: peanut, water and soil management, radiation, sloping surfaces, hydric stress

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tratamentos que as superfícies receberam para realização do experimento.....	17
Tabela 2. Características físico-hídricas do solo do local em que ocorreu o experimento e valores das constantes empíricas empregadas na equação de Van Genuchten (1980).	19
Tabela 3. Valores do coeficiente de cultura (Kc) do amendoim, utilizados no experimento.....	20
Tabela 4. Lâmina d'água mensal (mm) recebida pelo amendoim em cada tratamento e a precipitação (mm), ocorridas durante o desenvolvimento do experimento.....	24
Tabela 5. Índices de Estresse Hídrico - IEHD (°C) nas superfícies estudadas, para as diferentes fases de desenvolvimento do amendoim.....	27
Tabela 6. Temperatura máxima da cobertura vegetal (°C) dos tratamentos (H1, H2, 20N, 20S, 40N, 40S, 20E, 20W, 40E e 40W), nas fases de desenvolvimento do amendoim e a Radiação Solar Global incidente acumulada (MJ m ⁻² ano ⁻¹).....	29
Tabela 7. Produtividade média do amendoim (kg ha ⁻¹) colhida ao final do experimento.....	31

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Esquema do espectro infravermelho do termômetro manual. 13
- Figura 2.** Bacia Hidrográfica Experimental, UNESP – Jaboticabal/SP. (A) Exposição Norte e Sul / (B) Exposição Leste e Oeste. 16
- Figura 3.** Desenvolvimento e ciclo cultural da planta de amendoim. 18
- Figura 4.** Termômetro Infravermelho Portátil, marca FLUKE.....21
- Figura 5.** Calibração do termômetro de infravermelho.23
- Figura 6.** Índice de estresse hídrico (°C) para os tratamentos H1, H2, 20N, 20S (A), 40N, 40S (B), 20E, 20W (C), 40E e 40W (D), no amendoim.....25
- Figura 7.** Valores médios de água disponível no solo até 0,40 m de profundidade, durante os períodos de estresse hídrico induzido no amendoim para os tratamentos (H1, H2, 20N, 20S, 40N, 40S, 20E, 20W, 40E e 40W).....28
- Figura 8.** Produtividade do amendoim (kg ha^{-1}) e o Índice de Estresse Hídrico máximo (°C) nas superfícies estudadas.....30

1 INTRODUÇÃO

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é uma oleaginosa mundialmente cultivada, sendo o mercado mundial liderado pela China, Índia e Estados Unidos, que são, além de exportadores, os maiores consumidores (SNA, 2017). Os grãos de amendoim têm várias opções de consumo para os segmentos alimentícios e oleoquímicos, com teores de óleo variando de 44 a 56% (SANTOS et al., 2012).

O Brasil é o segundo maior produtor e exportador de amendoim da América Latina, com 466 mil toneladas, ficando atrás apenas da Argentina, que produz em torno de 1 milhão de toneladas, anualmente. Aproximadamente 80% da produção Argentina é destinada à exportação, enquanto no Brasil esse percentual gira em torno de 30%. O estado de São Paulo concentra mais de 90% da produção nacional de amendoim (EMBRAPA, 2019).

A cultura do amendoim é considerada relativamente tolerante à seca, devido ao seu sistema radicular profundo que permite explorar volume de solo das camadas mais profundas, as quais possuem maior disponibilidade de água (CATO; ALBERT; MONTEIRO, 2008).

Segundo Gerolineto (2008), os custos e restrições de captação da água levam a procura de estratégias para redução de irrigação. Uma estratégia é desenvolver escalas de irrigação baseadas na textura do solo (YOUNGNER, 1981), temperatura do dossel (THROSSELL; CARROW; MILLIKEN, 1987), ou estimativa da evapotranspiração (KNEEBONE; KOPEC; MANCINO, 1992). Estimativas de evapotranspiração podem ser realizadas através de atmômetros, placa de Bellani e tanque classe A, ou equações empíricas como o modelo de Penman – Monteith (ROSENBERG; BLAD; VERMA, 1983).

O estresse hídrico está entre os fatores que mais limitam o crescimento e a produtividade agrícola e afeta principalmente regiões sem irrigação e com má distribuição pluviométrica (HOLANDA et al., 2014).

Silva e Beltrão (2000) e Ferrari Neto et al. (2012) citam que o déficit hídrico pode afetar negativamente o conjunto das funções fisiológicas do amendoim, como a fotossíntese, respiração e outras reações metabólicas, que podem repercutir diretamente nas variações anatômicas (estômatos), no crescimento, na reprodução

e no desenvolvimento das plantas. De modo geral, esses efeitos levam a alterações nos frutos e sementes e, conseqüentemente, na produtividade final da cultura.

Existem diferentes técnicas convencionais de detecção do estresse hídrico, como por exemplo: sintomas visuais, balanço da água no solo, fluxo de seiva e a condutância estomática (TRENTIN, 2010). A termometria infravermelha é um método que possibilita a medição da temperatura de uma porção do dossel vegetativo, sem a necessidade de contato físico com as folhas. E a temperatura do dossel pode ser utilizada para quantificar o estresse hídrico na planta (RAMÍREZ et al., 2015).

O índice de estresse hídrico da cultura (IEHC) que sinaliza a necessidade de irrigação é específico da cultura e deve levar em consideração fatores como a resposta ao estresse hídrico, o valor provável da cultura e custo da água (RAMÍREZ et al., 2015).

Trabalhos que estudam o desenvolvimento de culturas em uma estrutura denominada “Bacia Hidrográfica Experimental” são encontrados na literatura, como a cultura de soja por Turco et al. (1997) e como a grama esmeralda por Coan et al. (2012).

Faz-se necessário o estudo diante da necessidade de disponibilizar informações científicas e técnicas sobre o assunto abordado, pois é escassa a literatura que estuda o IEHC do amendoim sobre superfícies com diferentes exposições e declividades, permitindo determinar o momento ideal para a irrigação.

Levando-se em consideração os aspectos citados, objetivou-se determinar o índice de estresse hídrico (IEHC) do amendoim baseado em termometria de infravermelho para a cultura do amendoim em diferentes exposições e declividades.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do amendoim

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é uma planta herbácea, anual, com ciclo de 90 a 160 dias, atingindo altura de 50 a 60 cm. Desenvolve, logo após a germinação, um ramo principal que se origina da gema apical do epicótilo, e dois ramos laterais originados das gemas laterais cotiledonares. Sua produtividade é muito variável a nível do agricultor, em função da tecnologia empregada e das condições de clima e solo. É classificado quanto ao porte em ereto e rasteiro. Nos tipos de porte ereto o ramo principal é reto, constituindo o eixo da planta, dando origem a ramos laterais. Geralmente o eixo principal é longo. Os ramos laterais são ascendentes. Nos tipos de porte rasteiro o ramo principal é reto e curto, constituindo igualmente o eixo da planta. Os ramos laterais dele derivados desenvolvem-se perifericamente ao eixo principal, paralelamente à superfície do solo (PASSOLONGO, 2011).

É uma planta da família Fabaceae, como o feijão e a ervilha. Suas vagens, no entanto, se desenvolvem dentro do solo. O pedúnculo floral, após a polinização, curva-se para baixo, continuando a crescer até enterrar o ovário da flor. No solo, as vagens se desenvolvem e amadurecem. Há três principais grupos de cultivares de amendoim (PENA, 2018):

1) Grupo Espanhol ou Spanish: cultivares do grupo Espanhol têm plantas que crescem eretas, de colheita precoce, com sementes pequenas e claras, e que têm a maior quantidade de lipídeos. Suas vagens normalmente têm duas sementes.

2) Grupo Valência: cultivares do grupo Valência também têm plantas que crescem eretas, de colheita precoce, mas suas sementes são escuras e suas vagens têm de 3 a 5 sementes.

3) Grupo Virgínia: cultivares do grupo Virgínia têm plantas muito ramificadas, de crescimento arbustivo ou rasteiro, e de colheita tardia. Apresentam sementes grandes, geralmente com duas sementes por vagem.

O fator climático mais importante para o crescimento da planta e o desenvolvimento do amendoim é a temperatura. Por sua vez, tanto o florescimento

quanto a maturação e o crescimento dos frutos estão diretamente ligados à temperatura. A demanda de água durante o ciclo varia, sendo maior na fase de enchimento das vagens. Geralmente, o consumo de água varia de 665 mm para variedades de ciclo longo a 490 mm para as de ciclo curto. O amendoim é cultivado predominantemente em regiões de latitude até 30° N e S. Alguns países o cultivam em latitudes maiores. Nos Estados Unidos, essas coordenadas situam-se entre 30° e 35° N. Com relação à altitude, essa leguminosa pode ser cultivada até 1.000 m acima do nível do mar. Em altitudes mais elevadas, seu cultivo fica restrito, em função das baixas temperaturas (EMBRAPA, 2009).

A distribuição das raízes depende da umidade e do tipo de solo. Apesar do pequeno porte da planta, o sistema radicular pode atingir profundidades consideráveis, superiores a 100 cm. Apesar dessa capacidade, cerca de 60% das raízes encontram-se nos primeiros 30 cm de solo. De acordo com dados da Embrapa (2009), No Estado de São Paulo, em terra roxa estruturada, já foram encontradas raízes de amendoim abaixo de 130 cm. No Nordeste, em regime de sequeiro, já foram encontradas raízes a até 100 cm de profundidade em solo arenoso, bem drenado e sem salinização.

A escolha da área para plantio de amendoim é um dos passos mais importantes para conseguir boa produtividade e evitar problemas de erosão do solo. Devem-se preferir áreas de solo mais fértil, arenoso ou Franco-Arenoso, com pH próximo da neutralidade e com boa drenagem, a fim de evitar encharcamento, que pode causar danos ao crescimento do amendoimzeiro.

A cultura do amendoim constitui-se uma importante alternativa agrícola para o nordeste brasileiro por sua rusticidade e demanda do produto no mercado. Segundo Correia e Nogueira (2004), no Brasil, em especial no Nordeste, essa oleaginosa tem sido tradicionalmente cultivada em condições de agricultura de sequeiro, sujeita aos elevados riscos causados pelas variações do clima.

As sementes de amendoim são uma excelente alternativa alimentar em razão da riqueza nutricional em proteínas, carboidratos, sais minerais e vitaminas. Além disso, são ricas em óleo (aproximadamente 50%) e proteínas (22 a 30%) (SANTOS; GONDIM; FREIRE, 2006). Esse alto teor de óleo em suas sementes tem destacado

a cultura, como matéria-prima promissora para a produção de biodiesel (NAKAGAWA; ROSOLÉM, 2011).

A cultura mostra-se bem adaptada à seca e observa-se que dentro da espécie podem existir genótipos mais aclimatados a condições de baixa disponibilidade hídrica, em função das características morfológicas e fisiológicas (ARAÚJO; FERREIRA, 1997).

O amendoim é uma cultura de relevante importância econômica, pelo seu alto valor nutritivo. Suas sementes podem ser processadas e utilizadas diretamente na alimentação humana, nas indústrias de conservas, nas confeitarias e no biodiesel (TASSO JÚNIOR; MARQUES; NOGUEIRA, 2004).

