

**APLICATIVO PARA O MANEJO DE IRRIGAÇÃO E INDICADORES
DE DÉFICIT HÍDRICO EM Videira**

RODOLPHO ARTUR DE SOUZA LIMA

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO – 2019**

**APLICATIVO PARA O MANEJO DE IRRIGAÇÃO E INDICADORES
DE DÉFICIT HÍDRICO EM VIDEIRA**

RODOLPHO ARTUR DE SOUZA LIMA

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutor em Produção Vegetal”

Orientador: Prof. Elias Fernandes de Sousa

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO – 2019**

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pelo autor

L732

Lima, Rodolpho Artur de Souza.

Aplicativo para o manejo de irrigação e indicadores de déficit hídrico em videira /
Rodolpho Artur de Souza Lima. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2019.

74 f.: il.

Inclui bibliografia.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense
Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2019.

Orientador: Elias Fernandes de Sousa.

1. Videira Chardonnay. 2. Trocas Gasosas. 3. Protótipo de Termômetro
Infravermelho (PTI). 4. Aplicativo de Smartphone para o Manejo da Irrigação em Vasos.
I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

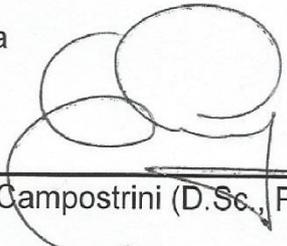
APLICATIVO PARA O MANEJO DE IRRIGAÇÃO E INDICADORES
DE DÉFICIT HÍDRICO EM VIDEIRA

RODOLPHO ARTUR DE SOUZA LIMA

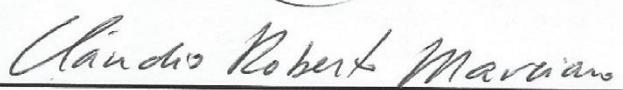
“Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal”.

Aprovada em 29 de março de 2019.

Comissão Examinadora



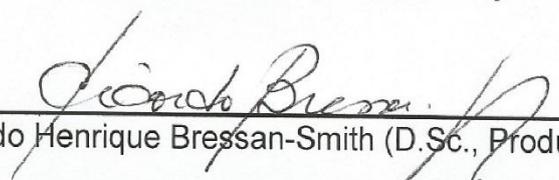
Prof. Eliemar Campostrini (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF



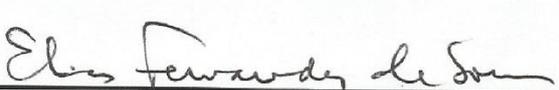
Prof. Claudio Roberto Marciano (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF



Clinimar Oliveira Amaral (D.Sc. Produção Vegetal) – IFF



Prof. Ricardo Henrique Bressan-Smith (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF



Prof. Elias Fernandes de Sousa (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF
(Orientador)

A Deus;

Aos meus pais, Eleine de Souza Barbosa Lima e José Marcelo Fagundes de Lima, que fizeram grandes sacrifícios e abdicaram de seus sonhos para possibilitar a realização dos meus e dos meus irmãos;

Aos meus irmãos, Clara Fagundes de Souza Lima e Alexandre Fagundes de Souza Lima;

À minha sobrinha, Valentina Fagundes de Souza Custodio Lacet;

A Maria Ozaí da Conceição Souto (Rosa);

Aos meus avós maternos, Maria de Lourdes de Souza Barbosa (in memoriam) e Eutrópio José Barbosa (in memoriam);

Aos meus avós paternos, Maria Lúrive Fagundes de Lima (Nininha) e José Gomes de Lima “Zequinha” (in memoriam);

Aos meus primos (as), tios (as), cunhados (as);

Aos meus grandes amigos;

Agradecer a todos por terem construído comigo lembranças tão especiais.

Obrigado!

AGRADECIMENTOS

Esta Tese só foi possível com a colaboração de algumas pessoas, às quais quero desejar os meus sinceros agradecimentos!

A Deus por mais uma conquista concedida;

Aos meus pais, Eleine de Souza Barbosa Lima e José Marcelo Fagundes de Lima, exemplos de amor e dedicação. Obrigado pelo apoio em todos os momentos da minha vida. Aos meus queridos irmãos, Clara Fagundes de Souza Lima e Alexandre Fagundes de Souza Lima;

Ao meu orientador, Dr. Elias Fernandes de Sousa, pela amizade, apoio e conhecimento, contribuindo para a minha formação acadêmica e conclusão de mais uma etapa na minha vida;

Ao Dr. Ricardo Enrique Bressan-Smith, por ceder a área experimental para realização desse experimento, meu muito obrigado por todo o apoio!

Aos professores Dr. Eliemar Campostrini, Dr^a Maura da Cunha e Dr. Antônio Teixeira do Amaral Junior, por ter cedido alguns dos equipamentos que foram utilizados nesse trabalho;

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e ao Laboratório de Engenharia Agrícola (LEAG), pela oportunidade de realização deste Doutorado;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa durante três anos de curso, e a Fundação de

Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pela concessão da bolsa nota 10 no último ano do doutorado;

Aos funcionários da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro;

Aos amigos (as) que fiz na UENF e na cidade de Campos dos Goytacazes, Rômulo Beltrame, Diego Furlan, Afonso Venturin, Diego Peçanha, Marcio Junior, Rauph Garcia, Marlene Vieira, Taisa Lima, Deyse Malcher, Tâmara Moreira, Cícero Manoel, Ygor Gonçalves, Arnaldo Tavares da Silva, Luciana Pereira, Saulo Pireda, Bruna Corrêa, Jessica Moraes, Júlio Féres, Ivanice Borges, Rozane Franci, Katherine Fraga, Mario Sérgio, Gleyce Kelly, Isabela Ribeiro, Assistone Costa, Kariane Sousa, Paulo César (Pc), Lídia Pessanha, Luan Baritiello, Luan Cordeiro, Mickaela Moreira, Sávio Bastos, Jefferson Rangel, Wallace Barreto, Weverton Santos;

A todos os professores, pelos ensinamentos e o convívio durante toda essa caminhada.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Viticultura no mundo e no Brasil	3
2.2. Relações hídricas da videira	5
2.3. Manejo de irrigação em videiras	6
2.4. Trocas gasosas e relações hídricas	6
2.5. Indicadores da cultura como métodos de estimativa do estresse hídrico	8
3. TRABALHOS	10
3.1 CAPACIDADE FOTOSSINTÉTICA DA CULTIVAR CHARDONNAY SOB DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS	10
RESUMO	10
ABSTRACT	11
INTRODUÇÃO	12
MATERIAL E MÉTODOS	13
RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
CONCLUSÕES	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
3.2 AVALIAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE BAIXO CUSTO PARA DETECÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO EM VIDEIRA	24

RESUMO	24
ABSTRACT	25
INTRODUÇÃO	25
MATERIAL E MÉTODOS.....	27
RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
CONCLUSÕES	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
3.3 DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO EM VASO.....	48
RESUMO	48
ABSTRACT	49
INTRODUÇÃO	49
MATERIAL E MÉTODOS.....	50
RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS BIBIOGRÁFICAS.....	61
4. RESUMO E CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

RESUMO

LIMA, Rodolpho Artur de Souza. Engenheiro Agrônomo, D.Sc. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Março de 2019. Aplicativo para o manejo de irrigação e indicadores de déficit hídrico em videira. Orientador: Prof. Elias Fernandes de Sousa.

Esse estudo foi dividido em três capítulos. No primeiro, o objetivo foi avaliar o efeito do déficit hídrico durante o estágio reprodutivo sobre a capacidade fotossintética da cultivar Chardonnay. O experimento foi realizado em Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil, em casa de vegetação não climatizada, na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, composto por três lâminas de irrigação (L1 – déficit hídrico – 0% da evapotranspiração da cultura, ET_c; L2 – irrigação deficitária - 50% da ET_c e L3 – irrigação total - 100% da ET_c), com oito repetições. Para a simulação do déficit hídrico realizou-se a suspensão da irrigação. Foram avaliadas a taxa fotossintética líquida por unidade de área foliar, taxa transpiratória, condutância estomática, eficiência instantânea do uso da água (A/E), e a razão entre a concentração interna e externa de CO₂ (ci/ca) por meio de um analisador de gás infravermelho. A fluorescência variável (F_v), fluorescência máxima (F_m) e o rendimento quântico máximo do fotossistema II (FSII) (F_v/F_m) foram avaliados por meio do fluorímetro Opti Science. De acordo com os dados obtidos, os resultados mostram que a redução na disponibilidade hídrica não foi suficiente para causar danos fotoquímicos nas videiras. O déficit hídrico causado pela lâmina L1 (0% da

ETc) na cultivar Chardonnay causou a diminuição dos valores da condutância estomática, chegando próximos a zero. Houve o aumento da relação ci/ca aos 78, 103 e 104 DAP na lâmina L1 (0% da ETc), sendo esse comportamento ligado a um bom indicativo de tolerância à seca. Tanto em condições ótimas (L3 – 100% da ETc), como exposta a um déficit hídrico controlado (L2 – 50% da ETc), a capacidade fotossintética da cultivar Chardonnay se manteve. No segundo, objetivou-se neste trabalho avaliar a utilização de um protótipo de termômetro infravermelho (PTI) associado a uma plataforma de processamento de dados para detecção de estresse hídrico. O experimento foi realizado em Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil, em casa de vegetação não climatizada. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, composto por três lâminas de irrigação (L1 – déficit, 0% da evapotranspiração da cultura (ETc); L2 - irrigação deficitária, 50% da ETc; e L3 - irrigação total, 100% da ETc), com oito repetições. O déficit hídrico foi simulado com a suspensão da irrigação. Foi avaliada a medição da temperatura foliar por meio do protótipo (PTI) de um termômetro e por um termógrafo modelo FLIR i50 Thermal Imaging. Também foram avaliados o potencial hídrico foliar (câmara de pressão tipo ‘Scholander’ modelo *Soil Moisture*) e do solo (sensores MP6). Pode-se concluir, a partir dos dados obtidos, e nas condições em que o experimento foi realizado, com base na diferença entre temperatura da folha e do ar, que o protótipo desenvolvido no Laboratório de Engenharia Agrícola (LEAG) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pode ser utilizado para estimar indiretamente o estado hídrico de plantas da cultivar ‘Chardonnay’. Tal fato pode mostrar que essa técnica é acessível, rápida, não destrutiva e prática no uso. No terceiro capítulo, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a utilização de um aplicativo de celular para o manejo de irrigação em vasos por meio da estimativa da evapotranspiração de referência, com base no clima. O aplicativo denominado “Irrigar” foi desenvolvido em Angular2, que é um framework de aplicações web, mobile web, mobile nativo e desktop nativo, com código-fonte aberto baseado em TypeScript, liderado pela Equipe Angular do Google. Para avaliar a eficácia do aplicativo, foi realizado um experimento em casa de vegetação não climatizada para realização do cálculo da demanda hídrica de três cultivares de videira (Cabernet Sauvignon, Chardonnay e Niágara Rosada) durante um ciclo de produção. De acordo com os dados obtidos e nas condições em que experimento

foi realizado, pode-se concluir que, por meio da estimativa da evapotranspiração de referência, com base no clima, o aplicativo pode ser utilizado para estimar indiretamente a demanda hídrica das três cultivares de videira. Embora em fase de ajustes, o aplicativo demonstrou ser uma ferramenta promissora para realização do manejo de irrigação de vasos em ambiente protegido. Tornando todo o processo do manejo de irrigação, desde a inserção dos dados, até a geração dos cálculos, muito mais interativo e simples.

ABSTRACT

LIMA, Rodolpho Artur de Souza. Agronomist, D.Sc. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. March, 2019. Application for irrigation management and indicators of water deficit in vine. Advisor: Prof. Elias Fernandes de Sousa.

This study was divided into three chapters. In the first, the objective was to evaluate the effect of water deficit during the reproductive stage on the photosynthetic capacity of Chardonnay cultivar. The experiment was carried out in Campos dos Goytacazes, RJ, Brazil, in an unheated greenhouse, at the Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. The design was completely randomized, composed of three irrigation slides (L1 - water deficit - 0% of crop evapotranspiration, ET_c; L2 - deficit irrigation - 50% ET_c and L3 - full irrigation - 100% ET_c) with eight replicates. For the simulation of the water deficit, irrigation was suspended. The net photosynthetic rate per unit leaf area, transpiratory rate, stomatal conductance, instantaneous water use efficiency (A/E), and the ratio of internal and external CO₂ concentration (c_i/c_a) were evaluated by means of a infrared gas analyzer. Variable fluorescence (F_v), maximum fluorescence (F_m) and the maximum quantum yield of photosystem II (FSII) (F_v/F_m) were evaluated using the Opti Science fluorometer. According to the data obtained, the results show that the reduction in water availability was not enough to cause photochemical damage in the vines. The water deficit caused by the L1 blade (0% of ET_c) in the cultivar

Chardonnay caused a decrease in stomatal conductance, reaching close to zero. There was an increase in the c_i / c_a ratio at 78, 103 and 104 DAP on the L1 blade (0% of the ETC), and this behavior was linked to a good indicator of drought tolerance. Both in optimal conditions (L3 - 100% ETC), and exposed to a controlled water deficit (L2 - 50% ETC), the photosynthetic capacity of the Chardonnay cultivar was maintained. In the second, the objective of this work was to evaluate the use of an infrared thermometer prototype (ITP) associated with a data processing platform for water stress detection. The experiment was carried out in Campos dos Goytacazes, RJ, Brazil, in an unheated vegetation. The experimental design was a completely randomized design consisting of three irrigation slides (L1 - deficit, 0% of crop evapotranspiration (ETc), L2 - deficit irrigation, 50% ETc, and L3 - full irrigation, 100% ETc), with eight replicates. The water deficit was simulated with the irrigation suspension. The leaf temperature was measured by means of the prototype (ITP) of a thermometer and a FLIR i50 Thermal Imaging thermograph. Leaf water potential (Soil Moisture model 'Scholander' pressure chamber) and soil (MP6 sensors) were also evaluated. Based on the data obtained, and in the conditions under which the experiment was carried out, based on the difference between leaf and air temperature, the prototype developed at the Laboratory of Agricultural Engineering (LEAG) of the Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, can be used to indirectly estimate the water status of plants of the cultivar 'Chardonnay'. This fact may show that this technique is accessible, fast, non-destructive and practical in use. On the third, the present work had the objective of evaluating the use of a cellular application for the management of irrigation in pots by means of the estimation of reference evapotranspiration, based on the climate. The so-called "Irrigar" application was developed in Angular2, which is a native web, mobile, native mobile and native desktop application framework based on TypeScript, led by the Google Angular Team. To evaluate the effectiveness of the application, an experiment was carried out in an unheated greenhouse to calculate the water demand of three grape varieties (Cabernet Sauvignon, Chardonnay and Niagara Rosada) during a production cycle. According to the data obtained and under the conditions that the experiment was carried out, it can be concluded that, through the estimation of the reference evapotranspiration, based on the climate, the application can be used to indirectly estimate the water demand of the three cultivars vine. Although in the phase of adjustments, the application has been shown

to be a promising tool to perform the irrigation management of vessels in a protected environment. Making the entire process of irrigation management, from data insertion to calculus generation, much more interactive and simple.

1. INTRODUÇÃO

No mundo, a área total de vinhedos é de 7,5 milhões de ha, com produção anual aproximada de 73.700.000 toneladas (OIV, 2014). No Brasil, a área plantada corresponde a 89.000 ha, com o país ocupando o 15º lugar. No mundo, sendo antecedido, na América do Sul pela Argentina, que ocupa a 7º posição, com 228.000 ha, e pelo Chile, que está na 9º posição, com 211.000 ha (OIV, 2015).

A produção anual de uvas no Brasil é de 1.532.712 toneladas, com destaque para o Rio Grande do Sul, com 876.280 t, seguido por Pernambuco, com 237.300 t, e São Paulo, com 167.600 t (IBGE, 2015). O consumo de vinhos nacionais de qualidade superior vem crescendo nos últimos anos, porém, se faz necessário o aumento de estudos em diversas práticas agronômicas para produção de uvas viníferas de melhor qualidade.

A prática do manejo da irrigação em que se utiliza a restrição hídrica em determinados estádios de crescimento e desenvolvimento da videira tem contribuído para o aumento da produtividade da qualidade dos vinhos produzidos. De acordo com Azevedo e Bezerra (2008), durante o ciclo de cultivo de uma espécie de interesse agronômico, o uso de diferentes lâminas de irrigação é uma maneira bastante prática para atender às necessidades hídricas, para que a cultura de interesse possa se desenvolver e produzir de maneira adequada.

A dualidade entre qualidade e produtividade tem levado a estudos sobre um ponto de equilíbrio para a otimização da qualidade, sem penalizar

significativamente a produtividade (Poni et al., 1994; Ferreyra et al., 2004). Diante disso, se faz necessário buscar esse equilíbrio por meio do maior rigor em práticas de manejo da videira, em relação à disponibilidade de água no solo. A maior precisão na aplicação de água na cultura pode ser obtida por meio de uma melhor caracterização do estresse hídrico, e assim se pode otimizar a programação da irrigação. Atualmente, é possível calcular a evapotranspiração por métodos já consolidados (Pereira et al., 2015), como os métodos termométricos (Almeida, 2012) e, assim estimar a transpiração, com uma elaboração importante de índices de estresse hídrico para a cultura (Sakuratani, 1981).

A partir de sensores de temperatura direcionados para as folhas (sensoriamento remoto de curto alcance), como a termometria por infravermelho (TI) acoplada à imagem térmica (Fuentes et al., 2012), os avanços tecnológicos permitiram otimizar as aplicações de água na agricultura. Esta técnica TI possui uma relativa facilidade de uso, rapidez nas medições, e não necessita de contato do sensor com a planta, bem como não é um método destrutivo (Kirkhan, 2004).

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho, avaliar a utilização de indicadores da própria planta na determinação de estresse hídrico em videiras e a utilização de um aplicativo de celular para o manejo de irrigação em vasos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Viticultura no mundo e no Brasil

Desde o fim do Programa de estímulo à erradicação de vinhedos da União Europeia (EU), os vinhedos europeus permaneceram com áreas estáveis, enquanto as plantações na Ásia (China) e na América do Sul (Argentina e Chile) se tornaram os principais centros de crescimento de vinha no mundo e compensaram a diminuição das áreas de vinhedos da comunidade europeia (Protas, 2015). Apesar disso, segundo Bueno et al. (2010), a viticultura ainda é espacialmente concentrada, sendo a área de vinha na Europa de aproximadamente 4.060 milhões de ha.

A partir de 2014, a China se tornou o país com a segunda maior área de vinhedos, com cerca de 800 mil ha, superada apenas pela Espanha, com 1.038 ha. Contudo, o continente asiático concentra mais da metade da produção mundial de uvas para consumo de mesa (63%) (Protas, 2015).

Em tendência de queda, a Europa continua sendo o maior produtor mundial de vinho, com 65% de uma produção mundial, estimada em 27.000 milhões de litros no ano de 2014. A França ocupa o primeiro lugar, com 4.620 milhões de litros, à frente da Itália, com 4.470 milhões de litros, e da Espanha, que voltou ao seu nível de produção médio de 3.820 milhões de litros anuais (Protas, 2015).

No Brasil, a videira é cultivada em quase todas as regiões, tendo sua produção concentrada nas Regiões Sul, Sudeste e Nordeste. Na Região Sul, a uva é destinada à elaboração de vinhos e sucos, com predomínio absoluto do Estado do Rio Grande do Sul.

No Sudeste, além da elaboração de vinhos, a uva é empregada no consumo “in natura”, porém somente os Estados de São Paulo e Minas Gerais apresentam produção expressiva. De implantação mais recente, na Região Nordeste destacam-se, os estados de Pernambuco e da Bahia. Nos últimos anos, a viticultura expandiu-se por vários outros estados, como Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás, Rondônia, Ceará e Piauí (Camargo et al., 2011). A variação de latitude, como a de altitude, onde a cultura da uva está difundida no país é grande, havendo assim considerável diversidade ambiental entre as zonas de produção, incluindo regiões de clima temperado, subtropical e tropical.

A viticultura de clima temperado caracteriza-se por ciclo anual, seguido de um período de dormência induzido pelas baixas temperaturas do inverno. É a viticultura tradicional no Sul e em regiões de altitude do Sudeste do Brasil. A viticultura subtropical é praticada em regiões de invernos amenos e curtos, porém sujeitos à ocorrência de geadas. Nessas condições, a videira tem um período de dormência natural em junho e julho, e pode ser manejada da maneira tradicional, com um ciclo por ano. A viticultura tropical é típica de regiões onde as temperaturas mínimas não são suficientemente baixas para induzir dormência à videira. A videira cresce continuamente e, com o uso de tecnologia apropriada, é possível a obtenção de duas ou mais colheitas sucessivas por ano, no mesmo vinhedo (Camargo et al., 2011).

As áreas plantadas e colhidas de uvas no Brasil, que já haviam apresentado redução em 2013, no ano de 2014 diminuíram 1,23% e 0,30%, respectivamente. Dentre os estados tradicionais produtores de uvas, São Paulo apresentou redução de 12,79% na área plantada, Minas Gerais redução de 1,77%, Paraná diminuiu sua área em 4,19% e o Rio Grande do Sul apresentou redução de 0,86%. Nessas regiões está ocorrendo falta de mão de obra, especialmente para os períodos de uso mais intensivo e críticos como a poda e a colheita. Além disso, a forte pressão dos vinhos importados e, em alguns locais, também a especulação imobiliária está contribuindo para redução da área vitícola (Mello, 2018).

Como reflexo disso, em 2014, o setor vitivinícola brasileiro apresentou déficit de 350,77 milhões de dólares, 32,49% superior ao verificado em 2013. Enquanto as importações mostraram aumento de 8,96%, as exportações tiveram fraco desempenho, com redução de 35,84% em valor (Mello, 2018).

2.2. Relações hídricas da videira

A maior parte da água utilizada pelas culturas é reciclada por meio da evapotranspiração, que é definida como a transferência da água de uma superfície com vegetação, na forma de vapor, por meio da evaporação da água do solo e transpiração pelas plantas (Taiz e Zeiger, 2009).

As condições climáticas áridas e semiáridas têm grande impacto no desenvolvimento das culturas, em relação à produtividade e à qualidade da uva produzida. Então, o manejo de irrigação com fornecimento de água limitado vem sendo desenvolvido com o intuito de manipular o crescimento vegetativo e reprodutivo para intervir no crescimento e na qualidade das uvas, utilizando o estado hídrico da videira como um fator de produção (Basso et al., 2011).

