



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA
VETERINÁRIA

**ASSOCIAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTRESSE HÍDRICO(CWSI) COM O
POTENCIAL MATRICIAL NO FEIJOEIRO**

João Pedro Carlos Paim.
Orientador: João José da Silva Junior.

JOÃO PEDRO CARLOS PAIM

**ASSOCIAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTRESSE HÍDRICO(CWSI) COM O
POTENCIAL MATRICIAL FEIJOEIRO**

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. **João José da Silva Junior**

FICHA CATALOGRÁFICA

J62a Paim, João Pedro Carlos

ASSOCIAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTRESSE HÍDRICO(CWSI)
COM O POTENCIAL MATRICIAL NO FEIJOEIRO. / João Pedro
Carlos

Paim; orientador João José Silva Junior. -- Brasília, 2021.

58 p.

Monografia (Graduação - Agronomia) -- Universidade de Brasília,
2021.

1. Cwsi- Índice de estresse hídrico. 2. Potencial matricial de
água no solo. 3. Feijoeiro. 4. Associação Cwsi x Potencial matricial
da água no solo . 5. Associação com características de
produtividade. I. Silva Junior, João José, orient. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PAIM, J.P.C. "Associação do Índice de Estresse Hídrico(CWSI) com o potencial matricial no feijoeiro". Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília,

2021. 58 páginas. Monografia.

CESSÃO DE DIREITOS

Nome do Autor: JOÃO PEDRO CARLOS PAIM

Título da Monografia de Conclusão de Curso:

ASSOCIAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTRESSE HÍDRICO(CWSI) COM O POTENCIAL MATRICIAL NO FEIJOEIRO.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

ASSOCIAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTRESSE HÍDRICO(CWSI) COM O
POTENCIAL MATRICIAL NO FEIJOEIRO.

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dra. JOÃO JOSÉ DA SILVA JÚNIOR

BANCA EXAMINADORA:

João José de Silva Júnior

Prof. Doutor - Universidade de Brasília

Orientador

Selma Regina Maggiotto

Prof.^a Doutora - Universidade de Brasília

Avaliadora Interna

José Antônio do Vale Sant'Ana

Prof. Doutor - Instituto Federal do Mato Grosso

Avaliador Externo

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me capacitar e permitir que eu tivesse condições de concluir um curso de graduação, foi ele que me deu forças para ter persistência.

Agradeço à Andressa Alves e à Tathiane Kary, que me ajudaram muito na realização desse experimento, sem vocês não seria possível.

Quero Agradecer de forma especial a meu professor, orientador e amigo João José da Silva Júnior, um professor que ama o que faz, que sempre está buscando se atualizar com as novidades, que nunca desiste, que inspira seus alunos e que me ajudou e orientou durante toda graduação, não apenas no TCC.

Aos amigos que fiz durante todos esses anos de UnB, vocês facilitaram o processo e fazem parte dessa conquista, obrigado por tudo!

À minha família, minha, que me deu todas as condições, suporte, apoio financeiro e emocional durante toda minha trajetória.

À meus avós, pessoas simples que são inspirações diárias, para que siga tentando me tornar uma pessoa melhor a cada dia.

À minha irmã Ana Luiza Paim, uma das minhas motivações que me inspira a ser mais feliz.

À minha mãe Maria Nilma Carlos Paim, inteiramente responsável pelo que sou hoje, que me deu toda a educação e suporte, que me ensinou a nunca desistir e me mostrou o caminho do esforço, onde sempre devemos buscar estar entre os melhores. Eu não poderia ter tido uma mãe melhor.

À meu pai Gilmar Barp Paim, que me deu todo apoio financeiro e psicológico para que eu concluísse o curso de graduação. Um verdadeiro exemplo de pai e de homem que dentre todos os ensinamentos, me ensinou primeiramente que na vida precisamos ser trabalhadores, honestos e humildes sempre.