A cultura do amendoim possui grande importância por apresentar alto valor socioeconômico. Segundo Carrega (2017), grande parte dessa importância é devido a indústria de confeitos, visto que, as empresas buscam pelo sabor agradável dos grãos de amendoim que podem ser consumidos in natura, como aperitivos salgados, torrados ou preparados de diversas formas pela indústria de doces para a produção dos mais variados produtos, como: balas, bombons, pastas, tortas, pés-de-moleque, entre outros.

2.2 Déficit hídrico em amendoim

Segundo Larcher (2006), o estresse é considerado como mudanças nas condições ótimas para a vida, que induz a distintas respostas nas funções vitais dos organismos, as quais inicialmente podem ser reversíveis, podendo se tornar permanente.

A deficiência hídrica nos sistemas de cultivos afeta o crescimento e o desenvolvimento da cultura e é considerada o maior entrave na produtividade agrícola em nível mundial (REDDY; CHAITANYA; VIVEKANANDAN, 2004), interferindo diretamente em diversos processos fisiológicos e bioquímicos (ALVES, 2013). Contudo, as plantas sob deficiência hídrica tendem a desenvolver mecanismos de adaptação, morfológicos, fisiológicos e bioquímicos, na tentativa de minimizar os efeitos causados pelo estresse (MAFAKHERI et al., 2010; WASEEM et al., 2011).

O déficit hídrico tem efeito em diversos processos fisiológicos das plantas, visto que o estresse geralmente aumenta a resistência difusiva ao vapor de água, mediante fechamento dos estômatos, reduzindo a transpiração e, conseqüentemente, o suprimento de CO₂ para a fotossíntese. Muitos desses efeitos refletem mecanismos de adaptação das plantas ao ambiente (NOGUEIRA, 1997).

Segundo Hsiao (1973) *apud* Correia e Nogueira (2004), as plantas cultivadas no campo estão sujeitas a déficit hídrico, normalmente traduzido por alterações metabólicas, cuja importância depende da sua intensidade e duração, incluindo a redução do desenvolvimento das células, expansão das folhas, transpiração e redução na translocação de fotoassimilados e apresenta-se, dentre todos os fatores ambientais, o que mais frequentemente limita o desenvolvimento das culturas.

A tolerância ao estresse hídrico, selecionada como caráter primário, tem sido estudada quanto aos parâmetros de tolerância em regiões semiáridas em que este ambiente é limitante para produção de amendoim. Em outras regiões de menor limitação, o caráter é avaliado pelo desempenho agrônômico geral das cultivares em condições de estresse (NOGUEIRA; SANTOS, 2000).

A planta do amendoim é conhecida por apresentar mecanismos fisiológicos de tolerância ao déficit hídrico. Esta oleaginosa parece ter habilidade genética para aprofundar suas raízes e extrair água em maior profundidade, quando cresce em solos apropriados para seu cultivo podendo, desta forma, adiar a dissecação durante a estação da seca; a produção, entretanto, provavelmente será reduzida, uma vez que a absorção d'água de maior profundidade pode não ser suficiente para suprir toda a demanda evaporativa da cultura (BOOTE et al., 1982).

O amendoim é uma oleaginosa conhecida por apresentar potencial para se desenvolver em áreas com menor disponibilidade hídrica, demonstrando, assim, certa tolerância principalmente pela sua habilidade em conviver em ambientes com baixa disponibilidade hídrica (PEREIRA et al., 2012; SANTOS; FREIRE; LIMA, 2013).

Essa "habilidade" está relacionada principalmente ao fato de as plantas de amendoim apresentarem raízes com capacidade de aprofundar até dois metros e extrair água de partes mais profundas do solo. Contudo, em uma situação de deficiência hídrica, alguns parâmetros como conteúdo relativo de água, potencial

hídrico foliar, resistência estomática, taxa de transpiração, temperatura foliar e temperatura do dossel são influenciados nas relações hídricas (KAMBIRANDA et al., 2011). Quando esses parâmetros são afetados, as respostas morfológicas e fisiológicas são modificadas, promovendo menor crescimento e desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, diminuição da produtividade.

Ferrari Neto et al. (2012, p. 03), relatam que para o amendoim:

É de suma importância que as exigências hídricas, bem como as nutricionais, a partir do início do florescimento sejam atendidas, pois a partir deste período, muitos eventos começam a ocorrer na planta como: produção de folhas, flores, raízes, ginóforos, penetração dos ginóforos no solo e o desenvolvimento das vagens.

O déficit hídrico no período vegetativo resulta em alongamento do ciclo da cultura, e isto faz com que o produtor tenha maiores gastos com os tratamentos culturais. Se a falta de água ocorrer no florescimento, haverá queda de flores e murchamento de ginóforos, afetando diretamente a produção. Na frutificação a deficiência hídrica resulta em formação de grãos com menor peso específico, ou até mesmo o não preenchimento dos grãos, diminuindo a produção.

A cultura do amendoim possui rápida capacidade de recuperação, sendo que 24 horas após a irrigação as folhas restabelecem a turgescência foliar e a atividade estomática (PALLAS; STANSELL; KOSKE, 1979; TÁVORA; MELO, 1991), porém, esta característica é governada geneticamente, ocorrendo diferenças entre materiais (FERRARI NETO et al., 2012).

A ocorrência de déficit hídrico nas fases de crescimento e desenvolvimento dos ginóforos e das vagens na cultura do amendoim resulta em decréscimo na produção, primariamente pela redução do número de vagens, antes mesmo que pela massa das vagens e sementes (BOOTE; VARNELL; DUNCAN, 1976; PALLAS; STANSELL; KOSKE, 1979).

Correia e Nogueira (2004) relataram em seus estudos que o déficit hídrico por 35 dias provocou redução do crescimento de plantas de amendoim, sem, contudo, paralisá-lo. O estresse hídrico determinou reduções na altura, número de folhas e área foliar das plantas e na matéria seca das folhas e dos caules.

Pallas, Stansell e Koske (1979) reportam que o amendoim, tal como a soja, recupera mais rapidamente a função dos seus estômatos com a atenuação do estresse hídrico que outras espécies; esta habilidade pode ser uma importante resposta adaptativa da planta à seca. Outros mecanismos associados à tolerância a

seca têm sido relatados, como a capacidade de crescimento das raízes ou atributos ligados à fenologia da planta (TÁVORA; MELO, 1991).

O estresse hídrico, dependendo da frequência e da intensidade dos períodos de seca, associado as altas temperaturas, influencia negativamente todos estádios vegetativos do amendoineiro, desde a semeadura a colheita. Nogueira e Távora (2005) mencionam que mesmo apresentando mecanismos de adaptação a seca, o amendoineiro é mais afetado pela deficiência hídrica na fase reprodutiva, principalmente durante o florescimento e enchimento dos frutos.

2.3 Amendoim irrigado

Na agricultura irrigada é preciso conhecer os fatores determinantes no manejo da irrigação que interferem diretamente no maior ou menor consumo de água, no armazenamento da umidade do solo (LOPES et al., 2011) e no conhecimento das necessidades hídricas das culturas (KARAM et al., 2011). De acordo com esses autores, o uso de estresse hídrico e diferentes estádios fonológicos torna-se uma alternativa para tentar otimizar perda parcial de rendimento para algumas culturas em sistemas irrigados.

Em regiões onde as chuvas ocorrem de forma regular – e em quantidade suficiente para suprir de água a lavoura – a irrigação é desnecessária, a não ser durante estiagens longas (veranicos), como irrigação suplementar (EMBRAPA, 2009).

Segundo Doorenbos e Kassam (1994), a cultura do amendoim necessita de aplicação de 500 a 700 mm de água durante o seu ciclo de cultivo para expressar seu ótimo potencial produtivo.

Em se tratando da Região do Semiárido, onde normalmente não há condições regulares de precipitação pluvial – com frequência e distribuição suficientes para atender de forma adequada às necessidades hídricas das plantas – a irrigação da cultura do amendoim (principalmente em escala comercial), que demanda elevada produtividade e segurança de safra, é recomendável (EMBRAPA, 2009).

De acordo ainda com informações da Embrapa (2009), todos os métodos e sistemas de irrigação podem ser usados, exceto a inundação total que, além de

provocar desperdício de água, pode prejudicar o desenvolvimento das plantas ou mesmo matá-las, porque o solo fica encharcado por longo período. Caso adote-se a irrigação por sulcos, esta deve ser feita com cuidado e só mediante a sistematização da área, para evitar a ocorrência de pontos de encharcamento. Por tratar-se de uma cultura com plantio muito adensado, pode-se adotar o sistema de irrigação por aspersão em áreas maiores, e a microaspersão em áreas menores.

Silva et al. (1993) trabalhando com diferentes lâminas e intervalos de irrigação em amendoim, verificou que a percentagem de vagens chochas, embora com valores baixos, foi influenciada tanto pela lâmina quanto pelo intervalo de irrigação.

A irrigação está entre os principais fatores de aumento de produtividade do amendoim, as condições de déficit hídrico podem levar a uma queda de produtividade uma vez que estas plantas possuem boa capacidade de resposta a irrigação (BASTOS et al., 2012).

Alguns estudos sobre a supressão ou déficit hídrico vêm sendo desenvolvidos e aplicados por vários pesquisadores para a cultura do amendoim. Sarr, Lecoeur e Clouve (2004), estudando o manejo da irrigação, verificaram respostas positivas de algumas cultivares de amendoineiro, quando aplicaram de 390 a 840 mm de água para avaliar suas necessidades hídricas. Assunção e Escobedo (2009) afirmam que o período de florescimento é o mais sensível às exigências hídricas da cultura do amendoim. Rowland et al. (2012) relatam que o estresse hídrico pode afetar parcialmente a produtividade da cultura do amendoim.

Azevedo et al. (2014) relataram em seus estudos que a supressão da irrigação em qualquer momento durante o ciclo do amendoim inibe todos os componentes de produção da cultura. As plantas do tratamento sem supressão da irrigação foram mais expressivas quanto às variáveis de produção, inclusive com a maior produtividade 1.271,80 kg ha⁻¹ nas condições climáticas de Fortaleza, Ceará.

Na agricultura irrigada, deve-se atribuir uma atenção especial ao manejo da água, estimando de maneira precisa as necessidades hídricas da cultura, de forma que não ocorra déficit ou excesso, assim como do momento mais adequado para proceder à irrigação, visando, desta forma, maximizar a eficiência do uso da água (BILIBIO et al., 2010).

Sugerir alternativas técnicas para o planejamento de irrigação em variados

tipos de solo e de clima, buscando otimizar sua produção e minimizar o uso de recursos naturais, principalmente água e energia. A programação adequada da irrigação consiste em suprir, integralmente, as necessidades de água da planta nos diferentes estágios de seu desenvolvimento.

2.4 Exposição solar e declividade do terreno

Em escala global, o gradiente de radiação solar é causado pela geometria de rotação da terra e sua revolução em volta do sol. Numa escala local, a declividade é o fator que mais influencia a distribuição de energia. Sendo modificada pela forma do terreno, inclinação e orientação da face, assim como das sombras formadas pelas feições vizinhas ao terreno. Essa heterogeneidade espacial e temporal de energia solar determina muitos processos da terra que possuem efeito direto sobre a sociedade humana (HOFIERKA; ŠÚRI, 2002).