As culturas exploradas em condições de recursos hídricos limitados, são frequentemente submetidas ao déficit hídrico. Assim, é de fundamental importância conhecer, com elevado nível de detalhe, a quantidade de água utilizada no processo de evapotranspiração, principalmente quando se trata de culturas irrigadas com alto valor econômico. Segundo Sofo et al. (2012), uma gestão cuidadosa de irrigação tem um papel fundamental na produção de uvas de qualidade ideal que os produtores de vinho exigem.

Evans et al. (1993), realizando um levantamento de dados relativo ao uso de água pela videira para as regiões da Califórnia e do Arizona, Estados Unidos, encontraram valores entre 500 e 800 mm ao ano. Correia (2012), avaliando irrigação deficitária em videira cultivar Syrah em condições de irrigação plena, no período chuvoso no Vale do Submédio São Francisco, obteve um consumo hídrico durante o ciclo produtivo de 385,4 mm.

2.3. Manejo de irrigação em videiras

A videira é uma planta relativamente tolerante ao estresse hídrico, em que um menor aporte de água dentro de um intervalo de tolerância (déficit hídrico leve a moderado) e entre as fases de início de maturação (pintor) e maturação, pode até mesmo conferir características bioquímicas de qualidade aos frutos, como aumento no teor de sólidos solúveis e polifenóis (Souza et al., 2010).

O manejo da irrigação não deve ter apenas o intuito de aumentar a produtividade de uvas e produção de vinhos, e sim balancear o crescimento vegetativo e reprodutivo da videira, obtendo produtividades lucrativas e qualidades satisfatórias das uvas. Assim, pesquisas direcionadas ao suprimento hídrico e sua relação com a bioquímica dos frutos geram informações que facilitam e auxiliam a tomada de decisão dos vitivinicultores no melhor manejo da irrigação dos parreirais (Caio et al., 2013).

Vários trabalhos têm demonstrado que a irrigação deficitária controlada, ou déficit hídrico passageiro, pode ser uma forma de balancear carga de frutos e crescimento vegetativo, adotando-se a recarga hídrica no solo somente quando os níveis da água no solo caírem abaixo de certo patamar crítico previamente determinado (Soar e Loveys, 2007).

Condições de déficit hídrico demasiadamente prolongadas durante o crescimento acarretam em um menor número de células no tecido da polpa, das sementes, e da cutícula, diminuindo o crescimento do fruto causando baixas produções (Gurovich e Páez, 2004). Porém, também podem causar o murchamento da baga, sem que a mesma tenha alcançado o ponto ideal de colheita (Soares e Leão, 2009).

Marinho et al. (2009) aplicaram restrição hídrica na videira “Superior Seedless” na fase de maturação no Vale do Submédio São Francisco, com valores de coeficiente de cultura (kc) de 0,8 para o período entre 85 e 92 dias após a poda (DAP), 0,6 entre 93 e 100 DAP e 0,4 entre 101 e 104 DAP, beneficiando, assim, a qualidade da uva.

2.4. Trocas gasosas e relações hídricas

O entendimento das bases fisiológicas e moleculares das respostas das plantas ao déficit hídrico leve a moderado é de extrema importância para modular

o equilíbrio adequado entre desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, para melhorar o uso de água da cultura (Blum, 2009) e para controlar a qualidade da fruta sob irrigação deficitária (Chaves et al., 2007).

Vários são os fatores externos que interferem nas taxas fotossintéticas das plantas, dentre eles a disponibilidade hídrica. Um dos primeiros efeitos da redução da umidade do solo é o fechamento estomático influenciado pela síntese de ácido abscísico (ABA) nas raízes, que quando transportado até as folhas, induz a redução da concentração de CO₂ no mesófilo foliar, reduzindo, assim, as taxas fotossintéticas. Frequentemente, as plantas têm que conciliar, por meio da redução estomática, dois objetivos antagônicos, que são a maximização da fixação do CO₂ e a necessidade de manter os tecidos foliares hidratados, sob condições de baixa disponibilidade hídrica ou elevado déficit de pressão de vapor da atmosfera (Soares e Leão, 2009).

Segundo Araújo e Deminicis (2009), um dos fatores determinantes na resposta da fotossíntese à limitação de água à planta é a duração da desidratação. No déficit hídrico suave ocorre a inibição da expansão, o crescimento e a condutância estomática.

Quando o começo do estresse é mais rápido ou a planta alcançou área foliar plena antes de iniciar o estresse, outras respostas a protegem contra a desidratação imediata. Sob tais condições, o estômato fechado reduz a evaporação da área foliar. Assim, o fechamento estomático pode ser considerado uma terceira linha de defesa contra a seca (Taiz e Zeiger, 2009).

A redução drástica na assimilação de carbono pela planta pode ocorrer devido a um declínio acentuado da fotossíntese sob temperaturas altas na folha combinado com déficit hídrico (Santos et al., 2007), e sob leve a moderado déficit hídrico, o fechamento estomático está entre as primeiras respostas da planta, restringindo a perda de água e assimilação de carbono (Chaves et al., 2003), afetando, assim, o crescimento e a produção.

O estado hídrico da planta pode ser mensurado através do potencial hídrico da folha (Ψ_f) (Taiz e Zeiger, 2009). É um parâmetro representativo da condição hídrica da planta porque expressa a resposta desta, frente aos diversos fatores que possam influenciar seu estado hídrico (Patakas et al., 2005).

O potencial hídrico de base ou antemanhã (Ψ_{am}), mensurado antes que as folhas recebam os primeiros raios de sol do dia, indica o estado hídrico do solo na

zona do sistema radicular, por corresponder ao real estado hídrico da planta, após haver o equilíbrio entre os dois sistemas (solo-planta), sem interferência da atmosfera (Kavanagh et al., 2007). O potencial mínimo ou ao meio-dia (Ψ_{MD}) é mensurado logo após o meio-dia, no momento de maior demanda evaporativa da atmosfera (Bergonci et al., 2000). Alguns autores afirmam que as medições do potencial hídrico parecem ser o melhor indicador para avaliar a intensidade de estresse hídrico em videiras (Girona et al., 2006).

Ojeda (2007) considera que uma videira se encontra no nível de restrição hídrica nulo a leve com o potencial hídrico de base até - 0,2 MPa; leve a médio entre - 0,2 e - 0,4 MPa; médio a forte entre - 0,4 e - 0,6 MPa; forte a severo entre - 0,6 e - 0,8 MPa; e severo a abaixo de -0,8 MPa. Para as leituras de potencial hídrico foliar ao meio-dia o nível de restrição hídrica nulo a leve é de até - 0,8 MPa; leve a médio entre - 0,8 e - 1,1 MPa; médio a forte entre - 1,1 e - 1,4 MPa; forte a severo entre - 1,4 a - 1,6 MPa; e severo a abaixo de - 1,6 MPa.

Sofo et al. (2012) relataram valores do potencial hídrico ao meio-dia em plantas *Vitis vinifera* L. submetidas ao estresse hídrico moderado a severo entre - 1,1 a -1,4 MPa, enquanto que plantas submetidas ao estresse severo apresentaram valores abaixo de -1,4 MPa, compatíveis com outros autores (Romero et al., 2013).

2.5. Indicadores da cultura como métodos de estimativa do estresse hídrico

Vários indicadores da planta para medição do seu estado hídrico têm sido estudados, dentre os quais pode citar a variação da temperatura da folha, monitorada por sensores de radiação infravermelha (Jackson, 1982); o potencial da água na folha com várias técnicas de medidas, como câmara de pressão e método higrométrico (equilíbrio de pressão de vapor) (Angelocci, 2002); a detecção da cavitação dos vasos do xilema através de detector de ultrassom (Hsiao, 1990); a variação da condutância estomática medida por porometria (Angelocci, 2002); entre outros.

Apesar de todos os indicadores citados serem originários da própria planta, a aplicação prática destes apresenta dificuldades, como, por exemplo, na determinação dos dados, por não permitirem a automação das medidas, além da grande dificuldade em se obter relações entre os indicadores citados e o grau de déficit hídrico da planta (Hsiao, 1990; Shackel et al., 1997).

A medição do fluxo da seiva está sendo usada como indicadora do estado hídrico da planta (Goldhamer e Fereres, 2001), e é considerada uma ferramenta promissora no manejo da irrigação (Souza, 2009). Estes indicadores permitem contínuos e automáticos registros do estado hídrico da planta, e uma imediata, consistente e confiável resposta do déficit hídrico (Ortuño et al., 2004), reduzindo substancialmente as medições em laboratório.

3. TRABALHOS

3.1 CAPACIDADE FOTOSSINTÉTICA DA CULTIVAR CHARDONNAY SOB DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do déficit hídrico durante o estágio reprodutivo sobre a capacidade fotossintética da cultivar Chardonnay. O experimento foi realizado em Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil, em casa de vegetação não climatizada, na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, composto por três lâminas de irrigação (L1 – déficit hídrico – 0% da evapotranspiração da cultura, ET_c; L2 – irrigação deficitária - 50% da ET_c e L3 – irrigação total - 100% da ET_c), com oito repetições. Para a simulação do déficit hídrico realizou-se a suspensão da irrigação. Foram avaliadas a taxa fotossintética líquida por unidade de área foliar, a taxa transpiratória, a condutância estomática, a eficiência instantânea do uso da água (A/E), e a razão entre a concentração interna e externa de CO₂ (ci/ca) por meio de um analisador de gás infravermelho. A fluorescência variável (Fv), a fluorescência máxima (Fm) e o rendimento quântico máximo do fotossistema II (FSII) (Fv/Fm) foram avaliados por meio do fluorímetro Opti Science. De acordo

com os dados obtidos, os resultados mostram que a redução na disponibilidade hídrica não foi suficiente para causar danos fotoquímicos nas videiras. O déficit hídrico causado pela lâmina L1 (0% da ETc) na cultivar Chardonnay causou a diminuição dos valores da condutância estomática, chegando próximos a zero. Houve o aumento da relação c_i/c_a aos 78, 103 e 104 DAP na lâmina L1 (0% da ETC), sendo esse comportamento ligado a um bom indicativo de tolerância à seca. Tanto em condições ótimas (L3 – 100% da ETc), como exposta a um déficit hídrico controlado (L2 – 50% da ETc), a capacidade fotossintética da cultivar Chardonnay se manteve.

Palavras-chave: *Vitis vinifera*, transpiração, condutância estomática, manejo de irrigação, carbono intercelular.

PHOTOSYNTHETIC CAPACITY OF CHARDONNAY CULTIVAR UNDER DIFFERENT WATER CONDITIONS

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of water deficit during the reproductive stage on the photosynthetic capacity of Chardonnay. The experiment was carried out in Campos dos Goytacazes, RJ, Brazil, in an unheated greenhouse, at the Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. The design was completely randomized, composed of three irrigation slides (L1 - water deficit - 0% of crop evapotranspiration, ETc; L2 - deficit irrigation - 50% ETc and L3 - full irrigation - 100% ETc) with eight replicates. For the simulation of the water deficit, irrigation was suspended. The liquid photosynthetic rate per unit leaf area, transpiratory rate, stomatal conductance, instantaneous water use efficiency (A/E), and the ratio of internal and external CO₂ concentration (c_i/c_a) were evaluated by means of an infrared gas analyzer. Variable fluorescence (Fv), maximum fluorescence (Fm) and maximum quantum yield of photosystem II (PSII) (Fv/Fm) were evaluated using the Opti Science fluorometer. According to the data obtained,

the results show that the reduction in water availability was not enough to cause photochemical damage in the vines. The water deficit caused by the L1 blade (0% of ETc) in the cultivar Chardonnay caused a decrease in stomatal conductance, reaching close to zero. There was an increase in the c_i / c_a ratio at 78, 103 and 104 DAP on the L1 blade (0% of the ETC), and this behavior was linked to a good indicator of drought tolerance. Both in optimal conditions (L3 - 100% ETc), and exposed to a controlled water deficit (L2 - 50% ETc), the photosynthetic capacity of the Chardonnay cultivar was maintained.

Keywords: *Vitis vinifera*, transpiration, stomatal conductance, irrigation management, intercellular carbon.

INTRODUÇÃO

Os estudos envolvendo a redução da disponibilidade de água para as plantas e as consequências nas trocas gasosas tornam-se importantes para o entendimento de padrões fotossintéticos de *Vitis vinifera* L., uma vez que há perspectivas de mudanças climáticas em relação ao aumento da temperatura, da concentração do CO₂ atmosférico, bem como irregularidades nos padrões de distribuição das chuvas (IPCC, 2014).

Neste contexto, é sabido que a condição essencial para que haja assimilação de CO₂ atmosférico é que a planta esteja com os estômatos abertos e, para isso, é indispensável que a planta esteja hidratada (Flexas et al., 2012). A relação entre a água e fotossíntese se dá, principalmente, em decorrência do potencial hídrico gerado (Mitchell et al., 2013).

Adicionalmente, a abertura estomática e a condutância de CO₂ pelo mesófilo foliar são reconhecidamente mecanismos diretamente relacionados com a fotossíntese e que respondem às alterações ambientais conforme o *status* hídrico das plantas (Sorrentino et al., 2016). As espécies de plantas que possuem o controle de abertura e fechamento estomático mais sensível às alterações de potencial hídrico geralmente possuem maior resistência à seca (Jazayeri et al., 2015).

De acordo com Ferrio et al. (2012) e Hommel et al. (2014), em espécies herbáceas e lenhosas as rotas de condução de CO₂ e água no mesófilo são semelhantes e qualquer alteração induzida pelo estresse hídrico na condutância do mesófilo afeta diretamente a assimilação de carbono e também as propriedades hidráulicas da folha.

Sabendo que as respostas fisiológicas das plantas variam de acordo com o seu *status* hídrico, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do déficit hídrico durante o estágio reprodutivo sobre a capacidade fotossintética da cultivar Chardonnay.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação não climatizada, na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, na cidade de Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil (21°45'39" S e 41°17'21" W, 11 m acima do nível do mar). O clima da região é do tipo Aw (Köppen, 1948): clima tropical úmido, com estação chuvosa no verão, e inverno seco.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, composto por três lâminas de irrigação (L1 – déficit hídrico - 0% da evapotranspiração da cultura, ET_c; L2 – irrigação deficitária - 50% da ET_c e L3 – irrigação total -100% da ET_c), com oito repetições, totalizando 24 vasos. A unidade experimental foi composta de uma planta cultivada em vaso.

A cultivar utilizada foi a Chardonnay (*Vitis vinífera* L.), com quatro anos de idade, enxertada sobre o porta-enxerto 'IAC 572' (Jales), conduzidas em sistema espaldeira, com três fios de arame e dois ramos por planta. As plantas estavam sendo cultivadas em vasos de 25 L.

A parreira tem uma área de 50.6 m², composta por 148 plantas, instalada no espaçamento de 0,38 m entre plantas e 0,90 m entre fileiras, e sobre as plantas, foi colocada uma malha termorrefletora (ALUMINET®) a um metro de distância da copa.

A poda foi realizada em 30 de junho de 2017 e, para uniformizar as brotações, logo após a poda, foi aplicada nas gemas uma solução de cianamida hidrogenada (DORMEX) em 5%.

Durante o mês de setembro e de outubro de 2017, no interior da casa de vegetação e a cada cinco minutos, foram coletadas as variáveis climatológicas diárias (temperatura, umidade relativa e radiação fotossinteticamente ativa), com uso de uma miniestação meteorológica WatchDog 2450 instalada a um metro de distância do experimento (Figura 1). A partir dos valores totais das variáveis, foram calculadas as médias diárias.

O déficit da pressão de vapor do ar (DPV_{ar} , em kPa, [Figura 1D]) foi calculado por meio do método de Penman-Monteith e os cálculos realizados pelo boletim N° 56 da FAO por meio da Equação 01:

$$DPV_{ar} = es - ea \quad (01)$$

Em que: DPV_{ar} = déficit da pressão de vapor no ar, em kPa; es = pressão de saturação de vapor, em kPa; e ea = pressão parcial de vapor, em kPa.

A pressão de saturação de vapor foi calculada pela Equação 02:

$$es = 0,6108 \exp \left(\frac{17,27T}{T+237,3} \right) \quad (02)$$

Em que: es = pressão de saturação de vapor, em kPa; e T = temperatura, em °C.

A pressão parcial de vapor foi calculada por meio da Equação 03:

$$ea = es. \left(\frac{UR}{100} \right) \quad (03)$$

Em que: ea = pressão parcial de vapor, em kPa; es = pressão de saturação de vapor, em kPa; e UR = umidade do ar, em %.

O fornecimento de água às plantas foi realizado via irrigação localizada por gotejamento no centro do vaso, utilizando o gotejador do tipo PCJ® (tipo botão), autocompensante da empresa Netafim. O sistema de irrigação era composto por um conjunto de Motobomba, de 3/4 Cv, um filtro de disco de 3/4" e um manômetro.

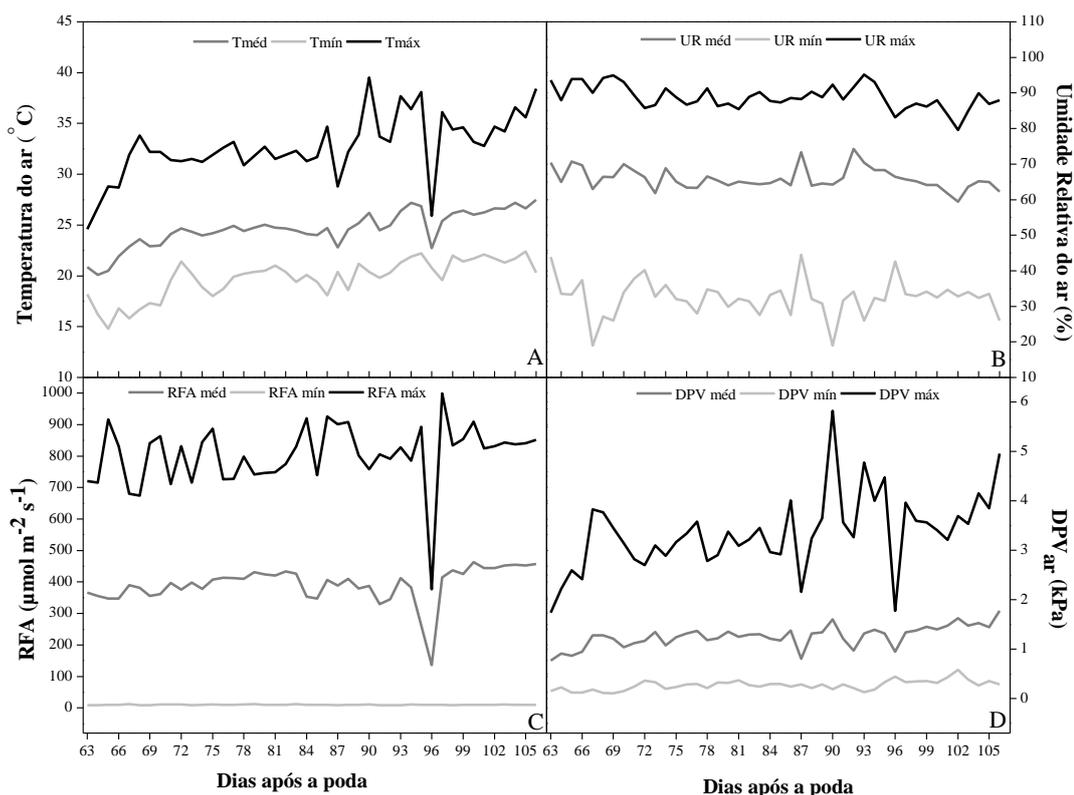


Figura 1. Valores máximos, médios e mínimos diários da temperatura do ar (A), umidade relativa do ar (B), radiação fotossinteticamente ativa (C) e déficit de pressão de vapor do ar (D) no interior da casa de vegetação.

A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi determinada por meio da Equação 04:

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (04)$$

Onde: ET_c = evapotranspiração da cultura, em mm dia^{-1} ; ET_o = evapotranspiração de referência, em mm dia^{-1} ; e o K_c = coeficiente de cultivo.

Para encontrar os valores da ET_c diária, a evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada utilizando o método de Hargreaves e Samani (1985), Equação 05:

$$ET_o = 0,0023 R_a (T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}})^{0,5} (T_{\text{med}} - 17,8) \quad (05)$$

Em que: $T_{\text{máx}}$ = temperatura máxima diária do ar, $^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{mín}}$ = temperatura mínima diária do ar, $^{\circ}\text{C}$; T_{med} = temperatura média diária do ar, obtida pela soma da $T_{\text{máx}}$ +

T_{\min} e dividindo o valor da soma por dois, °C; R_a = radiação no topo da atmosfera, MJ m⁻² dia⁻¹.

O coeficiente de cultivo (K_c) utilizado foi de acordo com Teixeira et al. (2012): da poda ao florescimento utilizaram o valor 0,4; do florescimento à maturação os valores de 0,8; 0,9 e 1,0 e da maturação à colheita os valores de 0,6; 0,7 e 0,8.

Assim, a lâmina a ser aplicada em cada unidade experimental foi determinada pela Equação 06:

$$Lap = \frac{ET_c \times A}{Ef} \quad (06)$$

Em que: Lap = lâmina a ser aplicada, mm dia⁻¹; ET_c = evapotranspiração da cultura, mm dia⁻¹; A = área do vaso, m²; Ef = eficiência do sistema de irrigação (0,95%).

O tempo de irrigação foi obtido pela razão entre a lâmina a ser aplicada e a intensidade de aplicação do gotejador.

Ao longo de todo o ciclo da cultura, todas as plantas receberam a mesma quantidade de água, com base na evapotranspiração de referência (ET_o) obtida por Hargreaves e Samani (1985), visando manter as condições de umidade do solo favoráveis ao bom desenvolvimento das plantas.

As lâminas de irrigação (L1, L2 e L3) foram aplicadas aos 74, 75, 76, 77 e 78 dias após a poda (DAP), e as plantas reidratadas após a última avaliação. Novamente, as lâminas de irrigação foram aplicadas aos 102, 103 e 104 DAP, reidratando as plantas logo após a última avaliação.

Para facilitar a aplicação das lâminas de irrigação em uma única vez, os gotejadores foram substituídos com vazão entre 2 L h⁻¹ (L2 - 50% da ET_c) e 4 L h⁻¹ (L3 - 100% da ET_c). Nos vasos da lâmina L1 (0% da ET_c), os gotejadores foram retirados dos vasos para a aplicação da lâmina zero.

