

LUCIANA CORREA MORAES

**POTENCIAL HÍDRICO NO XILEMA COMO FERRAMENTA DE MANEJO DE  
IRRIGAÇÃO DO FEIJOEIRO COMUM**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Ricardo da Silva

UBERLÂNDIA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

M827p      Moraes, Luciana Correa, 1994  
2019      Potencial hídrico no xilema como ferramenta de manejo de irrigação  
do feijoeiro comum [recurso eletrônico] / Luciana Correa Moraes. -  
2019.

Orientador: Cláudio Ricardo da Silva.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.  
Modo de acesso: Internet.  
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.1322>  
Inclui bibliografia.  
Inclui ilustrações.

1. Agronomia. 2. Feijão - Irrigação. 3. Irrigação agrícola. 4. Plantas e  
água. I. Silva, Cláudio Ricardo da, 1974, (Orient.) II. Universidade  
Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III.  
Título.

---

CDU: 631

Angela Aparecida Vicentini Tzi Tziboy – CRB-6/947

LUCIANA CORREA MORAES

POTENCIAL HÍDRICO NO XILEMA COMO FERRAMENTA DE MANEJO DE  
IRRIGAÇÃO DO FEIJOEIRO COMUM

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia –  
Mestrado, área de concentração em Fitotecnia, para  
a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 27 de fevereiro de 2019.

Prof. Dr. Roberto Terumi Atarassi

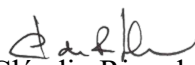
UFU

Prof. Dr. Júlio César Neves dos Santos

IFTM

Prof. Dr. Márcio José de Santana

IFTM

  
Prof. Dr. Cláudio Ricardo da Silva  
ICIAG-UFU  
(Orientador)

UBERLÂNDIA

2019

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por permitir a realização desse sonho.

À CAPES pelo fomento da bolsa.

Aos meus pais Moraes e Maria de Lourdes e aos meus irmãos, que sempre me incentivaram e ajudaram não somente nas atividades dessa dissertação, mas em cada escolha; de modo especial à minha irmã Fernanda.

Ao meu sobrinho Guilherme, que, mesmo sem entender, me fez companhia nas horas de escrita.

Ao meu orientador Cláudio Ricardo da Silva.

Aos professores Mauricio Martins e Márcio José de Santana por me doarem as sementes de feijão.

Aos professores integrantes da banca examinadora por aceitarem o convite e disponibilizarem parte de seu tempo para avaliação desse trabalho.

À professora Maria Cristina pelo empréstimo de equipamento.

Aos colegas de UFU Camila, Gabriella, Leandro, Lidiane, Melissa, Mikael, Morgana, Roxanna, Valdiney e Victor por me auxiliarem na condução do experimento, nas dúvidas estatísticas e ao longo da escrita desse trabalho.

Aos meus amigos, que nas horas difíceis sempre tinham uma palavra de apoio.

Aos meus familiares, que muitas vezes me ampararam nas horas difíceis, oferecendo palavras de conforto e estadia.

A todos aqueles que me ajudaram de uma forma ou de outra na realização desse trabalho.

## RESUMO

MORAES, Luciana Correa. **Potencial hídrico no xilema como ferramenta de manejo de irrigação do feijoeiro comum**. 2019. 31p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.<sup>1</sup>

Ainda há poucos parâmetros estabelecidos para a irrigação de culturas anuais usando o potencial hídrico no xilema. O objetivo deste trabalho foi determinar o limite do potencial hídrico do feijoeiro, no qual o crescimento vegetativo e a produtividade não são limitadas. Quatro experimentos foram implantados em 4 de julho de 2018, na Fazenda Experimental Capim Branco em Uberlândia, Brasil. Foram semeadas as cultivares de feijão carioca BRS Cometa, BRS Estilo, BRS Madrepérola, BRSMG Majestoso e BRSMG Uai, que são os fatores avaliados, em cada experimento sob delineamento de blocos casualizados. Aos 34 dias após a semeadura foi induzida no experimento T1 a irrigação realizada todos os dias, no T2 a cada dois dias, no T3 a cada quatro dias e no T4 a cada dez dias. Essas irrigações foram mantidas pelo restante do ciclo da cultura. Foi monitorado semanalmente o potencial hídrico do xilema no início da manhã (entre 7h e 9h) em uma planta por parcela durante todo o ensaio. Também foi aferido o potencial hídrico antes do amanhecer (entre 4h e 6h) nos dias 55 e aos 70 dias após a semeadura com o auxílio de uma câmara de pressão de Scholander. Foram avaliadas também a altura de planta, diâmetro de caule, massa das plantas, número de grãos, número de vagens totais, massa de 100 grãos, duração do ciclo da cultura e a produção em gramas por planta. As análises estatísticas foram realizadas através da análise conjunta a 0,01 (1%) e 0,05 (5%) de significância pelo teste de Tukey. Quando irrigada todos os dias a produção foi 49% maior do que o turno de rega de 10 dias. A produtividade começa a ser reduzida quando o potencial está entre -0,53 e -0,68 MPa.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris* L.; Estado hídrico; Manejo de irrigação via planta; Indicador.

---

<sup>1</sup>Orientador: Cláudio Ricardo da Silva – UFU.

## ABSTRACT

MORAES, Luciana Correa. **Water potential in xylem as irrigation management of common bean.** 2019. Dissertation (Master Program Agronomy/Crop Science) – Federal University of Uberlândia.<sup>1</sup>

There are still few established parameters for the irrigation of annual crops using the water potential in xylem. The objective of this research was to determine the limit of the water potential of common bean, in which vegetative growth and productivity are not limited. Four experiments were implemented on July 4<sup>th</sup>, 2018 at the Capim Branco University Farm in Uberlândia, Brazil. BRS Cometa, BRS Style, BRS Madrepérولا, BRSMG Majestoso and BRSMG Uai were cultivated, which are the factors evaluated in each experiment under a randomized complete block design. At 34 days after sowing, T1 experiment was induced to daily irrigation, T2 to an every-two-day irrigation, T3 to an every-four-day irrigation and T4 to an every-ten-day irrigation. These irrigations were maintained for the rest of the crop cycle. The water potential in xylem was monitored weekly in early morning (between 07:00 and 09:00) in one plant per plot throughout the trial. Pre-dawn water potential (between 04:00 and 06:00) was also checked on days 55 and 70 after sowing with the help of a Scholander pressure chamber. Plant height, stem diameter, plant mass, number of grains, number of total pods, mass of 100 grains, duration of the crop cycle and yield in grams per plant were also evaluated. Statistical level were performed through a 0.01 (1%) and 0.05 (5%) significance analysis by Tukey test. When irrigated every day the yield was 49% greater than the 10-day irrigation interval. Productivity begins decreasing when the potential is between -0.53 and -0.68 MPa.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L .; Water status; Irrigation management by plant; Indicator.

---

<sup>1</sup>Major professor: Cláudio Ricardo da Silva – UFU.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	REVISÃO DE LITERATURA .....	2
2.1	Potencial hídrico da água .....	2
2.2	Componentes do potencial hídrico na planta .....	3
2.3	Medição do potencial hídrico do xilema pela câmara de pressão.....	4
2.3.1	Princípio de funcionamento.....	4
2.3.2	Impactos do potencial hídrico na planta .....	5
2.3.3	Variabilidade nas medições do potencial hídrico .....	7
2.4	Uso da câmara no manejo de irrigação .....	9
2.4.1	Plantas perenes .....	9
2.4.2	Plantas anuais .....	9
2.5	Estresse hídrico no feijoeiro .....	10
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1	Instalação do experimento .....	12
3.2	Sistema de irrigação .....	14
3.3	Dados meteorológicos.....	16
3.4	Características dos tratamentos.....	16
3.5	Avaliações.....	16
3.5.1	Potencial hídrico.....	16
3.5.2	Altura da planta .....	17
3.5.3	Diâmetro do caule da planta .....	17
3.5.4	Massa seca da planta.....	17
3.5.5	Número de vagens por planta .....	17
3.5.6	Número de vagens abortadas.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.5.7	Número de grãos por planta .....	17
3.5.8	Massa de 100 grãos .....	18
3.5.9	Duração do ciclo.....	18
3.5.10	Produção .....	18
3.6	Análises estatísticas .....	18
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	18
4.1	Dados meteorológicos.....	18
4.2	Caracteres fisiológicos .....	20
4.3	Caracteres vegetativos .....	22
4.4	Caracteres reprodutivos .....	24
5	Conclusões.....	27

REFERÊNCIAS .....	28
APÊNDICE .....	35



## 1 INTRODUÇÃO

O feijoeiro é um dos alicerces da alimentação brasileira, sendo reconhecido como excelente fonte de proteínas e ferro (MOURA; BRITO, 2015). Seu plantio ocorre durante todo o ano graças ao uso de irrigação, permitindo que haja plantio em lugares e em épocas nos quais antes não era possível. A irrigação possibilita a redução dos riscos durante a segunda época de plantio, conhecido como plantio da seca, além do mais permitiu o surgimento de uma nova safra, o plantio na época de inverno, que é obrigatoriamente irrigada no centro-sul brasileiro, devido à escassez de chuvas na condução da cultura nas áreas plantadas (STONE; SILVEIRA, 2001). No Brasil, no ano agrícola 2017/2018, a área plantada para essa terceira safra de feijão foi de 589 mil hectares (CONAB, 2018).

O advento das discussões ambientais trouxe à tona as problemáticas a respeito da quantidade de água utilizada na agricultura. Segundo a FAO (2017), o Brasil é o nono país com a maior área irrigada do mundo. A irrigação corresponde a 67% do consumo de água no Brasil utilizando cerca de 745 mil m<sup>3</sup> de água por segundo em um perímetro irrigado de 6,95 milhões de hectares (ANA, 2017).

Todo esse consumo não é totalmente disponibilizado para as plantas devido a perdas por vazamentos no sistema ou até mesmo por irrigação em excesso. No feijoeiro, a falta de água pode causar queda das flores, vagens sem nenhum grão formado e grãos pequenos. Em contrapartida, o excesso proporciona condições para reprodução de patógenos como o *Fusarium* (ANDRADE *et al.*, 2015).

O manejo da irrigação entra como uma forma de emprego racional do uso da água, evitando assim tanto o excesso quanto o déficit hídrico. Alguns dos métodos mais utilizados no manejo da irrigação são baseados na atmosfera, onde equações empíricas são utilizadas para calcular a evapotranspiração das culturas.

Entre os métodos via solo, o mais utilizado são os tensiômetros, que indicam o potencial matricial do solo. Essas duas vias são limitadas por mostrarem de forma indireta o estado hídrico das plantas. O ideal seria monitorar o grau de deficiência hídrica na própria planta (SILVEIRA *et al.*, 2015).

Entre os métodos via planta, o potencial hídrico das folhas e do xilema é considerado pelos fisiologistas uma das formas mais confiáveis de se obter o status hídrico das plantas. Para sua mensuração utiliza-se a câmara de pressão de Scholander. Seu princípio de funcionamento é a aplicação de um gás inerte no material avaliado até que ocorra exsudação de seiva, ocorrendo, assim, equilíbrio entre a pressão externa e dentro dos vasos condutores

das plantas. Suas principais limitações são o custo na aquisição do equipamento e as recargas desse gás durante o uso do equipamento.

Tendo em vista os elevados custos de aquisição e manutenção da tradicional câmara de pressão de Scholander, modelos alternativos de baixo custo foram apresentados no mercado. A marca PMS Instruments entrou no mercado com modelo PumpUP, dez vezes mais barato que o modelo convencional. Este modelo é inovador por gerar a pressão necessária através de bombeamento manual de um pistão, podendo atingir até 2 MPa. Por apresentar leituras similares aos tradicionais, é promissor na popularização da técnica para uso no manejo da irrigação (GALVEZ-PAVEZ *et al.*, 2011).