Toda a esfera que compreende o processo produtivo do amendoim deve ser observada, pois o sistema “solo-planta-água-atmosfera” sofre também influência da declividade do terreno. Áreas em que característica principal é a declividade do terreno variam em relação à radiação total recebida durante um ciclo produtivo, devido a forma como estão expostas aos pontos cardeais terrestres e ao movimento da Terra em relação ao sol (BRUNINI, 2017).

Para Coan et al. (2012), superfícies com diferentes exposições em relação ao sol (norte-sul, leste-oeste) e declividades do terreno, divergem entre si nas quantidades recebidas de radiação solar, a qual é o fator primário que condiciona os elementos climatológicos e fisiológicos relacionados ao crescimento e estabelecimento das culturas.

Segundo Brunini (2017), o acúmulo da radiação incidente em diversos cenários produtivos e a avaliação técnica sobre seu efeito no funcionamento de processos fisiológicos das plantas são de caráter fundamental no aprimoramento de novas ferramentas, das quais apresentam potencial necessário para aprimorar os sistemas produtivos e auxiliar o produtor rural na melhor tomada de decisão, utilizando a declividade do terreno como uma ferramenta capaz de melhorar a produtividade final da cultura.

Em uma bacia hidrográfica ocorre uma infinidade de elevações e depressões

no terreno. A geografia desuniforme promove à bacia uma característica extremamente importante, que é o direcionamento da água dos pontos de maior altitude para os de menores. Estas mudanças nas superfícies dos terrenos são responsáveis por afetarem diretamente na evapotranspiração potencial e nas temperaturas médias ao longo da bacia, sendo diretamente proporcionais a declividade e exposição do relevo (VIANA, GONÇALVES e ROTUNNO FILHO, 2013).

Diversos projetos de irrigação e drenagem são dimensionados principalmente de acordo com os valores de evapotranspiração da área e através de estudos que envolvem a variabilidade topográfica como fonte de dados para dimensionar modelos preditivos sobre o balanço hídrico de regiões específicas. Tais métodos são de extrema importância para gerar índices de zoneamento climático que ajudem a melhorar o potencial de produtividade das culturas cultivadas em superfícies irregulares do terreno (TURCO et al., 1997; TURCO, MILANI e FERNANDES, 2012).

Para Sanchez et al. (2012), utilizar as relações do solo com a declividade da área produtiva torna-se uma ferramenta base na identificação e mapeamento de zonas de manejo específico, modelando a variabilidade do terreno e dando respostas mais precisas ao longo que o terreno diverge. Estas técnicas são capazes de promoverem ao produtor rural a capacidade de tomar a melhor decisão sobre o manejo de uma área.

Qualquer cultura sofre interferência direta das variáveis ambientais que ocorrem ao longo da superfície e subsuperfície do terreno durante o seu cultivo. O ciclo da cultura, assim como os processos fisiológicos, sofre influência direta do clima (precipitação, radiação solar e temperatura) e dos parâmetros físico-químicos do solo (disponibilidade hídrica e nutrientes), fatos que geram dados capazes de correlacionarem irregularidades na forma do terreno com produtividade agrícola da cana-de-açúcar (BRUNINI, 2017). O estudo da cultura em ambientes com disponibilidade específica de recursos (água, solo e radiação solar), pode gerar enorme quantidade de informações para adequar o melhor manejo e cultivo, sendo possível explorar ao máximo o local de produção para promover o melhor rendimento e conseqüentemente maior lucratividade ou competitividade para os produtores de cana-de-açúcar (DIAS et al., 1999; MAULE, MAZZA e MARTHA,

2001).

Em resposta a análise e interpretação dos dados da variabilidade espacial do terreno, Brunini (2017), relata que o produtor pode elaborar a melhor tomada de decisão e realizar um manejo preciso em locais onde o potencial produtivo é limitante ou ocioso.

2.5 Termometria a infravermelho

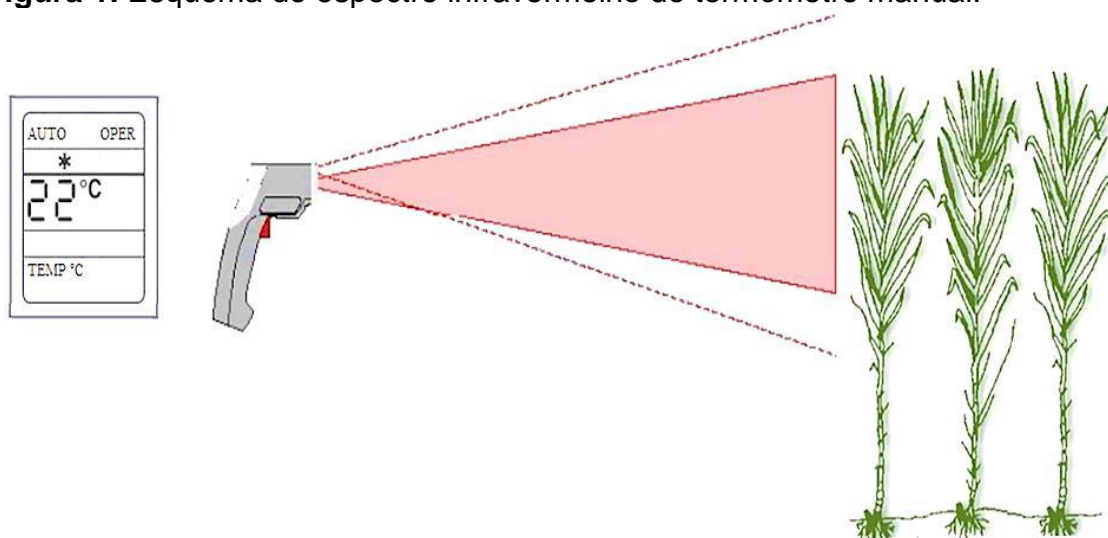
Em diversas áreas da ciência, tais como engenharias (civil, elétrica, mecânica e Aeronáutica) e na medicina, a temperatura é uma das grandezas físicas mais estudadas, cuja variação ocorre de acordo com características particulares do sistema estudado ou devido ao tempo.

Segundo Brunini (2017), utilizar a temperatura no estudo de fatores bióticos e abióticos é de fundamental importância para se avaliar as condições de qualidade e integridade de um produto, equipamento, elemento e processos. Na área da biologia e ciências agrárias o uso da temperatura pode indicar diversos fatores relacionados ao habitat das culturas, fatores como densidade de população, estresses bióticos e abióticos, assim como caracteres genéticos evolutivos.

No início dos anos 70, com o desenvolvimento de termômetros a infravermelho portáteis e de baixo custo, foram acrescentadas pesquisas sobre o uso de sensores remotos para medição da temperatura do dossel vegetativo, utilizadas em estudos de relações hídricas no sistema solo-planta-atmosfera. É uma ferramenta de fácil utilização e rápida resposta na detecção da ocorrência de estresse hídrico (FERNANDES, 2010; TRENTIN et al., 2011).

O uso de índices de estresse hídrico somente tornou-se possível com o advento da termometria infravermelha, um método que possibilita a medição da temperatura da porção superior do dossel vegetativo (Figura 1) sem a necessidade de contato físico com as folhas (BRUNINI, 2017).

Figura 1. Esquema do espectro infravermelho do termômetro manual.



Fonte: Infratemp (2010) *apud* Brunini (2017)

O valor obtido corresponde à média da temperatura medida dentro do campo de abrangência do sensor. A temperatura relativa de um alvo é obtida pelo sensor que capta uma amostra da radiação térmica infravermelha, convertendo-a em um sinal elétrico, cuja voltagem é proporcional à radiação captada, emitida pela folha, caracterizando-se por estar composta principalmente pela parte infravermelha do espectro, enquanto que sua magnitude depende da temperatura (SANMARTIN; ACEVEDO, 2001).

Campbell e Norman (1998) relatam que os radiômetros que operam na faixa do infravermelho são comumente utilizados na medição de temperaturas nesta faixa de energia radiativa e são chamados de termômetros a infravermelho, já que são projetados para estimar a temperatura da superfície, sendo pouco influenciados pela intervenção atmosférica.

As principais vantagens da termometria infravermelha, sobre técnicas convencionais de detecção do estresse hídrico, são a facilidade e a rapidez com que as medidas de temperatura do dossel vegetativo podem ser obtidas (BRUNINI, 2017).

Ainda de acordo com Brunini (2017), o uso de termômetros e sensores a infravermelho no monitoramento da temperatura do dossel das plantas é capaz de gerar respostas rápidas e não destrutivas, sinalizando ao operador o nível de estresse, o índice de estresse hídrico e a taxa de evapotranspiração das plantas.

Para Wang et al. (2010), em estresse hídrico as plantas respondem fisiologicamente aumentando sua temperatura, o que torna esta resposta ao ambiente um excelente índice do status hídrico da cultura em determinado momento, podendo-se dizer que a temperatura do dossel das plantas é uma variável de fundamental importância na avaliação e monitoramento do estresse hídrico.

Através de pesquisas realizadas por Idso et al. (1981) e Jackson (1981), foi constatado que a investigação do aumento da temperatura das plantas em relação a temperatura do ambiente natural é de fundamental importância para criar uma ferramenta capaz de monitorar o Índice de Estresse Hídrico das Culturas - IEHC (Crop Water Stress Index – CWSI).

O IEHC também é uma tecnologia capaz de proporcionar ao operador uma resposta rápida e precisa, ou seja, a taxa e o padrão de estresse hídrico ao longo dos dias ou em algum dia específico para as culturas. Com esse método o produtor pode avaliar em qual momento no campo a cultura sofre mais com o estresse hídrico, determinar através de índices de temperatura o instante exato para realizar o manejo da irrigação e evitar que ocorram danos as plantas (BRUNINI, 2017).

Adaptar o método do IEHC, em diferentes cenários produtivos, onde há variação abrupta da exposição do terreno à radiação solar, de acordo com cada período de desenvolvimento da cultura é de fundamental importância para gerar dados de pesquisa, técnicas e modelos preditivos de manejo, para cana-de-açúcar e para outras culturas irrigadas (SILVA et al. 2008; MAZARON, 2013).

Um fator importante para a agricultura irrigada é o uso da variável radiação solar incidente, proveniente do balanço energético, como parâmetro importante na mensuração da demanda hídrica disponível, pois de acordo com a escassez de água no solo, o processo de transpiração é reduzido e ocorre acúmulo de energia na forma de calor na superfície das folhas (BRUNINI, 2017).

Zarco-Tejada, González-Dugo e Berni (2012) relatam a importância de se utilizar o método de determinação do estresse hídrico a partir da termometria infravermelha, pois esta é uma técnica cujo uso pode ser pontual, através de termômetros manuais, ou remoto, por meio de aeronaves remotamente tripuladas, aviões e plataformas orbitais, permitindo desta forma a medição de grandes áreas cultivadas.

A ciência que envolve o estudo da termometria a infravermelho é capaz de explorar diversas áreas dentro da agropecuária e seu uso como ferramenta no monitoramento de grandes culturas, podendo contribuir para a prevenção de danos pela falta de água e conseqüentemente aumento na matéria prima final.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

A pesquisa foi desenvolvida na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal-SP, situada a 22^o15'22" de latitude sul, 48^o18'58" de longitude oeste, e altitude de 575 m, em uma estrutura denominada "Bacia Hidrográfica Experimental" (Figura 2), com superfícies de 10 m² (3,5 m x 3,0 m), feitas de alvenaria no seu contorno, descrita com detalhes por TURCO et al. (1997).