*“A persistência é o caminho do êxito”
Charles Chaplin.*

RESUMO

O Brasil é um dos maiores produtores de feijão do mundo, e grande parte dessa produção é proveniente da terceira safra, que acontece no período mais seco do ano, tornando necessária a utilização de irrigações. Associado a isso, temos uma necessidade cada vez maior de obter um melhor aproveitamento da água utilizada na agricultura, para que a atividade seja expandida e potencialize a produção nacional de alimentos. A única maneira viável para atingir essa finalidade é a utilização de sistemas de manejo de irrigação mais eficientes, como é o caso da tensiometria, que visa obter a tensão da água no solo, através da utilização de aparelhos denominados tensiômetros. Todavia esse sistema parece inviável, pouco econômico e de difícil aplicação em grandes áreas irrigadas como no caso de sistemas de pivôs centrais que são predominantes na irrigação de *Phaseolus vulgaris* L. Logo, surge a necessidade de testar novos manejos de irrigação, como a utilização do Índice de estresse hídrico das plantas (CWSI) que é baseado em uma equação obtida a partir da temperatura do ar e a temperatura foliar amostrada com a utilização de termometria infravermelha. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi promover uma associação entre o potencial matricial do solo, obtido através dos tensiômetros e o CWSI, obtido por meio da utilização de câmeras termais e avaliar a influência desses fatores em características como produtividade por planta, comprimento de vagem, número de vagens e número de grãos por vagem. Para isso, o experimento contou com 5 tratamentos cada um com irrigações feitas a partir dos 25 dias até a capacidade de campo, sempre que o tratamento atingisse os potenciais matriciais: -5 kPa (T1), -10 kPa (T2), -15 kPa (T3), -20 kPa (T4) e -25 kPa (T5). O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em casa de vegetação, com 8 repetições em cada tratamento. Paralelamente, eram retiradas fotos termais a cada dois dias, com a câmera portátil da marca Hikvision, modelo DS-2TPH10-3AUF. De cada dia de medições, obteve-se um valor médio dos CWSI aferidos em cada tratamento e um valor médio dos potenciais medidos no dia. De posse de todos esses dados, para facilitar um possível manejo de irrigação futuro, ambos foram associados e se obteve curvas associando o CWSI medido com o respectivo valor de potencial matricial para as fases fenológicas do feijoeiro. Não se obteve uma boa correlação para a fase fenológica V4, porém para as fases R5, R6 e R7, R8, obteve-se correlações com bons valores de R^2 , por meio de análise de regressão utilizando o software estatístico Sisvar 5.6. Já para as características avaliadas também utilizando testes de regressão, obtiveram-se resultados significativos tanto quando relacionadas ao potencial matricial, como quando relacionadas à média geral dos CWSI medidos durante todo o experimento. Os resultados indicam que é possível utilizar o CWSI, para realizar o manejo eficiente da irrigação, sendo possível ainda correlacionar esse fator ao potencial matricial, pois as folhas tendem a ficar mais quentes devido a menor transpiração ocasionada pela falta de água no solo.