Na literatura é possível encontrar trabalhos usando o potencial hídrico como indicador do momento de irrigar principalmente em culturas perenes. Para culturas anuais, Chastain *et al.* (2016) demonstraram que o potencial hídrico é uma ferramenta eficiente para saber o momento de irrigar no algodão. Cui *et al.* (2015) chegaram à mesma conclusão para a cultura do trigo. Assim, fazem-se necessários estudos e testes da técnica para outras culturas, como o feijoeiro.

Sabendo da incipiência de estudos nessa área, o objetivo deste trabalho foi utilizar os turnos de rega no manejo da irrigação e determinar qual é o potencial hídrico no xilema crítico do feijoeiro.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Potencial hídrico da água**

A água se move dentro do sistema terrestre de acordo com o gradiente de energia (MONSON; BALDOCCHI, 2014). A quantidade de energia livre (em joule) por mol de água define o potencial químico da água ( $\mu_w$ ), que é uma medida da capacidade de uma substância se mover (HOPINKS; HÜNER, 2008). Assim, a água move-se de uma região de maior para uma região de menor potencial químico. Tanto para a água, quanto para qualquer outra substância, o potencial químico é claramente dependente de vários fatores, como a concentração de solutos, a pressão e o efeito da gravidade (KERBAURY, 2008). Por convenção, o potencial químico da água pura, a temperatura e a pressão atmosférica padrão são zero ( $\mu_w^0$ ) (MONSON; BALDOCCHI, 2014). A dimensão em que o potencial químico da água em uma solução difere do potencial químico da água pura, por unidade de volume, define o potencial hídrico ( $\Psi$ ). Matematicamente, pode ser expresso como:

$$\Psi = \frac{\mu_w - \mu_w^0}{V_w}$$

Em que,

$\psi$ , potencial de água ( $\text{J m}^{-3}$ )

$\mu_w$ , potencial químico da solução aquosa ( $\text{J mol}^{-1}$ )

$(\mu_w^0)$ , potencial químico da água pura ( $\text{J mol}^{-1}$ )

$V_w$ , volume parcial molar, que é o volume ocupado por 1 mol de água ( $\text{m}^3 \text{mol}^{-1}$ )

O conceito de potencial hídrico tem sido amplamente aceito porque evita a dificuldade de medir a atividade química, uma vez que o potencial hídrico pode ser medido em unidades de pressão, pois dimensionalmente tem-se:  $\text{J m}^{-3} = \text{N m}^{-2} = \text{Pa}$  (PERES, 2006).

Na literatura, os potenciais hídricos na planta comumente têm sido expressos em MPa ( $10^6 \text{ Pa}$ ). A água na maioria dos sistemas biológicos tem potencial hídrico menor que a água pura, resultando em valores negativos (BEADLE *et al.*, 1993; HOPINKS; HÜNER, 2008).

## 2.2 Componentes do potencial hídrico na planta

O potencial hídrico em uma folha ( $\Psi_f$ ) consiste de quatro componentes principais: a) potencial osmótico ( $\Psi_\pi$ ), em função da presença de solutos dissolvidos nas células; b) potencial de pressão ( $\Psi_p$ ), devido à diferença na pressão hidrostática do meio em relação à pressão atmosférica de referência; c) potencial gravitacional ( $\Psi_g$ ) devido à ação da força gravitacional; e d) potencial matricial ( $\Psi_m$ ), devido à adsorção que partículas (superfícies) exercem em contato com a água. Três componentes (soluto, gravidade e matricial) reduzem o potencial hídrico, enquanto que o componente pressão pode aumentar ou diminuir o potencial hídrico (BEADLE *et al.*, 1993).

O potencial matricial tem importância relevante na água do solo, no qual as partículas e a matéria orgânica podem interagir com a molécula de água.  $\Psi_m$  reduz a energia livre da água, pois a força de atração reduz a mobilidade da água, portanto, diminui o potencial hídrico. Entretanto, na planta, sua contribuição é relativamente pequena quando comparada com os potenciais de pressão e osmótico (KERBAURY, 2008).

A água move-se pela planta sob ação da força gravitacional que resiste a sua ascensão, reduzindo a energia livre da água (BEADLE *et al.*, 1993). Porém, sua contribuição é

insignificante dentro das raízes e folhas com até 5 m de altura, mas se torna significativo para movimentos de água em árvores altas (KERBAURY, 2008).

A adição de solutos na água irá reduzir a energia livre devido à redução da mobilidade da água à medida em que são atraídas pelos solutos (MONSON; BALDOCCHI, 2014).

Em plantas herbáceas, a pressão exercida pela parede celular nas células, conhecida como turgor, tem grande importância na manutenção do hábito ereto. Assim, a perda de turgor resulta em murchamento foliar (KERBAURY, 2008). O  $\Psi_p$  pode assumir valores negativos (conhecidos como tensão) quando a pressão está abaixo da atmosfera. Isso ocorre com frequência em elementos do vaso do xilema de plantas transpirando. Essas pressões negativas são muito importantes no movimento da água a longas distâncias através da planta (KERBAURY, 2008).

O monitoramento do potencial hídrico nas plantas ocorre normalmente nas folhas, pois é a diferença de pressão entre as folhas e raízes que permite que a água ascenda do solo para o ápice por meio do xilema, vencendo, assim, a força da gravidade e, em teoria, quanto maior é a transpiração, maior é a diferença de potencial e maior é o carreamento de água (JARVIS, 1976; TURNER, 1988).

O potencial hídrico pode ser medido por psicrômetro ou com ajuda da câmara de pressão. O psicrômetro deve ser utilizado somente em laboratório, uma vez que as temperaturas diferindo em mais de 0,001°C em qualquer parte do equipamento causam perdas da precisão de suas leituras. A câmara não apresenta essa limitação e por isso é amplamente usada em pesquisa, podendo ser levada ao local de avaliação (BOYER, 1995).

Segundo revisão feita por Turner (1988), Dixon em 1914 foi o primeiro a usar a câmara, mas como não era um equipamento seguro foi popularizada somente depois da década de 60, quando Scholander e colaboradores desenvolveram o modelo atual.

## **2.3 Medição do potencial hídrico do xilema pela câmara de pressão**

### **2.3.1 Princípio de funcionamento**

Scholander *et al.* (1965) propuseram uma técnica para a medição do potencial hídrico via utilização de uma câmara de pressão. Devido à evaporação da água nas células das folhas aliada a resistências ao transporte de água do solo para as folhas, uma pressão hidrostática negativa (tensão) se forma no xilema, que é transmitida para as regiões inferiores da planta até as raízes, uma vez que a coluna de água é contínua. Cortando-se o ramo de uma planta que

esteja transpirando, a seiva do xilema recua para o interior do vaso devido à tensão a que ela estava submetida. Scholander *et al.* (1965) sugeriram que pressurizando a folha até que a seiva possa emergir na extremidade cortada do ramo seria equivalente à tensão que existia na água presente no xilema.

Como o potencial osmótico na seiva do xilema, geralmente, é maior que  $-0,02\text{MPa}$  (BEADLE *et al.*, 1993), ou seja, bem diluído, contribui muito pouco com plantas que transpirem rapidamente (KERBAURY, 2008). Pimenta (2008) evidência o fato de que o potencial hídrico na base de uma planta é menos negativo que no topo.

Atualmente, alguns dos fabricantes dessas câmaras realizam leituras de até  $80\text{MPa}$ , sendo elas as empresas: Skye Instruments (Llandrindod Wells, Reino Unido, [skyeinstruments.com](http://skyeinstruments.com)), a Soilmoisture Equipment Corp. (Califórnia, Estados Unidos, [soilmoisture.com](http://soilmoisture.com)) e a PMS Instrument Company (Albany, Estados Unidos, [pmsinstrument.com](http://pmsinstrument.com)), sendo que esta última merece destaque por lançar a Pump-up Chamber®, que foi projetada para medição de potenciais sem a utilização de gás comprimido e com medidas até  $-2,0\text{MPa}$ , o que atende a maioria das plantas cultivadas para fins de irrigação. Segundo a empresa PMS Instrument Company, a geração da pressão da câmara é pelo bombeamento manual do aparelho, apresentando maior praticidade no campo por não necessitar de recarga dos tanques de ar comprimido, com custo inicial até dez vezes menor que as câmaras tradicionais.

Para as leituras serem precisas, vários cuidados devem ser tomados. A leitura deve ser imediata ou utilizando filmes plásticos, a fim de evitar a perda de água nas amostras, pois a perda de água nos primeiros segundos após a separação pode levar a uma redução do potencial de água em  $0,7\text{MPa}$  em folhas (TURNER; LONG, 1980). A condensação de água na amostra antes da medição deve ser prevenida, pois as gotas de água livre na folha podem aumentar o potencial da água em  $0,1$  a  $0,2\text{MPa}$ . A porção da folha, raiz ou pecíolo externo ao vedante deve ser mínima para reduzir os erros na leitura. A pressurização da câmara deve ser lenta ( $0,003$  a  $0,005\text{MPa s}^{-1}$ ). Para além de obter leituras mais precisas, evita grandes mudanças de temperatura na câmara (TURNER, 1988).

### **2.3.2 Impactos do potencial hídrico na planta**

Além da essencialidade do conceito de potencial hídrico como um fator que governa o transporte de água no sistema solo-planta-atmosfera, ele é importante também como medida do estado de hidratação das plantas (KERBAURY, 2008). A medição do potencial de água da

planta é importante não só devido ao seu papel na determinação das respostas das plantas à seca e outros fatores de estresse, mas também por sua influência em processos metabólicos, incluindo o crescimento da planta. Foi percebido que as plantas diferem substancialmente no grau em que regulam a transpiração para manter um balanço hídrico adequado ao longo das variações diurnas e sazonais (MARTÍNEZ-VILALTA; GARCIA-FORNER, 2017).

Jones (2008) mostra que os estômatos ocupam uma posição central nas vias, tanto para a perda de água das plantas, como para a troca de CO<sub>2</sub>, ocorrendo alta correlação da condutância estomática com o potencial hídrico na planta. Assim, quando ocorre maior transpiração, menor é o potencial hídrico.

A classificação iso/anisohídrica é baseada na capacidade de regulação do potencial hídrico foliar. Espécies isohídricas são aquelas que se mantêm relativamente estáveis à medida que as condições ambientais mudam, enquanto as espécies anisohídricas rastreiam as flutuações ambientais na disponibilidade de água. As espécies isohídricas possuem um controle estomático mais rigoroso, fechando estômatos mais cedo, dependendo mais das reservas de hidratos de carbono para atender às demandas de carbono e, como resultado, sendo mais propensas a morrer de fome de carbono. No outro extremo, espécies anisohídricas fecham estômatos mais tarde, apresentando potenciais hídricos menores sendo mais vulneráveis a falhas hidráulicas (MARTÍNEZ-VILALTA; GARCIA-FORNER, 2017).

Brodribb e Buckley (2018) expõem que os estômatos impedem que o potencial hídrico nas folhas ativamente transpiradas caia muito abaixo de -2 MPa antes dos estomas fecharem. Como os estômatos corregulam a fotossíntese e a transpiração, ocorrem reduções na taxa de absorção de CO<sub>2</sub> em condições de atmosfera ou solo com baixa umidade, sendo um custo colateral associado ao fechamento estomático em resposta à queda da disponibilidade hídrica.

Além do fechamento dos estômatos, a queda do potencial hídrico das folhas provoca a perda da turgescência, a redução da transpiração cuticular, a abscisão foliar e crescimento acentuado das raízes em direção às regiões mais úmidas do solo, fazendo assim, que as raízes recebam uma maior proporção desses fotoassimilados, sustentando seu crescimento que é preferencial (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Faver *et al.* (1996), examinando a resposta da taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> à concentração de CO<sub>2</sub> intercelular com a redução do potencial hídrico, identificaram mudanças nos processos de assimilação no cloroplasto sugerindo que os cloroplastos envolvidos nos processos de regeneração Rubisco e RuP2 são muito sensíveis ao estresse hídrico no algodão.