Figura 2. Bacia Hidrográfica Experimental, UNESP – Jaboticabal/SP. (A) Exposição Norte e Sul / (B) Exposição Leste e Oeste.



Todas as superfícies foram preenchidas com solo convenientemente homogeneizado do tipo LE1, Vermelho-Escuro, eutrófico, A moderado, caulínítico, hipoférrico, textura argilosa, relevo suave ondulado (Eustrustox) (ANDRIOLI; CENTURION, 1999). E o clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, isto é, subtropical com estiagem no inverno, precipitação média anual de 1.400 mm, temperatura média anual de 22 °C e umidade relativa do ar de 70% (KÖEPPEN, 1948).

O experimento iniciou no dia 04 de outubro de 2017, quando foi realizada a semeadura do amendoim. Sua emergência ocorreu no dia 14 de outubro de 2017, sendo o controle da irrigação realizado do dia 24 de outubro de 2017 ao dia 23 de

janeiro de 2018. No dia 03 de fevereiro de 2018 foi realizada a colheita do amendoim.

Todas as superfícies foram cultivadas com amendoim, cultivar: IAC OL3, categoria: C2; foram semeadas 20 sementes por metro a 5 cm de profundidade. As superfícies tiveram os seguintes tratamentos (Tabela 1):

Tabela 1. Tratamentos que as superfícies receberam para realização do experimento.

Tratamento	Superfície	
	Declividade (%)	Exposição
H1	0	-----
H2	0	-----
20N	20	norte
40N	40	norte
20S	20	sul
40S	40	sul
20E	20	leste
40E	40	leste
20W	20	oeste
40W	40	oeste

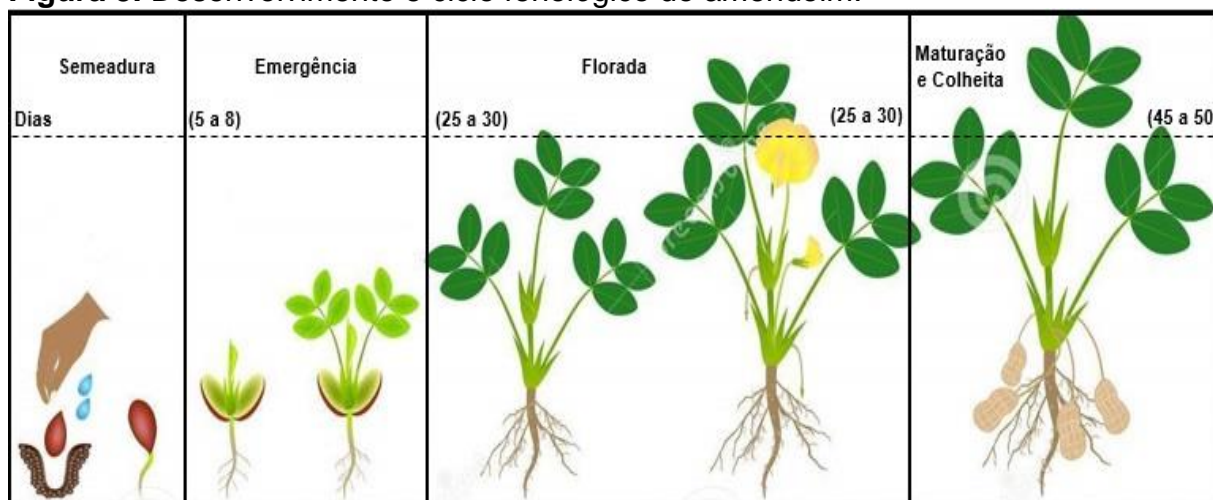
3.2 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos referentes a todo o período de implantação e condução do experimento foram fornecidos pela Estação Meteorológica Automatizada da marca *Davis Instruments* do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal, abrangendo todo o ciclo da cultura do amendoim.

As avaliações do ciclo da cultura foram realizadas a cada fase de desenvolvimento fenológico do amendoim. As informações disponíveis sobre o ciclo da planta tornam-se importantes, pois através delas é possível identificar as relações e as influências dos fatores envolvidos no processo de produção como, por exemplo, a temperatura do dossel e a disponibilidade hídrica (RODRIGUES, 1994). Facilitando ao produtor rural compreender melhor o ciclo da cultura, através de uma escala fenológica, da qual descreva o crescimento e o desenvolvimento, desde sua

emergência até a maturação (Figura 3).

Figura 3. Desenvolvimento e ciclo fenológico do amendoim.



Fonte: adaptado de DreamsTime (2019).

A estação encontra-se equipada com um sistema de aquisição de dados (*Vantage Pro Plus Wireless*), onde foram medidas a radiação solar global (sensor *Standart* – modelo 6450); a temperatura e umidade relativa do ar (sensor externo – modelo 7859); a velocidade do vento (anemômetro *Standart* – modelo 7911) e a precipitação pluviométrica (pluviômetro – modelo 7852, *Rain Collector*).

3.3 Uso e Manejo da Irrigação

Para a determinação da frequência de irrigação, foram instalados no centro de cada superfície três tensiômetros (vacuômetros) a 0,20 m e três a 0,40 m de profundidade, respectivamente (região de maior concentração das raízes), centralizados em linha reta, e sentido perpendicular à declividade da superfície, com a finalidade de monitorar o comportamento do potencial matricial de água no solo (umidade crítica do solo) (FARIAS et al., 2009).

A equação para a determinação do potencial matricial da água no solo é dada pela Equação 1:

$$\Psi_m = -12,6h + h_1 + h_2 \quad (1)$$

Em que:

Ψ_m = potencial matricial da água no solo (cmca);

h = altura da coluna de mercúrio (cm);

h_1 = altura da cuba de mercúrio em relação a superfície do solo (cm);

h_2 = profundidade de instalação do tensiômetro (cm).

Para as profundidades de 0,20 e 0,40 m o potencial matricial da água no solo foi convertido em umidade utilizando a seguinte equação desenvolvida por Van Genuchten (1980), Equação 2, considerando que para a umidade de capacidade de campo (θ_{cc}) a tensão da água no solo é 103,32 cmH₂O e umidade atual (θ_A) obtida diariamente com a tensão da água a partir das leituras dos tensiômetros.

$$\theta_A = \theta_r \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha * |\Psi_m|)^n]^m} \quad (2)$$

Em que:

θ_A = umidade atual (cm³ cm⁻³);

θ_r = umidade residual (cm³ cm⁻³);

θ_s = umidade do solo saturado (cm³ cm⁻³);

Ψ_m = potencial matricial da água no solo (cmca);

α , n e m = coeficientes de ajustes gerados pelo modelo de Van Genuchten (1980).

Na Tabela 2 é possível verificar os valores das características físico-hídricas do solo do local em que ocorreu o experimento e os valores das constantes empíricas empregadas na equação 2.

Tabela 2. Características físico-hídricas do solo do local em que ocorreu o experimento e valores das constantes empíricas empregadas na equação de Van Genuchten (1980).

Profundidade (m)	θ_{CC} (cm ³ cm ⁻³)	θ_{PMP}	Ds (g cm ⁻³)	A (cm ⁻¹)	n	m	α	θ_s (cm ³ cm ⁻³)	θ_r
0,2	0,3799	0,297	1,13	0,0178	127,127	0,1383	0,0178	0,539	0,297
0,4	0,2685	0,209	1,04	0,0182	177,713	0,1432	0,0182	0,506	0,209

θ_{cc} – umidade do solo à capacidade de campo; θ_{pmp} – umidade do solo no ponto de murcha permanente; Ds – densidade do solo; θ_s – umidade do solo saturado; θ_r – umidade residual do solo; A, α , n e m – coeficientes de ajuste gerados pelo modelo (Van Genuchten, 1980).

A superfície H2 foi mantida na capacidade de campo, sem ocorrência de déficit hídrico induzido na condução do experimento, as outras superfícies (H1, 20N, 20S, 20E, 20W, 40N, 40S, 40E e 40W) foram irrigadas quando a capacidade de água disponível do solo, que é a reserva utilizável em mm, atingisse o valor de 50%

(BRUNINI, 2017).

Também foram calculadas: a capacidade de água disponível no solo (CAD), a água facilmente disponível no solo (AFD) e a reserva de água disponível no solo (RAD_f); por meio das Equações:

$$\text{CAD (mm)} = (\theta_{\text{CC}} - \theta_{\text{PMP}}) * Z \quad (3)$$

$$\text{AFD (mm)} = 0,5 * \text{CAD} \quad (4)$$

$$\text{RAD}_f \text{ (mm)} = (\text{CAD} - \text{AFD}) \quad (5)$$

Em que:

θ_{CC} = umidade do solo $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ a capacidade de campo (potencial de 103,32 cmH_2O);

θ_{PMP} = umidade do solo $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ no ponto de murcha (potencial mátrico de 15498,41 cmH_2O);

Z = profundidade efetiva do sistema radicular do amendoim (0,30m).

A quantidade de água aplicada nas superfícies foi em função dos valores da ET_o, obtidos pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), corrigido por Turco, Milani e Fernandes (2012).

A evapotranspiração da cultura foi determinada por meio da metodologia descrita por Turco, Milani e Fernandes (2012), sendo a Evapotranspiração da cultura do amendoim expressa pela Equação 6:

$$\text{ET}_c = \text{ET}_0 * \text{K}_c \quad (6)$$

Em que:

ET_c = evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1});

ET_o = evapotranspiração de referência (mm dia^{-1});

K_c = coeficiente da cultura.

Os valores para o coeficiente de cultura do amendoim utilizados estão na Tabela 3.

Tabela 3. Valores do coeficiente de cultura (K_c) do amendoim, utilizados no experimento.

Período do experimento	Coeficiente (K _c) da cultura
Início	0,4
Meia-Estação	1,15
Final	0,6

A irrigação do tipo gotejamento em cada superfície foi realizada por meio da instalação de seis mangueiras de 3,5 m de comprimento, com gotejadores a cada 20 cm, em toda a sua extensão. O conjunto possuía uma vazão de 90 L h⁻¹. Na superfície H2 a irrigação foi efetuada sempre quando a umidade do solo atingisse o valor de capacidade de campo (θ_{cc}), mantendo o solo em cerca de 25% de umidade (FARIA et al., 2012; BRUNINI, 2017).

3.4 Determinação do Índice de Estresse Hídrico da Cultura (IEHC)

A determinação do IEHC foi efetuada todos os dias, entre 12 e 13 horas (horário solar), efetuando-se 10 leituras em cada parcela das superfícies estudadas, por meio da medição da temperatura da cobertura vegetal e da temperatura do ar ambiente, ao mesmo tempo, com o uso do termômetro de infravermelho, portátil, FLUKE, modelo 62 MAX + (calibrado), de ângulo de visada (ângulo sólido) de 3°, direcionando-se o aparelho para a cultura (Figura 4). Foi obtido o valor da temperatura da cobertura vegetal e do ar, para o cálculo do IEHC, pela média das dez visadas em cada parcela.

Figura 4. Termômetro Infravermelho Portátil, marca FLUKE.



Fonte: Brunini (2017).