As avaliações da taxa fotossintética líquida por unidade de área foliar (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa transpiratória (E , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e condutância estomática (g_s , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foram realizadas aos 74, 76, 78, 102, 103 e 104 dias após a poda, em dois períodos do dia (entre 8:00 e 09:00 horas e 12:00 e 13:00 horas), em dias de pleno sol, utilizando três folhas totalmente expandidas do terço médio

de cada planta, por meio de um analisador de gás infravermelho (IRGA) portátil, modelo (LCpro-SD, ADC BioScientific Ltd., UK). O ar de referência foi coletado a aproximadamente 2 m de altura do solo antes de alcançar a câmara.

A eficiência instantânea do uso da água (A/E) foi calculada pela razão entre a taxa fotossintética e a taxa transpiratória, e a relação c_i/c_a foi calculada pela razão entre a concentração interna e externa de CO_2 .

As avaliações da fluorescência variável (Fv), da fluorescência máxima (Fm) e do rendimento quântico máximo do fotossistema II (FSII) (Fv/Fm) foram realizadas aos 74, 76, 78, 102, 103 e 104 dias após a poda, em dois períodos do dia (entre 8:00 e 09:00 horas e 12:00 e 13:00 horas), em dias de pleno sol, utilizando três folhas totalmente expandidas do terço médio de cada planta e nas mesmas folhas onde foram realizadas as avaliações de trocas gasosas, por meio do fluorímetro Opti science (OS1p, ADC, USA). As folhas foram adaptadas ao escuro por 30 minutos com o auxílio de pinças, as quais acompanham o equipamento. Passados os 30 minutos, um pulso forte de luz ($3500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi aplicado por três diodos emissores de luz (650 nm) nas mesmas folhas.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, sendo as médias comparadas pelo teste Tukey em 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A taxa fotossintética líquida (A), a taxa de transpiração (E) e a condutância estomática (gs) apresentaram um padrão de resposta de acordo com as lâminas de irrigação aplicadas entre os períodos avaliados (Figura 2 e 3).

Para as lâminas com 50% (L2) e 100% (L3) da ET_c , os valores de A, E e gs apresentaram diferenças significativas entre os dias (74, 76, 78, 102, 103 e 104 dias após a poda) e períodos avaliados (manhã e ao meio-dia). No entanto, foi observado que aos 78 e aos 104 DAP houve uma redução em gs, acompanhada por uma consequente redução de A e E, na lâmina L1 (0% da ET_c) pela manhã e ao meio-dia.

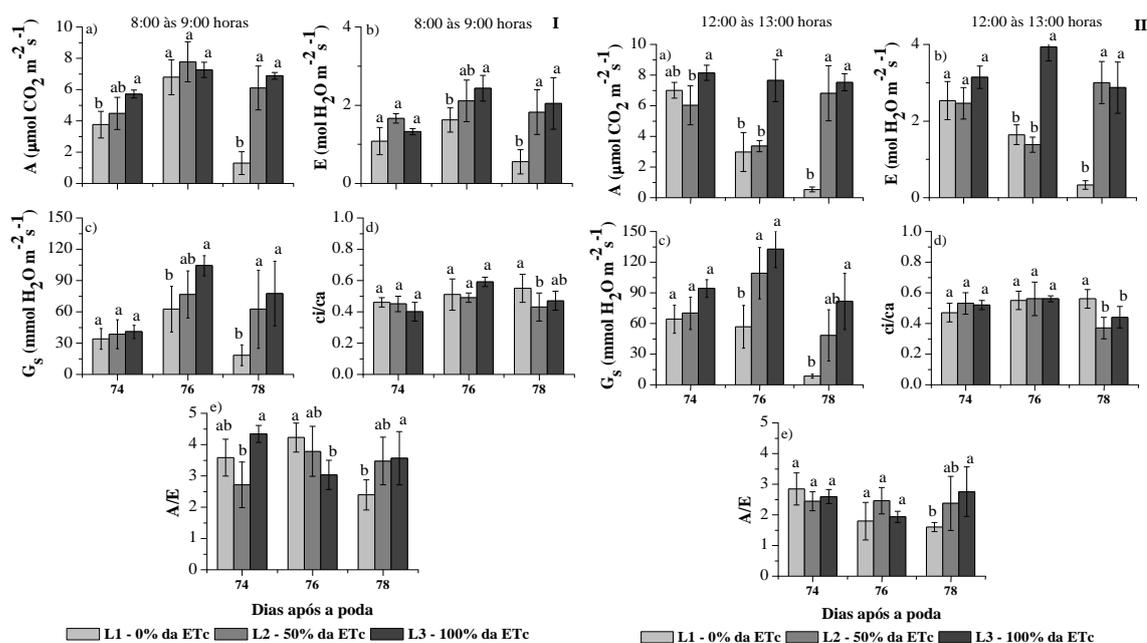


Figura 2. Taxa fotossintética líquida (A), taxa transpiratória (E), condutância estomática (g_s), razão da concentração interna e externa de CO₂ (ci/ca) e eficiência instantânea no uso da água (A/E) aos 74, 76 e 78 dias após a poda, no período da manhã (I) e ao meio-dia (II) em função das lâminas de irrigação. Para cada data de avaliação, letras diferentes por cima das barras indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre as lâminas de irrigação aplicadas.

A redução da taxa fotossintética e de transpiração em condições de estresse hídrico é uma resposta comum das plantas e podem estar relacionadas à redução da condutância estomática (Matthews et al., 2017).

A maioria das plantas, em condições de baixa disponibilidade hídrica opta por fechar os estômatos para restringir a perda de água, mesmo que isso acarrete a redução do seu desempenho fotossintético (Mansfield et al., 1990; Buckley e Mott, 2013). Isso, em grande parte, se deve ao desbalanço entre o que é perdido de água e captado de CO₂ ($300 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ captados por $2000 \mu\text{mol H}_2\text{O}$ por $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ perdidos), tal como referido por Taiz e Zeiger (2017).

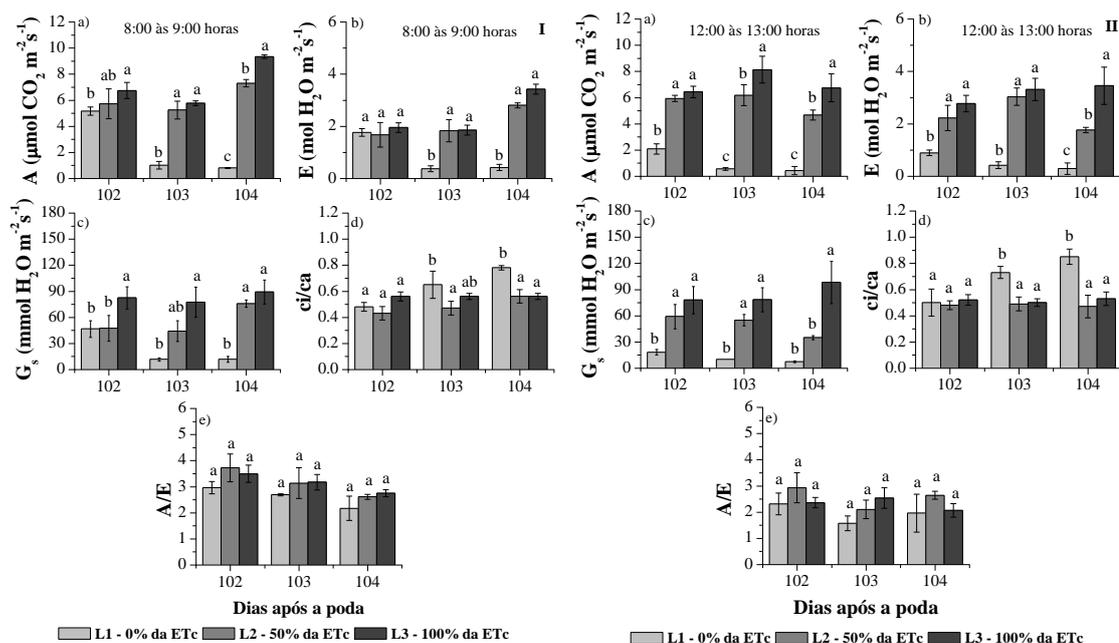


Figura 3. Taxa fotossintética líquida (A), taxa transpiratória (E), condutância estomática (g_s), razão da concentração interna e externa de CO_2 (ci/ca) e eficiência instantânea no uso da água (A/E) aos 102, 103 e 104 dias após a poda, no período da manhã (I) e ao meio-dia (II), em função das lâminas de irrigação. Para cada data de avaliação, letras diferentes por cima das barras indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre as lâminas de irrigação aplicadas.

Nessas condições as plantas diminuem g_s para reduzir E e perdem menos água por evapotranspiração, e passam a desempenhar suas funções fotossintéticas pautadas em um uso mais eficiente da água (Vitória et al., 2016; Flexas et al., 2013).

A relação ci/ca apresentou diferenças significativas entre as lâminas de irrigação aplicada aos 78, 103 e 104 DAP (Figura 2 e 3). No entanto, a lâmina com 0% da ETc (L1) apresentou valores significativamente maiores aos 78, 103 e 104 DAP para os dois períodos de avaliação (manhã e ao meio-dia). Brodribb (1996) correlaciona esse aumento da relação ci/ca com a redução de g_s , e afirma ainda que esse aumento de ci/ca é um bom indicativo de tolerância à seca.

A relação A/E, que demonstra a eficiência intrínseca do uso da água, por sua vez, não demonstrou diferença entre as lâminas de irrigação ao longo dos dias e períodos avaliados.

O rendimento quântico máximo do fotossistema II (PSII) representado por meio da relação Fv/Fm, aos 74, 76, 78, 102, 103 e 104 DAP não apresentou diferença estatística (Figura 4 e 5).

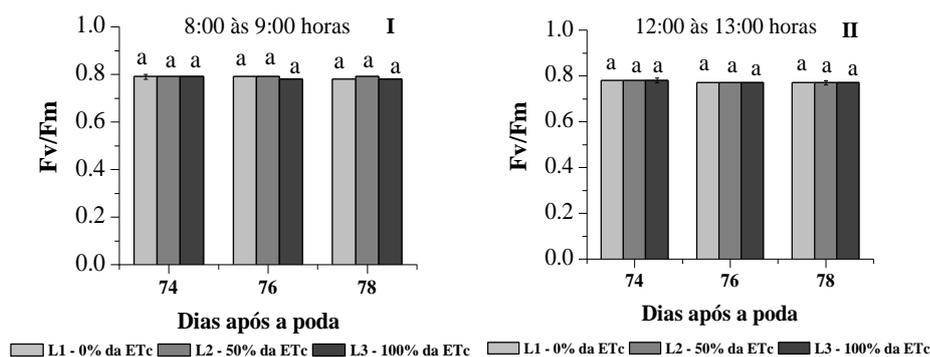


Figura 4. Rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m) aos 74, 76 e 78 dias após a poda, no período da manhã (I) e ao meio-dia (II), em função das lâminas de irrigação. Para cada data de avaliação, letras diferentes por cima das barras indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre as lâminas de irrigação aplicadas.

A relação F_v/F_m apresentou valores 0,78 e 0,79 para os dois períodos avaliados, não variando em decorrência da disponibilidade hídrica (Figura 4 e 5), visto que em condições ideais de crescimento a relação F_v/F_m deve apresentar valores entre 0,75 e 0,85. Isso indica que o aparelho fotoquímico das folhas estava completamente desenvolvido, e esses resultados mostram que a redução na disponibilidade hídrica não foi suficiente para causar danos fotoquímicos nas videiras.

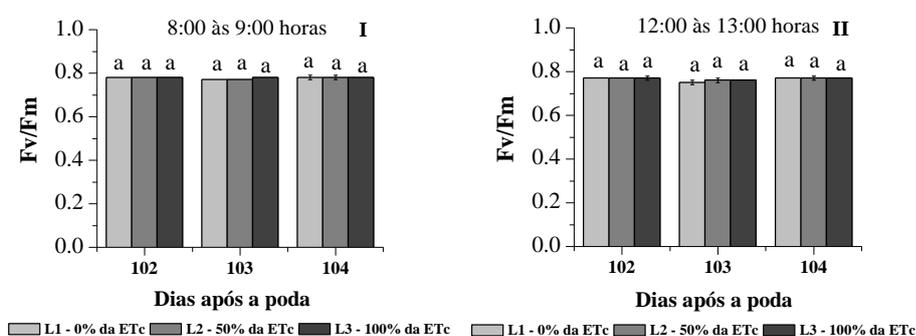


Figura 5. Rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m) aos 102, 103 e 104 dias após a poda, no período da manhã (I) e ao meio-dia (II), em função das lâminas de irrigação. Para cada data de avaliação, letras diferentes por cima das barras indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre as lâminas de irrigação aplicadas.

A relação F_v/F_m é um indicador de dano fotoinibitório nas plantas. Quando o rendimento quântico máximo do fotossistema II (FSII) se encontra funcionando adequadamente a relação F_v/F_m permanece entre 0,75 e 0,85, mostrando que a luz absorvida está sendo utilizada para a fotossíntese (Ripullone et al., 2011) e que

seu excesso está sendo desviado para outros processos, protegendo as folhas do dano fotoinibitório (Maxwell et al., 2000).

CONCLUSÕES

De acordo com os dados obtidos, os resultados mostram que a redução na disponibilidade hídrica não foi suficiente para causar danos fotoquímicos nas videiras. O déficit hídrico causado pela lâmina L1 (0% da ETc) na cultivar Chardonnay causou a diminuição dos valores da condutância estomática, chegando próximos a zero. Houve o aumento da relação ci/ca aos 78, 103 e 104 DAP na lâmina L1 (0% da ETC), sendo esse comportamento ligado a um bom indicativo de tolerância à seca. Tanto em condições ótimas (L3 – 100% da ETc), como exposta a um déficit hídrico controlado (L2 – 50% da ETc), a capacidade fotossintética da cultivar Chardonnay se manteve.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brodribb, T. 1996. Dynamics of changing intercellular CO₂ concentration (ci) during drought and determination of minimum functional ci. *Plant physiology* 111.1: p.179-185.
- Buckley, T.N. & Mott, K.A. 2013. Modelling stomatal conductance in response to environmental factors. *Plant, Cell Environ* 36: p.1691-1699.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema de Produção, 1-2ª edição, 2010. Disponível em : <http://www.cpat.br:8080/sistema_producao/spuva/nutricao.html>. Acesso em: 9 de agosto de 2018.
- Ferrio, J. P., Pou, A., Florez-Sarasa, I., Gessler, A., Kodama, N., Flexas, J.; Ribas-Carbo, M. 2012. The Pecllet effect on leaf water enrichment correlates with leaf hydraulic conductance and mesophyll conductance for CO₂. *Plant Cell Environ*, p.193-194, 70–84.

- Flexas, J.; Barbour, M. M.; Brebdel, O.; Cabrera, H. M.; Carriqui, M.; Diaz-Espejo, A.; Douthe, C.; Dreyer, E.; Ferrio, J. P.; Gago, J.; Galle, A.; Galmes, J.; Kodama, N.; Medrano, H.; Niinemets, U.; Peguero-Pina, J. J.; Pou, A. 2012. Mesophyll diffusion conductance to CO₂: An unappreciated central player in photosynthesis. *Plant Science*, v. 193-194, p. 70-84.
- Flexas, J.; Niinemets, U.; Gallé A.; Barbour, M.M.; Centritto, M.; Diaz-Espejo, A.; Douthe, C.; Galmés, J.; Ribas-Carbo, M.; Rodriguez, P.L.; Rosselló F.; Soolanayakanahally R.; Tomas, M.; Wright, I.J.; Farquhar, G.D.; Medrano, H.; 2013. Diffusional conductances to CO₂ as a target for increasing photosynthesis and photosynthetic water-use efficiency." *Photosynthesis research* 117.1-3: p.45-59.
- Hargreaves, G.H.; Samani, Z.A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, St Joseph, v.1 n.2, p.96–99.
- Hommel, R.; Siegwolf, R.; Saurer, M.; Farquhar, G. D.; Kayler, Z.; Ferrio, J. P.; Gessler, A. 2014. Drought response of mesophyll conductance in forest understory species – impacts on water-use efficiency and interactions with leaf water movement. *Physiologia Plantarum*, v. 152, n. 1, p. 98-114.
- IPCC. Climate change 2014: mitigation of climate change. In: Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, (eds Edenhofer, O.; Pichs-Madruga, R.; Sokona, Y.; Farahani, E.; Kadner, S.; Seyboth, K.; Adler, A.; Baum, I.; Brunner, S.; Eickemeier, P.; Kriemann, B.; Savolainen, J.; Schlomer, S.; Von Stechow, C.; Zwickel, T.; Minx, J. C). Cambridge University Press, Cambridge, U. K.
- Jazayeri, S. M.; Rivera, Y. D.; Camperos-Reyes, J. E.; Romero, H. M. 2015. Physiological effects of water deficit on two oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) genotypes. *Agronomía Colombiana*, v. 33, n. 2, p. 164-173.
- Köppen, W. 1948. *Climatología: com um estúdio de los climas de la tierra*. México: Fondo de Cultura Economica, p.478.
- Mansfield, T.A.; Hetherington, A. M.; Atkinson, C.J. 1990. Some current aspects of stomatal physiology. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 41: p.55-75
- Matthews, J. S. A.; Silvere, R. M.; Vialet-Chabrand; Tracy, L. 2017. "Diurnal variation in gas exchange: the balance between carbon fixation and water loss." *Plant physiology* 174.2, p. 614-623.
- Maxwell, K., Johnson, G.N. 2000. *Chlorophyll fluorescence - a practical guide*.

- J. Exp. Bot. 51, 659–668.
- Mitchell, P. J.; O'grady, A. O.; Tissue, D. T.; white, D. A.; Ottenschlaeger, M. L.; pinkard, E. A. 2013. Drought response strategies define the relative contributions of hydraulic dysfunction and carbohydrate depletion during tree mortality. *New Phytologist*, v. 197, p. 862–872.
- Ojeda, H. 2007. Rega qualitativa de precisão da vinha. *Revista Internet de Viticultura e Enologia*, p.1-10.
- Ripullone, F., Rivelli, A.R., Baraldi, R., Guarini, R., Guerrieri, R., Magnani, F., Peñuelas, J., Raddi, S., Borghetti, M. 2011. Effectiveness of the photochemical reflectance index to track photosynthetic activity over a range of forest tree species and plant water status. *Funct. Plant Biol.*, 38, 177–186.
- Schultz, H. R.; Mathews, M. A. 1988. Vegetative growth distribution during water deficits in *Vitis vinifera* L. *Australian Journal of Plant Physiology*, v. 15, p.641-656.
- Sofo, A., Nuzzo, V., Tataranni, G., Manfra, M., De Nisco, M., Scopa, A., 2012. Berry morphology and composition in irrigated and non-irrigated grapevine (*Vitis vinifera* L.). *J. Plant Physiol.* v.169, p.1023-1031.
- Sorrentino, G.; Haworth, M.; Wahbi, S.; Mahmood, T.; Zuomin, S.; Centritto, M. 2016. Abscisic acid induces rapid reductions in mesophyll conductance to carbon dioxide. *Plos One*, v. 2, n. 11, p. 1-14.
- Souza, C. R.; Bassoi, L. H.; Lima Filho, J. M. P.; Silva, F. F. S.; Viana, L. H.; Dantas, B. F.; Pereira, M. S.; Ribeiro, P. R. A. 2009. Water relations of field-grown grapevines in the São Francisco Valley, Brazil, under different rootstocks and irrigation strategies. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 66, n. 4, p. 436-446.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. 2017. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6ª edição. Artmed Editora.
- Teixeira, A.H. de C.; Tonietto, J.; Pereira, G.E.; Angelotti, F. 2012. Delimitação da aptidão agroclimática para videira sob irrigação no Nordeste Brasileiro. *Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.16, n.4, p.399–407.
- Vitoria, A. P.; Vieira, T. O.; Camargo, P. B.; Santiago, L. S. 2016. Using leaf $\delta^{13}C$ and photosynthetic parameters to understand acclimation to irradiance and leaf age effects during tropical forest regeneration. *Forest Ecology and Management* 379: p.50-60.

3.2 AVALIAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE BAIXO CUSTO PARA DETECÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO EM VIDEIRA

RESUMO

Objetivou-se neste trabalho avaliar a utilização de um protótipo de termômetro infravermelho (PTI) associado a uma plataforma de processamento de dados para detecção de estresse hídrico. O experimento foi realizado em Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil, em casa de vegetação não climatizada. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, composto por três lâminas de irrigação (L1 – déficit, 0% da evapotranspiração da cultura (ET_c); L2 - irrigação deficitária, 50% da ET_c; e L3 - irrigação total, 100% da ET_c), com oito repetições. O déficit hídrico foi simulado com a suspensão da irrigação. Foram avaliados a medição da temperatura foliar por meio do protótipo (PTI) de um termômetro e por um termógrafo modelo FLIR i50 Thermal Imaging. Também foram avaliados o potencial hídrico foliar (câmara de pressão tipo ‘Scholander’ modelo *Soil Moisture*) e do solo (sensores MP6). Pode-se concluir, a partir dos dados obtidos, e nas condições em que o experimento foi realizado, com base na diferença entre temperatura da folha e do ar, que o protótipo desenvolvido no Laboratório de Engenharia Agrícola (LEAG) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pode ser utilizado para estimar indiretamente o estado hídrico de plantas da cultivar ‘Chardonnay’. Tal fato pode mostrar que essa técnica é acessível, rápida, não destrutiva e prática no uso.

Palavras-chave: *Vitis vinífera* L., CWSI, temperatura foliar, déficit hídrico, irrigação.

EVALUATION OF A LOW COST PROTOTYPE FOR DETECTION OF WATER STRESS IN VINE

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the use of an infrared thermometer prototype (ITP) associated to a data processing platform for water stress detection. The experiment was carried out in Campos dos Goytacazes, RJ, Brazil, in an unheated greenhouse. The experimental design was a completely randomized design consisting of three irrigation slides (L1 - deficit, 0% of crop evapotranspiration (ET_c), L2 - deficit irrigation, 50% ET_c, and L3 - full irrigation, 100% ET_c), with eight replicates. The water deficit was simulated with the irrigation suspension. The leaf temperature was measured by means of the prototype (ITP) of a thermometer and a FLIR i50 Thermal Imaging thermograph. Leaf water potential (Soil Moisture model 'Scholander' pressure chamber) and soil (MP6 sensors) were also evaluated. Based on the data obtained, and in the conditions under which the experiment was carried out, based on the difference between leaf and air temperature, the prototype developed at the Agricultural Engineering Laboratory (AEL) of the Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, can be used to indirectly estimate the water status of plants of the cultivar 'Chardonnay'. This fact may show that this technique is accessible, fast, non-destructive and practical in use.