No feijoeiro comum, Von Caemmerer e Farquhar (1984) sugeriram que a atividade de Rubisco e a capacidade de regeneração de RuP ~ podem diminuir quando o estresse hídrico se desenvolve lentamente, resultando em menor capacidade de assimilação.

A redução do potencial hídrico normalmente resulta em uma diminuição no crescimento celular, na formação de foto clorofila e na redução da fotossíntese, afetando assim a produtividade das mesmas (SALISBURY; ROSS, 2012). Mas vários estudos sugerem que, quando essa redução é sutil, pode ser benéfica, aumentando a eficiência no uso da água.

### **2.3.3 Variabilidade nas medições do potencial hídrico**

As condições meteorológicas (radiação solar, temperatura e déficit de pressão de vapor), a espécie e o cultivar a ser estudado, local da medida (folha, xilema e raiz) e o horário de avaliação afetam o potencial hídrico (WILLIAMS; BAEZA, 2007). Em plantas bem hidratadas, o potencial hídrico da planta varia de -0,2 a cerca de -1,0 MPa em plantas herbáceas e -2,5 MPa em árvores e arbustos. Essas condições variam consideravelmente, podendo ser encontrado em condições extremas potenciais abaixo de -10,0 MPa (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Martínez-Vilalta *et al.* (2014) também avaliaram potenciais de 102 espécies de clima temperado, mediterrâneo, tropical e seco. As espécies estudadas apresentaram potenciais hídricos mínimos de folha antes do amanhecer variando de -0,7 MPa a -11,4 Mpa. Essas variações são de origem filogenética e climáticas.

A regulação desses potenciais quando há déficit hídrico varia de acordo com a espécie: algumas que tendem manter esse potencial mesmo ocorrendo variações nas condições ambientais e outras acompanham essas flutuações (MARTÍNEZ-VILALTA; GÁRCIA-FORNER, 2017). Essas variações também podem ocorrer dentro de uma mesma espécie, como é o caso de algumas cultivares de uva (DOMEC; JONHSON, 2012; POU *et al.*, 2012; VANDELEUR *et al.*, 2009).

Durante o dia, o potencial hídrico oscila acompanhando as variações dos elementos meteorológicos. O potencial hídrico tem relação direta com o déficit de pressão de vapor (DPV), sendo considerado a força motriz da transpiração de plantas por Burkhardt, e Pariyar, (2016). Em tomateiro, Guichard *et al.* (2005) controlaram o DPV na França e identificaram que os potenciais na folha e no xilema diminuíram significativamente quando o DPV não foi controlado. Esses comportamentos também foram encontrados por Williams e Baeza (2007) e Zhang *et al.* (2017).

Sabendo dessas oscilações, vários autores tentaram identificar qual é a melhor localização para aferição do potencial. McCuthan e Shackel (1992), por exemplo, estudaram as medidas de potencial hídrico em ameixeiras nos Estados Unidos, e concluíram que as medidas realizadas no xilema, geralmente, eram menos variáveis do que na folha, tendo maior capacidade de detectar pequenas oscilações no potencial, além da sua sensibilidade e de sua previsibilidade relativa em relação ao DPV, considerando ainda que o potencial do xilema foi correlacionado ao uso da água da cultura e à condutância estomática. Esses resultados indicam que pequenas mudanças no potencial hídrico são um recurso útil na detecção de uma mudança progressiva no estado hídrico das plantas antes da ocorrência de quaisquer respostas ao estresse, como o fechamento dos estômatos.

Cole e Pagay (2015), sabendo do desencontro de informações sobre o momento de realizar as medições, em seu experimento utilizando videiras, em Oregon, Estados Unidos, submeteram as plantas a dois tipos de déficit controlado a 70 e 35% da evapotranspiração da cultura (ETc). As mensurações foram realizadas em seis datas durante o meio-dia (12h – 14h) no xilema e na folha, e durante a manhã (8h – 9h) no xilema. As medições consideram o xilema menos sensível às flutuações meteorológicas quando comparado a leituras diretamente das folhas. Em todas as avaliações, o potencial do xilema pela manhã apresentou diferença significativa entre os tratamentos, já o durante o meio-dia, o potencial do xilema apresentou diferença somente na última avaliação e o da folha em nenhuma avaliação. Paralelamente foi avaliado também o potencial do xilema pela manhã e o potencial da folha antes do amanhecer e apresentando uma alta correlação, concluindo assim que as leituras durante a manhã podem ser sim um horário a realizar as medições.

Williams e Araújo (2002), comparando o potencial hídrico das folhas antes do amanhecer com o potencial hídrico da folha do meio-dia e o potencial hídrico do xilema ao meio-dia em videiras cultivadas na Califórnia, Estados Unidos, concluíram que a medição de potencial hídrico das folhas antes do amanhecer pode fornecer uma boa estimativa do estado de umidade do solo. Contudo, também foi demonstrado que as medições ao meio-dia são altamente correlacionadas com a mudança sazonal no conteúdo de água no solo de tratamentos irrigados com diferentes quantidades de água, indicando que ao meio-dia o potencial também reflete a quantidade de água no perfil do solo.



## **2.4 Uso da câmera no manejo de irrigação**

As medidas de potencial hídrico na planta são essenciais para uma definição precisa do estado da água na planta. Além disso, esse status fornece, no meio científico, uma ferramenta poderosa para o manejo de culturas, bem como no planejamento de irrigação (JONES, 2007).

### **2.4.1 Plantas perenes**

Girona *et al.* (2006), com o objetivo de avaliar o uso do potencial hídrico na folha ao meio-dia como indicativo do momento da irrigação em videira na Espanha, verificaram que, usando o limite crítico no início da temporada de  $-0,6\text{MPa}$  e de  $-0,8\text{MPa}$  entre o estágio de crescimentos dos frutos até a colheita, houve uma melhor qualidade do suco da uva.

Ainda em frutíferas, Mirás-Avalos *et al.* (2016), verificando o uso potenciais hídricos no xilema ao meio-dia para áreas irrigadas sob plantas de pessegueiro na Espanha, indicaram que o potencial limiar para o estágio vegetativo foi de  $-1,8\text{MPa}$  e no desenvolvimento de frutos foi  $-2,0\text{MPa}$ , apresentando maior qualidade dos frutos e reduzindo o uso de água em até 68%. Em cultivos de oliveiras na Itália, Marino *et al.* (2018) realizaram avaliação fisiológicas dos níveis de estresse hídrico, por meio do potencial hídrico, propostos na literatura para essa cultura. Concluíram que no estresse moderado com potencial hídrico do xilema ao meio dia entre  $-2,0$  e  $-3,5\text{MPa}$ , a eficiência no uso da água aumenta sem causar danos ao aparato fotossintético de folha.

### **2.4.2 Plantas anuais**

Chastain *et al.* (2016) testaram a eficácia do potencial hídrico no planejamento de irrigação no algodoeiro nos Estados Unidos da América, sendo um dos únicos trabalhos com culturas anuais. O experimento foi implantado nos anos de 2013 e 2014. Até o estabelecimento da cultura, todas as plantas tiveram suas necessidades hídricas supridas. Os tratamentos foram totalmente irrigados e de sequeiro e sob três potenciais hídricos limiares na madrugada ( $-0,5$ ,  $-0,7$  e  $-0,9\text{MPa}$ ). No primeiro ano ocorreram chuvas suficientes para a cultura e não houve diferença na produtividade. No segundo ano, os tratamentos totalmente irrigados e  $-0,5\text{MPa}$  obtiveram as maiores produtividades mesmo com o potencial em  $-0,5\text{MPa}$ , reduzindo a quantidade de água utilizada em até 9%, concluindo assim que o potencial hídrico pode ser um meio eficaz de determinar a necessidade de irrigação no algodão sendo uma ferramenta no manejo da irrigação.

Na China, Cui *et al.* (2015) avaliaram o potencial hídrico antes do amanhecer das plantas de trigo bem hidratadas, que variaram entre  $-0,50$  e  $-0,70$  MPa, e também os efeitos na produtividade quando o potencial hídrico atingisse  $-1,20$  a  $-1,40$  e  $-1,80$  a  $-2,20$  MPa. Os tratamentos foram implementados durante a fase de perfilhamento e mantidos por 10 dias. As plantas submetidas a faixa de  $-1,20$  a  $-1,40$  MPa mantiveram altos rendimentos, enquanto submetidas aos menores potenciais, os rendimentos foram reduzidos por apresentarem menor número de espigas. A diminuição do potencial hídrico permitiu a melhora da capacidade fotossintética da planta durante a fase de perfilhamento, que foi relacionada aos graus de potencial hídrico e períodos de crescimento.

## 2.5 Estresse hídrico no feijoeiro

Dentro do ciclo do feijoeiro, há estádios onde há maior suscetibilidade ao déficit hídrico. Massignam *et al.* (1998) identificaram que esse período corresponde aos seis dias antes e seis dias após a floração no feijoeiro. Corroborando, Didonet e da Silva (2004) indicam que a prefloração e o florescimento são os estádios fenológicos mais sensíveis.

Ainda no enfoque de quando ocorre essa redução da água disponível, Oliveira *et al.* (2018) expõem que quando a ocorrência de deficiência hídrica é antes da germinação fará com que as sementes, ao invés de germinarem, apodreçam. Se ocorrer na emergência, as plântulas podem não romper o solo, diminuindo o estande. A estiagem no estágio vegetativo, tem efeito indireto na produtividade de grãos, por causa da redução no tamanho e no número de folhas. No reprodutivo, provocará o aborto e a queda de flores, reduzindo o número de vagens por planta. Durante o enchimento de grãos induzirá à queda das vagens recém-formadas podendo resultar também na redução da massa de grãos.

Como já exposto, o estresse moderado pode ser benéfico. No feijoeiro, Walkrin *et al.* (2005) compararam os efeitos da secagem parcial do sistema radicular nas relações hídricas no feijoeiro comum e observaram que as plantas conseguiram manter o potencial hídrico por quase todo o período de déficit. As plantas do feijoeiro nos primeiros sinais de estresse tendem à manutenção do potencial hídrico utilizando algumas ferramentas como o fechamento estomático e redução do crescimento (TREJO; DAVIES, 1991; RAMOS *et al.*, 1999).

França *et al.* (2000), avaliando as diferenças na resistência à seca entre quatro cultivares de *Phaseolus vulgaris* submetidas a um período de déficit hídrico progressivo pela supressão da irrigação em situação controlada, observaram que os potenciais hídricos antes do

amanhecer diminuíram abruptamente após dez dias de seca, atingindo valores de  $-1,2$  MPa no xilema. Com o início do estresse hídrico, o comportamento dos quatro cultivares divergiu, mostrando que cultivares diferem nas respostas.

Tendo em vista a adaptação de genótipos de feijoeiro comum à seca, Guimarães *et al.* (2006) submeteram dois genótipos dos 20 dias após a emergência até a colheita a dois tratamentos hídricos: irrigação adequada e com deficiência hídrica. Os potenciais hídricos na folha observados nas primeiras horas da manhã foram semelhantes entre os genótipos. O potencial hídrico mínimo da cultivar Carioca foi  $-0,97$  MPa e para RAB 96 foi  $-1,07$  MPa. Essa diferença está associada à eficiência radicular na absorção de água, que é mais elevada na ‘Carioca’ que na ‘RAB 96’ e também à sensibilidade estomática. A intensidade da recuperação do potencial da água na folha nos dois genótipos foi semelhante no tratamento irrigado adequadamente, em torno de  $-0,3$  MPa. Essa capacidade de recuperação é correlacionada com o comprimento radicular, com o número de raízes finas e com o volume radicular total. O valor do potencial das plantas bem hidratadas variam de acordo com a cultivar, a IAC Imperador é em torno de  $-1,0$  MPa (SARTORI, 2015), Radiante entre  $-0,50$  e  $-0,75$  (LIMA, 2008).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Instalação do experimento

O experimento foi implantado na fazenda experimental Capim Branco pertencente a Universidade Federal de Uberlândia (UFU), sob as coordenadas 18,88° Sul e 48,34° Oeste, na altitude de 900 m. O solo do local é um Latossolo Vermelho Escuro Distrófico de textura argilosa (FREITAS *et al.*, 2010). Os resultados da análise química do solo realizada pelo Laboratório de Fertilidade da UFU na profundidade de 0 – 0,20 m, realizada anteriormente à implantação do experimento, encontram-se na Tabela 1. Não foi necessária a realização de calagem. A adubação de plantio foi realizada de acordo com as recomendações para o nível tecnológico quatro de Ribeiro *et al.* (2009) e a adubação de cobertura foi parcelada em duas datas e realizadas aos 20 e a 25 dias após emergência.