A fim de evitar erros amostrais, as leituras foram efetuadas com o sensor do aparelho posicionado em direção oposta ao sol, e o ângulo de inclinação de

aproximadamente 30° com a horizontal (FERNANDES; TURCO, 2001). Assim como em dias de precipitações, ocorrência de vento forte (observação visual), e ou tempo nublado interceptando o fluxo de radiação solar direta, as leituras foram evitadas, de acordo com a limitação do aparelho e da metodologia. Quando as amostragens foram realizadas imediatamente após cada irrigação ou precipitação, o valor acumulado do índice de estresse hídrico (IEHC) foi considerado zero, devido ao solo apresentar condições hídricas favoráveis à cultura (BAVARESCO, 1995).

Segundo Fernandes (2010), um valor de IEHC positivo, aponta que a cultura está sob estresse.

O cálculo do IEHC do amendoim foi efetuado pela diferença entre as temperaturas médias da cobertura vegetal (T_s em °C), e as temperaturas médias do ar (T_a em °C), e expressa pela Equação 7, conforme proposto por Idso et al. (1981) e Jackson et al. (1981):

$$\text{IEHC} = T_s - T_a \quad (7)$$

Em que:

IEHC = índice de estresse hídrico (°C);

T_s = temperatura média do dossel (°C);

T_a = temperatura média do ar (°C).

A calibração do termômetro de infravermelho ($\pm 1^\circ\text{C}$) foi realizada no Laboratório de Instrumentação, Aquisição e Processamento (LIAP), do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP. Realizado por Brunini (2017), utilizando-se um banho maria para Laboratório e fazendo-se variar sua temperatura de 0 – 60 °C. A temperatura da água era lida com termômetro de mercúrio de fundo de escala de 60°C, precisão $\pm 0,1^\circ\text{C}$ e com o termômetro infravermelho, simultaneamente (Figura 5).

Figura 5. Calibração do termômetro de infravermelho.



Fonte: Brunini (2017).

As avaliações do crescimento da cultura foram realizadas na linha central de todas as superfícies em três plantas, com três repetições, abrangendo os estádios fenológicos, crescimento e maturação da cultura, e suas variações no decorrer do período. Foi utilizado como bordadura a primeira linha em cada lateral e 0,50 m na entrada da linha analisada.

Ao final do experimento foi realizada a colheita das bordaduras e da linha, respectivamente, todas as plantas foram medidas e a produtividade calculada através do peso total por metro em três repetições.

Os dados foram submetidos à análise de variância e aplicação do teste de Tukey ($p < 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A maior quantidade de irrigação foi aplicada durante o mês de dezembro (durante a fase de frutificação e amadurecimento do amendoim) de acordo método proposto, e a precipitação mais baixa ocorreu durante o mês de outubro (54,5 mm), durante a fase de emergência e início da frutificação do amendoim (Tabela 4).

Tabela 4. Lâmina d'água mensal (mm) recebida pelo amendoim em cada tratamento e a precipitação (mm), ocorridas durante o desenvolvimento do experimento.

Ano	Meses	(mm)										Precipitação
		H1	H2	20N	20S	40N	40S	20E	20W	40E	40W	
2017	Outubro	9	45	9	8	9	8	8	8	9	8	54
2017	Novembro	37	21	37	34	36	33	38	34	36	34	331
2017	Dezembro	113	113	116	100	109	97	114	103	109	101	119
2018	Janeiro	33	33	33	33	37	34	33	32	38	35	264
Total		192	212	195	175	191	172	193	177	193	178	768

As superfícies horizontais H1 e H2 (Tabela 4) sob condições naturais de exposição ao sol e declive da terra tiveram uma demanda de água de 192 mm e 212 mm, respectivamente. As superfícies com exposição ao sol do norte (20N e 40N) apresentaram as maiores demandas totais de irrigação (195 mm e 191 mm, respectivamente) ao serem comparadas com as de exposição sul 20S e 40S (175 mm e 172 mm, respectivamente), sendo os menores valores registrados entre os tratamentos. Para as exposições leste e oeste, a demanda de água foi igual a 193 mm para 20E e 40E; e 177 mm e 178 mm (20W e 40W, respectivamente).

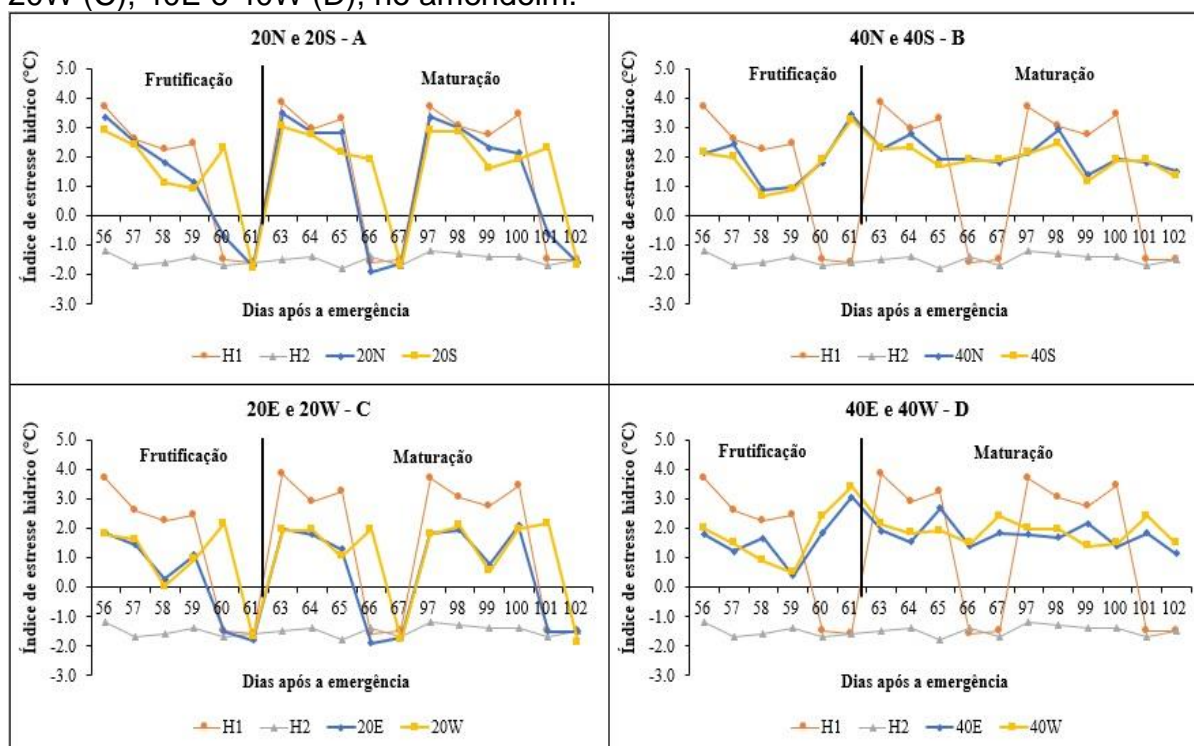
A precipitação total durante o ciclo de cultivo do amendoim foi de 768 mm, o que está dentro do intervalo esperado para o clima da região. A cultura do amendoim é considerada relativamente tolerante à seca, as necessidades hídricas variam de 450 a 700 mm durante o ciclo. A máxima exigência hídrica ocorre durante o florescimento e frutificação. A falta de água no início do desenvolvimento faz com que ocorram problemas como atraso e irregularidades na germinação (CATO; ALBERT; MONTEIRO, 2008).

Com isso, observa-se que para todos os tratamentos as condições de umidade do solo promovidas pelo manejo da irrigação e precipitação, foram favoráveis às fases de desenvolvimento do amendoim, tendo como fator incisivo nos

tratamentos H1, 20N, 20S, 40N, 40S, 20E, 40E, 20W e 40W, os períodos de estresse hídrico induzido e as distintas exposições solares, contrastando com o tratamento H2 do qual não sofreu estresse hídrico durante o período de estudo (Tabela 4).

A Figura 6 (A, B, C e D) apresenta os valores dos índices de estresse hídrico (IEH) dos tratamentos para o amendoim em suas diferentes fases de desenvolvimento (frutificação e maturação). É possível observar que os maiores valores de IEH foram registrados durante as fases de frutificação e maturação do amendoim durante os períodos de estresse hídrico induzido, sendo de aproximadamente 3,8 °C para o tratamento H1 e 3,5 °C e 3,0 °C para os tratamentos 20N e 20S (Figura 6A). Registrou-se 3,4 °C para o tratamento 40N e cerca de 3,3 °C 40S (Figura 6B). Foi registrado o valor de 2,1 °C para 20E e de 2,2 °C para 20W (Figura 6C). Para 40E e 40W, observaram-se valores próximos de 3,1 °C e 3,4 °C respectivamente (Figura 6D). No tratamento H2 (Figura 6A), mantido sob capacidade de campo, o maior valor registrado foi de -1,2 °C.

Figura 6. IEHC (°C) para os tratamentos H1, H2, 20N, 20S (A), 40N, 40S (B), 20E, 20W (C), 40E e 40W (D), no amendoim.



É possível observar que durante a fase de florada (25 a 31 DAE) e uma parte da frutificação (33 a 40 DAE) do amendoim, não ocorreu déficit hídrico, o que contribuiu para um desenvolvimento favorável da cultura. De acordo com Ferrari Neto, Costa e Castro (2012), relatam que para o amendoim o déficit hídrico durante o período vegetativo pode fazer com que o ciclo da cultura seja estendido, fazendo com que os gastos do produtor rural se elevem.

Quando há falta de água durante o florescimento, pode haver queda das flores e os ginóforos murcharem, o que afeta a produção diretamente. Já quando há falta de água durante a frutificação, pode ocorrer a diminuição da produção, pois os grãos formados podem apresentar peso específico menor, ou até mesmo não ser preenchido (FERRARI NETO; COSTA; CASTRO, 2012).

Com a diminuição da transpiração foliar ocorre aumento na temperatura do dossel devido à maior concentração de energia na forma de calor latente. Assim, a temperatura foliar torna-se superior à temperatura do ar (BRUNINI, 2017), explicando, assim, o comportamento do índice de estresse hídrico variou entre uma faixa de 0,1 a 3,8 °C para os tratamentos H1, 20N, 20S, 40N, 40S, 20E, 20W, 40E e 40W (Figura 6 A, B, C e D).

Silva e Beltrão (2000) e Ferrari Neto, Costa e Castro (2012) citam que o déficit hídrico pode afetar negativamente o conjunto das funções fisiológicas do amendoim, como a fotossíntese, respiração e outras reações metabólicas, que podem repercutir diretamente nas variações anatômicas (estômatos), no crescimento, na reprodução e no desenvolvimento das plantas, de modo geral, particularmente nos frutos e sementes e, conseqüentemente, na produtividade.

De acordo com a Tabela 5, observam-se as médias dos índices de estresse hídrico para as fases de frutificação e maturação do amendoim nos tratamentos estudados, vista que para a fase de florada, não houve déficit hídrico. Para a fase de frutificação, o tratamento H1 apresentou a maior média de índice de estresse hídrico (2,7 °C), seguido de 20N (2,2 °C). E na fase de maturação, dividida em duas etapas (Etapa 1 = 63 a 72 DAE; Etapa 2 = 97 a 102 DAE), o tratamento H1 também apresentou maior índice de estresse hídrico (3,3 °C e 3,2 °C, etapa 1 e etapa 2, respectivamente), seguido de 20N (3,0 °C e 2,7 °C, etapa 1 e etapa 2, respectivamente).