Keywords: *Vitis vinífera* L., CWSI, leaf temperature, water deficit, irrigation.

INTRODUÇÃO

No mundo, a área total de vinhedos é de 7,5 milhões de ha, com produção anual aproximada de 73.700.000 toneladas (OIV, 2014). No Brasil, a área plantada corresponde a 89.000 ha, com o país ocupando o 15º lugar. No mundo, sendo antecedido, na América do Sul pela Argentina, que ocupa a 7º posição, com 228.000 ha, e pelo Chile, que está na 9º posição, com 211.000 ha (OIV, 2015).

A produção anual de uvas no Brasil é de 1.532.712 toneladas, com destaque para o Rio Grande do Sul, com 876.280 t, seguido por Pernambuco, com 237.300 t, e São Paulo, com 167.600 t (IBGE, 2015). O consumo de vinhos nacionais de qualidade superior vem crescendo nos últimos anos, porém, se faz necessário o aumento de estudos em diversas práticas agronômicas para produção de uvas viníferas de melhor qualidade.

O manejo da irrigação em que se utiliza a restrição hídrica em determinados estádios de crescimento e desenvolvimento da videira tem contribuído para o aumento da produtividade e da qualidade dos vinhos produzidos. De acordo com Azevedo e Bezerra (2008), durante o ciclo de cultivo de uma espécie de interesse agrônômico, o uso de diferentes lâminas de irrigação é uma maneira bastante prática para atender as necessidades hídricas, para que a cultura de interesse possa se desenvolver e produzir de maneira adequada.

A dualidade entre qualidade e produtividade tem levado a estudos sobre um ponto de equilíbrio para a otimização da qualidade, sem penalizar significativamente a produtividade (Poni et al., 1994; Ferreyra et al., 2004). Diante disso, se faz necessário buscar esse equilíbrio por meio do maior rigor em práticas de manejo da videira, em relação à disponibilidade de água no solo. A maior precisão na aplicação de água na cultura pode ser obtida por meio de uma melhor caracterização do estresse hídrico, e assim se pode otimizar a programação da irrigação. Atualmente, é possível calcular a evapotranspiração por métodos já consolidados (Pereira et al., 2015), como os métodos termométricos (Almeida, 2012) e, assim, estimar a transpiração, com uma elaboração importante de índices de estresse hídrico para a cultura (Sakuratani, 1981).

A partir de sensores de temperatura direcionados para as folhas (sensoriamento remoto de curto alcance), como a termometria por infravermelho (TI) acoplada à imagem térmica (Fuentes et al., 2012), os avanços tecnológicos permitiram otimizar as aplicações de água na agricultura. Esta técnica TI possui uma relativa facilidade de uso, rapidez nas medições, e não necessita de contato do sensor com a planta, bem como não é um método destrutivo (Kirkhan, 2004).

Nesse sentido, por meio da aferição indireta da condição hídrica da videira Chardonnay, com base na temperatura foliar, objetivou-se neste trabalho avaliar a utilização de um protótipo de termômetro infravermelho (PTI) associado a uma plataforma de processamento de dados para detecção de estresse hídrico.

MATERIAL E MÉTODOS

O protótipo (PTI) foi desenvolvido no Laboratório de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). Os testes foram realizados em casa de vegetação localizada na UENF, a aproximadamente 11 m de altitude (21°45'39" Sul e 41°17'21" Oeste). Segundo a classificação climática de Köppen (1948), o clima da região do cultivo da videira é do tipo Aw, clima tropical úmido, com estação chuvosa no verão, e inverno seco.

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, composto por três lâminas de irrigação (L1 – déficit hídrico, 0% da evapotranspiração da cultura ET_c, L2 - irrigação deficitária, 50% da ET_c e L3 - irrigação total, 100% da ET_c), com oito repetições, totalizando 24 vasos. A unidade experimental foi composta de um vaso cultivado com uma planta.

A videira (*Vitis vinífera* L.) cultivar “Chardonnay”, foi enxertada sobre o porta-enxerto ‘IAC 572’ (Jales). As plantas, com quatro anos de idade, estavam sendo cultivadas em vasos de 25 L, previamente preenchidos com o substrato composto por uma mistura de solo, areia e esterco na proporção de 1:1:1 (v/v), o qual, na ocasião da implantação, apresentou as características químicas descritas na Tabela 1.

O sistema de condução foi do tipo espaldeira, com três fios de arame e dois ramos por planta. A parreira tem uma área de 50.6 m², com 148 plantas, instalada no espaçamento de 0,38 m entre plantas e 0,90 m entre fileiras, e sobre as plantas, foi colocada uma malha termorrefletora (ALUMINET®) a um metro de distância da copa.

Tabela 1. Análise química do substrato

pH	**P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	MO	Fe	Cu	Zn	Mn	B
H ₂ O	mg/dm ³	-----mmol _c /dm ³ -----					g/dm ³	-----mg/dm ³ -----				
6,8	14	1,9	46	11,3	0,0	20,1	41,8	195,2	0,61	4,86	48,8	0,34

**P – K – Fe – Zn – Mn – Cu – Extrator Mehlich 1.

A poda de produção foi realizada em 30 de junho de 2017, e para uniformizar as brotações, sendo que logo após a poda, foi aplicada nas gemas uma solução de cianamida hidrogenada (DORMEX) em 5%.

O programa de adubação utilizado no experimento está descrito na Tabela 2. Os valores foram corrigidos conforme o volume e a área do vaso, sendo as doses parceladas e aplicadas no solo ao longo do ciclo de cultivo, baseadas em uma produção esperada de 15-25 t ha⁻¹. De acordo com a análise química do substrato foi recomendado 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 160 kg ha⁻¹ de fósforo, 150 kg ha⁻¹ de potássio e 10 kg ha⁻¹ de boro (EMBRAPA, 2010).

Tabela 2. Doses de fertilizantes aplicados ao longo do ciclo de cultivo da videira, em função da área e o volume do vaso

Época	Poda de produção			
	Ureia	Superfosfato Simples	Cloreto de potássio	Micronutrientes
	-----g vaso ⁻¹ -----			
10 dias antes da poda	-	3,21	-	-
Dia da poda	-	-	-	*
10 dias após a poda	0,71	-	-	-
30 dias após a poda	0,71	3,21	-	-
45 dias após a poda	0,35	-	0,60	-
60 dias após a poda	-	-	0,60	-
80 dias após a poda	-	-	0,80	-

*0,47g de ácido bórico (H₃BO₃); 0,32g de sulfato de cobre (CuSO₄); 0,30g de sulfato de manganês (MnSO₄); 0,40g de sulfato de zinco (ZnSO₄).

Durante o mês de setembro e de outubro de 2017, no interior da casa de vegetação e a cada cinco minutos, foram coletadas as variáveis climatológicas diárias (temperatura, umidade relativa e radiação fotossinteticamente ativa), com uso de uma miniestação meteorológica WatchDog 2450 instalada a um metro de distância do experimento. A partir dos valores totais das variáveis, foram calculadas as médias diárias (Figura 1).

O déficit da pressão de vapor do ar (DPV_{ar}, em kPa, [Figura 1]) foi calculado por meio do método de Penman-Monteith e os cálculos realizados pelo boletim N° 56 da FAO por meio da Equação 01:

$$DPV_{ar} = e_s - e_a \quad (01)$$

Em que: DPV_{ar} = déficit da pressão de vapor no ar, em kPa; e_s = pressão de saturação de vapor, em kPa; e e_a = pressão parcial de vapor, em kPa.

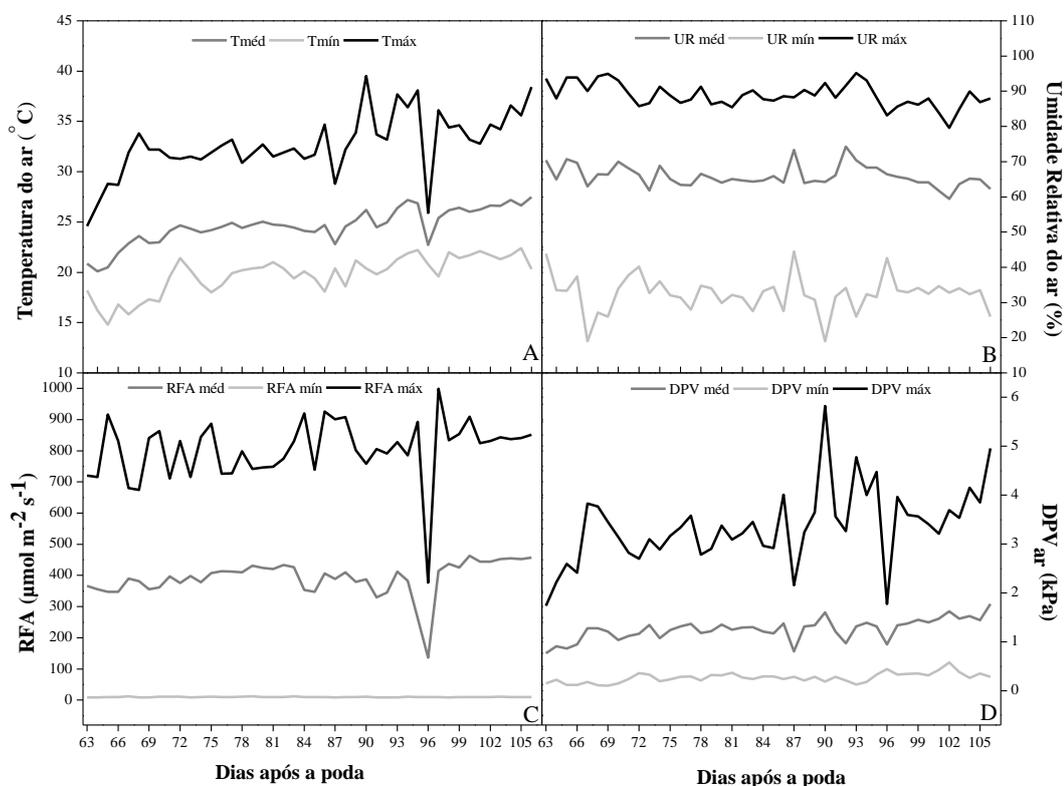


Figura 1. Valores máximos, médios e mínimos diários da temperatura do ar (A), umidade relativa do ar (B), radiação fotossinteticamente ativa (C) e déficit de pressão de vapor do ar (D) no interior da casa de vegetação.

A pressão de saturação de vapor foi calculada pela Equação 02:

$$e_s = 0,6108 \exp \left(\frac{17,27T}{T+237,3} \right) \quad (02)$$

Em que: e_s = pressão de saturação de vapor, em kPa; e T = temperatura média diária, em °C.

A pressão parcial de vapor foi calculada por meio da Equação 03:

$$e_a = e_s \cdot \left(\frac{UR}{100} \right) \quad (03)$$

Em que: e_a = pressão parcial de vapor, em kPa; e_s = pressão de saturação de vapor, em kPa; e UR = umidade média diária do ar, em %.

O fornecimento de água às plantas foi realizado via irrigação localizada por gotejamento, composto por um conjunto Motobomba, de 3/4 Cv, um filtro de disco de 3/4" e um manômetro. A rede hidráulica do sistema foi composta com mangueiras de polietileno de 3/4". Neste sistema foi acoplado o microtubo de 15 mm, e no final da derivação foi colocado no centro do vaso o gotejador do tipo PCJ® (tipo botão), autocompensante da empresa Netafim.

A água potável foi proveniente da rede de abastecimento público de água do município de Campos dos Goytacazes- RJ, e o resultado da análise química da água está apresentado na tabela 3.

Tabela 3. Análise química da água utilizada no experimento

N	P	K	Ca	Mg	S	Na
7	0	14	14	2	2	8
B	Cu	Fe	Mn	Zn	C.E.	pH
0	0	0,07	0	0	0,089	7,53

A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi determinada por meio da Equação 04, em que esta variável é obtida pelo produto da evapotranspiração de referência pelo coeficiente de cultivo.

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (04)$$

Em que: ET_c = evapotranspiração da cultura, em mm dia⁻¹; ET_o = evapotranspiração de referência, em mm dia⁻¹; e o K_c = coeficiente de cultivo.

Para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) foi utilizado o método de Hargreaves e Samani (1985), Equação 05:

$$ET_o = 0,0023 R_a (T_{máx} - T_{mín})^{0,5} (T_{med} - 17,8) \quad (05)$$

Em que: $T_{máx}$ = temperatura máxima diária do ar, °C; $T_{mín}$ = temperatura mínima diária do ar, °C; T_{med} = temperatura média diária do ar, obtida pela soma da $T_{máx}$ +

T_{\min} e dividindo o valor da soma por dois, °C; e R_a = radiação no topo da atmosfera, MJ m⁻² dia⁻¹.

O coeficiente de cultivo (K_c) utilizado foi de acordo com Teixeira et al. (2012): da poda ao florescimento o valor 0,4; do florescimento à maturação os valores de 0,8; 0,9 e 1,0 e da maturação à colheita os valores de 0,6; 0,7 e 0,8.

Assim, a lâmina a ser aplicada em cada unidade experimental foi determinada pela equação 06:

$$Lap = \frac{ET_c \times A}{Ef} \quad (06)$$

Em que: Lap = lâmina a ser aplicada, mm dia¹; ETc = evapotranspiração da cultura, mm⁻¹; A = área do vaso, m²; e Ef = eficiência do sistema de irrigação (0,95%).

O tempo de irrigação foi obtido pela razão entre a lâmina a ser aplicada e a intensidade de aplicação do gotejador.

Ao longo de todo o ciclo da cultura, todas as plantas receberam a mesma quantidade de água, com base na evapotranspiração de referência (ETo) obtida por Hargreaves e Samani (1985), visando manter as condições de umidade do solo favoráveis ao bom desenvolvimento das plantas.

As lâminas de irrigação (L1, L2 e L3) foram aplicadas aos 74, 75, 76, 77 e 78 dias após a poda (DAP), e as plantas reidratadas após a última avaliação. Novamente, as lâminas de irrigação foram aplicadas aos 102, 103 e 104 DAP, reidratando as plantas logo após a última avaliação.

Para facilitar a aplicação dos tratamentos em uma única vez, os gotejadores foram substituídos com vazão entre 2 L h⁻¹ (T2 - 50% da ETc) e 4 L h⁻¹ (T3 - 100% da ETc). Nos vasos do T1 (0% da ETc), os gotejadores eram retirados dos vasos para a aplicação da lâmina zero.

Para realizar a medição da temperatura foliar, foi utilizado o protótipo PTI (Figura 2A), e um termógrafo modelo FLIR i50 Thermal Imaging (Figura 2B), a fim de gerar o índice de estresse hídrico (CWSI), por meio de duas metodologias diferentes.

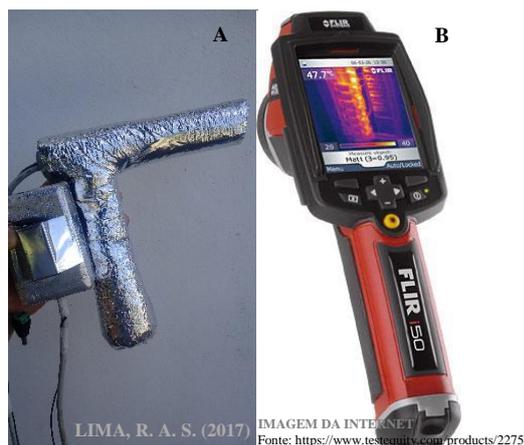


Figura 2. (A) protótipo desenvolvido no Laboratório de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), e (B) Termógrafo Flir modelo i50.

As medidas foram realizadas no terço médio da planta, em folhas totalmente expandidas sob diferentes condições de iluminação (parte iluminada e sombreada da folha) e em diferentes momentos do dia, de modo a analisar a possível robustez e sensibilidade do protótipo, bem como das imagens térmicas na detecção das mudanças das condições de água na planta.

Caracterização do protótipo PTI

O protótipo é composto por dois módulos: um módulo sensor e um módulo de controle e armazenamento de dados. Ambos são conectados entre si por um cabo de 6 vias. Para o primeiro módulo, foi utilizado um tubo de PVC em que foi montado um sensor de infravermelho, e um sensor de temperatura e umidade relativa do ar (modelo DHT11) na extremidade aberta (local da instalação do sensor) permitindo a entrada da radiação infravermelha proveniente da superfície alvo. Na outra extremidade do tubo de PVC foi instalado um *cooler*, para permitir a circulação do ar ambiente entre os sensores. Para o segundo módulo, foram arranjados uma placa arduino, e um módulo temporizador, sendo o armazenamento de dados feito por meio de um aplicativo para smartphone (Android) conectado via *bluetooth* para visualização dos dados e controle do equipamento (Figura 3). Esse conjunto foi alimentado por uma bateria de 9 V. O sistema foi programado utilizando o ambiente de programação fornecido pelo fabricante da placa Arduino e utilizando linguagem C++.

O primeiro campo da tela inicial do aplicativo é destinado à identificação do tratamento que está sendo avaliado (Figura 3). Em seguida, com a liberação do acesso da localização do *smartphone* pelo usuário, a altitude é inserida automaticamente. O terceiro campo “ $T_{\text{sensor}} - T_{\text{ar}}$ ” se refere ao valor da folha estressada (valor adotado em 5 °C). Com a coleta manual da temperatura da folha úmida e da folha atual (folha-teste da planta), em conjunto com as informações captadas pelo sensor (T_{sensor} , T_{ar} , e UR%), automaticamente, o aplicativo realizava todo o cálculo necessário para obtenção dos índices de estresse hídrico ($\text{CWSI}_{\text{medido}}$ e $\text{CWSI}_{\text{estimado}}$) e do DPV_{ar} . Todas essas informações eram salvas no próprio *smartphone*, gerando um arquivo em formato Excel e enviado por e-mail.

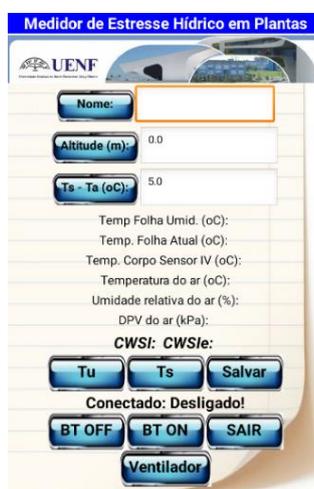


Figura 3. Tela inicial do aplicativo desenvolvido na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes – RJ.

Dois índices de coeficiente de estresse hídrico (CWSI) são gerados por meio do protótipo, são eles: $\text{CWSI}_{\text{medido}}$ e o $\text{CWSI}_{\text{estimado}}$. O $\text{CWSI}_{\text{medido}}$ é obtido coletando a temperatura da folha úmida e a temperatura da folha da planta, e o $\text{CWSI}_{\text{estimado}}$ é obtido estimando a temperatura da folha úmida por meio da temperatura e umidade relativa do ar.

As medições da temperatura das folhas foram realizadas aos 74, 75, 76, 77 e 78 dias após a poda (DAP), e aos 102, 103, e 104 DAP, a aproximadamente 5 cm de distância, durante dois períodos do dia, entre 8:00 e 09:00 horas e entre 12:00 e 13:00 horas, com o auxílio do protótipo PTI.

Foram mensuradas a temperatura da folha na condição úmida e da folha da planta em cada unidade experimental, realizando três repetições para cada condição exposta.

A temperatura da folha úmida era obtida pulverizando água na superfície da mesma com o objetivo de simular que ela estava com o valor mínimo de temperatura, transpiração máxima, caracterizando uma situação sem déficit hídrico (Figura 4A), sendo em seguida feita a medição durante 30 segundos por folha, Figura 4B. Posteriormente, era coletada a temperatura da planta (Figura 4C).



Figura 4. Simulando a folha úmida (A), medição da folha úmida (B) e medição da folha da planta (C).

O índice de estresse hídrico da cultura foi estimado pela diferença entre a temperatura da folha e do ar, calculado de acordo com a Equação 7, conforme descrita por Jackson et al. (1981).

$$CWSI_{medido} = \frac{(t_c - t_a) - (t_c - t_a)_{LBI}}{(t_c - t_a)_{LBS} - (t_c - t_a)_{LBI}} \quad (07)$$

Em que: $CWSI_{medido}$ = índice de estresse hídrico para a cultura; $(t_c - t_a)$ = diferença de temperatura entre a folha da planta e o ar ($^{\circ}C$); $(t_c - t_a)_{LBI}$ = linha base inferior, obtida na ausência de estresse hídrico, folha úmida, $^{\circ}C$; $(t_c - t_a)_{LBS}$ = linha base superior, obtida em condições de estresse hídrico severo, $^{\circ}C$.

Para calcular o $CWSI_{estimado}$, a linha base de temperatura inferior, $(t_c - t_a)_{LBI}$, foi feita levando em consideração a temperatura da folha úmida medida (t_u). Aplicando T_u na Equação 08 gerou-se o $CWSI_{estimado}$.

$$CWSI_{estimado} = \frac{(t_c - t_a) - (t_u - t_a)_{LBI}}{(t_c - t_a)_{LBS} - (t_u - t_a)_{LBI}} \quad (08)$$

Em que: $CWSI_{medido}$ = é um índice de estresse hídrico para a cultura proposto neste trabalho para realização do cálculo utilizando apenas a coleta da temperatura da folha da planta, e estimando a folha úmida e considerando um valor de 5° C para a folha estressada.

Para determinar o limite inferior da equação para calcular o $CWSI_{estimado}$ foi utilizada a metodologia proposta por Idso et al. (1981), em que se utiliza o DPV_{ar} para o cálculo do coeficiente, conforme descrito na Equação 09.

$$(t_u - t_a)_{LBI} = (t_c - t_a)_{LBS} \left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right) - \left(\frac{DPV}{\Delta + \gamma} \right) \quad (09)$$

Em que $(t_c - t_a)_{LBI}$ = linha base de temperatura inferior (folha úmida), (°C); $(t_c - t_a)_{LBS}$ = linha base de temperatura superior (folha em estresse hídrico), (°C); γ = constante psicométrica (kPa °C⁻¹); Δ = declividade da curva de pressão de saturação do vapor d'água (kPa °C⁻¹); e DPV_{ar} = Déficit de pressão de vapor do ar (kPa).