Abstract

Brazil is one of the largest bean producers in the world, and a large part of this production comes from the third harvest, which takes place in the driest period of the year, making it necessary to use irrigation. Associated with this, we have a growing need to obtain better use of the water used in agriculture, so that the activity is expanded and potentializes national food production. The only viable way to achieve this goal is the use of more efficient irrigation systems, such as tensiometry, which aims to obtain the tension of water in the soil, through the use of devices called tensiometers. However, this system seems unfeasible, uneconomical and difficult to apply in large, irrigated areas as in the case of pivot systems that are predominant in the irrigation of *Phaseolus vulgaris* L. Therefore, there is a need to test new irrigation managements, such as the use of the Plant Water Stress Index (CWSI) which is based on an equation obtained from the air temperature and the leaf temperature sampled using infrared thermometry. In this context, the objective of this work is to promote an association between the soil matrix potential, insert through tensiometers and CWSI, insert through the use of thermal cameras and evaluate the influence of factors on characteristics such as yield per plant, pod length, number of pods and number of grains per pod. For this, the experiment had 5 treatments each with irrigations made from 25 days until field capacity, whenever the treatment reached the matrix potentials: -5 kPa (T1), -10 kPa (T2), -15 kPa (T3), -20 kPa (T4) and -25 kPa (T5). The design used was completely randomized, in a greenhouse, with 8 repetitions in each treatment. At the same time, thermal photos were taken every two days with a portable camera from the Hikvision brand, model DS-2TPH10-3AUF. From each day of measurements, an average value of the CWSI measured in each treatment and an average value of the potentials measured on the day were obtained. With all these data, to facilitate a possible future irrigation management, both were associated, and curves were obtained associating the measured CWSI with the respective matrix potential value for the phenological phases of the bean plant. A good correlation was not obtained for the phenological phase V4, but for the phases R5, R6 and R7, R8, correlations were obtained with good values of R^2 , through regression analysis using the statistical software Sisvar 5.6. As for the characteristics evaluated also using regression tests, significant results were obtained both when related to the matrix potential, and when related to the general average of the CWSI measured throughout the experiment. The results indicate that it is possible to use the CWSI to carry out the efficient management of irrigation, and it is also possible to correlate this factor with the matrix potential, as the leaves tend to get warmer due to less transpiration caused by the lack of water in the soil.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Visualização da casa de vegetação da UnB na Estação Biológica da UnB. (Google Maps, 2021).....	23
Figura 2- Temperatura média diária do ar durante o período do experimento. (Autor, 2021).	25
Figura 3-Umididade Relativa do ar durante o período do experimento. (Autor, 2021).	26
Figura 4-(A) Vista diagonal disposição dos vasos no experimento da estufa (B) Vista lateral da disposição dos vasos. (autor, 2021)	26
Figura 5- Exemplos de Fotos termais obtidas durante o experimento (autor, 2021).	27
Figura 6- Curva de retenção obtida para neossolo Regolítico com coeficientes da equação característica. (PEREIRA, 2021 adaptado pelo autor.) Erro! Indicador não definido.	
Figura 7 Ciclo exigências de água durante um ciclo. Fonte: Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2017).	32
Figura 8: Grafico CWSI x Pot .Matricial V4. (autor, 2021)	34
Figura 9: CWSI x Potencial Matricial de água no solo para a fase fenológica R5 da cultura do feijão. (autor, 2021).....	35
Figura 10- CWSI x Potencial Matricial de água no solo para a fase fenológica R6 e R7 da cultura do feijão.	37
Figura 11- CWSI x Potencial Matricial de água no solo para a fase fenológica R8 da cultura do feijão.	38
Figura 12- Comprimento de Vagem x Potencial Matricial de água no solo para a cultura do feijão. (autor, 2021).....	39
Figura 13- Comprimento de Vagem x CWSI médio obtido durante experimento para a cultura do feijão	40
Figura 14- Número de Vagens por planta x Potencial Matricial de água no solo para a cultura do feijão.	41
Figura 15- Número de Vagens por planta x CWSI médio obtido durante experimento para a cultura do feijão.	43

Figura 16- Número de grãos por vagem x Potencial Matricial de água no solo para a cultura do feijão.	44
Figura 17- Número de grãos por vagem x CWSI médio obtido durante experimento para a cultura do feijão.....	45
Figura 18- Produtividade por Hectare x Potencial Matricial de água no solo para a cultura do feijão.	46
Figura 19- Produtividade por hectare x CWSI médio obtido durante experimento para a cultura do feijão.	47