Tabela 5. Índices de Estresse Hídrico - IEHD (°C) nas superfícies estudadas, para as diferentes fases de desenvolvimento do amendoim.

IEHD		H1	H2	20N	20S	40N	40S	20E	20W	40E	40W
DAE	Fase	Temperatura (°C)									
56 a 61 ¹	Frutificação	2,7 a	-1,5 b	2,2 c	1,9 d	1,9 d	1,8 d	1,2 e	1,3 e	1,7 d	1,8 d
63 a 67 ²	Maturação	3,3 a	-1,6 b	3,0 a	2,4 c	2,1 cd	2,0 cd	1,7 d	1,7 d	1,9 d	2,0 cd
97 a 102 ³	Maturação	3,2 a	-1,4 b	2,7 c	2,3 cd	2,0 de	1,8 e	1,7 e	1,7 e	1,7 e	1,8 e

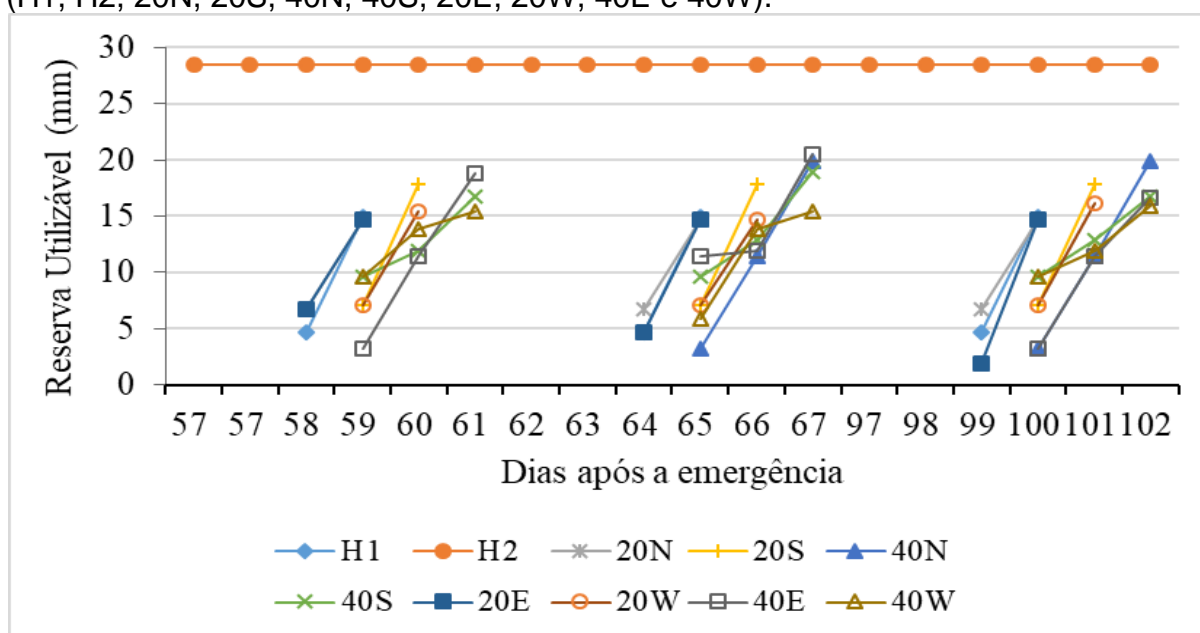
DAE=dias após a emergência. Médias seguidas de mesmas letras, não diferem entre si, pelo Teste de Tukey (P<0,05). ¹CV=5,3%. ²CV=8,7%. ³CV=9,1%.

A relação existente entre a necessidade hídrica das plantas e a temperatura do dossel é um parâmetro importante para indicar ao produtor quando irrigar a cultura (NOGUEIRA; SILVA JÚNIOR, 2001).

Com base nas médias do tratamento H1 apresentadas na Tabela 5, pode-se considerar usual para o amendoim cultivado nestas condições de campo (mais comuns de plantio), a fase de maturação como a fase decisiva para fazer o correto manejo da irrigação e o momento ideal quando a temperatura do dossel atingir o valor de 3,3 °C em relação ao ambiente.

A reserva utilizável de água no solo na camada monitorada de 0 a 0,40 m corresponde a 28,48 mm. Ao observar os dados da Figura 7, pode-se acompanhar o comportamento da água no solo durante os períodos de déficit hídrico induzido, que corresponde a 50% da reserva utilizável), para os tratamentos durante as fases de frutificação e maturação do amendoim.

Figura 7. Valores médios de água disponível no solo até 0,40 m de profundidade, durante os períodos de estresse hídrico induzido no amendoim para os tratamentos (H1, H2, 20N, 20S, 40N, 40S, 20E, 20W, 40E e 40W).



Segundo Ritchie, Burnett e Henderson (1972), a reserva utilizável ou água evapotranspirável pode ser estimada pela diferença entre o conteúdo de água no solo explorado pelo sistema radicular das plantas, entre o limite superior (capacidade de campo) e o limite inferior de água disponível no solo (ponto de murcha permanente).

Ortolani e Camargo (1987), indicam que a limitação hídrica chega a causar danos à produção final na ordem de 70%, evidenciando a importância no planejamento da agricultura irrigada durante o período de desenvolvimento das plantas.

À medida que o esgotamento de água no solo evolui, a capacidade das plantas absorverem a água diminui, devido a maior energia de retenção pelos microporos do solo que competem com as raízes das plantas, limitando assim a disponibilidade da água (BERGAMASCHI, 1992).

Durante as fases de desenvolvimento da cultura: frutificação (57 a 61 DAE) e maturação (62 a 102 DAE) houve uso da reserva utilizável pelos tratamentos sob déficit hídrico (H1, 20N, 20S, 40N, 40S, 20E, 20W, 40E e 40W), até que atingissem o valor de 14,2 mm (50% da reserva), uma condição considerada de estresse hídrico (Figura 7). Para o tratamento H2, este foi sempre mantido na capacidade de campo

(ALLEN et al., 1998; FARIA et al., 2012; BRUNINI, 2017).

Na Tabela 6, verifica-se os valores de temperatura máxima da cobertura vegetal nas fases de desenvolvimento do amendoim e o acúmulo de radiação global para o ciclo produtivo. O tratamento H2 registrou valores de temperatura máxima próximos de 28,0°C para todas as fases de desenvolvimento, comprovando a afirmativa proposta por Idso et al. (1981) e reafirmada por Brunini (2017), de que as plantas na capacidade de campo tendem a manter sua temperatura próxima a temperatura do ar e menores valores de índice de estresse hídrico. Devido a limitação hídrica, a diminuição da transpiração foliar e o aumento no acúmulo de calor latente pela radiação solar nas folhas (BRUNINI; TURCO, 2018), os tratamentos sob déficit hídrico (H1, 20N, 20S, 40N, 40S, 20E, 40E, 20W e 40W) apresentaram maiores variações na temperatura máxima do dossel que o tratamento H2 durante o desenvolvimento do amendoim.

Tabela 6. Temperatura máxima do dossel (°C) dos tratamentos (H1, H2, 20N, 20S, 40N, 40S, 20E, 20W, 40E e 40W), nas fases de desenvolvimento do amendoim e a Radiação Solar Global incidente acumulada ($\text{MJ m}^{-2} \text{ano}^{-1}$).

Fase de desenvolvimento	H1	H2	20N	20S	40N	40S	20E	20W	40E	40W
	Temperatura (°C)									
Frutificação	30,6	28,2	30,4	30,6	31,3	31,2	29,5	30,1	31,0	31,1
Maturação	30,8	28,0	30,5	30,8	31,2	31,1	29,8	30,3	31,1	31,1
	Radiação acumulada ($\text{MJ. m}^{-2}. \text{ano}^{-1}$)									
Total	2692	2692	2646	2634	2514	2489	2666	2630	2577	2507

As temperaturas ótimas para o crescimento vegetativo do amendoim situam-se entre 25 °C a 35 °C (NOGUEIRA; TÁVORA, 2005). Temperaturas abaixo do ótimo prolongam o estágio vegetativo o que acarreta em maiores gastos com tratamentos culturais devido ao alongamento do ciclo da cultura (FERRARI NETO; COSTA; CASTRO, 2012). E temperaturas acima de 35 °C podem reduzir drasticamente o número de vagens por planta, conforme verificou Vara Prasad, Craufurd e Summerfield (1999).

Para as superfícies horizontais, H1 e H2, a radiação acumulada durante o ciclo da cultura foi de 2692 $\text{MJ m}^{-2} \text{ano}^{-1}$ (Tabela 6), que foram as superfícies que tiveram maior acúmulo de radiação. A superfície 40S registrou o menor acúmulo de radiação durante o ciclo, com 2489 $\text{MJ m}^{-2} \text{ano}^{-1}$. As demais superfícies (20N, 20S,

40N,20E, 20W, 40E, 40W) apresentaram valores de radiação variando entre 2507 a 2666 MJ m⁻² ano⁻¹. A variação angular de incidência dos raios solares sobre as plantas diverge no saldo de radiação que penetra e é retido, desta forma diferentes cenários produtivos com dependência geográfica do terreno influenciam no saldo de radiação total pela cultura (ANDRÉ et al., 2010; CARNEIRO et al., 2013; BRUNINI; TURCO, 2018).

O déficit hídrico durante o desenvolvimento do amendoim prejudica vários processos fisiológicos da planta e reduz sua produtividade (ARRUDA et al., 2015). Realizar um manejo de irrigação, mantendo a cultura na capacidade de campo, garante um elevado rendimento agrônômico, aumentando a produtividade; o que pode ser comprovado através do tratamento H2, que foi mantido durante todo o experimento em capacidade de campo e apresentou menor índice de estresse hídrico (0,6 °C) e maior produtividade do amendoim (4225 kg ha⁻¹), de acordo com a Figura 8 e a Tabela 7.

Figura 8. Produtividade do amendoim (kg ha⁻¹) e o Índice de Estresse Hídrico máximo (°C) nas superfícies estudadas.