O $(t_c - t_a)_{LBS}$ é pouco influenciável pelo DPV_{ar} , porque a cultura, estando em uma situação de estresse hídrico, transpira pouco. Este valor está situado entre 4 °C a 5 °C, sendo que Sepaskhah e Kashefipour (1994) encontraram o valor médio de 5°C para o limão doce. Dessa forma, adotou-se o valor de 5 °C para $(t_c - t_a)_{LBS}$, e, com isso, foi possível calcular o $(t_u - t_a)_{LBI}$ conforme a Equação 10.

$$(t_u - t_a)_{LBI} = 5 \left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right) - \left(\frac{DPV}{\Delta + \gamma} \right) \quad (10)$$

As imagens termográficas foram obtidas a cerca de 30 cm de distância da folha, durante dois períodos do dia, entre 8:00 e 09:00 horas e entre 12:00 e 13:00 horas, realizadas aos 74, 75, 76, 77 e 78 dias após a poda (DAP), e aos 102, 103,

e 104 DAP com auxílio de um termógrafo modelo FLIR i50 (FLIR Systems AB, Sweden). Para tanto, foi realizada a avaliação da temperatura da folha de cada condição hídrica submetida (T_{dry} , T_{wet} e T_{leaf}), por meio de três repetições por cada unidade experimental.

Na primeira folha (Figura 5A) foi pulverizada água para simular uma folha hidratada (T_{wet}). Na segunda folha (Figura 5B), considerou-se que esta representa a planta sob condições ambientais do momento da medição (T_{leaf}). Na terceira folha (Figura 5C), cerca de 30 minutos antes da leitura, foi passada vaselina em gel com auxílio de algodão na parte adaxial e abaxial da mesma, com o intuito de causar o fechamento dos estômatos. Nesta condição, a presença da vaselina na folha bloqueia a saída da molécula de água da mesma, causando sua máxima elevação da temperatura, simulando uma condição de estresse hídrico severo (T_{dry}). As imagens foram analisadas pelo software ImageJ "*Image Processing and Analysis in Java*".

Em cada imagem, foi traçada uma linha conforme a dimensão de cada folha em estudo (Figura 5A, 5B e 5C). Dentro de cada área selecionada, foi verificada a moda entre as temperaturas (Figura 5A', 5B' e 5C') de modo a trabalhar com as cores que mais aparecem nas folhas, ou seja, representar sua temperatura total, e esta temperatura foi utilizada no cálculo do CWSI para cada condição submetida. A temperatura de cada imagem foi estabelecida pela relação entre a escala de temperatura da imagem com a escala utilizada pelo histograma do software.

A partir dos valores obtidos por meio das imagens termográficas de cada condição submetida (T_{leaf} , T_{dry} e T_{wet}), foi realizada a conversão do fator temperatura para índice de estresse hídrico descrito por Idso (1982):

$$CWSI = \frac{(T_{dry} - T_{leaf})}{(T_{dry} - T_{wet})} \quad (11)$$

Em que: CWSI= índice de estresse hídrico da cultura; T_{dry} = temperatura da folha da planta em estresse hídrico; T_{leaf} = temperatura da folha da planta; e T_{wet} = temperatura da folha úmida.

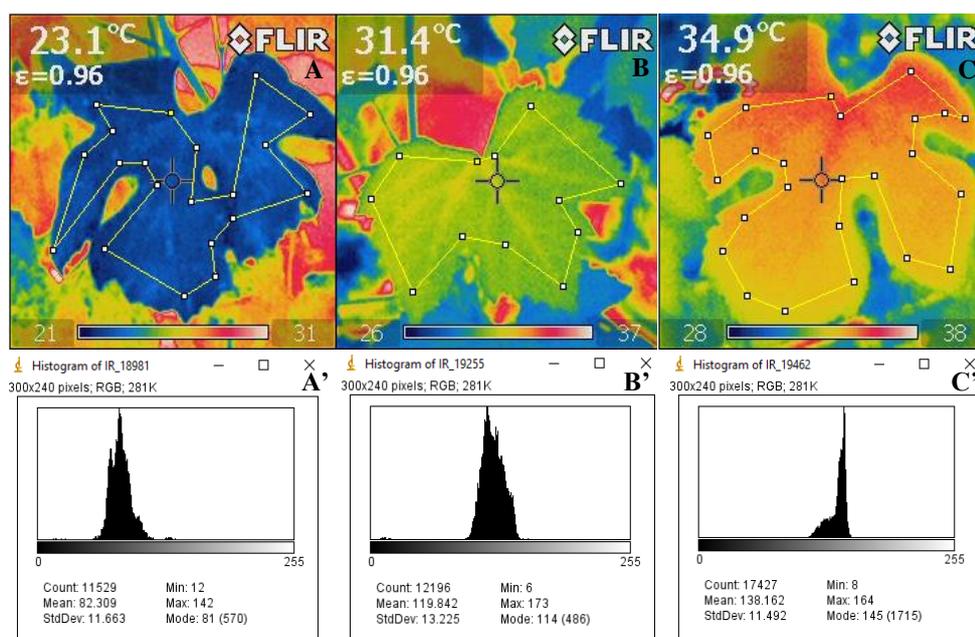


Figura 5. Imagem térmica das folhas da videira da cultivar Chardonnay capturadas pelo termovisor da marca FLIR i50. (A) folha úmida; (B) folha nas condições ambientais; (C) folha com vaselina, seguida dos respectivos histogramas gerados pelo software ImageJ: (A') folha molhada; (B') folha nas condições ambientais; (C') folha com vaselina.

O potencial hídrico foliar (Ψ_w) foi obtido na antemã (04:00 às 05:00 horas) e ao meio-dia (12:00 às 13:00 horas), por meio da câmara de pressão tipo 'Scholander' modelo *Soil Moisture*, USA (Scholander et al., 1965), em três plantas por tratamento utilizando uma folha do terço médio.

O monitoramento da umidade do solo foi realizado por meio do registrador de dados autossuficiente Em50, modelo MP₆, instalados na profundidade de 0-15cm. Foi distribuído um sensor modelo MP₆ para cada tratamento (T1, T2 E T3), sendo que todos os sensores trabalham com o Datalogger Em50, onde nenhuma calibração é necessária. Os dados foram registrados a cada intervalo de tempo de cinco minutos.

Os dados do coeficiente de estresse hídrico para a cultura (CWSI) e do potencial hídrico foliar foram submetidos à análise de variância pelo teste F, em 5% de probabilidade, sendo as médias dos dados comparadas pelo teste de Tukey em 5% de significância. O programa utilizado para análise estatística foi o SISVAR, e os gráficos foram elaborados com o auxílio do software OriginPro, versão 8.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O índice de estresse hídrico (CWSI) varia entre 0 e 1,0 (zero e um), em que os valores próximos de zero (0) representam uma folha com máxima transpiração (ausência de estresse hídrico) e os valores próximos de 1,0 (um) indicam uma planta com transpiração praticamente nula (estresse hídrico severo).

De maneira geral, os efeitos do déficit hídrico sobre o CWSI foram significativos para os três índices calculados ($CWSI_{\text{medido}}$, $CWSI_{\text{estimado}}$ e $CWSI_{\text{termógrafo}}$), ao longo da semana, nos dois períodos avaliados (Figura 6A, 6B, 7A e 7B).

De acordo com a Figura 6, no período da manhã, os índices dos CWSI (medido, estimado e termógrafo) calculados na L1 e L2 ao longo da semana ficaram mais próximos de um (1) no último dia de avaliação, caracterizando uma planta menos transpirante. Visto que, na L3 os índices ficaram na faixa dos valores mais próximos de zero, ou seja, as plantas estavam com uma alta transpiração (ausência de estresse hídrico).

Pela manhã aos 74, 75, 76, 77 e 78 dias após a poda (DAP) na L1 os valores do $CWSI_{\text{medido}}$ variaram entre 0,33 a 0,61, para o $CWSI_{\text{estimado}}$ a variação foi de 0,48 a 0,64 e para $CWSI_{\text{termógrafo}}$ ficou entre 0,60 a 0,73. Os valores da L2 para o $CWSI_{\text{medido}}$ variaram entre 0,44 a 0,53, entre 0,41 a 0,51 para o $CWSI_{\text{estimado}}$, e 0,51 a 0,58 para o $CWSI_{\text{termógrafo}}$. Na L3 o $CWSI_{\text{medido}}$ variou entre 0,30 a 0,56, para o $CWSI_{\text{estimado}}$ variou entre 0,39 a 0,55, e o $CWSI_{\text{termógrafo}}$ ficou na faixa de 0,45 a 0,58 (Figura 6A).

Ao meio-dia, os índices calculados para $CWSI_{\text{medido}}$, $CWSI_{\text{estimado}}$ e $CWSI_{\text{termógrafo}}$ na L1 e L2 ficaram mais próximos do valor 1,0, que corresponde a uma planta com transpiração praticamente nula, e na L3 os índices indicaram uma planta altamente transpirante (sem estresse hídrico). O $CWSI_{\text{medido}}$ na L1 variou entre 0,54 a 0,60, no $CWSI_{\text{estimado}}$ entre 0,54 a 0,67, e para o $CWSI_{\text{termógrafo}}$ entre 0,60 a 0,78. Os índices calculados na L2 variaram ao longo da semana, e alguns indicaram uma planta pouco transpirante. Os índices na L2 para o $CWSI_{\text{medido}}$ variaram entre 0,47 a 0,64, para o $CWSI_{\text{estimado}}$ 0,48 a 0,60, e para o $CWSI_{\text{termógrafo}}$ 0,50 a 0,65. Na L3, os índices calculados para o $CWSI_{\text{medido}}$, $CWSI_{\text{estimado}}$ e $CWSI_{\text{termógrafo}}$, ficaram entre 0,33 a 0,46, 0,34 a 0,54 e 0,44 a 0,50, respectivamente.

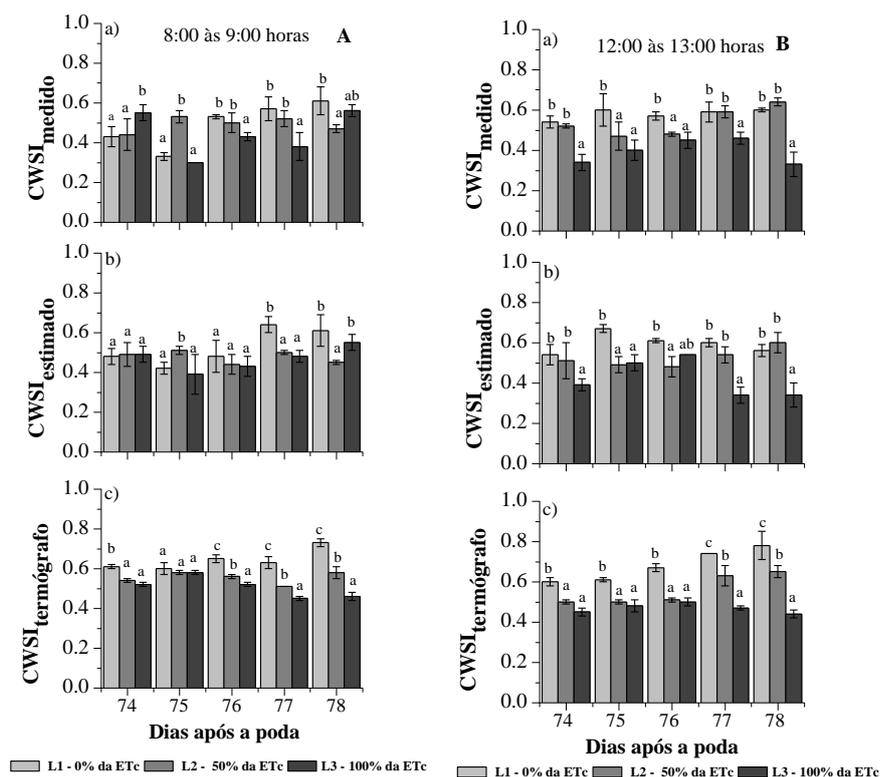


Figura 6. Índice de estresse hídrico utilizando o protótipo ($CWSI_{medido}$ e $CWSI_{estimado}$) e a termografia por infravermelho ($CWSI_{termógrafo}$), aos 74, 75, 76, 77 e 78 DAP, no período da manhã (A) e ao meio-dia (B), em função das lâminas de irrigação. Para cada data de avaliação, letras diferentes por cima das barras indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os tratamentos.

Aos 102, 103 e 104 DAP, pela manhã na L1 os valores do $CWSI_{medido}$ variaram entre 0,58 a 0,72, para o $CWSI_{estimado}$ a variação foi de 0,52 a 0,74 e do $CWSI_{termógrafo}$ ficou entre 0,59 a 0,68. Os valores da L2 para o $CWSI_{medido}$ variaram entre 0,43 a 0,63, entre 0,54 a 0,64 para o $CWSI_{estimado}$, e 0,43 a 0,61 para o $CWSI_{termógrafo}$. Na L3 o $CWSI_{medido}$ variou entre 0,28 a 0,49, para o $CWSI_{estimado}$ variou entre 0,28 a 0,44, e o $CWSI_{termógrafo}$ ficou na faixa de 0,40 a 0,48 (Figura 7A).

Ao meio-dia, os índices calculados para $CWSI_{medido}$, $CWSI_{estimado}$ e $CWSI_{termógrafo}$ na L1 e L2 ficaram mais próximos do valor 1,0, que corresponde a uma planta em condições de estresse hídrico. O $CWSI_{medido}$ na L1 variou entre 0,61 a 0,70, no $CWSI_{estimado}$ entre 0,52 a 0,70, e para o $CWSI_{termógrafo}$ entre 0,51 a 0,83. Os índices calculados na L2 variaram ao longo da semana, e alguns indicaram uma planta pouco transpirante. Os índices na L2 para o $CWSI_{medido}$ variaram entre 0,53 a 0,63, para o $CWSI_{estimado}$ 0,47 a 0,63, e para o $CWSI_{termógrafo}$ 0,49 a 0,65. Os índices calculados para os CWSI na L3 indicaram uma planta altamente

transpirante (sem estresse hídrico), onde os valores de $CWSI_{\text{medido}}$, $CWSI_{\text{estimado}}$ e $CWSI_{\text{termógrafo}}$, ficaram entre 0,38 a 0,52, 0,30 a 0,51 e 0,43 a 0,50, respectivamente.

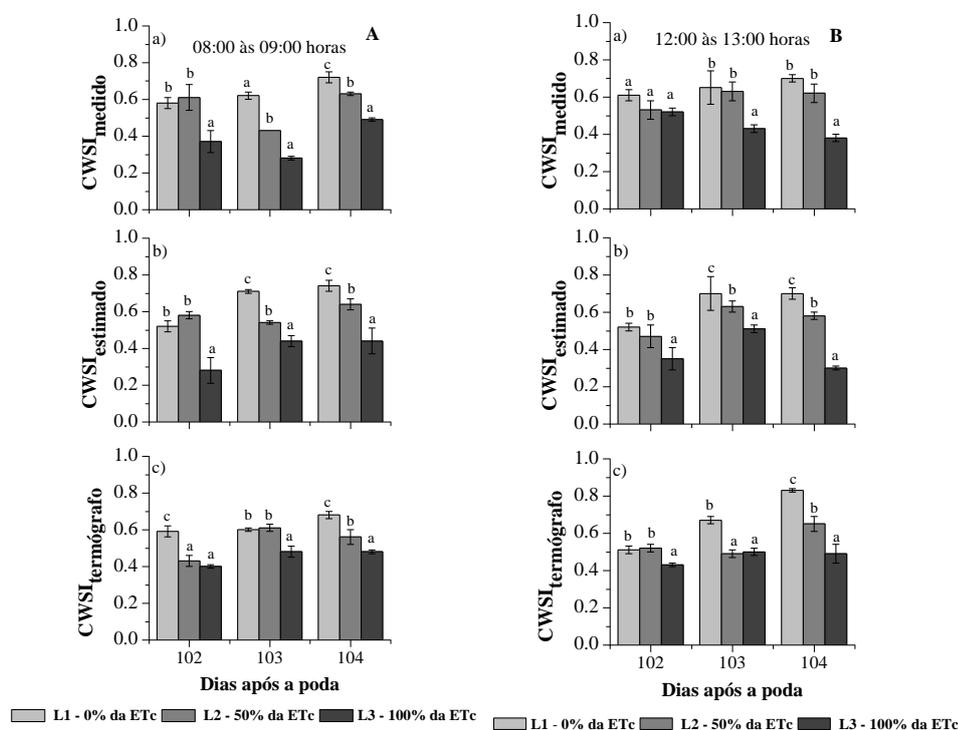


Figura 7. Índice de estresse hídrico utilizando o protótipo ($CWSI_{\text{medido}}$ e $CWSI_{\text{estimado}}$) e a termografia por infravermelho ($CWSI_{\text{termógrafo}}$), aos 102, 103 e 104 DAP, no período da manhã (A) e ao meio-dia (B), em função das lâminas de irrigação. Para cada data de avaliação, letras diferentes por cima das barras indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os tratamentos.

Os resultados encontrados para o CWSI nos dias avaliados corroboram com os encontrados por Çolak et al. (2017). Estes autores trabalharam com a cultivar de uva Royal submetida ao estresse hídrico do solo. O índice CWSI é normalmente relacionado à abertura e ao fechamento estomático e, portanto, pode afetar o balanço energético das plantas (Vaz et al., 2016). O valor do CWSI é inversamente proporcional ao potencial hídrico foliar, e dessa maneira, quanto menor o valor do potencial hídrico, mais próximo de 1 (um) será o índice de estresse hídrico.

O potencial hídrico na antemanhã e ao meio-dia, variou em função das lâminas de irrigação aplicadas (Figura 8 e 9).

Aos 74, 76 e 78 DAP, o potencial hídrico na antemanhã na L2 variou entre -0,10 MPa a -0,13 MPa e ao meio-dia entre -0,66 MPa a -1,13 MPa. Na L3 o

potencial hídrico foliar na antemanhã variou entre -0,10 MPa a -0,16 MPa na antemanhã e de -0,60 MPa a -1,13 MPa ao meio-dia (Figura 8).

Aos 102, 103 e 104 DAP, o potencial hídrico na antemanhã na L2 variou entre -0,2 MPa a -0,5 MPa e ao meio-dia de -1,0 a -1,3 MPa. Na L3 o potencial hídrico foliar na antemanhã se manteve em -0,1 MPa e ao meio-dia variou entre -1,0 a -1,3 MPa (Figura 9).

As maiores reduções do Ψ_{am} foram observadas na L1 com 0% de ETc, em que aos 78 DAP o Ψ_{am} alcançou o valor de -1,30 MPa e o Ψ_{md} atingiu -1,53 MPa (Figura 8). Aos 104 DAP, o Ψ_{am} alcançou o valor de -1,60 MPa na antemanhã e -1,83 MPa ao meio-dia (Figura 9).

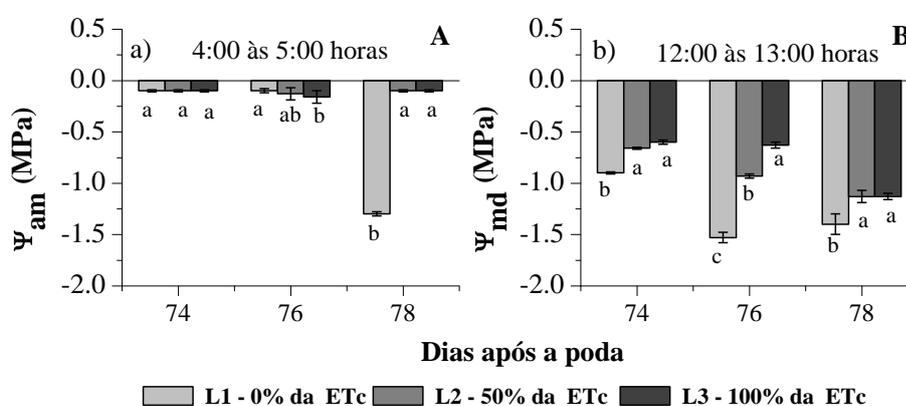


Figura 8. Potencial hídrico foliar na antemanhã (Ψ_{am}) (A) e ao meio-dia (Ψ_{md}) (B), aos 74, 76 e 78 DAP em função das lâminas de irrigação. Para cada data de avaliação, letras diferentes abaixo das barras indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os tratamentos.

Nas datas avaliadas para o Ψ_{am} , não foram observadas diferenças significativas entre as lâminas de irrigação aos 74 DAP (Figura 8). Porém, a partir do meio-dia aos 74 DAP foram observadas diferenças significativas entre as lâminas de irrigação (Figura 9). Em ambos os períodos (manhã e ao meio-dia), aos 74 (meio-dia), 76, 78, 102, 103 e 104 DAP, houve diferença significativa em relação às lâminas de irrigação.

A faixa de valores do potencial hídrico foliar observada na lâmina L2 (50% da ETc) e L3 (100% da ETc) é considerada por Ojeda (2007) como nível de restrição hídrica nulo a leve (até -0,2 MPa) para o potencial hídrico na antemanhã (Ψ_{am}), e um nível de leve a médio (-0,8 MPa a -1,1 MPa) para o potencial hídrico foliar ao meio-dia (Ψ_{md}).

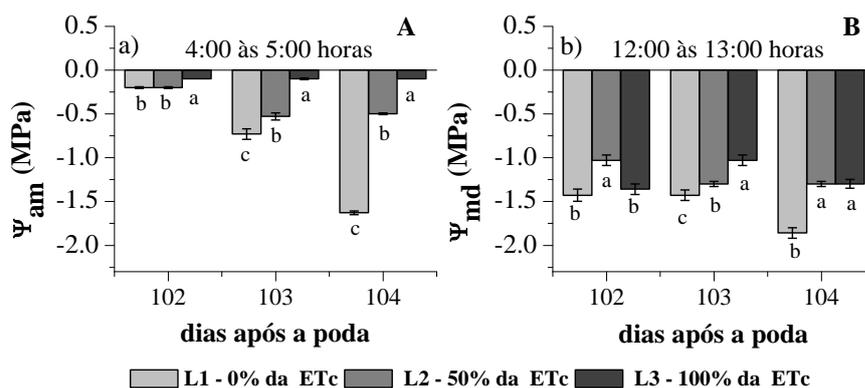


Figura 9. Potencial hídrico foliar na antemanhã (Ψ_{am}) (A) e ao meio-dia (Ψ_{md}) (B), aos 102, 103 e 104 DAP em função das lâminas de irrigação. Para cada data de avaliação, letras diferentes abaixo das barras indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os tratamentos.