**Tabela 1** – Atributos químicos do solo, camada arável (0-0,2m), antes da instalação do experimento.

pH (H <sub>2</sub> O)	M.O. <sup>(1)</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	P(meh <sup>-1</sup> ) (mg dm <sup>-3</sup> )	K	H+Al	Ca	Mg	CTC	B	Mn	Zn	V
			-----	(cmolc dm <sup>-3</sup> )	-----			----	(mg dm <sup>-3</sup> )	----	%
5,9	1,7	37,7	0,95	2,5	3,9	1,3	6,15	0,40	9,2	4,0	71

<sup>(1)</sup>Matéria orgânica.

A semeadura da cultura ocorreu no dia 4 de julho de 2018, sendo semeadas com espaçamento de 0,5 m entre linhas com a densidade de 15 sementes por metro linear, para obter um estande final de 12 plantas por metro linear, uma vez que as sementes usadas apresentavam 80% de germinação. A emergência ocorreu sete dias após a semeadura. Sendo conduzidos quatro experimentos simultaneamente, sendo que no primeiro a irrigação foi realizada todos os dias, no segundo a cada dois dias, no terceiro a cada quatro dias e no quarto a cada dez dias. Em todos experimentos foram testadas cinco cultivares sob delineamento de blocos casualizados, com 4 repetições. Cada parcela do experimento possuía 2,5 m<sup>2</sup>, sendo a parcela útil de 1,5 m<sup>2</sup>. Na Figura 1 é possível observar a área onde foi conduzido o ensaio e o croqui dos experimentos apresentado no APÊNDICE - 1.

**Figura 1** – Área da condução dos experimentos: A - durante a instalação; B – durante a condução. Uberlândia, MG, 2018.



Fonte: do autor

A densidade aparente do solo foi obtida de acordo com a metodologia recomendada pela Embrapa (1997). A curva de retenção de água do solo foi analisada no Laboratório de Física do Solo da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, em Piracicaba, SP. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** – Umidade volumétrica e densidade aparente do solo nos potenciais hídricos de solo de 10, 30, 100, 500 e 1500 kPa.

Profundidade (cm)	Umidade do solo (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )					Densidade do solo g cm <sup>-3</sup>
	Tensões (kPa)					
	10	30	100	500	1500	
0-20	0,4489	0,4418	0,4189	0,3712	0,3329	1,25
20-40	0,4319	0,391	0,3646	0,3163	0,2838	1,40

Com o auxílio do software Soil Water Retention Curve (SWRC), versão 3.0, foram obtidos os parâmetros de ajuste das equações para o modelo de Van Genuchten. As equações ajustadas estão disponíveis da Tabela 3.

**Tabela 3** – Equações ajudadas no modelo de Van Genuchten da curva de retenção de água no solo da área experimental.

Camada (cm)	Equação	$R^2$
0-20	$\theta = \frac{0,453}{[1 + (0,012 \cdot \psi^{1,104})]^{0,905}} + 1,11 \cdot 10^{-5}$	0,999
20-40	$\theta = \frac{0,334}{[1 + (0,099 \cdot \psi^{1,127})]^{0,887}} + 0,098$	0,992

$\theta$ : Umidade do solo ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )

### 3.2 Sistema de irrigação

O sistema de irrigação da área foi por gotejamento (modelo: XT-700-500, RainBird, EUA), devido à disponibilidade na instituição. As mangueiras foram espaçadas em 0,5 m e seus emissores em 0,3 m. O teste de uniformidade do sistema foi realizado seguindo a metodologia descrita em Mantovani *et al.* (2009), antes da implantação do experimento. Foram coletadas lâminas na primeira linha, na quarta linha, que corresponde a linha de 1/3, na oitava linha, que corresponde a linha de 2/3 e na última linha, durante sessenta segundos, e também foi aferida a pressão dessas linhas. Nesse teste, foram determinados a vazão média de aplicação de 1,8 L h<sup>-1</sup>, o coeficiente de uniformidade de Cristhiansen (CUC) de 92,74% e o coeficiente de Distribuição (CUD) de 90,34%. O cálculo da evapotranspiração de referência foi realizado usando a seguinte equação de Penman-Monteith seguindo as recomendações da FAO – 56 (ALLEN *et al.*, 1998):

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

Em que:

ET<sub>o</sub> – Evapotranspiração de referência, (mm)

Δ – gradiente da curva pressão vapor vs temperatura, (kPa °C<sup>-1</sup>)

R<sub>n</sub> – radiação solar líquida disponível, (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>)

G – fluxo de calor no solo, (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)

γ – 0,063 é a constante psicrométrica, (kPa °C<sup>-1</sup>)

U<sub>2</sub> – velocidade do vento a 2 m, (m.s<sup>-1</sup>)

e<sub>s</sub> – pressão de saturação do vapor de água atmosférico, (kPa)

e<sub>a</sub> – pressão atual do vapor de água atmosférico, (kPa)

T<sub>med</sub> – temperatura média diária do ar, (°C).

Para o cálculo da evapotranspiração da cultura foram utilizados os coeficientes de cultura propostos pela FAO – 56 (ALLEN *et al.*, 1998), usando a seguinte equação:

$$ET_c = ET_o K_c$$

Em que:

ET<sub>c</sub> – Evapotranspiração da cultura, (mm)

ET<sub>o</sub> – Evapotranspiração de referência, (mm)

K<sub>c</sub> – Coeficiente de cultura, (sem unidade)

A lâmina bruta foi obtida pelas seguintes fórmulas:

$$Lb = \frac{ETc}{ea CUD}$$

Em que:

Lb – Lâmina Bruta, (mm)

ETc – Evapotranspiração da cultura, (mm)

CUD – Coeficiente de uniformidade de distribuição, (%)

ea – Eficiência de aplicação. Valor adotado 90%.

Após o cálculo da lâmina bruta de irrigação, calculou-se o tempo de funcionamento do sistema de irrigação em cada turno de rega empregando-se a seguinte equação:

$$T = \frac{Lb A}{qa}$$

Em que:

T – Tempo de funcionamento do sistema de irrigação, (h)

Lb – Lâmina bruta, (mm)

A – Área da faixa molhada , (m<sup>2</sup>)

qa – vazão média dos emissores (L h<sup>-1</sup>)

A evapotranspiração calculada do feijoeiro foi de 348,22mm para o período do experimento. Afim de alcançar menores potenciais hídricos, foram aplicadas lâminas baseadas na evaporação do dia da irrigação combinado com o uso dos turnos de rega, resultando uma redução de até 49% da lâmina aplicada (Tabela 4).

**Tabela 4** – Intervalo entre irrigações, necessidade hídrica total da cultura (NHC), lâmina total aplicada incluindo precipitação e número de irrigações. Uberlândia, MG, 2018.

Intervalo entre as irrigações	ETr	Lâmina aplicada	Número de irrigações
(dias)	(mm)	(mm)	
1	348,22	348	83
2		275	58
4		216	44
10		175	36

### **3.3 Dados meteorológicos**

A coleta de dados meteorológicos foi realizada por meio da estação meteorológica automática (modelo Vantage Pro2: Davis, EUA) instalada na área. Os dados obtidos foram temperatura do ar, radiação solar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação pluvial.

### **3.4 Características dos tratamentos**

Foram conduzidos quatro experimentos simultaneamente sendo no T1 a irrigação realizada todos os dias, no T2 a cada dois dias, no T3 a cada quatro dias e no T4 a cada dez dias. Esses intervalos de irrigações foram aplicados a partir de 34 dias após a semeadura (DAS), quando as plantas estavam em V4, pela escala fenológica proposta por Oliveira *et al.* (2018), e mantidos pelo restante do ciclo da cultura. Em cada experimento foram utilizadas as cultivares BRS Cometa, BRS Estilo, BRSMG Madrepérola, BRSMG Majestoso e BRSMG Uai.

### **3.5 Avaliações**

#### **3.5.1 Potencial hídrico**

Foi monitorado semanalmente o potencial hídrico do xilema no início da manhã, entre as 7h e 9h, em uma planta por parcela dos 34 DAS até o ponto de maturidade do feijoeiro para averiguação em cada turno de rega, a fim de monitorar em qual o potencial hídrico pela manhã o produtor de feijão deve irrigar. Também foi aferido o potencial hídrico antes do amanhecer, das 4h às 6h30min, nos dias 55 e aos 70 dias após a semeadura.

Essas medições do estado hídrico foram realizadas com o auxílio da câmara de Scholander tradicional (modelo 3005F01; SoilMoisture Equipment Corporation; EUA) utilizando o trifólio completamente formado apical firmemente fechado em um saco plástico antes da excisão, como é possível observar na Figura 2.

**Figura 2** – Avaliação do potencial hídrico do xilema no feijoeiro: A – Coleta das amostras; B – Inserção da amostra no equipamento. Uberlândia, MG, 2018.





Fonte: Moraes (2018).

### **3.5.2 Altura da planta**

Aos 65 DAS foi avaliada a altura de cinco plantas, que foram sinalizadas de cada parcela com auxílio de uma régua graduada em centímetros.

### **3.5.3 Diâmetro do caule da planta**

Também aos 65 DAS foi avaliado o diâmetro do colo da planta a cinco centímetros do solo, com auxílio de um paquímetro digital de cinco plantas que foram sinalizadas em cada parcela.

### **3.5.4 Massa seca da planta**

Foi avaliada a massa de cinco plantas aos 65 DAS de cada parcela após serem secas em estufa de circulação forçada à 65°C e aferida com auxílio de uma balança de precisão.

### **3.5.5 Número de vagens por planta**

No final do ciclo, foram selecionadas três plantas de cada parcela e suas vagens foram contadas e colocadas em sacos de papel. O número de vagens por planta foi determinado pela relação entre o número total de vagens e o número de plantas coletadas.

### **3.5.6 Número de grãos por planta**

O número de grãos por planta foi obtido pela relação entre o número total de grãos e o número total de plantas selecionadas para número de vagens.

### **3.5.7 Massa de 100 grãos**

Foram contados 100 grãos de cada parcela e mensurada sua massa com auxílio de uma balança de precisão de quatro casas.

### **3.5.8 Duração do ciclo**

Medido pelo número de dias desde a semeadura até 50% ou mais das vagens se apresentaram amarelecidas.

### **3.5.9 Produção**

Foi encontrada pela massa de grãos por área, em gramas por metro quadrado.

## **3.6 Análises estatísticas**

Todos os resultados das avaliações foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e homogeneidade das variâncias de Levene a 0,01 (1%) de significância, com auxílio do programa estatística R. Os resultados foram inseridos no programa GENES, todos os dados avaliados na análise de variância individual dentro de cada experimento indicaram razão entre o maior e menor quadrado médio do resíduo (QMr) inferior a sete, permanecendo no limite proposto por Cruz *et al.* (2014) e Ramalho *et al.* (2012), podendo ser utilizada a metodologia da análise conjunta a 0,01 (1%) e 0,05 (5%) de significância pelo teste de Tukey. As características de potencial hídrico durante a manhã foram comparadas com as durante a madrugada utilizando teste t de Student.