Lista de tabelas

Tabela 1- Análise química de neossolo regolítico utilizado nos vasos do experimento, obtido na fazenda água limpa em Brasília- DF.....	24
Tabela 2- recomendação de adubação para cada vaso com expectativa para 5 ton/ha rendimento.	24
Tabela 3- Características físico-hídricas do Neossolo Regolítico utilizado nos vasos do experimento.....	29
Tabela 4- Resumo da Análise de variância obtida da Regressão CWSI médio x Potencial matricial da água no solo obtido em fase fenológica V4.....	33
Tabela 5- Resumo da Análise de variância obtida da Regressão CWSI médio x Potencial matricial da água no solo obtido em fase fenológica em R5.....	35
Tabela 6- Resumo da Análise de variância obtida da Regressão CWSI médio x Potencial matricial da água no solo obtido nas fases fenológicas R6 e R7.....	36
Tabela 7- Resumo da Análise de variância obtida da Regressão CWSI médio x Potencial matricial da água no solo obtido em fase fenológica R8.	37
Tabela 8- Resumo da Análise de variância obtida pela Regressão: Comprimento de Vagem x Potencial matricial de água no solo.....	39
Tabela 9- Resumo da Análise de variância obtida pela Regressão: Comprimento x CWSI médio obtido.	40
Tabela 10- Resumo da Análise de variância obtida pela Regressão: Número de Vagens por planta x Potencial matricial de água no solo.	41
Tabela 11- Resumo da Análise de variância obtida pela Regressão: Número de vagens por planta x CWSI médio obtido.	42
Tabela 12- Resumo da Análise de variância obtida pela Regressão: Número de grãos por vagem x Potencial matricial de água no solo.	43
Tabela 13- Resumo da Análise de variância obtida pela Regressão: Número de grãos por vagem x CWSI médio obtido.....	44
Tabela 14- Resumo da Análise de variância obtida pela Regressão: Produtividade por Hectare x Potencial matricial de água no solo.	46
Tabela 15- Resumo da Análise de variância obtida pela Regressão: Produtividade por Hectare x CWSI médio obtido.	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS:.....	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1. A irrigação:.....	15
3.2. Potencial Matricial	16
3.3. Termometria.....	18
3.4. CWSI.....	19
3.5. Neossolos	20
3.6. Feijão	21
4. MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1. Local da Estufa:	22
4.2. Cultivar	23
4.3. Solo e análise química	23
4.4. Controle de pragas e doenças:	24
4.5. Estação meteorológica :.....	25
4.6. Delineamento experimental.....	26
4.7. Termometria.....	27
4.8. Índice de estresse hídrico da Planta (CWSI).....	27
4.9. Manejo e sistema de Irrigação:	28
4.10. Relação entre Potencial Matricial e CWSI:	31
4.11. Análise das Plantas:	32
5. RESULTADOS	33
5.1. Potencial matricial x CWSI	33
5.1.1. V4	33
5.1.2. R5.....	34
5.1.3. R6 e R7	35
5.1.4. R8.....	37
5.2. Efeito do CWSI e potencial matricial sobre os componentes de produção da cultura do feijão.....	38
5.2.1. Comprimento de vagem	38
5.2.2. Número de Vagens por Planta	40

5.2.3. Número de Grãos por Vagem.....	43
5.2.4. Produtividade por planta.....	45
6. DISCUSSÕES	48
7. CONCLUSÃO	50
8. REFERÊNCIAS	51
9. AGRADECIMENTO	58

1. INTRODUÇÃO

Em um cenário de crescimento da população mundial, no qual, segundo o portal “*Worldometer*” (2021), a população mundial já ultrapassou o número de 7,8 bilhões de habitantes, é um desafio cada vez maior produzir alimentos para proporcionar uma segurança alimentar. Sem dúvidas, uma das melhores maneiras para atingir essa meta é a utilização mais racional dos recursos e o aumento da produtividade. Uma das práticas que tem mais eficiência comprovada nesse sentido é a irrigação, que se tornará cada vez mais necessária na medida que o aquecimento global tende a redistribuir as chuvas, tornando o clima cada vez mais imprevisível e suscetível a extremos como a ocorrência de geadas e de secas prolongadas que ameaçam a agricultura mundial. (PELLEGRINO,2007).

Um grande empecilho para o desenvolvimento dessa prática segundo a Agência Nacional de Águas (AYRIMORAES, 2020) a estimativa de que 97,5% de toda água do planeta Terra esteja nos mares, salgada, imprópria para aproveitamento direto humano ou mesmo para ser utilizada na irrigação. Restando, cerca de 2,5% de água doce, porém aproximadamente 69% dessa está em geleiras e 30% em águas subterrâneas de aquíferos, só podendo ser explorada com a construção de poços. Com isso, apenas 1% de água doce está disponível nos rios de fácil aproveitamento.

Porém segundo dados da mesma organização, com o manejo correto da água, o Brasil tem áreas aptas para aumentar sua área irrigada dos 8,2 milhões atuais para cerca de 55 milhões de hectares de forma sustentável (AYRIMORAES, 2020). O que atrasa esse desenvolvimento é a capacidade de produção, a indústria de matérias de irrigação e investimento inicial alto demandado para adquiri-los.