Com o déficit hídrico aplicado na L1 foi possível observar um aumento significativo no potencial hídrico da antemanhã (Ψ_{am}) e ao meio-dia (Ψ_{md}) ao longo dos dias avaliados em relação à lâmina L2 e L3.

Os valores do potencial Ψ_{am} aos 74, 76 e 78 DAP na L1 variaram entre -0,10 MPa e -1,30 MPa e ao meio-dia entre -0,90 MPa e -1,53 MPa (Figura 8), aos 102, 103 e 104 DAP os valores do Ψ_{am} na L1 variaram entre -0,20 MPa e -1,60 MPa e ao meio-dia entre -1,40 MPa e -1,83 MPa (Figura 9). Essa faixa de valores Ojeda (2007) considera como estresse hídrico de leve a médio (-0,80 MPa a 1,1 MPa) para o Ψ_{am} e forte a severo (-1,4 a -1,6 MPa) para o Ψ_{md} .

Em plantas de *Vitis vinífera* L. submetidas ao estresse hídrico moderado a severo, Sofo et al. (2012) relataram valores do potencial hídrico ao meio-dia entre -1,1 MPa a -1,4 MPa, compatíveis com os valores encontrados no trabalho.

Na literatura, o potencial hídrico foliar tem sido considerado como indicador fisiológico em detectar variações do estado hídrico das plantas, por ser menos afetado pelos estômatos e condições atmosféricas (Souza et al., 2009).

Aos 74, 75, 76, 77 e 78 DAP, o teor de umidade no solo na L1 (0% da ETc) reduziu os potenciais críticos, atingindo valores de -9 kPa (1° dia após a aplicação dos tratamentos, DAT), -18 kPa (2° DAT), -87kPa (3° DAT), -398 kPa (4° DAT) e -525 kPa (5° DAT), (Figura 10). A L3 teve o valor do potencial hídrico do solo em torno de -9 kPa em todo o período de avaliação, mantendo-se na capacidade de campo (CC). Na L2, aos 78 DAP, o Ψ_{solo} teve uma pequena redução no valor (-31

kPa), porém, nos outros dias de avaliação o Ψ_{solo} se manteve entre -10 kPa e -16 kPa.

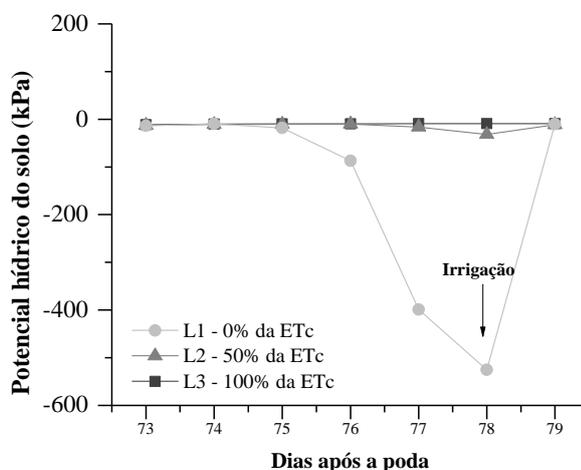


Figura 10. Valores médios do potencial mátrico do solo (Ψ_m) aos 73, 74, 75, 76, 77, 78 e 79 DAP em função das lâminas de irrigação.

Na L3, o valor observado no Ψ_{solo} (-9 kPa) foi inferior ao observado por Myburgh (2003). Esse autor, quando o solo se manteve na capacidade de campo encontrou um valor de -7 kPa para diferentes fases fenológicas da videira. Entretanto, a variação desses valores pode ser influenciada pela estrutura, textura, profundidade, umidade do solo, além do tamanho do vaso.

Em relação aos valores do Ψ_{solo} atingidos na L1, Schultz e Mathews (1988) relatam que o valor da ordem de -54 kPa pode promover a parada completa de crescimento da baga da uva, visto que, os valores altamente negativos do Ψ_{solo} na L1 indicam que, provavelmente, houve depleção da água no solo para as videiras.

Aos 102, 103 e 104 DAP, o teor de umidade no solo na L1 (0% da ETc) reduziu os valores críticos, atingindo potenciais hídricos no solo de -92 kPa (1º dia após a aplicação dos tratamentos, DTA), -402 kPa (2º DAT), -535 kPa (3º DAT), (Figura 11). A L3 (100% da ETc) obteve valores do potencial hídrico do solo em torno de -9 kPa em todo o período de avaliação, mantendo-se na capacidade de campo. Na L2 (50% da ETc), aos 104 DAP, o potencial hídrico do solo teve uma pequena redução no valor (-35 kPa), porém, aos 102 e 103 DAP o potencial hídrico do solo se manteve entre -10 kPa e -17 kPa.

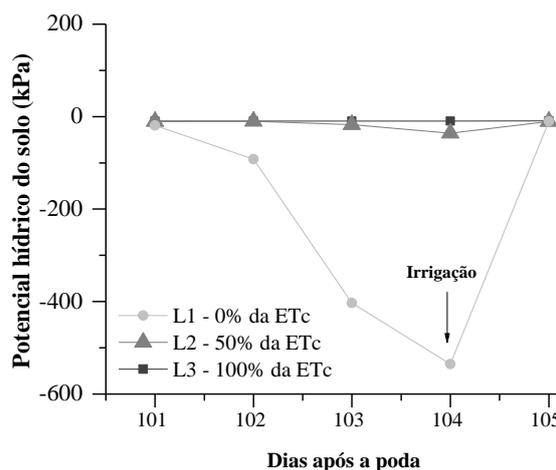


Figura 11. Valores médios do potencial mátrico do solo (Ψ_m) aos 101, 102, 103, 104 e 105 DAP em função das lâminas de irrigação.

Em relação aos valores do potencial hídrico do solo atingidos na L1, Schultz e Mathews (1988) relatam que o valor da ordem de -54 kPa pode promover a parada completa de crescimento da baga da uva.

CONCLUSÕES

Pode-se concluir, a partir dos dados obtidos, e nas condições em que o experimento foi realizado, com base na diferença entre temperatura da folha e do ar, que o protótipo desenvolvido no Laboratório de Engenharia Agrícola (LEAG) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro pode ser utilizado para estimar indiretamente o estado hídrico de plantas da cultivar 'Chardonnay'. Tal fato pode mostrar que essa técnica é acessível, rápida, não destrutiva e prática no uso.

De acordo com a equação proposta para estimativa da temperatura da folha úmida da planta, por meio do déficit de pressão de vapor do ar, torna-se válida a aferição indireta das condições hídricas das plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, C. A. B. 2012. Transpiração em *Coffea canephora*: lisimetria, fluxo de seiva e balanço hídrico. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Recife - PE, Universidade Federal de Pernambuco. p.112.
- Azevedo, J. H. O.; Bezerra, F. M. L. 2008. Resposta de dois cultivares de bananeira a diferentes lâminas de irrigação. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 28-33.
- Çolaka, Y. B., Yazarb A. 2017. Evaluation of crop water stress index on Royal table grape variety under partial root drying and conventional deficit irrigation regimes in the Mediterranean Region. *Scientia Horticulturae*. V 224, p. 384-394.
- Embrapa, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema de Produção, 1-2ª edição, 2010. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/sistema_producao/spuva/nutricao.html> 2010. Acesso em: 09 ago.2018.
- Ferreira R. E.; Sellés, V. J.; Peralta, A.; Valenzuela, J. 2004. Effect of water stress applied at different development periods of Cabernet Sauvignon grapevine on production and wine quality. *Acta Horticulturae*, v.646, p.27-33.
- Fuentes, S., De Bei, R., Pech, J., Tyermen, S. 2012. Computational water stress indices obtained from thermal image analysis of grapevine canopies. *Irrig. Sci.* 30, p.523–536.
- Genty, B., Briantais, J-M., Baker, N.R. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica and Biophysica Acta* 990: p.87-92.
- Hargreaves, G.H.; Samani, Z.A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, St Joseph, v.1 n.2, p.96–99, 1985.
- IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola. Rio de Janeiro v.29 n.11 p.1-85 novembro 2015. Disponível em: <<ftp://ftp.ibge.gov.br>>. Acesso em: 29 de ago. 2018.
- Idso, S. B. 1982. Non-water-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. *Agricultural Meteorology* n.27: p. 59-70.

- Idso, S.B.; Jackson, R.D.; Pinter Junior, P.J.; Reginato, R.J.; Hatfield, J.L. 1981 Normalizing the stress degree day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology*, v.24, p.45-55.
- Jackson, R.D.; Idso, S.B.; Reginato, R.J.; Pinter Junior, R.J. 1981 Canopy temperature as crop water stress indicator. *Water Resources Research*, v.17, p.1133-1138.
- Kirkhan, M.B. 2014. Principles of soil and water plant relations. San Diego: Academic. Press. P.500.
- Köppen, W. 1948. Climatologia: com um estúdio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Economica, p.478.
- Myburgh, P. A. 2003. Responses of vitis vinifera L. cv. Sultanina to water deficit during various pre and post-harvest phases under semi-arid conditions. *South African Journal Enology and Viticulture*, v.24, p.25-33.
- OIV, International Organization of Vine and Wine. Statistical report of world vitiviniculture. Paris, 2014. 28 p. Disponível em: <<http://www.oiv.int>>. Acesso em 4 nov. 2018.
- OIV, International Organization of Vine and Wine. Statistical report of world vitiviniculture. Paris, 2015. 15 p. Disponível em: <<http://www.oiv.int>>. Acesso em 4 nov. 2018.
- Ojeda, H. 2007. Rega qualitativa de precisão da vinha. *Revista Internet de Viticultura e Enologia*, p.1-10.
- Pereira, L. S., Allen, R. A., Smith, M., Raes, D. 2015. Crop evapotranspiration estimation with FAO 56: past and future. *Agric. Water Manage.* 147 (1), p.4–20.
- Poni S.; Intrieri C.; Silvestroni O. 1994. Interactions of leaf age, fruiting, and exogenous cytokinins in Sangiovese grapevines under non-irrigated conditions. I. Gas exchange. *American Journal for Enology and Viticulture*. v.45, p.71-80.
- Reichardt, K. 1987. A água em sistemas agrícolas. Sao Paulo: Manole. p.188.
- Sakuratani, T. 1981. A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants. *J. Agr. Met.* 37: p. 9-17.
- Schultz, H. R.; Mathews, M. A. 1988. Vegetative growth distribution during water deficits in *Vitis vinifera* L. *Australian Journal of Plant Physiology*, v. 15, p.641-656.

- Sepaskhah, A. R.; Kashfipour, S. M. 1994. Relationships between leaf water potential, CWSI, yield and fruit quality of sweet lime under drip irrigation. *Agricultural Water Management*, v. 25: p. 13-21.
- Sofo, A., Nuzzo, V., Tataranni, G., Manfra, M., De Nisco, M., Scopa, A. 2012. Berry morphology and composition in irrigated and non-irrigated grapevine (*Vitis vinifera* L.). *J. Plant Physiol.* v.169, p.1023-1031.
- Souza, C. R.; Bassoi, L. H.; Lima Filho, J. M. P.; Silva, F. F. S.; Viana, L. H.; Dantas, B. F.; Pereira, M. S.; Ribeiro, P. R. A. 2009. Water relations of field-grown grapevines in the São Francisco Valley, Brazil, under different rootstocks and irrigation strategies. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 66, n. 4, p. 436-446.
- Teixeira, A.H. de C.; Tonietto, J.; Pereira, G.E.; Angelotti, F. 2012. Delimitação da aptidão agroclimática para videira sob irrigação no Nordeste Brasileiro. *Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.16, n.4, p.399–407.
- Van Kooten, O. & Snel, J.F.H. 1990. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. *Photosynthesis Research* 25: p.147-150.
- Vaz, M., Coelho, R., Rato, A., Samara-Lima, R., Silva, L.L., Campostrini, E., Mota, J.B. 2016. Adaptive strategies of two Mediterranean grapevines varieties (Aragonez syn. Tempranillo and Trincadeira) face drought: physiological and structural responses. *Theor. Exp. Plant Physiol.* 28(2), p.205-220.

3.3 DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO EM VASO

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a utilização de um aplicativo de celular para o manejo de irrigação em vasos por meio da estimativa da evapotranspiração de referência, com base no clima. O aplicativo denominado “Irigar” foi desenvolvido em Angular2, que é um framework de aplicações web, mobile web, mobile nativo e desktop nativo, com código-fonte aberto baseado em TypeScript, liderado pela Equipe Angular do Google. Para avaliar a eficácia do aplicativo, foi realizado um experimento em casa de vegetação não climatizada para realização do cálculo da demanda hídrica de três cultivares de videira (Cabernet Sauvignon, Chardonnay e Niágara Rosada) durante um ciclo de produção. De acordo com os dados obtidos e nas condições que o experimento foi realizado, pode-se concluir que, por meio da estimativa da evapotranspiração de referência, com base no clima, o aplicativo pode ser utilizado para estimar indiretamente a demanda hídrica das três cultivares de videira. Embora em fase de ajustes, o aplicativo demonstrou ser uma ferramenta promissora para realização do manejo de irrigação de vasos em ambiente protegido. Tornando todo o processo do manejo de irrigação, desde a inserção dos dados, até a geração dos cálculos, muito mais interativo e simples.

Palavra-chave: Software, eficiência no uso da água, Irrigar, manejo de irrigação, programação.

DEVELOPMENT OF AN APPLICATION FOR THE MANAGEMENT OF IRRIGATION IN POTS

ABSTRACT

The present work had the objective of evaluating the use of a cellular application for the management of irrigation in pots by means of the estimation of reference evapotranspiration, based on the climate. The so-called "Irrigar" application was developed in Angular2, which is a native web, mobile, native mobile and native desktop application framework based on TypeScript, led by the Google Angular Team. To evaluate the effectiveness of the application, an experiment was carried out in an unheated greenhouse to calculate the water demand of three grape varieties (Cabernet Sauvignon, Chardonnay and Niagara Rosada) during a production cycle. According to the data obtained and under the conditions that the experiment was carried out, it can be concluded that, through the estimation of the reference evapotranspiration, based on the climate, the application can be used to indirectly estimate the water demand of the three cultivars vine. Although in the phase of adjustments, the application has been shown to be a promising tool to perform the irrigation management of vessels in a protected environment. Making the entire process of irrigation management, from data insertion to calculus generation, much more interactive and simple.

Keywords: Software, efficiency in water use, Irrigar, irrigation management, programming.

INTRODUÇÃO

Atualmente, uma das principais preocupações é a crescente demanda hídrica em todos os setores da sociedade. A falta de um adequado manejo da irrigação tem sido uma das principais causas do insucesso de muitos projetos. Na

maioria das vezes, por desconhecimento ou falta da assistência técnica ao irrigante, nem sempre é dada a devida importância à técnica de manejo da irrigação.

O manejo da irrigação consiste, basicamente, na tomada de decisão sobre quando e quanto irrigar, de modo a manter o fluxo contínuo de água no sistema solo-planta-atmosfera e, por consequência, de nutrientes (Barreto e Figueirêdo, 2010).

Na estimativa da exigência hídrica pelas plantas podem ser adotadas metodologias distintas ou a integração delas, ou seja, pela demanda atmosférica, pelo monitoramento da umidade do solo e por meio de medidas diretas do fluxo de água na planta. Essas metodologias objetivam apresentar alternativas do manejo da água nas culturas irrigadas em qualquer estágio fenológico da planta (Barreto et al., 2004).

O conhecimento do consumo hídrico das culturas constitui-se em uma informação preciosa no manejo da água, principalmente no momento em que ocorre forte conscientização popular sobre o uso racional dos recursos hídricos (Silva et al., 2005).

Com o grande avanço tecnológico, softwares estão sendo cada vez mais utilizados no manejo da irrigação, como, por exemplo, as planilhas desenvolvidas para a programação de irrigação de culturas anuais (Albuquerque e Andrade, 2001); e para o manejo da irrigação em pequenas propriedades (Conceição, 2010; Nascimento et al., 2011).

Nesse sentido, por meio da estimativa da evapotranspiração de referência, com base no clima, objetivou-se avaliar a utilização de um aplicativo de celular para o manejo de irrigação em vasos.

MATERIAL E MÉTODOS

O aplicativo denominado “Irigar” foi desenvolvido em Angular2, que é um framework de aplicações web, mobile web, mobile nativo e desktop nativo, com código-fonte aberto baseado em TypeScript, liderado pela *Equipe Angular do Google*. Como ambiente de desenvolvimento foi utilizado o aplicativo Visual Studio, que é uma IDE (ambiente de desenvolvimento interativo) com painel de inicialização criativa que pode ser usado para exibir e editar quase todo tipo de código, como HTML, CSS, Java Script, TypeScript, etc. Em seguida, o Visual studio

é usado para depurar, compilar e publicar aplicativos para Android, iOS, Windows, Web e nuvem.

O banco de dados foi projetado com auxílio da ferramenta *navicat for SQLite*. Esta é uma ferramenta visual unificada para arquitetos, desenvolvedores e administradores de banco de dados. A mesma fornece modelagem de dados, desenvolvimento de SQL e ferramentas de administração de banco de dados.

Como ferramenta de desenvolvimento, juntamente com o Angular2, foi usado o Node.js, que é uma plataforma para desenvolvimento de aplicações *server-side*, altamente escalável e de baixo nível. Nele, a programação é feita diretamente com diversos protocolos de rede e internet, utilizando JavaScript e o V8 JavaScript Engine, de modo que, com Node.js pode-se criar uma variedade de aplicações *Web* utilizando apenas código em JavaScript.

Para avaliar a eficácia do aplicativo, foi calculada a demanda hídrica de três cultivares de videira durante um ciclo de produção (janeiro a maio 2018), em casa de vegetação não climatizada na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes – RJ.

As cultivares utilizadas foram das espécies *Vitis labrusca* L. (Niágara rosada) e *Vitis vinífera* L. (Chardonnay e Cabernet Sauvignon), enxertadas sobre o mesmo porta-enxerto IAC 572 'Jales', em sistema espaldeira, com duplo cordão esporonado, conduzidas em vasos de 25 Litros contendo substrato na proporção de 1:1:1 (areia, solo, e composto orgânico). O vinhedo foi instalado no espaçamento de 0,38 m entre plantas e 0,90 metros entre fileiras, em uma área de 60 m².

A poda foi realizada no dia 08 de janeiro de 2018, e para uniformizar as brotações, logo após a poda, foi aplicada nas gemas uma solução de cianamida hidrogenada (DORMEX) em 5%.

O fornecimento de água às plantas foi realizado via irrigação localizada por gotejamento, com vazão nominal de 4 L h⁻¹.

As plantas foram submetidas a uma lâmina de irrigação referente a 100% da ETc. O software utiliza a equação de Hargreaves e Samani (1985) para estimativa da ET_o. Este método requer o uso do valor da temperatura máxima, mínima e média diária, e da radiação do topo da atmosfera, Equação 01:

$$ET_o = 0,0023 R_a (T_{máx} - T_{mín})^{0,5} (T_{med} - 17,8) \quad (01)$$

Em que: $T_{\text{máx}}$ = temperatura máxima do ar, °C; $T_{\text{mín}}$ = temperatura mínima do ar, °C; T_{med} = temperatura média do ar, obtida pela soma da $T_{\text{máx}}$ + $T_{\text{mín}}$ dividindo o valor da soma por dois, °C; R_a = radiação no topo da atmosfera, MJ m⁻² dia⁻¹.

O tempo de irrigação foi obtido pela razão entre a lâmina a ser aplicada e a intensidade de aplicação do gotejador.

Durante o experimento, no interior da casa de vegetação e a cada cinco minutos, foram coletadas as variáveis climatológicas diárias (temperatura, umidade relativa e radiação fotossinteticamente ativa), com uso de uma miniestação meteorológica WatchDog 2450 instalada a um metro de distância do experimento. A partir dos valores totais das variáveis, foram calculadas as médias diárias (Figura 1).

O déficit da pressão de saturação de vapor do ar (DPV_{ar} , em kPa, [Figura 1D]) foi calculado por meio do método de Penman-Monteith e os cálculos recomendados pelo boletim N°56 da FAO por meio da Equação 02:

$$DPV_{\text{ar}} = es - ea \quad (02)$$

Em que: DPV_{ar} = déficit da pressão de saturação de vapor no ar, em kPa; es = pressão de saturação de vapor, em kPa; e ea = pressão parcial de vapor, em kPa.

A pressão de saturação de vapor foi calculada pela Equação 03:

$$es = 0,6108 \exp \left(\frac{17,27T}{T+237,3} \right) \quad (03)$$

Em que: es = pressão de saturação de vapor, em kPa; e T = temperatura, em °C.

A pressão parcial de vapor foi calculada por meio da Equação 04:

$$ea = es \cdot \left(\frac{UR}{100} \right) \quad (04)$$

Em que: ea = pressão parcial de vapor, em kPa; es = pressão de saturação de vapor, em kPa; e UR = umidade do ar, em %.