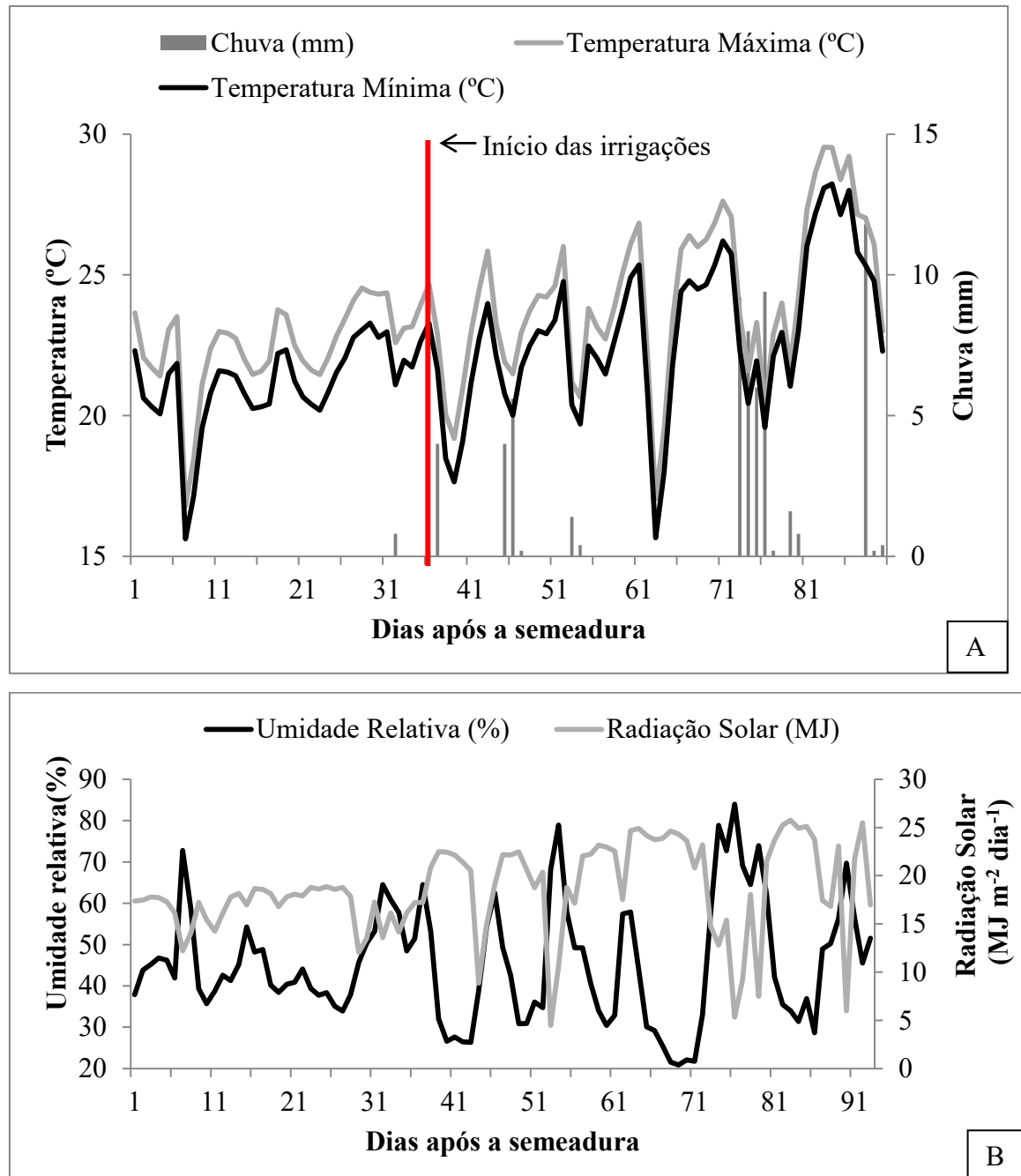
## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 Dados meteorológicos**

A temperatura média no período estudado foi de 22,9°C, e a temperatura mínima de 15,6°C e máxima de 29,5°C, nos dias 10 de julho e 25 de setembro de 2018, respectivamente. Em 2018, houve precipitações nos meses de agosto a outubro, sendo que nos picos chuvosos nos meses de agosto e setembro precipitou 16,4 e 47,2 mm, respectivamente (Figura 3A). A precipitação acumulada do plantio à colheita foi de 77,4 mm. A umidade relativa do ar média foi de 45,56%, variando entre 83,95 e 20,85%. Quanto a média da radiação global, valores de 18,49 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> foram atingidos (Figura 3B). Andrade *et al.* (2015) expõe que a faixa ideal de temperatura para o feijoeiro é entre 15 e 29°C, sendo as baixas temperaturas fator limitante

para o feijoeiro da terceira safra, podendo ocorrer atraso na germinação e emergência, e de modo geral a cultura é bem-sucedida quando as precipitações entre 300 e 500mm.

**Figura 3** – A – Temperatura máxima e mínima diária (°C), Chuva (mm); B – Radiação Solar Global (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), Umidade Relativa (%). Uberlândia, MG, 2018.



## 4.2 Caracteres fisiológicos

Como esperadas, as leituras de potencial hídrico durante a manhã em função dos turnos de rega foram significativas em todas as datas de avaliação; as médias obtidas em cada data de avaliação não foram comparadas entre si (Tabela 5).

**Tabela 5** – Potencial da água durante a manhã para o feijoeiro nas semanas de aplicação dos tratamentos de irrigação, sendo T1 a irrigação realizada todos os dias, no T2 a cada dois dias, no T3 a cada quatro dias e no T4 a cada dez dias e média da temperatura (Temp) e do déficit de pressão de vapor de água (DPV). Uberlândia, 2018.

Irrig.	41 DAS	48 DAS	55 DAS	62 DAS	69 DAS	76 DAS	83 DAS	Média
	MPa <sup>(1)</sup>							
T1	-0,31 c	-0,37 c	-0,41 c	-0,33 c	-0,34 C	-0,3 c	-0,338 c	-0,34
T2	-0,32 c	-0,55 b	-0,58 b	-0,55 b	-0,56 B	-0,58 b	-0,595 b	-0,53
T3	-0,61 a	-0,63 b	-0,66 b	-0,63 b	-0,66 B	-0,92 a	-0,662 b	-0,68
T4	-0,47 b	-0,89 a	-0,89 a	-0,87 a	-0,9 A	-0,63 b	-0,955 a	-0,80
Temp (°C)	23,6	19,3	21,3	23,9	23,2	25,15	23,61	
DPV (kPa)	1,09	0,98	0,38	0,70	1,60	0,23	1,41	

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05

Zhang *et al.* (2017) mostraram que o déficit de pressão de vapor (DPV) é uma das variáveis que mais afetam o potencial hídrico nas plantas, uma vez que, do ponto de vista fisiológico, o controle do DPV tem um papel importante na redução da taxa de fluxo de água e da transpiração acumulada pela supressão do excesso de força motriz da água. O valor médio entre 7h e 9h do período de condução do experimento foi de 0,85 kPa.

O potencial hídrico antes do amanhecer aos 55 DAS não atendeu as pressuposições da análise de variância e foi necessária a transformação dos dados ( $\sqrt{x}$ ), não resultando em diferença significativa na análise de variância (Tabela 6). O que não ocorreu na avaliação realizada aos 70 DAS, que foi realizada no dia que houve maior déficit de vapor de água e temperatura (**Figura 4**).

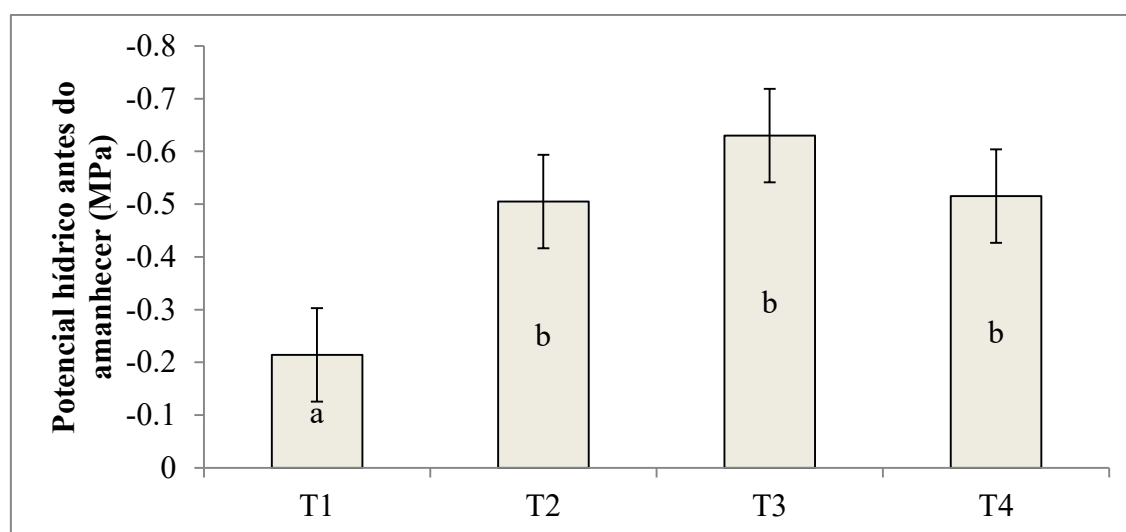
**Tabela 6** – Análise de variância conjunta dos dados de potencial hídrico do xilema antes do amanhecer para 55 e 70 dias após a semeadura em MPa, Uberlândia, 2018.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio do erro <sup>1</sup>	
		55 DAS	70 DAS

Cultivar (C)	4	0,006	ns	0,036	ns
Turno de rega (T)	3	0,029	ns	0,629	**
CxT	12	0,113	ns	0,014	ns
Bloco/T	12	0,083		0,032	
Erro	48	0,026		0,023	
CV <sup>2</sup> %		11,23		10,35	
Média		0,45		0,46	

<sup>1</sup>\*\* Significativo pelo teste F (valor de  $p < 0,01$ ); ns= não significativo. <sup>2</sup>Coefficiente de variação

**Figura 4** – Potencial hídrico antes do amanhecer aos 70 dias após a semeadura em MPa para os turnos de rega, sendo T1 a irrigação realizada todos os dias, no T2 a cada dois dias, no T3 a cada quatro dias e no T4 a cada dez dias, barras que compartilham a mesma letra não foram significativamente diferentes ( $P > 0,01$ ). Uberlândia, 2018.



As leituras realizadas durante a madrugada comparadas com as leituras realizadas durante a manhã diferiram significativamente pelo teste t de Student ao nível de 5% (Tabela 7). Os valores de temperatura e umidade aos 55 DAS durante a madrugada eram de 19,7°C e 69,5% respectivamente e durante a manhã de 22°C e 56%, e aos 70 DAS a temperatura e umidade no dia 55 DAS durante a madrugada eram de 21,8°C e 28,5% respectivamente, enquanto durante a manhã de 25,5°C e 16%. O feijoeiro é uma planta isohídrica e tende a manter seu potencial hídrico constante com o fechamento dos estômatos via ácido abscísico LOCKHART *et al.*, 2016; ZUPIN *et al.*, 2017). Além das características genéticas, Schulze *et al.* (1972) expõem que temperatura e déficit de pressão de vapor da folha em relação ao ar

determinam o fechamento dos estômatos. Como no período pré-amanhecer as temperaturas são mais amenas e o déficit de vapor de água no ar é menor, há maiores chances da planta fazer a manutenção desse potencial uma vez que ocorreu menor demanda evaporativa.

**Tabela 7** – Potencial hídrico durante a manhã e potencial hídrico durante a madrugada aos 55 DAS e aos 70 DAS comparados pelo teste t de Student. Uberlândia, MG, 2018.

Variável	Variável	Probabilidade
Potencial Hídrico pela manhã	x Potencial Hídrico durante a madrugada (55 DAS)	$3,74 \cdot 10^{-34**}$
Potencial Hídrico pela manhã	x Potencial Hídrico durante a madrugada (70 DAS)	$1,27 \cdot 10^{-7**}$

\*\* : Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

#### 4.3 Caracteres vegetativos

Não houve significância dos fatores turno de rega e cultivares para os caracteres vegetativos (Tabela 8).