Outra limitação da agricultura, é o fato de que a muitas das terras estão sendo mal utilizadas ou se encontram com algum grau de degradação.

Diante das problemáticas atuais, o papel dos cientistas tem sido a tentativa de melhorar técnicas que podem aumentar a produtividade das culturas e melhorar o aproveitamento dessa água, o que está diretamente relacionado com a utilização de manejos eficientes de irrigação. Campbell e Mulla (1990) já se referiam

à tensiometria como o método mais utilizado para o controle da irrigação, contudo a mesma mostra-se de difícil aplicabilidade em áreas maiores, na medida que um aparelho mostra apenas a realidade de uma pequena mancha de solo, o que torna o método trabalhoso, pouco econômico e menos homogêneo na medida que refletem apenas o que acontece em determinado ponto do solo. O que levou a pesquisas que testassem novos métodos de manejo da irrigação.

Com base em avanços no estudo da fisiologia vegetal e no surgimento dos termômetros infravermelhos, surgiu a hipótese de que plantas em estresse hídrico tinham uma tendência a apresentar uma maior temperatura foliar em comparação com plantas sem restrição hídrica. Propuseram então, o CWSI, sigla em inglês que corresponde a índice de estresse hídrico das culturas (IDSO; JACKSON,1981). Desde a intensificação desta hipótese, foram propostos alguns trabalhos com a finalidade de quantificar a quantidade ideal de água a ser irrigada em função da severidade desses níveis de estresse como: algodão (PADHI et al., 2012), soja (NIELSEN,1990) e milho (ANDA, 2009).

Cultura tradicional presente diariamente na alimentação do brasileiro, o feijão está entre os grãos mais cultivados no Brasil, com cerca de 2884,9 mil toneladas produzidas na safra de 2020/2021. Dentre suas vantagens, está o fato de o mesmo ter um ciclo curto e a baixa sensibilidade a variações devido ao fotoperíodo, podendo ser produzido o ano todo, até mesmo no período mais seco do ano, em terceira safra, entre os meses de julho a outubro das quais cerca de 780 mil toneladas, foram produzidas utilizando irrigações por pivôs centrais em 2020 (CONAB, 2021).

2. OBJETIVOS:

O objetivo deste trabalho foi obter uma relação entre potencial matricial e o CWSI, para cada fase fenológica do feijoeiro comum em neossolo como forma de correlacionar essas variáveis, encontrando uma equação que ajude o produtor no manejo da irrigação utilizando a termometria.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. A irrigação:

De tudo o que a planta precisa para sobreviver, a água é o elemento mais demandado e também o mais limitante para a produção agrícola, pois é a matriz e o meio onde ocorrem a maioria dos processos bioquímicos essenciais não só das plantas, mas também de qualquer ser vivo (TAIZ et al., 2017).

Segundo Feldens (2018), o homem descobriu que poderia cultivar as plantas no período chamado de neolítico entre 8000-5000 A.C., com os primeiros registros históricos encontrados na mesopotâmia, onde se aproveitavam as áreas férteis próximas a rios. Nesse contexto, o primeiro registro de uma atividade utilizando irrigação artificial, foi no Egito, cerca de 2300 A.C, onde impulsionados pela necessidade de mais áreas produtivas, começaram a construir canais que levavam a água do Nilo para algumas plantações do local.

Hoje a realidade é outra, de acordo com o atlas proposto pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2020), só no Brasil há cerca de 8,2 milhões de hectares irrigados, o que pode parecer muito antes de ler na mesma referência, que o país tem capacidade para um limite de 55 milhões de hectares irrigados, com a utilização de manejos eficientes e com técnicas focadas em sustentabilidade.

A boa notícia é que ao longo do tempo, as práticas de irrigação foram evoluindo, atingindo novos territórios, incorporando novas tecnologias e se intensificando até chegar no que temos atualmente onde metodologias de manejo, tais como o cálculo da evapotranspiração das culturas, utilização de sistemas que melhoram o aproveitamento da água e sensores que medem as condições do ambiente permitem que se forneça água adequadamente, no melhor momento e em quantidades satisfatórias para qualquer cultura, permitindo um melhor aproveitamento da mesma, diminuindo a percolação, a evaporação e evitando o estresse hídrico da cultura.