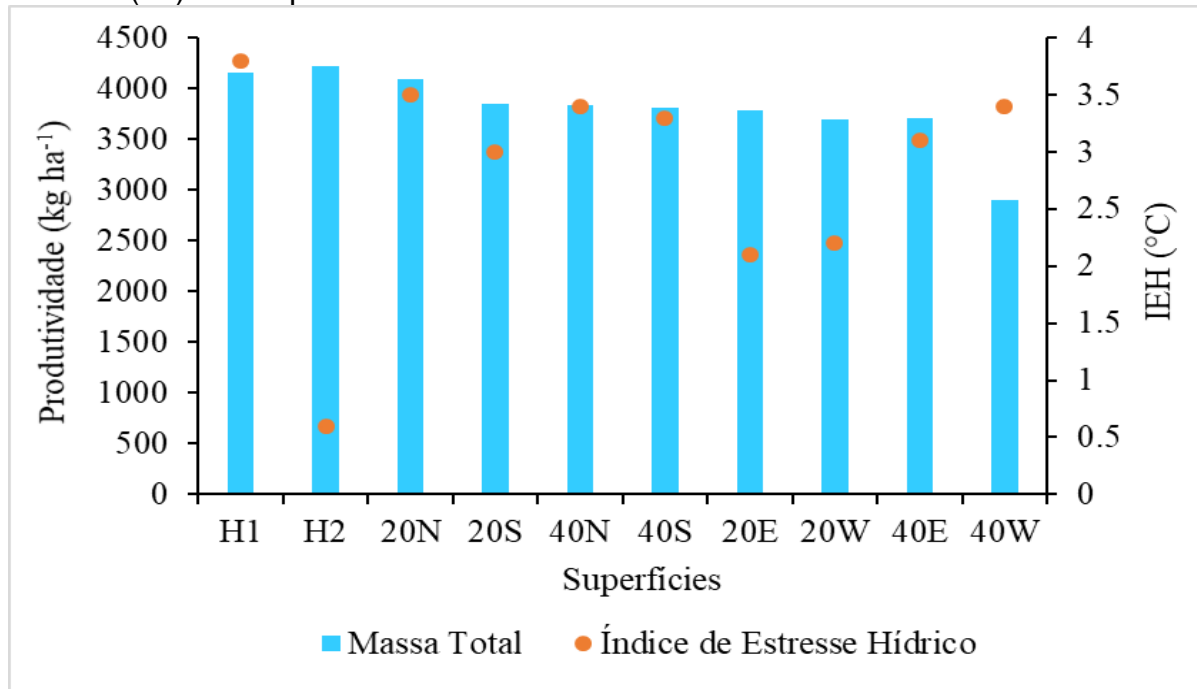


Tabela 7. Produtividade média do amendoim (kg ha⁻¹) colhida ao final do experimento.

Superfície	Produtividade
H1 (declividade 0% - sob déficit hídrico)	4159 a
H2 (declividade 0% - capacidade de campo)	4225 a
Norte - 20%	4093 a
Sul - 20%	3853 b
Norte - 40%	3840 b
Sul - 40%	3813 b
Leste - 20%	3787 b
Oeste - 20%	3700 b
Leste - 40%	3707 b
Oeste - 40%	2900 c

Médias seguidas de mesmas letras, não diferem entre si, pelo Teste de Tukey (P<0,05). CV=5,6%.

Brunini e Turco (2018) também confirmam que a ausência de estresse hídrico pelo manejo da irrigação, garante um elevado rendimento agrônômico. Em estudos com a cana-de-açúcar na mesma área experimental, os autores confirmaram que o tratamento H2 (mantido na capacidade de campo), apresentou menor índice de estresse hídrico (-1,4°C) e maior produtividade da cultura (4225 Kg ha⁻¹).

A diferença entre os valores de produtividade dos tratamentos sob déficit hídrico induzido, pode ser explicada devido às variações ambientais, tais como a declividade do terreno e exposição solar, as quais influenciam na captação de radiação solar, evapotranspiração e umidade no solo (BRUNINI; TURCO, 2016).

Conforme proposto por Idso et al. (1981), utilizar os índices de estresse hídrico na cultura do amendoim é de importância para monitorar a qualidade física e tecnológica da plantação, buscando dar suporte ao produtor rural para que ele realize o manejo da irrigação de forma correta, no momento ideal e evitando, assim, perdas na produtividade devido aos efeitos negativos que o estresse hídrico pode causar.

5 CONCLUSÕES

Os índices de estresse hídrico variam para cada fase de desenvolvimento do amendoim, sendo que durante a maturação foram observados os maiores efeito do déficit.

Os índices de estresse hídricos máximos para o amendoim encontram-se em aproximadamente 3,3 °C.

As exposições e declividades estudadas (H1, H2, 20N, 40N, 20S, 40S, 20E, 40E, 20W e 40W) do terreno, tem influência sobre os índices de estresse hídrico para a cultura.

O tratamento H2, que foi mantido em capacidade de campo, apresentou a maior produtividade.

O uso da tecnologia de sensores e termômetros a infravermelho é eficaz na detecção de índice de estresse hídrico nas plantas.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PERREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements** - FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome: FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 1998.

ALVES, G. M. R. **Variabilidade genótipica de amendoim submetido ao estresse hídrico baseada em descritores bioquímicos**. 2013. Dissertação (Mestrado). Centro de Ciências Humanas e Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba, 2013. 41p.

ANDRÉ, R. G. B.; MENDONÇA, J. C.; MARQUES, V. S.; PINHEIRO, F. M. A.; MARQUES, J. Aspectos energéticos do desenvolvimento da cana-de-açúcar. Parte 1: balanço de radiação e parâmetros derivados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 25, n. 3, p. 375-382, 2010.

ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: congresso brasileiro de ciência do solo, Brasília, 1999. **Anais...** Brasília, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. p.1-4.

ARAÚJO, W.F.; FERREIRA, L.G.R. Efeito do déficit hídrico durante diferentes estádios do amendoim. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.5, p. 481-484, 1997.

ARRUDA, I. M.; MODA-CIRINO, V.; BURATTO, J. S.; FERREIRA, J. M. Crescimento e produtividade de cultivares e linhagens de amendoim submetidas a déficit hídrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 146-154, 2015.

ASSUNÇÃO, H. F.; ESCOBEDO, J. F. Estimativa da exigência hídrica do amendoim usando um modelo agrometeorológico. **Revista Irriga**, Botucatu, v.14, n.03, p.325-335, 2009.

AZEVEDO, B. M.; SOUSA, G. G.; PAIVA, T. F. P.; MESQUITA, J. B.; VIANA, T. V. A. Manejo da irrigação na cultura do amendoim. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 26, n. 1, p. 11-18, 2014.

BASTOS, F. J. C.; ROCHA, A. C.; SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; SILVA, F. C.; TEIXEIRA, M. B. Desempenho de cultivares e linhagens de amendoim irrigado. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.6, n. 3, p. 198-206, 2012.

BAVARESCO, R.S. **Utilização do termômetro de infravermelho para determinação do estresse hídrico em cultura de soja irrigada**. Monografia (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal (SP), 1995. 75p.

BERGAMASCHI, H. Desenvolvimento de déficit hídrico em culturas. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 25-32, 1992.

BILIBIO, C.; CARVALHO, J. A.; MARTINS, M.; REZENDE, F. C.; FREITAS, E. A.; GOMES, L. A. A. Desenvolvimento vegetativo e produtivo da berinjela submetida a diferentes tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.7, p.730-735, 2010.

BOOTE, K.J.; STANSELL, J.R.; SCHUBERT, A.M.; STONE, J.F. Irrigation, water use and water relation. In: PATEE, H.E.; YOUNG, C.T. (ed). **Peanut science and technology**. Texas: American Press, 1982. cap.7, p.164-205.

BOOTE, K.J.; VARNELL, R.J.; DUNCAN, W.G. Relationships of size, osmotic concentration, and sugar concentration of peanut pods to soil water. **Proceedings Crop and Soil Science Society**, Florida, v.35, p.47-50, 1976.

BRUNINI, R. G. **Índices de estresse hídrico em cana-de-açúcar nas diferentes fases de desenvolvimento**. Tese (doutorado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal/SP. 2017. 97p.

BRUNINI, R. G.; TURCO, J. E. P. Water stress index on sugarcane in different developmental phases. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 42, n. 2, p. 204-215, 2018.

BRUNINI, R. G.; TURCO, J. E. P. Water stress indices for the sugarcane crop on different irrigated surfaces. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 10, p. 925-929, 2016.

CAMPBELL, G. S.; NORMAN, J. M. **An introduction to environmental biophysics**, 2nd. New York: Springer, 1998.

CARNEIRO, R. G.; MOURA, M. A. L.; LYRA, R. F.; ANDRADE, A. M. D.; SANTOS, A. B.; MAIA, R. G. X. Fluxo de Calor do Solo e Saldo de Radiação Dentro de uma Área de Mata Atlântica em Comparação com uma Área de Cana-de-Açúcar (Heat Flux and in the Soil and Radiation Balance Inside in Area of Atlantic Forest in Comparison with an Area of Sugarcane). **Revista Brasileira de Geografia Física**, Maceió, v. 6, n. 3, p. 555-565, 2013.

CARREGA, W. C. **Deficiência hídrica em genótipos de amendoim**. Tese. Doutorado. Agronomia – Produção vegetal. Universidade Estadual Paulista – UNESP, FCAV, Câmpus de Jaboticabal. Jaboticabal/SP. 2017.108p.

CATO, S. C.; ALBERT, L. H. B.; MONTEIRO, A. C. B. A. Amendoimzeiro. In: CASTRO, P. R. C. **Manual de Fisiologia Vegetal: Fisiologia de Cultivos**. Piracicaba: Editora Ceres, 2008.

COAN, R.M.; TURCO, J.E.P.; PIVETTA, K.F.L.; COSTA, M.N.da.; MATEUS, C.de.M.D'A. Emerald zoyzia grass development regarding photosynthetically active radiation in different slopes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.3, p.501-509, 2012.

CORREIA, K. G.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, Espanha, v.4, n.2, p.1-10, 2004.

DIAS, F. L. F.; MAZZA, J. A.; MATSUOKA, S.; PERECIN, D.; MAULE, R. F. Produtividade da cana-de-açúcar em relação a clima e solos da região noroeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.627-634, 1999.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Estudos de FAO: Irrigação e Drenagem, 33, Campina Grande: UFPB, 1994. 306p.

DREAMSTIME. **Desenvolvimento do amendoim**. 2019. Disponível em: <<https://pt.dreamstime.com/ciclo-do-crescimento-de-uma-planta-um-amendoim-isolado-em-fundo-branco-image123155369>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Feijão. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. MAPA. **Amendoim: o produtor**

pergunta, a Embrapa responde. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 246p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Estudo mapeia áreas de produção de amendoim do Brasil para prevenir doença do carvão**. Publicado em 22 jan. 2019. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/40697528/estudo-mapeia-areas-de-producao-de-amendoim-do-brasil-para-prevenir-doenca-do-carvao>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

FARIA, M. T.; TURCO, J. E.; FERNANDES, E. J.; GUIRRA, A. M. Resposta produtiva do feijoeiro comum a diferentes manejos de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v.17, n.2, p.137-147, 2012.

FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; DANTAS NETO, J. Qualidade industrial de cana-de-açúcar sob irrigação e adubação com zinco, em Tabuleiro Costeiro paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 419-428, 2009.

FERNANDES, E. J. Determinação do índice de estresse hídrico em cultura do feijoeiro com termômetro de infravermelho. **Irriga**, Botucatu, v.15, n.3, p.248, 2010.

FERNANDES, E. J.; TURCO, J. E. P. Utilização do CWSI na determinação de estresse hídrico em cultura de soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 347-355, 2001.

FERRARI NETO, J.; COSTA, C. H. M.; CASTRO, G. S. A. Ecofisiologia do amendoim. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 11, n. 4, p.1-13, 2012.

GEROLINETO, E. **Desenvolvimento da grama esmeralda (*Zoysia japonica* steud) sob dois manejos de irrigação**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

HOFIERKA, J.; ŠÚRI, M. The solar radiation model for open source GIS: implementation and applications. **In: Proceedings of the Open source GIS – Grass users conference 2002 – Trento, Italy, 11-13 September 2002.**

HOLANDA, L. A. D.; SANTOS, C. M.; NETO, G. D. S.; PÁDUA, S. A.; ALMEIDA, S. M. Variáveis morfológicas da cana-de-açúcar em função do regime hídrico durante o desenvolvimento inicial. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 4, p. 573-584, 2014.