**Tabela 8** – Análise de variância conjunta dos dados de massa seca da planta em gramas (MSP), diâmetro do caule da planta em milímetros (DIAM) e altura da planta em centímetros, Uberlândia, MG, 2018.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio do erro <sup>1</sup>		
		MSP <sup>ns</sup>	DIAM <sup>ns</sup>	Altura <sup>ns</sup>
Cultivar (C)	4	56,09	0,64	66,54
Turno de rega (T)	3	275,15	0,12	228,74
CxT	12	154,48	0,64	95,06
Bloco/T	12	90,63	0,90	154,63
Erro	48	172,21	0,56	59,98
CV <sup>2</sup> %		44,81	11,18	24,30
Média		29,28	6,74	31,86

<sup>1</sup>\* Significativo pelo teste F (valor de  $p < 0,05$ ); ns= não significativo. <sup>2</sup>Coeficiente de variação

A massa seca da planta apresentou alto coeficiente de variação, sendo sua máxima de 41,58 gramas e a mínima foi 19,27 gramas (Tabela 9), não apresentando significância. Características que apresentam esse comportamento normalmente são as mais afetadas pelo fator genético uma vez que as cultivares utilizadas possuem tipos de crescimento divergentes.

Ramirez-Vallejo e Kelly (1998), estudando o déficit hídrico no feijoeiro, identificaram que quando há estresse ocorre uma redução no diâmetro do caule das plantas, o que não foi verificado no presente experimento, sendo a média 1,64 mm superior a condição bem hidratada do estudo citado. Darkwa *et al.* (2016) avaliando genótipos de feijoeiro sob redução da disponibilidade hídrica encontrou médias de altura também similares a média aqui encontrada.

**Tabela 9** – Massa seca, altura da planta e diâmetro do caule em função de cultivares e turnos de rega, sendo T1 a irrigação realizada todos os dias, no T2 a cada dois dias, no T3 a cada quatro dias e no T4 a cada dez dias e cultivar. Cultivares 1, 2, 3, 4 e 5 são respectivamente BRS Estilo, BRS Cometa, BRSMG Madrepérola, BRSMG Uai e BRSMG Majestoso. Uberlândia, MG, 2018.

Turno de rega	Cultivar	Massa seca <sup>ns</sup>	Diâmetro <sup>ns</sup>	Altura <sup>ns</sup>
		g planta <sup>-1</sup>	Mm	Cm
T1	1	31,52	5,72	46,34
	2	27,55	5,90	32,93
	3	32,83	5,52	32,34
	4	41,58	6,11	32,21
	5	26,58	5,33	33,84
T2	1	32,59	5,60	32,75
	2	22,29	6,27	23,51
	3	28,16	5,68	36,09
	4	34,62	5,48	36,74
	5	34,43	6,23	26,07
T3	1	21,04	5,89	29,72
	2	24,21	5,55	31,72
	3	29,79	5,20	23,39
	4	21,04	5,88	29,18
	5	22,29	5,80	24,98
T4	1	30,24	6,44	27,22
	2	26,94	6,26	31,93
	3	21,18	5,63	28,26
	4	19,27	5,15	28,28
	5	37,50	5,31	29,83

ns= não significativo pelo teste F (valor de  $p < 0,01$ ).

#### 4.4 Caracteres reprodutivos

O turno de rega foi estatisticamente significativo para ciclo da cultura e produtividade final (tabela 10). A ocorrência de déficit hídrico ocasiona alta taxa de abortamento de óvulos em feijoeiro, reduzindo assim o número de grãos por vagem (CRUZ *et al.*, 2013). O mesmo ocorre na soja, causando até 100% de vagens sem grãos no déficit hídrico severo, como relata He *et al.* (2017). Darkwa *et al.* (2016) também encontraram que o número de vagens e o número de grãos por planta também foram afetados. Dados que não corroboram com que foi encontrado nesse estudo (tabela 11), uma vez que a ocorrência de chuvas entre os dias 72 a



77 DAS, período que as plantas estavam em R7/R8 na escala proposta por Andrade et al. (2018), período onde há formação das vagens e enchimento dos grãos.

**Tabela 10** - Análise de variância conjunta dos dados de número de vagens com nenhum grão (VA), número de vagens por planta (NV), número de grãos por planta (NG), massa de cem grãos em gramas (M100), número de dias da emergência à colheita (ciclo) e produtividade em gramas por planta (PROD). Uberlândia, MG, 2018.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio do erro <sup>1</sup>					
		VA	NV	NG	M100	Ciclo	PROD
Cultivar (C)	4	0,77 ns	32,9 ns	417,19 ns	1,39 ns	0,14 ns	27,59 ns
Turno de rega (T)	3	1,80 ns	18,87 ns	613,34 ns	13,39 ns	156,35 *	182,46 **
CxT	12	0,49 ns	104,78 ns	261,57 ns	2,96 ns	0,65 ns	22,18 ns
Bloco/T	12	0,32	20,26	839,57	3,77	1,54	24,41
Erro	48	0,98	668,07	414,37	4,16	1,125	14,13
CV <sup>2</sup> %		54,28	27,91	30,65	9,01	1,22	26,44
Média		0,83	12	65	22,62	86,72	14,21

<sup>1</sup>\* Significativo pelo teste F (valor de p<0,05); \*\* Significativo pelo teste F (valor de p<0,01).

<sup>2</sup>Coeficiente de variação.

**Tabela 11** – Vagens com nenhum grão (VA), número de vagens por planta (NV), número de grãos por planta (NG) e massa de cem grãos em gramas (M100), em função dos turnos de regas e cultivares. sendo T1 a irrigação realizada todos os dias, no T2 a cada dois dias, no T3 a cada quatro dias e no T4 a cada dez dias. As cultivares 1, 2,3, 4 e 5 são respectivamente BRS Estilo, BRS Cometa, BRSMG Madrepérola, BRSMG Uai e BRSMG Majestoso. Uberlândia, MG, 2018.

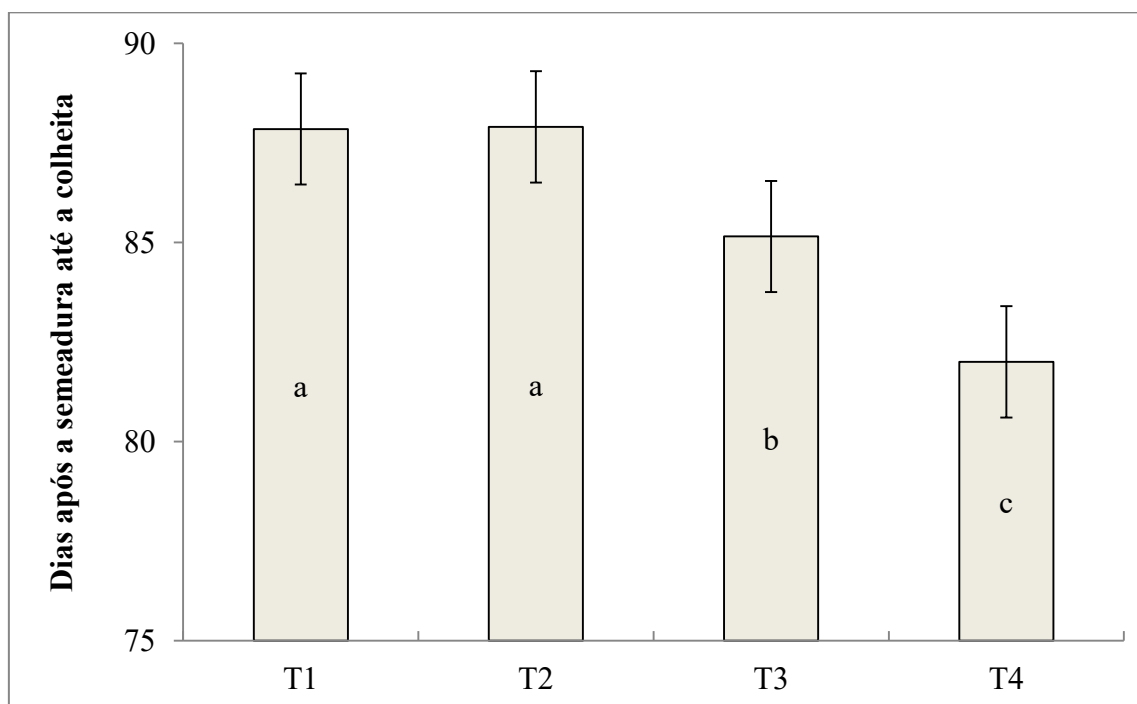
Turno de rega	Cultivar	NV <sup>ns</sup>	NG <sup>ns</sup>	M100 <sup>ns</sup> Gramas
T1	1	12,67	68,67	22,13
	2	13,00	74,67	21,40
	3	13,08	70,34	21,48
	4	12,34	69,92	22,62
	5	10,67	57,50	23,15
T2	1	9,92	48,67	21,96
	2	13,59	68,50	22,45
	3	8,84	45,33	22,23
	4	12,54	59,33	22,09
	5	13,17	63,84	22,40

T3	1	11,92	59,42	23,28
	2	12,79	69,71	21,68
	3	13,25	69,00	21,61
	4	13,17	69,33	21,21
	5	13,58	70,42	20,53
T4	1	13,67	78,17	20,00
	2	14,75	84,58	21,77
	3	11,33	61,25	19,15
	4	10,67	57,83	20,78
	5	12,42	61,75	20,58

ns= não significativo pelo teste F (valor de  $p < 0,01$ ).

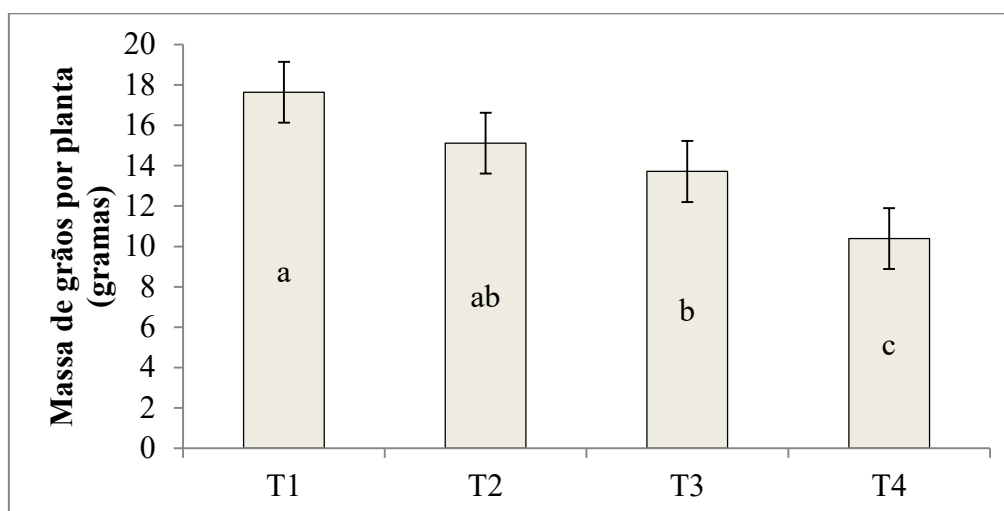
Na Figura 6, encontra-se a quantidade de dias entre a emergência e a colheita, sendo que para o feijoeiro a duração do ciclo é em média 90 dias. A tendência é a utilização de cultivares cada vez mais precoces. Segundo Melo *et al.* (2017) a precocidade permite o escape dos estresses bióticos e abióticos e maior janela na sucessão de cultivos, portanto um ciclo, maior parte das vezes, não é vantajoso.

**Figura 6** – Dias entre a emergência e a colheita em função dos turnos de rega, sendo T1 a irrigação realizada todos os dias, no T2 a cada dois dias, no T3 a cada quatro dias e no T4 a cada dez dias, Uberlândia, 2018.