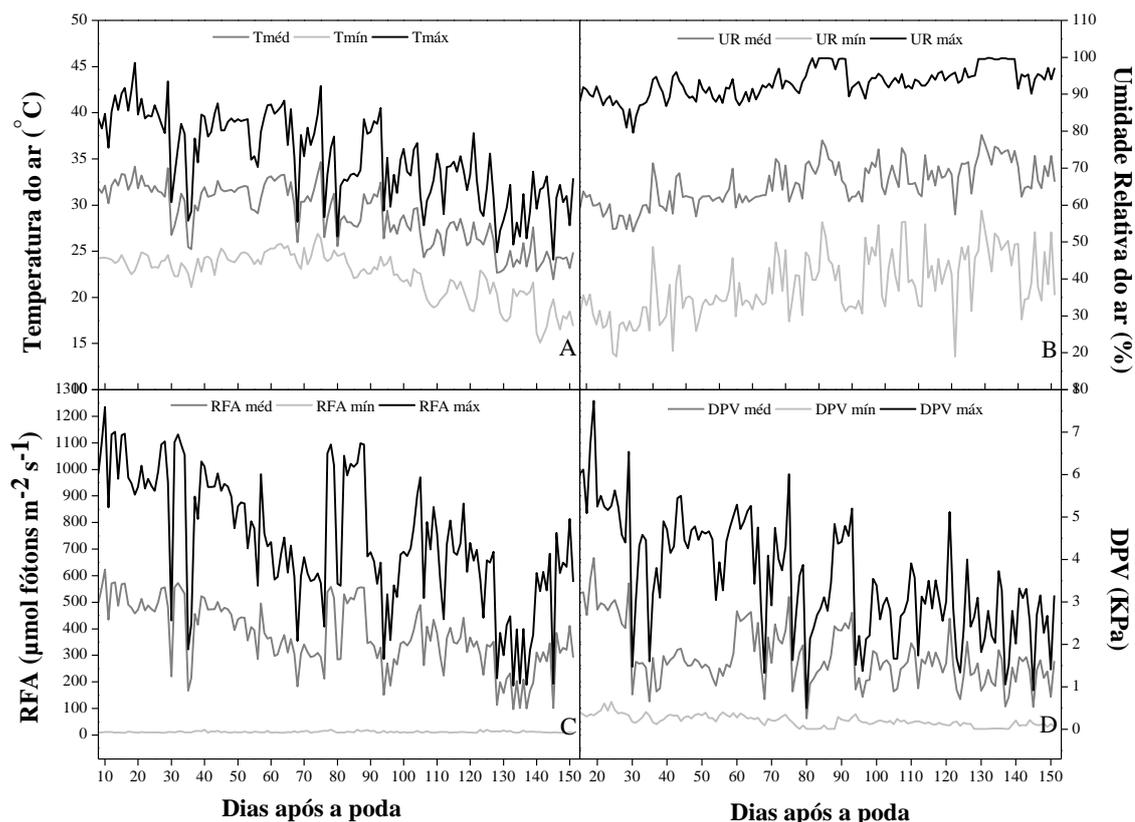


Figura 1. Valores máximos, médios e mínimos diários da temperatura do ar (A), umidade relativa do ar (B), radiação fotossinteticamente ativa (C) e déficit de pressão de vapor do ar (D) no interior da casa de vegetação no período experimental (08/01/2018 a 31/05/2018).

Após a colheita, uma amostra de 10 bagas por planta foi utilizada para determinação do teor de sólidos solúveis totais (SST), em °Brix, obtido em refratômetro digital. Através do mosto, obtido com o esmagamento das bagas das uvas, foram determinados pH e a Acidez Titulável (ATT), em meq L⁻¹ de cada variedade, Tabela 1.

Tabela 1. Análise química das bagas das três cultivares (Chardonnay, Cabernet Sauvignon e Niágara Rosada) utilizadas no experimento

Cultivares	SST (°Brix)	ATT (meq L ⁻¹)	pH
Cabernet Sauvignon	21,66	0,44	3,79
Chardonnay	18,76	0,54	3,82
Niágara rosada	17,96	0,67	3,83

Os valores apresentados são médias de cinco repetições.

A acidez titulável total (AT) foi determinada por titulometria com NaOH 0,1 N, seguindo a metodologia descrita pelo método 22.058, descrito pela Associação Oficial de Químicos Analíticos (Association of Official Analytical Chemists - AOAC) (AOAC, 1992). Foram retirados 10 g de polpa de uva e posteriormente completou-se o volume para 50 mL com água destilada. A polpa foi homogeneizada em um homogeneizador (Turratec TE 102, Tecnal, Brasil) por 30 s. O homogenato foi titulado com NaOH a 0,1 N, utilizando fenolftaleína como indicador de viragem da coloração de transparente para rosado. Todas as medições foram tomadas em triplicata para cada variedade.

A acidez titulável foi calculada através da Equação 05.

$$AT = \frac{V \cdot FC \cdot P' \cdot 10}{P} \quad (05)$$

Onde: V = volume (mL) gasto de NaOH 0,1N; FC = fator de correção do NaOH: valor = 1; P' = miliequivalência do ácido cítrico (0,064); e P = peso (g) da polpa.

Foi realizada a análise dos teores nutricionais dos frutos, estando os valores obtidos, descritos na Tabela 2. As amostras foram secas em estufa a 70 °C. Para a determinação dos teores de nitrogênio (N), as amostras foram submetidas à digestão sulfúrica pelo método de Nessler (Jackson, 1965). Para os demais nutrientes mencionados foram submetidos à digestão com HNO₃ concentrado de H₂O₂ em sistema de digestão aberta e quantificados em plasma (ICPE-9000) da marca Shimadzu® (Peters, 2005).

Tabela 2. Análise nutricional das bagas das três cultivares (Chardonnay, Cabernet Sauvignon e Niágara Rosada) utilizadas no experimento

Cultivares	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Ni	Fe	Cu	Zn	Mo	B
	----- g/kg -----							-----mg/kg-----					
Cabernet Sauvignon	2,94	31,2	0,38	4,22	66,53	14,15	0,29	4,73	0,09	0,59	1,38	0,32	2,64
Chardonnay	3,88	46,8	0,31	5,35	35,58	18,45	0,20	0,76	0,07	0,48	1,37	0,42	2,59
Niágara rosada	3,28	33,6	1,10	4,57	31,33	19,05	0,29	2,94	0,05	0,45	1,38	0,36	3,19

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O software “Irrigar” foi desenvolvido inicialmente para testes internos e validação, para somente após verificado seu desempenho, ser disponibilizado nas plataformas digitais.

A tela inicial do aplicativo, foi desenvolvida de maneira simples. Contém informações para criar conta e acessar o aplicativo, Figura 2.



Figura 2. Tela inicial do aplicativo.

Após criar o *login* e a *senha*, o usuário já tem acesso ao aplicativo. Quando o usuário entra na *conta* vai aparecer uma janela para permitir o acesso da localização do telefone e, sendo liberado o acesso, automaticamente a latitude da localidade é inserida no aplicativo (Figura 3).

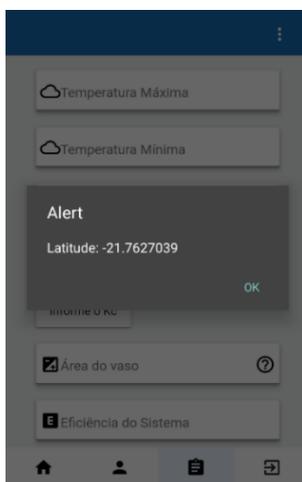


Figura 3. Janela de alerta para acessar a localização do aparelho.

Após a liberação do acesso da localização do aparelho, é apresentado ao usuário a tela onde é necessário inserir as informações para se obter o valor da quantidade de água a ser aplicada por vaso (Figura 4).

Nessa tela, o usuário vai precisar fornecer seis informações ($T_{\text{máxima}}$, $T_{\text{mínima}}$, $T_{\text{média}}$, K_c , classe textural do solo e área do vaso em m^2) para obter o valor da demanda hídrica diária. Nos três primeiros campos do aplicativo é necessário informar o valor da $T_{\text{máxima}}$, $T_{\text{mínima}}$ e $T_{\text{média}}$, do dia. Os dados climáticos ($T_{\text{máxima}}$, $T_{\text{mínima}}$, $T_{\text{média}}$) podem ser obtidos a partir de estações meteorológicas, termohigrômetros, ou mesmo com termômetros de máxima e mínima, devidamente instalados próximos à área a ser irrigada.

Figura 4. Informações a serem inseridas no aplicativo.

Em seguida é preciso informar o coeficiente de cultivo da cultura (K_c) no qual está trabalhando, o usuário tem duas opções: inserir diretamente no aplicativo o próprio K_c com o qual necessita trabalhar, ou utilizar os valores do K_c s cadastrado no aplicativo para as principais culturas (Allen et al., 1998), Figura 5.

Ao clicar em *informe o K_c* , Figura 5A, o usuário será direcionado para uma tela, Figura 5B, nessa tela existe a opção de procurar no banco de dados do aplicativo se tem algum K_c cadastrado para a cultura que vai trabalhar, Figura 5C, caso utilize o K_c disponível no aplicativo, é só escolher a cultura, estágio de desenvolvimento, clicar no K_c e inserir, Figura 5D. Também tem a opção de inserir o próprio K_c que queria trabalhar, Figura 5E, é só clicar em *inserir K_c* , informar a cultura que está trabalhando, escolher o estágio fenológico (Figura 5F), digitar o K_c , e salvar (Figura 5G), e assim o K_c é inserido no aplicativo para ser utilizado, Figura 5H.

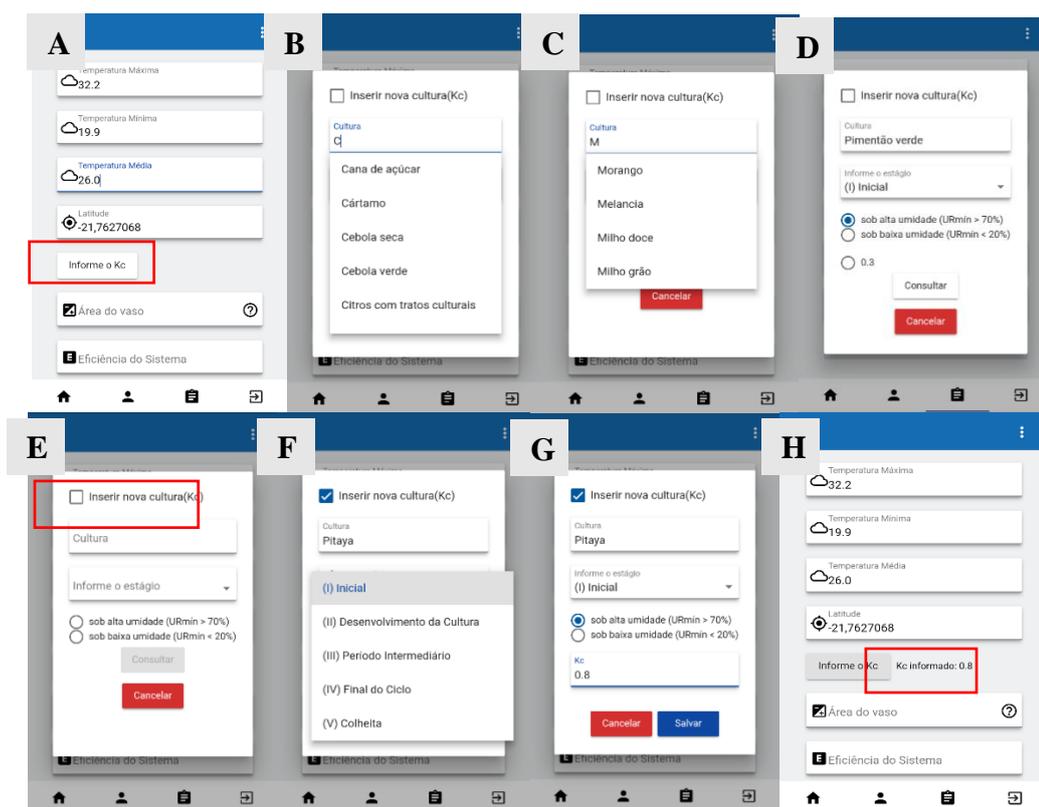


Figura 5. Acessando o coeficiente de cultivo (A), pesquisando o Kc para várias culturas (B) e (C), escolhendo a cultura, o estágio fenológico e escolhendo o Kc informado pelo aplicativo (D), inserindo o Kc (E), inserindo a cultura que está trabalhando (F), escolhendo o estágio fenológico (G), inserindo o Kc no aplicativo (H).

No quarto campo, precisa selecionar a opção do solo no qual está trabalhando (classe textural). A outra informação necessária é a área do vaso em m^2 , caso o usuário não saiba calcular a área do vaso em m^2 , Figura 6A, é só clicar no ícone (?), e em seguida vai aparecer uma janela, e nessa janela, o usuário vai colocar o valor do diâmetro superior do vaso em cm (Figura 6B), é só clicar em calcular que o valor é convertido para m^2 (Figura 6C), caso o usuário não saiba onde encontrar o valor do diâmetro do vaso, o próprio fabricante disponibiliza essa informação, Figura 6D.

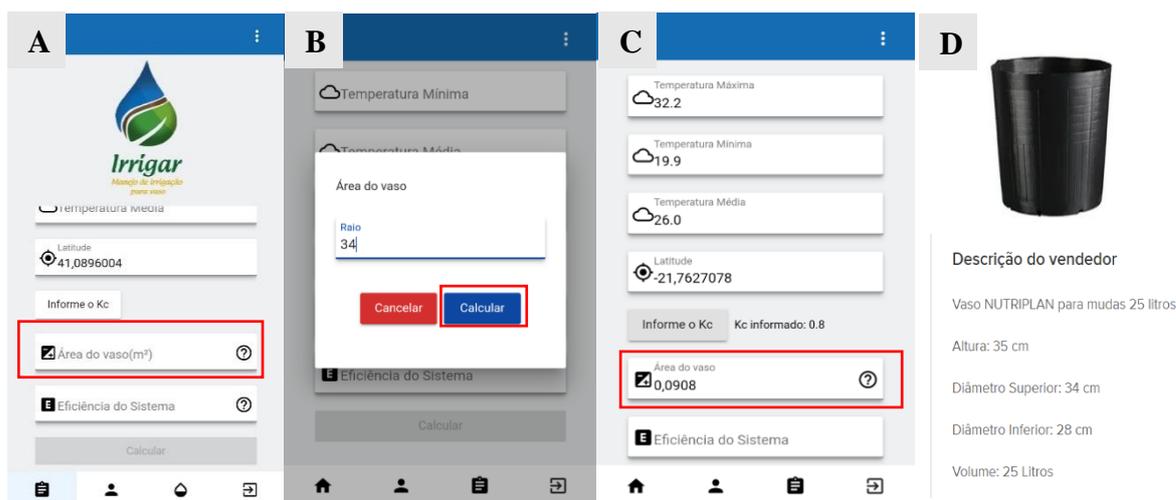


Figura 6. Informando a área do vaso (A), informando o valor do diâmetro do vaso (B), valor da área em m^2 calculado pelo aplicativo (C), imagem com as especificações do vaso pelo fabricante (D).

Depois que o usuário preencher todas as informações, e clicar em “*calcular*”, Figura 7A, as informações de evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração de cultura (ET_c) e o volume de água a ser aplicado serão informados, Figura 7B. Nessa mesma tela, vai aparecer uma mensagem recomendando a aplicação de água. O software fornece os dados calculados na base diária e um relatório de todas as atividades realizadas.



Figura 7. Clicando na opção *calcular* para obter as informações da demanda hídrica da cultura (A), e as informações geradas pelo aplicativo (ET_o , ET_c e a Lâmina de água a ser aplicada por vaso (B).

Existem 4 abas no aplicativo, localizadas na parte inferior (Figura 8A), a primeira aba, é onde o usuário vai precisar colocar todas as informações

necessárias para obter o valor da demanda hídrica da cultura. A segunda aba, fica todo o histórico das irrigações calculadas para as diferentes culturas, nessa aba, os registros da irrigação podem ser enviados por e-mail no formato pdf ou planilha Excel, Figura 8B. A terceira aba é para o usuário alterar a senha, e a quarta e última aba é para sair ao aplicativo, Figura 8.

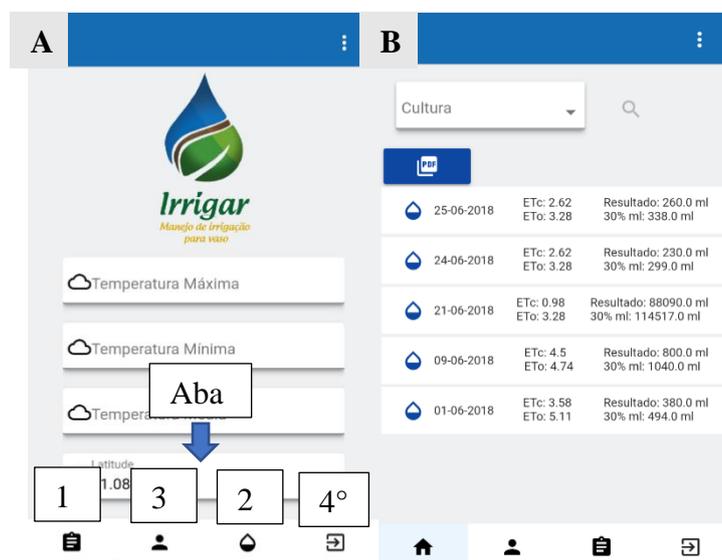


Figura 8. Abas existem no aplicativo (A), histórico das irrigações para as diferentes culturas (B).

Visto todo o processo de como se obter a lâmina a ser irrigada por vaso, pode-se verificar, na Tabela 3, a evapotranspiração de referência, a evapotranspiração da cultura, a demanda hídrica e o Kc das três cultivares de videira nas diferentes fases fenológicas, obtidos por meio do aplicativo Irrigar.

Considerando-se os diferentes estádios fenológicos da cultura, a evapotranspiração da cultura (ETo) apresentou uma variação entre 4,52 a 7,59 mm dia, com média igual a 6,25 mm dia para a cultivar Chardonnay, entre 4,47 a 7,71 mm dia, com média igual a 6,16 mm dia para Cabernet Sauvignon e para a Niágara Rosada variou entre 3,83 a 7,70 mm dia, com média igual a 5,95 mm dia, Tabela 3.

Os valores das lâminas de irrigação para as cultivares Chardonnay, Cabernet Sauvignon e Chardonnay apresentaram uma média de 3,69, 3,71 e 3,56 mm dia⁻¹, respectivamente. A demanda variou entre 2,90 mm dia⁻¹, no período de maturação (IV), a 4,89 mm dia⁻¹, no período de desenvolvimento dos frutos (III) na

cultivar Chardonnay. Para a cultivar Cabernet Sauvignon os valores variaram entre 3,23 mm dia⁻¹, no início da brotação (I), a 4,43 mm dia⁻¹, no período de desenvolvimento dos frutos (III). Já para a Niágara Rosada a demanda variou de 2,97 mm dia⁻¹ na maturação (IV), a 4,16 mm dia⁻¹ no período de desenvolvimento dos frutos (III) [Tabela 3].

A evapotranspiração da cultura durante todo o ciclo foi de 388,89 mm, 429,73 mm, e 467,74 mm para Chardonnay, Cabernet Sauvignon e Niágara Rosada, respectivamente, Tabela 3.

O valor do Kc que foi calculado variou nos diferentes estádios fenológicos da cultura, apresentou uma variação de 0,40 (I) a 0,80 (III) para a cultivar Chardonnay e Cabernet Sauvignon, e de 0,48 (I) a 0,83 (III) para a Niágara Rosada.

Tabela 3. Valores da evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_c - mm dia⁻¹), demanda hídrica da cultura (ET_c - mm) e o coeficiente de cultura (K_c) das cultivares Chardonnay, Cabernet Sauvignon e Niágara Rosada

Chadonnay	Duração (dias)	ET _o (mm)	Lâmina de irrigação (mm dia ⁻¹)	ET _c (mm)	K _c
I	11	7,59	3,11	34,22	0,40
II	26	6,89	3,87	100,53	0,60
III	34	6,01	4,89	166,23	0,80
IV	34	4,52	2,90	87,11	0,60
Cabernet Sauvignon	Duração (dias)	ET _o (mm)	Lâmina de irrigação (mm dia ⁻¹)	ET _c (mm)	K _c
I	12	7,71	3,23	38,78	0,40
II	26	6,78	3,84	99,80	0,60
III	40	5,69	4,43	177,21	0,80
IV	30	4,47	3,35	113,94	0,62
Niágara Rosada	Duração (dias)	ET _o (mm)	Lâmina de irrigação (mm dia ⁻¹)	ET _c (mm)	K _c
I	13	7,70	3,27	42,52	0,48
II	27	6,74	3,85	103,98	0,57
III	48	5,55	4,16	199,51	0,83
IV	41	3,83	2,97	121,73	0,65

*Estádios fenológicos: I: gemas inchadas ao início de brotação; II: início da brotação à plena floração; III: desenvolvimento dos frutos; e IV: maturação.

CONCLUSÕES

O “Irigar”, embora em fase de ajustes, permitiu a realização do cálculo da demanda hídrica das três cultivares de videiras, tornando todo o processo do

manejo de irrigação, desde a inserção dos dados, até a geração dos dados cálculos, muito mais interativo e simples.

O aplicativo poderá possibilitar para o usuário a realização do manejo da irrigação com base em dados climáticos. Assim, o software demonstrou ser uma ferramenta promissora para realização do manejo de irrigação de vasos em ambiente protegido.

Espera-se uma continuidade no desenvolvimento do aplicativo, de modo que possua novas funcionalidades, tais como a inclusão de novas metodologias de cálculos da ETo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, P. E. P.; Andrade, C. L. T. 2001. Planilha Eletrônica para a Programação da Irrigação de Culturas Anuais. Sete Lagoas, MG. Embrapa Milho e Sorgo. 14p. (Circular Técnica, 10).
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smuth, M. 1998. Crop evapotranspiration, guidelines for computing crop water requirements. FAO: Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, Italy, 300 pp.
- Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements, Rome: FAO, 301p. Irrigation and Drainage Paper 56
- Barreto, A. C.; Figueirêdo, V. B. 2010. Utilização e calibração do tensímetro digital no manejo de irrigação na cultura da manga. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 20, Uberaba - MG. Anais... Uberaba - MG: ABID. (CD-ROM).
- Barreto, A. N.; Faccioli, G. G.; Silva, A. A. Operação e manejo dos sistemas de irrigação. In: Barreto, A. N.; Silva, A. A. G.; Bolfe, E. L. (2004). A irrigação e drenagem na empresa agrícola. Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros; Campina Grande: EMBRAPA Algodão, p. 173-204.
- Conceição, M. A. F. 2010. Planilha eletrônica para manejo da irrigação em pequenas propriedades. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 20, Uberaba - MG. Anais... Uberaba - MG: ABID. (CD-ROM).