IDSO, S. B.; JACKSON, R. D.; PINTER JUNIOR, P. J.; REGINATO, R. J.; HATFIELD, J. L. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. **Agricultural Meteorology**, Phoenix – Arizona, v. 24, n. 1, p. 45-55, 1981.

JACKSON, R.D.; IDSO, S.B.; REGINATO, R.J.; PINTER JR.; P.J. Canopy temperature as a crop water stress indicator. **Water Resour**, Phoenix - Arizona, v. 17, n.1, p.1133-1138, 1981.

KAMBIRANDA, D. M.; VASANTHAIAH, H. K.; KATAM, R.; ANANGA, A.; BASHA, S. M.; NAIK, K. **Impact of drought stress on peanut (Arachis hypogaea L.) productivity and food safety**. Plants and Environment. In Tech Publisher, p. 249-272, 2011.

KARAM, F.; SALIBA, R.; SKAF, S.; BREIDY, J.; ROUPHAEL, Y.; BALENDONCK, J. Yield and water use of eggplants (*Solanum melongena* L.) under full and deficit irrigation regimes. **Agricultural Water Management**, Nebraska, v. 98, n.1, p. 1307 - 1316, 2011.

KNEEBONE, W. R.; KOPEC, D. M.; MANCINO, C. F. **Water requirements and irrigation**. In: Waddington, D. V. (Ed.). Turfgrass. Madison: Agronomy, 1992.

KÖEPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. Fondo de Cultura Econômica. México, 1948. 479p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. 3. ed. São Carlos: RiMa, 2006. 529 p.

LOPES, L. C.; OLIVEIRA, A. S.; PEREIRA, F. A. de C.; SANTOS, R. M.; Perfil de distribuição de água por um aspersor rotativo de impacto para uso em sistemas de aspersão com linha única. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 23, n. 4, p. 193 - 199, 2011.

MAFAKHERI, A.; SIOSEMARDEH, A.; BAHRAMNEJAD, B.; STRUIK, P. C.; SOHRABI, Y. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. **Australian Journal of Crop Science**, Sidney, v. 4, n. 8, p. 580, 2010.

MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA, J. G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 295-301, 2001.

MAZARON, B. H. S. **Crescimento da cana-de-açúcar em superfícies irrigadas, com diferentes exposições e declividades**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal-SP. 2013. p.55.

NAKAGAWA, J.; ROSOLEM, C. A. **O Amendoim: tecnologia de produção**. 1. ed. Botucatu, FEPAF, 2011. 325 p.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, R. C. Alterações fisiológicas no amendoim submetido ao estresse hídrico. **Revista Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 41-45, 2000.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA JUNIOR, J. F. Resistência estomática, tensão de água no xilema e teor de clorofila em genótipos de gravioleira. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 491-495, 2001.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; TÁVORA, F. J. A. F. Ecofisiologia do Amendoim (*Arachis hypogaea* L.). In: SANTOS, R.C. (ed.): **O Agronegócio do amendoim no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005, p. 71-122.

NOGUEIRA, R.J.M.C. **Expressões fisiológicas da aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.) em condições adversas**. Tese (doutorado). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos-SP, 1997. 207p.

ORTOLANI, A. A.; CAMARGO, M. B. P. Influência dos fatores climáticos na produção. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato. 1987. 249p.

PALLAS, J.E.; STANSELL, J.R; KOSKE, T.J. Effects of drought on florunner peanuts. **Agronomy Journal**, Madson, v.71, n.1, p.853-858, 1979.

PASSOLONGO, D. G. **A cultura do amendoim**. Publicado em 20 fev. 2011. Disponível em: < <https://www.sabernarede.com.br/a-cultura-do-amendoim/>>. Acesso em: 18 jun. 2019.

PENA, C. **Cultura do amendoim**. Publicado em 13 fev. 2018. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=7HXi7YhN8RM>>. Acesso em: 18 jun. 2019.

PEREIRA, J. W. L.; MELO FILHO, P. A.; ALBUQUERQUE, M. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, R. C. Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico moderado. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 4, p. 766-773, 2012.

RAMÍREZ, A.J.F.; COELHO, R.D.; PIZANI, M.A.M.; DA SILVA, C.J. Determinação do índice de estresse hídrico em tomateiros cereja (*lycopersicum solanum var. cerasiforme*.) com câmara infravermelha. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 9, n. 4, p. 218-224, 2015.

REDDY, A. R.; CHAITANYA, K. V.; VIVEKANANDAN, M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 161, n. 11, p.1189–1202, 2004.

RITCHIE, J. T.; BURNETT, E.; HENDERSON, R. C. Dryland fluxo evaporativo em clima sub-húmido. **Revista de Agronomia**, v.64, n.3, p.168-173, 1972.

RODRIGUES, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu-SP, n.1, p.101, ago/set, 1994.

ROSENBERG, N. J.; BLAD, B. L.; VERMA, S. B. **Microclimate**: the biological environment. 3. ed. New york: Wiley Interscience. 1983.

ROWLAND, D. L.; FAIRCLOTH, W. H.; PAYTON, P.; TISSUE, D. T.; FERRELL, J. A.; SORENSEN, R. B.; BUTTS, C. L. Primed acclimation of cultivated peanut (*Arachis hypogaea* L.) through the use of deficit irrigation timed to crop developmental periods. **Agricultural Water Management**, Nebraska, v.113, n.1, p. 85 - 95, 2012.

SANCHEZ, R. B.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BARACAT NETO, J.; SIQUEIRA, D. S.; SOUZA, Z. M. Mapeamento das formas do relevo para estimativa de custos de fertilização em cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p.1077-1090, 2012.

SANMARTIN, J. P.; ACEVEDO, E. **Temperatura de canopia, CWSI e rendimento en genótipos de trigo**. 2001. 58 p. Laboratorio de Relación Suelo-Água-Planta. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile.

SANTOS, R. C.; FREIRE, R. M. M.; LIMA, L. M. **O agronegócio do amendoim no Brasil**. 2 ed. Brasília: EMBRAPA, 2013. 585 p.

SANTOS, R. C.; FREIRE, R. M. M.; LIMA, L. M.; ZAGONEL, G. F.; COSTA, B. J. Produtividade de grãos e óleo de genótipos de amendoim para o mercado oleoquímicos. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 72-77, 2012.

SANTOS, R. C.; GONDIM, T. M. S.; FREIRE, R. M. M. **Cultivo do amendoim: mercado e comercialização**. Campina Grande: Embrapa Algodão. 2006.

SARR, B.; LECOEUR, J.; CLOUVE, P. Irrigation scheduling of confectionery groundnut (*Arachis hypogaea* L.) in Senegal using simple water balance model. **Agricultural Water Management**, Nebraska, v.1, n. 67, p. 201 - 220, 2004.

SILVA, L.C.; BELTRÃO, N. E. de M. Incremento de fitomassa e produtividade do amendoimzeiro em função de lâmina e intervalos de irrigação. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campinas, v. 4, n. 2, p. 111-121, 2000.

SILVA, L.C.; MOREIRA, J. de A.N.; TAVARES SOBRINHO, J.; BELTRÃO, N.E. de M. **Recomendações técnicas para o cultivo do amendoim no Nordeste Brasileiro**. Campina Grande: EMBRAPACNP, 1993. 26p. (EMBRAPA-CNP. Circular Técnica, 16).

SILVA, M. A.; SOARES, R. A. B.; LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P. Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.3, p.655-661, 2008.

SNA. Sociedade Nacional de Agricultura. **SP produz 90% da safra de amendoim estimada em 433 mil toneladas**. Publicado em: 26 abr. 2017. Disponível em: <<https://www.sna.agr.br/sp-produz-90-da-safra-de-amendoim-estimada-em-433-mil-toneladas/>>. Acesso em: 28 mai. 2019.

TASSO JR.; MARQUES, M. O.; NOGUEIRA, G. A. L. **A cultura do amendoim**. 1. ed. Jaboticabal: UNESP, 2004. 218 p.

TÁVORA, F.J.A.F.; MELO, F.I. Respostas de cultivares de amendoim a ciclos de deficiência hídrica: Crescimento vegetativo, reprodutivo e relações hídricas. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.22, n.1/2, p.47-60, 1991.

THROSSELL, C. S.; CARROW, R. N.; MILLIKEN, G. A. Canopy temperature based irrigation scheduling indices for Kentucky bluegrass turf. **Crop Science**, Griffin, v.27, n.1, p.126-131, 1987.

TRENTIN, R. **Estimativa de um índice de estresse hídrico para a cultura de cana-de-açúcar com base na temperatura foliar**. Dissertação de (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa - MG. 2010. 81p.

TRENTIN, R.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; STEIDLE NETO, A. J. Transpiração e temperatura foliar da cana-de-açúcar sob diferentes valores de potencial matricial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.6, p.1085-1095, 2011.

TURCO, J. E. P.; MILANI, A. P.; FERNANDES, E. J. Soil and Water Engineering. International Conference of Agricultural Engineering – CIGR. **Ag.Eng.:** agriculture and engineering for a healthier life, Valencia, Spain, jul,y 2012. pp. 28-12. P-0255.

TURCO, J. E.P.; BARBOSA, J.C. Avaliação de duas estações meteorológicas automatizadas, para estimativa diária da evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteith. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 3, p. 339-354, 2008.

TURCO, J.E.P.; PINOTTI JUNIOR, M.; FERNANDES, E.J.; RODRIGUES, T. de J. D. Adequação de um modelo de crescimento da cultura de soja para terrenos com diferentes exposições e declividades. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, n. 4, p.25-34, 1997.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Riverside, v. 44, n. 1, p. 892-898, 1980.

VARA PRASAD, P.V.; CRAUFURD, P.Q; SUMMERFIELD, R.J. Sensitivity of peanut to timing of heat stress during reproductive development. **Crop Science**, Madison, v. 39, v. 1, p. 1652-1357, 1999.

VIANA, L. Q.; GONÇALVES, R. C.; ROTUNNO FILHO, O. C. Avaliação espaço-temporal do NDVI com a precipitação e com a evapotranspiração na bacia do Rio Preto RJ/MG. in: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013, Bento Gonçalves-RS. **Anais...** Bento Gonçalves-RS: ABRH, 2013. p.8.

WANG, X.; YANG, W.; WHEATON, A.; COOLEY, N.; MORAN, B. Automated canopy temperature estimation via infrared thermography: a first step towards automated plant water stress monitoring. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.73, n.1, p.74-83, 2010.

WASEEM, M.; ALI, A.; TAHII, M.; NADEEM, M.; AYUB, M.; TANVEER, A.; AHMAD, R.; HUSSA, M. Mechanism of drought tolerance in plant and its management through different methods. **Continental Journal Agricultural Science**, v. 5, n. 1, p. 10-25, 2011.

YOUNGNER, V. B.; MARSH, A. W.; STROHMAN, R. A.; GIBEAULT, V.A.; SPAULDING, S. **Water use and quality of warm-season and cool-season turfgrasses**. Guelph: Turfgrass Research Conf., 1981.

ZARCO-TEJADA, P. J.; GONZÁLEZ-DUGO, V.; BERNI, J. A. J. Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera. **Remote Sensing of Environment** v. 117, p. 322–337, 2012.