A redução na produtividade (Figura 7) nesse experimento foi de 41% entre os turnos de rega T1 e T4. A produtividade máxima no experimento foi 17,63 e a mínima de 10,39 gramas por planta (Figura 7). Heinemann *et al.* (2017) identificou que quando o déficit hídrico é induzido no término do período reprodutivo, as produtividades do feijoeiro reduziram em 74% para a cultivar Pérola e 68% para BRS Radiante, em relação ao padrão sem déficit. A produtividade máxima no experimento foi 4232,29 e a mínima de 2494,12 quilogramas por hectares. A produtividade encontrada foi superior inclusive no menor potencial aplicado do que o esperado para as cultivares usadas, que é aproximadamente de 2298 quilogramas por hectare (ABREU *et al.*, 2006; ABREU *et al.*, 2011; DEL PELOSO *et al.*, 2006; MELO *et al.*, 2010; RAMALHO *et al.*, 2016). As condições abióticas influenciaram esse comportamento, pois as condições de temperatura, umidade e pluviosidade foram as ideias para o cultivo do feijoeiro.

**Figura 7** – Dias entre a emergência e a colheita em função dos turnos de rega, sendo T1 a irrigação realizada todos os dias, no T2 a cada dois dias, no T3 a cada quatro dias e no T4 a cada dez dias, Uberlândia, MG, 2018.



## 5 CONCLUSÕES

Os diferentes intervalos de irrigação aplicados não resultaram em diferenças significativas nas características vegetativas do feijoeiro, ainda que se tenha observado diferenças nos potenciais hídricos do xilema. Esses potenciais hídricos acima de -0,6 MPa resultaram em maior produtividade do feijoeiro e maior ciclo da cultura.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; CARNEIRO, J. E. S.; PELOSO, M. J. D.; PAULA JÚNIOR, T. J.; FARIA, L. C.; MELO, L. C.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A.; PEREIRA FILHO, I. A.; MARTINS, M.; RAVA, C. A.; COSTA, J. G. C. **BRSMG Majestoso**: mais uma opção de cultivar de grão carioca para o Estado de Minas Gerais. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, 2006. 2p. (Comunicado Técnico)
- ABREU, A. F. B.; CARNEIRO, J. E. S.; RAMALHO, M. A. P.; MELO, L. C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; PEREIRA FILHO, I. A.; MARTINS, M.; PEREIRA, H. S.; CARNEIRO, P. C. S.; DEL GEÚDICE, M. P.; VIEIRA, R. F.; TEIXEIRA, H.; DEL PELOSO, M. J.; FARIA, L. C.; SANTOS, J. B.; COSTA, J. G. C.; MOREIRA, J. A. A.; WENDLAND, A., **BRSMG Madrepérola**: cultivar de feijão tipo carioca com escurecimento tardio dos grãos. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, 2011, 4p. (Comunicado Técnico)
- ABRISQUETA, I.; CONEJERO, W.; VALDÉS-VELA, M.; VERA, J.; ORTUÑO, M. F.; RUIZ-SÁNCHEZ, M. C. Stem water potential estimation of drip-irrigated early-maturing peach trees under Mediterranean conditions. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 114, p. 7-13, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.03.004>
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017**: relatório pleno / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: Guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO Irrigation and Drainage, 1998. Paper 56
- ANDRADE, M. J. B.; OLIVEIRA, D. P.; FIGUEIREDO, M. A.; MARTINS, F. A. D. Exigência edafoclimáticas. In: CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JÚNIOR, T. J. de; BORÉM, A. **Feijão**: do plantio à colheita. Viçosa: Ed. UFV, 2015.
- BEADLE, C. L.; LUDLOW, M. M.; HONEYSETT, J. L. Water relations. In: Hall *et al.* **Photosynthesis and Production in a Changing Environment**: A field and laboratory manual. London: Chapman & Hall. 1993, 113-128p.
- BOYER, J. S. **Measuring the water status of plants and soils**. San Diego: Academic Press, Inc., 1995.
- BRODRIBB, T. J.; BUCKLEY, T. N. Leaf Water Transport: A Core System in the Evolution and Physiology of Photosynthesis. In: **The Leaf**: A Platform for Performing Photosynthesis. Springer, Cham, 2018. p. 81-96. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93594-2>
- BURKHARDT, J.; PARIYAR, S. How does the VPD response of isohydric and anisohydric plants depend on leaf surface particles?. **Plant Biology**. Oxford: v. 18, p. 91-100, 2016. <https://doi.org/10.1111/plb.12402>
- CHASTAIN, D. R.; SNIDER, J. L.; COLLINS, G. D.; PERRY, C. D.; WHITAKER, J.; BYRD, S. A.; OOSTERHUIS, D. M.; PORTER, W. M. Irrigation scheduling using predawn leaf water potential improves water productivity in drip-irrigated cotton. **Crop Science**. Nova Iorque: v. 56, 2016. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.01.0009>
- COLE, J.; PAGAY, V. Usefulness of early morning stem water potential as a sensitive indicator of water status of deficit-irrigated grapevines. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam: v. 191, p. 10-14, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.04.034>

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). **Acompanhamento da safra brasileira**: v. 12 Safra 2017/18 - Décimo segundo levantamento. Brasília, DF: CONAB, 2017. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/22227\\_378630c35e68682d6a984ecbd43bfe1d](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/22227_378630c35e68682d6a984ecbd43bfe1d). Acesso em: 01 jan. 2019.

CORELL, M.; PÉREZ-LÓPEZ, D.; MARTÍN-PALOMO, M. J.; CENTENO, A.; GÍRON, I.; GALINDO, A.; MORENO, M. M.; MORENO, C.; MEMMI, H.; TORRECILLAS, A.; MORENO, F.; MORIANA, A. Comparison of water potential baseline in different locations. Usefulness for irrigations scheduling of olive orchards. **Agricultural Water Management**, Amsterdam: v. 177, p. 308-316, 2016.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG:UFV,v.2, 2014, 688p.

CUI, Y.; TIAN, Z.; ZHANG, X.; MUHAMMAD, A.; HAN, H.; JIANG, D; CAO, W; DAI, T. **Acta physiologiae plantarum**: Warszawa v. 37, n. 10, p. 196, 2015. Effect of water deficit during vegetative growth periods on post-anthesis photosynthetic capacity and grain yield in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1944-2>

DARKWA, K.; AMBACHEW, D.; MOHAMMED, H.; ASFAW, A.; BLAIR, M. W. Evaluation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes for drought stress adaptation in Ethiopia. **The crop journal**: Amsterdam, v. 4, n. 5, p. 367-376, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.06.007>

DIDONET, A. D.; DA SILVA, S. C. Elementos climáticos e produtividade do feijoeiro. **Informe Agropecuário**: Belo Horizonte, v. 25, p. 13-19, 2004.

DEL PELOSO, M. J.; FARIA, L. C. de; MELO, L. C.; COSTA, J. G. C. da; RAVA, C. A.; CABRERA DÍAZ, J. L.; FARIA, J. C. de; SILVA, H. T. da; SARTORATO, A.; BASSINELLO, P. Z.; TROVO, J. B. de F. **BRS Cometa**: Cultivar de feijoeiro comum do tipo comercial carioca de porte ereto. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, Dez., 2006. (Comunicado Técnico, 131).

DOMEC, J. C.; JOHNSON, D. M. Does homeostasis or disturbance of homeostasis in minimum leaf water potential explain the isohydric versus anisohydric behavior of *Vitis vinifera* L. cultivars?. **Tree physiology**: Oxford: v. 32, n. 3, p. 245-248, 2012. <https://doi.org/10.1093/treephys/tps013>

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPANS, J. W.; PARLANGE, M. B. **Programa SWRC** (Version 3.0): Soil-Water Retention Curve (Software). Piracicaba: ESALQ; Davis: University of Califórnia, 1995.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Aquastat**. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/irrigationdrainage/treemap/index.stm>. Acesso em: 01 Maio 2018.

FAVER, K. L.; GERIK, T. J.; THAXTON, P. M.; EL-ZIK, K. M. Late season water stress in cotton: II. Leaf gas exchange and assimilation capacity. **Crop Science**: Nova Iorque: v. 36, n. 4, p. 922-928, 1996. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600040042x>

FRANÇA, M. G. C.; THI, A. T. P.; PIMENTEL, C.; ROSSIELLO, R. O. P.; ZUILY-FODIL, Y.; LAFFRAY, D. Differences in growth and water relations among *Phaseolus vulgaris* cultivars in response to induced drought stress. **Environmental and Experimental Botany**: Oxford, v. 43, n. 3, p. 227-237, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(99\)00060-X](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(99)00060-X)

FREITAS, M. C. M.; HAMAWAKI, O. T.; BUENO, M. R.; MARQUES, M. C. Época de semeadura e densidade populacional de linhagens de soja UFU de ciclo semitardio. **Bioscience Journal**: Uberlândia, v. 26, n. 5, 2010.

GALVEZ-PAVEZ, R.; CALLEJAS-RODRIGUEZ, R.; REGINATO-MEZA, G. Comparación de la cámara de presión tipo Scholander modelo Pump-up respecto a la cámara de presión tradicional en vides de mesa. **Idesia**, Arica, v. 29, n. 2, p. 175-179, 2011. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292011000200023>

GIRONA, J.; MATA, M.; DEL CAMPO, J.; ARBONÉS, A.; BARTRA, E.; MARSAL, J.. The use of midday leaf water potential for scheduling deficit irrigation in vineyards. **Irrigation Science**: Heidelberg, v. 24, n. 2, p. 115-127, 2006. <https://doi.org/10.1007/s00271-005-0015-7>

GOMES, A. A.; ARAÚJO, A. P.; ROSSIELLO, R. O. P.; PIMENTEL, C. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**: Brasília, v. 35, n. 10, p. 1927-1937, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2000001000003>

GUICHARD, S.; GARY, C.; LEONARDI, C.; BERTIN, N. Analysis of growth and water relations of tomato fruits in relation to air vapor pressure deficit and plant fruit load. **Journal of Plant Growth Regulation**: Nova Iorque, v. 24, n. 3, p. 201, 2005. <https://doi.org/10.1007/s00344-005-0040-z>

HE, J.; WANG, T.; TURNER, N. C.; YANG, R. P.; JIN, Y.; XI, Y.; ZHANG, C.; CUI, T.; FANG, X. M.; LI, F. M. Conserved water use improves the yield performance of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under drought. **Agricultural Water Management**: Amsterdam, v. 179, p. 236-245, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.008>

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; DIDONET, A. D.; DE SOUZA, T. L. P. O.; da SILVA, S. C.; MORAES, A. D. C. **Deficit hídrico nas áreas de produção do feijão das águas e da seca em Goiás**. Embrapa Arroz e Feijão-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2017

HOPKINS, W. G.; HÜNER, N. P. A. **Introduction to plant physiology**. 4ed. New York: John. Wiley & Sons, 2008. 528p.

JARVIS, P. G. The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. **Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences**: Londres, v. 273, n. 927, p. 593-610, 1976. <https://doi.org/10.1098/rstb.1976.0035>

JONES, H. G. Stomatal control of photosynthesis and transpiration. **Journal of Experimental Botany**: Oxford, p. 387-398, 1998.

JONES, H. G. Monitoring plant and soil water status: established and novel methods revisited and their relevance to studies of drought tolerance. **Journal of Experimental Botany**: Oxford, v. 58, n. 2, p. 119-130, 2007.

- KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 431p.
- LI, X.; WILKINSON, S.; SHEN, J.; FORDE, B. G.; DAVIES, W. J.. Stomatal and growth responses to hydraulic and chemical changes induced by progressive soil drying. **Journal of experimental botany**: Oxford, v. 68, n. 21-22, p. 5883-5894, 2017. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx381>
- LIMA, A. A. F. **Respostas fisiológicas de cultivares de feijão [*Phaseolus vulgaris* L. e *Vigna unguiculata* (L.) Walph.] submetidas à deficiência hídrica: uma alternativa para a agricultura familiar do semi-árido sergipano**. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2008. 112p
- LOCKHART, E.; WILD, B.; RICHTER, A. SIMONIN, K. ; MERCHANT, A. Stress-induced changes in carbon allocation among metabolite pools influence isotope-based predictions of water use efficiency in *Phaseolus vulgaris*. **Functional Plant Biology**: Collingwood, v. 43, n. 12, p. 1149-1158, 2016. <https://doi.org/10.1071/FP16022>
- MARINO, G.; CARUSO, T.; FERGUSON, L.; MARRA, F. P. Gas Exchanges and Stem Water Potential Define Stress Thresholds for Efficient Irrigation Management in Olive (*Olea europaea* L.). **Water**: Basel, v. 10, n. 3, p. 342, 2018. <https://doi.org/10.3390/w10030342>
- MARTÍNEZ-VILALTA, J.; POYATOS, R.; AGUADÉ, D.; RETANA, J.; MENCUCCINI, M. A new look at water transport regulation in plants. **New Phytologist**: Oxford, v. 204, n. 1, p. 105-115, 2014. <https://doi.org/10.1111/nph.12912>
- MARTÍNEZ-VILALTA, J.; GARCIA-FORNER, N. Water potential regulation, stomatal behaviour and hydraulic transport under drought: deconstructing the iso/anisohydric concept. **Plant, cell & environment**: Oxford, v. 40, n. 6, p. 962-976, 2017. <https://doi.org/10.1111/pce.12846>
- MASSIGNAM, A. M.; VIEIRA, H. J.; HEMP, S.; DITTRICH, R. C.; FLESCHE, R. D.; VICTORIA, F. B. Ecofisiologia do feijoeiro. I. Determinação do período mais crítico à deficiência hídrica do solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**: Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 35-39, 1998.
- MCCUTCHAN, H.; SHACKEL, K. A. Stem-water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L. cv. French). **Journal of the American Society for Horticultural Science**: Alexandria, v. 117, n. 4, p. 607-611, 1992. <https://doi.org/10.21273/JASHS.117.4.607>
- MELO, L.C.; PELOSO, M. J. D.; PEREIRA, H. S.; FARIA, L. C.; COSTA, J. G. C.; DÍAZ, J. L.; RAVA, C. A.; WENDLAND, A.; ABREU, A. de F. B. BRS Estilo: common bean cultivar with Carioca grain, upright growth and high yield potential. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**: Viçosa, v. 10, n. 4, p. 377-379, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1984-70332010000400015>
- MELO, L. C.; PEREIRA, H. S.; SOUZA, T. L. P. O.; FARIA, L. C.; AGUIAR, M. S. ; WENDLAND, A.; CARVALHO, H. W. L.; ALMEIDA, V. M.; MELO, C. L. P.; COSTA, A. F.; ITO, M. A.; PEREIRA FILHO, I. A.; POSSE, S. C. P.; MAGALDI, M. C. S.; CABRERA DIAZ, J. L.; COSTA, J. G. C.; ABREU, A. F. B.; MARTINS, M.; GUIMARÃES, C. M.; TRINDADE, N. L. S. R.; MELO, P. G. S.; BRAZ, A. J. B. P.; SOUZA, N. P.; FARIA, J. C. **BRS FC104**: cultivar de feijão-comum carioca superprecoce: Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2017. Comunicado Técnico

MIRÁS-AVALOS, J. M.; PÉREZ-SARMIENTO, F.; ALCOBENDAS, R.; ALARCÓN, J. J.; MOUNZER, O.; NICOLÁS, E. Using midday stem water potential for scheduling deficit irrigation in mid-late maturing peach trees under Mediterranean conditions. **Irrigation science**: Heidelberg, v. 34, n. 2, p. 161-173, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00271-016-0493-9>

MONSON, R.; BALDOCCHI, D. **Terrestrial biosphere-atmosphere fluxes**. New York: Cambridge University Press, 2014, 507p.

MOURA, A. T.; BRITO, L. M. Aspectos socioeconômicos. In: CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JÚNIOR, T. J. de; BOREM, A. **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa: Ed. UFV, 2015.

OLIVEIRA, M. G. C.; OLIVEIRA, L. F. C.; WENDLAND, A.; GUIMARÃES, C. M.; QUINTELA, E. D.; BARBOSA, F. R.; CARVALHO, M. C. S.; LOBO JUNIOR, M.; SILVEIRA, P. M. **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

PERES, J. G. **Hidráulica Agrícola**. Araras: UFSCar, 2006.

PMS INSTRUMENT COMPANY. **Pressure Chamber Instruments**. 2019. Disponível em: <https://www.pmsinstrument.com/products/?c=01-pressure-chamber-instruments>. Acesso em: 26 jan. 2019.

POU, A.; MEDRANO, H.; TOMÀS, M.; MARTORELL, S.; RIBAS-CARBÓ, M.; FLEXAS, J. Anisohydric behaviour in grapevines results in better performance under moderate water stress and recovery than isohydric behaviour. **Plant and Soil**: The Hague, v. 359, n. 1-2, p. 335-349, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1206-7>

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. D. F.; SANTOS, J. D.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Ed. UFLA, 2012.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; CARNEIRO, J. E. S.; MELO, L. C.; PAULA JÚNIO, T. J.; PEREIRA, H. S.; DEL PELOSO, M. J.; PEREIRA FILHO, I. A.; MARTINS M.; DEL GIÚDICE, M. P.; VIEIRA, R. F. BRSMG Uai: common bean cultivar with carioca grain type and upright plant architecture. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**: Viçosa, v. 16, n. 3, p. 261-264, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332016v16n3c40>

RAMIREZ-VALLEJO, P.; KELLY, J. D. Traits related to drought resistance in common bean. **Euphytica**: Dordrecht, v. 99, n. 2, p. 127-136, 1998. <https://doi.org/10.1023/A:1018353200015>

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H.; **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª Aproximação. Viçosa: UFV, 1999. 359p

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia das plantas** Cengage Learning. Wadsworth, Belmont, 2012.

SARTORI, F. F. **Caracterização fisiológica e hormonal de plantas de feijão (cv. IAC Imperador) submetidas à deficiência hídrica**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2015.

SAVI, T.; MIOTTO, A.; PETRUZZELIS, F.; LOSSO, A.; PACILÈ, S.; TROMBA, G.; MAYR, S.; NARDINI, A. Drought-induced embolism in stems of sunflower: a comparison of in vivo micro-CT observations and destructive hydraulic measurements. **Plant Physiology and Biochemistry**: Amsterdam, v. 120, p. 24-29, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.09.017>



SCHOLANDER, P. F.; BRADSTREET, E. D.; HEMMINGSEN, E. A.; HAMMEL, H. T. Sap pressure in vascular plants: negative hydrostatic pressure can be measured in plants. **Science**, v. 148, n. 3668, p. 339-346, 1965. <https://doi.org/10.1126/science.148.3668.339>

SKYE INSTRUMENTS. **Plant Moisture Systems**. Disponível em: <https://www.skyeinstruments.com/category/products/plant-moisture-systems/>. Acesso em: 26 jan. 2019.

SILVEIRA, P. A.; STONE, L. F.; VIEIRA, R. F. Irrigação. In: CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa: Ed. UFV, 2015.

SCHULZE, E.D.; LANGE, O. L.; BUSCHBOM, U.; KAPPEN, L.; EVENARI, M. Stomatal responses to changes in humidity in plants growing in the desert. **Planta**, v. 108, n. 3, p. 259-270, 1972. <https://doi.org/10.1007/BF00384113>

SOILMOISTURE EQUIPMENT. **3005 Series Plant Water Status Consoles**. Disponível em: <https://www.soilmoisture.com/3005-Series-Plant-Water-Status-Consoles/>. Acesso em: 26 jan. 2019.

STONE, P. M.; SILVEIRA, L. F. **Irrigação do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2001. 230 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. Ed.: Porto Alegre: ArtMed, 2013.

TURNER, N. C.; LONG, M. J. Errors arising from rapid water loss in the measurement of leaf water potential by the pressure chamber technique. **Functional Plant Biology**: Collingwood, v. 7, n. 5, p. 527-537, 1980. <https://doi.org/10.1071/PP9800527>

TURNER, N. C. Measurement of plant water status by pressure chamber technique. **Irrigation Science**: Heidelberg, v.9, n.4, p. 289-308, 1988. <https://doi.org/10.1007/BF00296704>

TREJO, C. L.; DAVIES, W. J. Drought-induced closure of *Phaseolus vulgaris* L. stomata precedes leaf water deficit and any increase in xylem ABA concentration. **Journal of Experimental Botany**: Oxford, v. 42, n. 12, p. 1507-1516, 1991. <https://doi.org/10.1093/jxb/42.12.1507>

VANDELEUR, R. K.; MAYO, G.; SHELDEN, M. C.; GILLIHAM, M.; KAISER, B. N.; TYERMAN, S. D. The role of plasma membrane intrinsic protein aquaporins in water transport through roots: diurnal and drought stress responses reveal different strategies between isohydric and anisohydric cultivars of grapevine. **Plant Physiology**: Amsterdam, v. 149, n. 1, p. 445-460, 2009. <https://doi.org/10.1104/pp.108.128645>

VON CAEMMERER, S.; FARQUHAR, G. D. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. **Planta**, v. 153, n. 4, p. 376-387, 1981. <https://doi.org/10.1007/BF00384257>

WAKRIM, R.; WAHBI, S.; TAHI, H.; AGANCHICH, B.; SERRAJ, R. Comparative effects of partial root drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) on water relations and water use efficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 106, n. 2-3, p. 275-287, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.10.019>

WILLIAMS, L. E.; ARAUJO, F. J. Correlations among predawn leaf, midday leaf, and midday stem water potential and their correlations with other measures of soil and plant water status in *Vitis vinifera*. **Journal of the American Society for Horticultural Science**: Alexandria, v. 127, n. 3, p. 448-454, 2002. <https://doi.org/10.21273/JASHS.127.3.448>

WILLIAMS, L. E.; BAEZA, P. Relationships among ambient temperature and vapor pressure deficit and leaf and stem water potentials of fully irrigated, field-grown grapevines. **American Journal of Enology and Viticulture**: Davis, v. 58, n. 2, p. 173-181, 2007.

ZHANG, D.; DU, Q.; ZHANG, Z.; JIAO, X.; SONG, X.; LI, J. Vapour pressure deficit control in relation to water transport and water productivity in greenhouse tomato production during summer. **Scientific Reports**: v. 7, p. 1 - 11, 2017. <https://doi.org/10.1038/srep4346>

ZUPIN, M.; SEDLAR, A.; KIDRIČ, M.; MEGLIČ, V. Drought-induced expression of aquaporin genes in leaves of two common bean cultivars differing in tolerance to drought stress. **Journal of plant research**: Amsterdam, v. 130, n. 4, p. 735-745, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10265-017-0920-x>

## APÊNDICE

Apêndice 1 – Croqui de implantação do experimento. Uberlândia, 2018.

Bloco IV	C1	C4	C5	C3	C2
Bloco III	C1	C2	C4	C5	C3
Bloco II	C4	C5	C3	C1	C2
Bloco I	C2	C3	C1	C4	C5

T4

Bloco IV	C2	C4	C3	C5	C1
Bloco III	C1	C5	C3	C2	C4
Bloco II	C3	C1	C4	C2	C5
Bloco I	C4	C5	C1	C3	C2

T3

Bloco IV	C5	C1	C2	C4	C3
Bloco III	C2	C1	C4	C3	C5
Bloco II	C3	C5	C1	C4	C2
Bloco I	C4	C3	C5	C2	C1

T2

Bloco IV	C1	C4	C5	C2	C3
Bloco III	C4	C3	C1	C5	C2
Bloco II	C1	C5	C4	C2	C3
Bloco I	C3	C1	C2	C4	C5

T1

Cultivares

BRS Estilo	C1
BRS Cometa	C2
BRSMG Madrepêrola	C3
BRSMG Uai	C4
BRSMG Majestoso	C5