- Hargreaves, G.H.; Samani, Z.A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, St Joseph, v.1 n.2, p.96–99.
- Jackson, M.L. 1965. *Soil chemical analysis*. Prentice Hall, 498p.
- Nascimento, P. S.; Bassoi, L. H.; Paz, V. P. S. Planilha eletrônica para auxílio à tomada de decisão em manejo de irrigação localizada: Aplicação no cultivo da videira. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/256715/1/OPB2406.pdf>. Acesso em: 06 fev. 2019.
- Peters, J.B. 2005. Wisconsin procedures for soil testing, plant analysis and feed e forage analysis: Plant analysis. Department of Soil Science, college of agriculture and life sciences, University of Wisconsin-Extension, Madson. https://uwlabs.soils.wisc.edu/wpcontent/uploads/sites/17/2015/09/plant_icp.pdf > Acesso em 05/12/2018.
- Silva, V. P. R.; Filho, A. F. B.; Silva, B. B.; Campos, J. H. B. C. 2005. Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 547-553.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Esse estudo foi dividido em três capítulos. No primeiro, o objetivo foi avaliar o efeito do déficit hídrico durante o estágio reprodutivo sobre a capacidade fotossintética da cultivar Chardonnay. O experimento foi realizado em Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil, em casa de vegetação não climatizada, na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, composto por três lâminas de irrigação (L1 – déficit hídrico – 0% da evapotranspiração da cultura, ETc; L2 – irrigação deficitária - 50% da ETc e L3 – irrigação total - 100% da ETc), com oito repetições. Para a simulação do déficit hídrico realizou-se a suspensão da irrigação. Foram avaliadas a taxa fotossintética líquida por unidade de área foliar, taxa transpiratória, condutância estomática, eficiência instantânea do uso da água (A/E), e a razão entre a concentração interna e externa de CO₂ (ci/ca) por meio de um analisador de gás infravermelho. A fluorescência variável (Fv), fluorescência máxima (Fm) e o rendimento quântico máximo do fotossistema II (FSII) (Fv/Fm) foram avaliados por meio do fluorímetro Opti Science. De acordo com os dados obtidos, os resultados mostram que a redução na disponibilidade hídrica não foi suficiente para causar danos fotoquímicos nas videiras. O déficit hídrico causado pela lâmina L1 (0% da ETc) na cultivar Chardonnay causou a diminuição dos valores da condutância estomática, chegando próximos a zero. Houve o aumento da relação ci/ca aos 78, 103 e 104 DAP na lâmina L1 (0% da ETC), sendo esse comportamento ligado a um bom indicativo de tolerância à seca. Tanto em condições ótimas (L3 – 100% da

ETc), como exposta a um déficit hídrico controlado (L2 – 50% da ETc), a capacidade fotossintética da cultivar Chardonnay se manteve.

No segundo, objetivou-se neste trabalho avaliar a utilização de um protótipo de termômetro infravermelho (PTI) associado a uma plataforma de processamento de dados para detecção de estresse hídrico. O experimento foi realizado em Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil, em casa de vegetação não climatizada. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, composto por três lâminas de irrigação (L1 – déficit, 0% da evapotranspiração da cultura (ETc); L2 - irrigação deficitária, 50% da ETc; e L3 - irrigação total, 100% da ETc), com oito repetições. O déficit hídrico foi simulado com a suspensão da irrigação. Foram avaliados a medição da temperatura foliar por meio do protótipo (PTI) de um termômetro e por um termógrafo modelo FLIR i50 Thermal Imaging. Também foram avaliados o potencial hídrico foliar (câmara de pressão tipo 'Scholander' modelo *Soil Moisture*) e do solo (sensores MP6). Pode-se concluir, a partir dos dados obtidos, e nas condições em que o experimento foi realizado, com base na diferença entre temperatura da folha e do ar, que o protótipo desenvolvido no Laboratório de Engenharia Agrícola (LEAG) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pode ser utilizado para estimar indiretamente o estado hídrico de plantas da cultivar 'Chardonnay'. Tal fato pode mostrar que essa técnica é acessível, rápida, não destrutiva e prática no uso.

No terceiro capítulo, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a utilização de um aplicativo de celular para o manejo de irrigação em vasos por meio da estimativa da evapotranspiração de referência, com base no clima. O aplicativo denominado "Irigar" foi desenvolvido em Angular2, que é um framework de aplicações web, mobile web, mobile nativo e desktop nativo, com código-fonte aberto baseado em TypeScript, liderado pela Equipe Angular do Google. Para avaliar a eficácia do aplicativo, foi realizado um experimento em casa de vegetação não climatizada para realização do cálculo da demanda hídrica de três cultivares de videira (Cabernet Sauvignon, Chardonnay e Niágara Rosada) durante um ciclo de produção. De acordo com os dados obtidos e nas condições que o experimento foi realizado, pode-se concluir que, por meio da estimativa da evapotranspiração de referência, com base no clima, o aplicativo pode ser utilizado para estimar indiretamente a demanda hídrica das três cultivares de videira. Embora em fase de ajustes, o aplicativo demonstrou ser uma ferramenta promissora para realização do

manejo de irrigação de vasos em ambiente protegido. Tornando todo o processo do manejo de irrigação, desde a inserção dos dados, até a geração dos cálculos, muito mais interativo e simples.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, P. E. P.; Andrade, C. L. T. 2001. Planilha Eletrônica para a Programação da Irrigação de Culturas Anuais. Sete Lagoas, MG. Embrapa Milho e Sorgo. 14p. (Circular Técnica, 10).
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smuth, M. 1998. Crop evapotranspiration, guidelines for computing crop water requirements. FAO: Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, Italy, 300 pp.
- Almeida, C. A. B. 2012. Transpiração em Coffea canephora: lisimetria, fluxo de seiva e balanço hídrico. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Recife - PE, Universidade Federal de Pernambuco. p.112.
- Angelocci, L. R. 2002. Água na planta e trocas gasosas/ energéticas com a atmosfera: Introdução ao tratamento biofísico. Piracicaba: O autor, 268p.
- Araújo, S. A. C.; Deminici, B.B. 2009. Fotoinibição da fotossíntese. Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre, v.7, n.4, p.463-472.
- Azevedo, J. H. O.; Bezerra, F. M. L. 2008. Resposta de dois cultivares de bananeira a diferentes lâminas de irrigação. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 28-33.
- Barreto, A. C.; Figueirêdo, V. B. 2010. Utilização e calibração do tensímetro digital no manejo de irrigação na cultura da manga. In: Congresso nacional de Irrigação e Drenagem, 20, Uberaba - MG. Anais... Uberaba - MG: ABID. (CD-ROM).

- Barreto, A. N.; Faccioli, G. G.; Silva, A. A. 2004. Operação e manejo dos sistemas de irrigação. In: Barreto, A. N.; Silva, A. A. G.; Bolfe, E. L. A irrigação e drenagem na empresa agrícola. Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros; Campina Grande: EMBRAPA Algodão, p. 173-204.
- Basso, L. H. Gonçalves, S. O., Dos Santos, A. R. L., Silva, J. A., Lima, A. C.M, 2011 Influência de manejo de irrigação sobre aspectos de ecofisiologia e produção da videira cv. Syrah. Irriga, Botucatu, v. 16, n. 4, p. 395-402, out.-dez.
- Bergonci, J. I. et al. 2000 Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v. 35, n. 8, p.1531-1540, ago.
- Blum, A. 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. Field Crop Research, v.112, p.119–123.
- Brodribb, T. 1996. Dynamics of changing intercellular CO₂ concentration (ci) during drought and determination of minimum functional ci. Plant physiology 111.1: p.179-185.
- Buckley, T.N. & Mott, K.A. 2013. Modelling stomatal conductance in response to environmental factors. Plant, Cell Environ 36: p.1691-1699.
- Bueno, S. C. S. et al. 2010 Vinhedo paulista. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 256 p.
- Caio, M. G. S.; Moreira, M. M.; Rodrigues, J. D. 2013. Metabolismo da videira 'Syrah' no semiárido nordestino sob três estratégias hídricas. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, V.34, n.6, suplemento 1, p.3611-3624.
- Camargo, U. A.; Tonietto, J.; Hoffmann, A. 2011 Progressos na viticultura brasileira. Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal, v. 33, n. spe1, p. 144-149, Oct.
- Chaves, M. M.; Pereira, J. S.; Maroco, J. 2003 Understanding plant response to drought – from genes to the whole plant. Functional Plant Biology v.30, p.239–264.
- Chaves, M. M.; Santos, T. P.; Souza, C. R. et al. 2007 Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality. Annals of Applied Biology, v.150, p.237–252.
- Çolaka, Y. B., Yazarb A. 2017. Evaluation of crop water stress index on Royal table grape variety under partial root drying and conventional deficit irrigation

- regimes in the Mediterranean Region. *Scientia Horticulturae*. V 224, p. 384-394.
- Conceição, M. A. F. 2010. Planilha eletrônica para manejo da irrigação em pequenas propriedades. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 20, Uberaba - MG. Anais... Uberaba - MG: ABID. (CD-ROM).
- Correia, J. S. 2012. Irrigação deficitária em videira de vinho cv. Syrah durante o período chuvoso no semiárido. 64f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2010. Sistema de Produção, 1-2ª edição. Disponível em : <http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/sistema_producao/spuva/nutricao.html>. Acesso em: 9 de agosto de 2018.
- Evans, R. G. et al. 1993 Water use of *Vitis vinifera* grapes in Washington. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.23, p.109-124.
- Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements, Rome: FAO, 301p. Irrigation and Drainage Paper 56
- Ferreira R. E.; Sellés, V. J.; Peralta, A.; Valenzuela, J. 2004. Effect of water stress applied at different development periods of Cabernet Sauvignon grapevine on production and wine quality. *Acta Horticulturae*, v.646, p.27-33.
- Ferrio, J. P., Pou, A., Florez-Sarasa, I., Gessler, A., Kodama, N., Flexas, J.; Ribas-Carbo, M. 2012. The Pecllet effect on leaf water enrichment correlates with leaf hydraulic conductance and mesophyll conductance for CO₂. *Plant Cell Environ*, p.193-194, 70–84.
- Flexas, J.; Barbour, M. M.; Brebdel, O.; Cabrera, H. M.; Carriqui, M.; Diaz-Espejo, A.; Douthe, C.; Dreyer, E.; Ferrio, J. P.; Gago, J.; Galle, A.; Galmes, J.; Kodama, N.; Medrano, H.; Niinemets, U.; Peguero-Pina, J. J.; Pou, A. 2012. Mesophyll diffusion conductance to CO₂: An unappreciated central player in photosynthesis. *Plant Science*, v. 193-194, p. 70-84.
- Flexas, J.; Niinemets, U.; Gallé A.; Barbour, M.M.; Centritto, M.; Diaz-Espejo, A.; Douthe, C.; Galmés, J.; Ribas-Carbo, M.; Rodriguez, P.L.; Rosselló F.; Soolanayakanahally R.; Tomas, M.; Wright, I.J.; Farquhar, G.D.; Medrano, H.; 2013. Diffusional conductances to CO₂ as a target for increasing

- photosynthesis and photosynthetic water-use efficiency." *Photosynthesis research* 117.1-3: p.45-59.
- Fuentes, S., De Bei, R., Pech, J., Tyermen, S. 2012. Computational water stress indices obtained from thermal image analysis of grapevine canopies. *Irrig. Sci.* 30, p.523–536.
- Genty, B., Briantais, J-M., Baker, N.R. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica and Biophysica Acta* 990: p.87-92.
- Girona, J. et al. 2006 The use of midday leaf water potential for scheduling deficit irrigation in vineyards. *Irrigation Science*, New York, v.24, n.2, p.115-127.
- Goldhamer, D.A., Fereres, E. 2001. Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrig. Sci.* 20:115-125.
- Gurovich, L.; Pérez, C. 2004. Influencia del riego deficitario controlado sobre el desarrollo de las bayas y la composición química de los mostos y vinos. *Ciencia e Investigación Agraria*, Santiago, v.31, n.3, p.175-786, set./dez.
- Hargreaves, G.H.; Samani, Z.A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, St Joseph, v.1 n.2, p.96–99, 1985.
- Hommel, R.; Siegwolf, R.; Saurer, M.; Farquhar, G. D.; Kayler, Z.; Ferrio, J. P.; Gessler, A. 2014. Drought response of mesophyll conductance in forest understory species – impacts on water-use efficiency and interactions with leaf water movement. *Physiologia Plantarum*, v. 152, n. 1, p. 98-114.
- Hsiao, T.C. 1990. Measurements of plant water status. In: *Irrigation of Agricultural Crops*. Madison: American Society of Agronomy, p.243-279.
- IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola. Rio de Janeiro v.29 n.11 p.1-85 novembro 2015. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br>. Acesso em: 29 de ago. 2018.
- Idso, S. B. 1982. Non-water-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. *Agricultural Meteorology* n.27: p. 59-70.
- Idso, S.B.; Jackson, R.D.; Pinter Junior, P.J.; Reginato, R.J.; Hatfield, J.L. 1981 Normalizing the stress degree day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology*, v.24, p.45-55.
- IPCC. Climate change 2014: mitigation of climate change. In: *Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental*

- Panel on Climate Change, (eds Edenhofer, O.; Pichs-Madruga, R.; Sokona, Y.; Farahani, E.; Kadner, S.; Seyboth, K.; Adler, A.; Baum, I.; Brunner, S.; Eickemeier, P.; Kriemann, B.; Savolainen, J.; Schlomer, S.; Von Stechow, C.; Zwickel, T.; Minx, J. C). Cambridge University Press, Cambridge, U. K.
- Jackson, M.L. 1965. Soil chemical analysis. Prentice Hall, 498p.
- Jackson, R.D. 1982. Canopy temperature and crop water stress: *Water Resour. Journal of Experimental Botany*, 132:67-77.
- Jackson, R.D.; Idso, S.B.; Reginato, R.J.; Pinter Junior, R.J. 1981. Canopy temperature as crop water stress indicator. *Water Resources Research*, v.17, p.1133-1138.
- Jazayeri, S. M.; Rivera, Y. D.; Camperos-Reyes, J. E.; Romero, H. M. 2015. Physiological effects of water deficit on two oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) genotypes. *Agronomía Colombiana*, v. 33, n. 2, p. 164-173.
- Kavanagh, K. L; Pangle, R; Schotzko, A. D. 2007. Nocturnal transpiration causing disequilibrium between soil and stem predawn water potential in mixed conifer forests of Idaho. *Tree Physiology*, Victoria, v.27, p.621-629.
- Kavanagh, K. L; Pangle, R; Schotzko, A. D. 2007. Nocturnal transpiration causing disequilibrium between soil and stem predawn water potential in mixed conifer forests of Idaho. *Tree Physiology*, Victoria, v.27, p.621-629.
- Kirkhan, M.B. 2014. Principles of soil and water plant relations. San Diego: Academic. Press. P.500.
- Köppen, W. 1948. Climatologia: com um estúdio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Economica, p.478.
- Mansfield, T.A.; Hetherington, A. M.; Atkinson, C.J. 1990. Some current aspects of stomatal physiology. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 41: p.55-75
- Marinho, L. M. Rodrigues, J. J. V., Soares, J. M., Lima, M. A. C. L., Moura, M. S. B., Silva, T. G. F., Calgaro, M. 2009. Produção e qualidade da videira 'Superior Seedless' sob restrição hídrica na fase de maturação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.44, n.12, p.1682-1691, dez.
- Matthews, J. S. A.; Silvere, R. M.; Vialet-Chabrand; Tracy, L. 2017. "Diurnal variation in gas exchange: the balance between carbon fixation and water loss." *Plant physiology* 174.2, p. 614-623.
- Maxwell, K., Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence - a practical guide.

- Mello, L.M.R.de. Panorama da vitivinicultura brasileira em 2014. Campo & Negócios, 12 abril 2015. Disponível em <<http://www.revistacampoenegocios.com.br>>. Acesso em 20 ago. 2018.
- Mello, L.M.R.de. Panorama da vitivinicultura brasileira em 2014. Campo & Negócios, 12 abril 2015. Disponível em <<http://www.revistacampoenegocios.com.br>>. Acesso em 15 ago. 2018.
- Mitchell, P. J.; O'grady, A. O.; Tissue, D. T.; white, D. A.; Ottenschlaeger, M. L.; pinkard, E. A. 2013. Drought response strategies define the relative contributions of hydraulic dysfunction and carbohydrate depletion during tree mortality. *New Phytologist*, v. 197, p. 862–872.
- Myburgh, P. A. 2003. Responses of *vitis vinifera* L. cv. Sultanina to water deficit during various pre and post-harvest phases under semi-arid conditions. *South African Journal Enology and Viticulture*, v.24, p.25-33.
- Nascimento, P. S.; Bassoi, L. H.; Paz, V. P. S. Planilha eletrônica para auxílio à tomada de decisão em manejo de irrigação localizada: Aplicação no cultivo da videira. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/256715/1/OPB2406.pdf>. Acesso em: 06 fev. 2019.
- OIV, International Organization of Vine and Wine. Statistical report of world vitiviniculture. Paris, 2014. 28 p. Disponível em: <<http://www.oiv.int>>. Acesso em 4 nov. 2018.
- OIV, International Organization of Vine and Wine. Statistical report of world vitiviniculture. Paris, 2015. 15 p. Disponível em: <<http://www.oiv.int>>. Acesso em 4 nov. 2018.
- Ojeda, H. 2007. Rega qualitativa de precisão da vinha. *Revista Internet de Viticultura e Enologia*, p.1-10.
- Ortuño, M.F., Alarcón, J.J., Nicolás, E., Torrecillas, A. 2004. Comparison of continuously recorded plant-based water stress indicators for young lemon trees. *Plant and Soil*, 267:263-270.
- Patakas, A.; Noitsakis, B.; Chouzouri, A. 2005. Optimization of irrigation water use in grapevines using the relationship between transpiration and plant water status. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Amsterdam, v.106, p.253-259.

- Pereira, L. S., Allen, R. A., Smith, M., Raes, D. 2015. Crop evapotranspiration estimation with FAO 56: past and future. *Agric. Water Manage.* 147 (1), p.4–20.
- Peters, J.B. 2005. Wisconsin procedures for soil testing, plant analysis and feed e forage analysis: Plant analysis. Department of Soil Science, college of agriculture and life sciences, University of Wisconsin-Extension, Madison. https://uwlab.soils.wisc.edu/wpcontent/uploads/sites/17/2015/09/plant_icp.pdf > Acesso em 05/12/2018.
- Poni S.; Intrieri C.; Silvestroni O. 1994. Interactions of leaf age, fruiting, and exogenous cytokinins in Sangiovese grapevines under non-irrigated conditions. I. Gas exchange. *American Journal for Enology and Viticulture.* v.45, p.71-80.
- Protas, J. F. S. Um balanço da Viticultura Mundial em 2014, Brasil, 2015, 2 p. Disponível em <<http://www.embrapa.com.br>>. Acesso em: 29 de set. 2018.
- Reichardt, K. (1987). A água em sistemas agrícolas. Sao Paulo: Manole. p.188.
- Ripullone, F., Rivelli, A.R., Baraldi, R., Guarini, R., Guerrieri, R., Magnani, F., Peñuelas, J., Raddi, S., Borghetti, M. 2011. Effectiveness of the photochemical reflectance index to track photosynthetic activity over a range of forest tree species and plant water status. *Funct. Plant Biol.*, 38, 177–186.
- Romero P., Gil-Muñoz R., del Amor F. M., Valdés E., Fernández J. I., Martínez-Cutillas A. 2013. Regulated deficit irrigation based upon optimum water status improves phenolic composition in Monastrell grapes and wines. *Agric. Water Manage.* 121 85–101. 10.1016/j.agwat.2013.01.007
- Sakuratani, T. 1981. A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants. *J. Agr. Met.* 37: p. 9-17.
- Santos, T. P; T. P. Santos; C. M. Lopes; M. L. Rodrigues; C. R. Souza; J. M. Silva; J. P. Maroco; J. S. Pereira; M. M. Chaves. 2007. Effects of deficit irrigation strategies on cluster microclimate for improving fruit composition of moscatel field-grown grapevines. *Scientia Horticulturae*, v.112, p.321–330.
- Schultz, H. R.; Mathews, M. A. 1988. Vegetative growth distribution during water deficits in *Vitis vinifera* L. *Australian Journal of Plant Physiology*, v. 15, p.641-656.

- Sepaskhah, A. R.; Kashefipour, S. M. 1994. Relationships between leaf water potential, CWSI, yield and fruit quality of sweet lime under drip irrigation. *Agricultural Water Management*, v. 25: p. 13-21.
- Shackel, K.A., Ahmadi, H., Biasi, W. 1997 Plant water status as an index of irrigation need in deciduous fruit trees. *Hort. Technology*, 7(1):23-29.
- Silva, V. P. R.; Filho, A. F. B.; Silva, B. B.; Campos, J. H. B. C. 2005. Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 547-553.
- Soar, C. J.; Loveys, B. 2007. The effect of changing patterns in soilmoisture availability on grapevine root distribution, and viticultural implications for converting full-cover irrigation into a point-source irrigation system. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, Adelaide, v.13, n.1, p.2-13.
- Soares, J. M.; Leao, P. C. S. 2009. A VITICULTURA no semiárido brasileiro. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina: Embrapa Semi-Árido. 756p.
- Sofo, A., Nuzzo, V., Tataranni, G., Manfra, M., De Nisco, M., Scopa, A. 2012. Berry morphology and composition in irrigated and non-irrigated grapevine (*Vitis vinifera* L.). *J. Plant Physiol.* v.169, p.1023-1031.
- Sorrentino, G.; Haworth, M.; Wahbi, S.; Mahmood, T.; Zuomin, S.; Centritto, M. 2016. Abscisic acid induces rapid reductions in mesophyll conductance to carbon dioxide. *Plos One*, v. 2, n. 11, p. 1-14.
- Souza, C. R.; Bassoi, L. H.; Lima Filho, J. M. P.; Silva, F. F. S.; Viana, L. H.; Dantas, B. F.; Pereira, M. S.; Ribeiro, P. R. A. 2009. Water relations of field-grown grapevines in the São Francisco Valley, Brazil, under different rootstocks and irrigation strategies. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 66, n. 4, p. 436-446.
- Souza, T. P. A. 2010. Efeitos da disponibilidade hídrica na fisiologia e produção de *vitis vinifera* L. Na região demarcada do douro Tese (Doutorado em Ciências Agrônômicas) – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy, A. 2017. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6ª edição. Artmed Editora.
- Teixeira, A.H. de C.; Tonietto, J.; Pereira, G.E.; Angelotti, F. 2012. Delimitação da aptidão agroclimática para videira sob irrigação no Nordeste Brasileiro. *Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.16, n.4, p.399–407.

- Van Kooten, O. & Snel, J.F.H. 1990. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. *Photosynthesis Research* 25: p.147-150.
- Vaz, M., Coelho, R., Rato, A., Samara-Lima, R., Silva, L.L., Campostrini, E., Mota, J.B. 2016. Adaptive strategies of two Mediterranean grapevines varieties (Aragonez syn. Tempranillo and Trincadeira) face drought: physiological and structural responses. *Theor. Exp. Plant Physiol.* 28(2), p.205-220.
- Vitoria, A. P.; Vieira, T. O.; Camargo, P. B.; Santiago, L. S. 2011). Using leaf $\delta^{13}C$ and photosynthetic parameters to understand acclimation to irradiance and leaf age effects during tropical forest regeneration. *Forest Ecology and Management* 379: p.50-0.