Portanto dada a importância da água para o desenvolvimento e produção, tornam-se necessários estudos que busquem interpretar as respostas fisiológicas dos cultivos em função da disponibilidade hídrica. Com diversos avanços na área, hoje é possível mensurar as necessidades hídricas de uma

planta, o que permite um manejo racional da água, evitando problemas fitossanitários com o excesso ou problemas de deficiência com a falta (CHAVARRIA et al., 2015).

3.2. **Potencial Matricial**

A prática da irrigação no Brasil vem sendo realizada, de forma geral, sem um manejo adequado. É de reconhecimento de técnicos e de irrigantes, a necessidade de se adotar critérios racionais para administrar as irrigações, visando à aplicação da água no momento certo e na quantidade apropriada. As consequências benéficas e previsíveis são: maior produtividade e qualidade dos produtos obtidos, melhores condições fitossanitárias, uso racional da água, energia e outros insumos (BISPO et al., 2017).

O tensiômetro, aparelho desenvolvido por Gardner et al. em 1922 e aperfeiçoado por Camargo et al. em 1982, é utilizado para medir o potencial matricial, que nada mais é que a tensão com que a água está retida pelas partículas do solo. Conhecendo-se a relação entre a quantidade de água no solo e a tensão em que ela se encontra, pode-se estimar, de forma não direta, o teor de água no solo, baseado nas leituras desse aparelho. Campbell e Mulla (1990) se referem ao tensiômetro como o mais utilizado dentre todas as metodologias conhecidas para determinação dos potenciais de água no solo visando o manejo de irrigação.

Coelho e Teixeira (2004) tentam explicar o funcionamento do tensiômetro baseados na construção do equilíbrio entre a solução do solo e a água contida dentro do aparelho. Esse equilíbrio ocorre, quando a cápsula porosa, localizada na extremidade inferior do tensiômetro, entra em contato com o solo e a água do tensiômetro entra em contato com a água da solução do solo. Após a estabilização, se a água do solo estiver sob tensão, ou seja, solo não saturado, essa irá exercer uma sucção sobre o instrumento, retirando a água de seu interior, diminuindo a pressão interna do aparelho. Devido a vedação dos tensiômetros, há a formação de vácuo; o que dá uma leitura dessa pressão (negativa) e fornece o potencial matricial da água no solo.

A leitura de um tensiômetro nada mais é do que a quantificação da energia necessária para a água ser desprendida das partículas de solo, onde estão adsorvidas (AZEVEDO e SILVA., 1999). Com base na leitura desses aparelhos, há informações para estimar a umidade do solo e repor, de forma suficiente a água deste, para que se atinja o limite superior de disponibilidade de água (BRAGANÇA, 2005)

É fundamental, estabelecer um valor de potencial matricial ideal para cada cultura e condições de crescimento para melhorar a eficiência da produção e do uso da água, como evidenciado em Buttaro et al. (2015) e Létourneau et al. (2015). Porém, não é tão simples, pois os dados de potencial matricial não fornecem informações a respeito da quantidade de água que deve ser aplicada, sendo que para essa determinação se faz necessário entender as propriedades desse solo, levando em consideração sua curva de retenção de água, para que não haja excesso e muito menos déficits nos processos de irrigação (CONTRERAS et al., 2017).

A curva de retenção da água no solo nada mais é que a representação em forma de gráfico do potencial matricial, pela umidade volumétrica de uma amostra de solo. Essa curva, é totalmente dependente das características físicas desse solo, tais como a granulometria, arranjo e forma das partículas, características que irão tornar sua obtenção dependente de análises laboratoriais (VILLA NOVA, 1991). De posse da curva de retenção e do potencial matricial, pode-se obter a umidade volumétrica de um solo que permite quantificar a quantidade de água a aplicar.

Millar e Choudhury (1980) observaram que até 90% do potencial de produção da cultura do feijão provêm de uma boa irrigação, com a cultura devendo ser irrigada sempre quando apresentar potencial matricial de -17 kPa. Já Frizzone (1986) estudando também o efeito da quantidade de água aplicada sobre o peso de grãos e produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.), observou que o melhor rendimento de grãos foi atingido com o tratamento de - 19 kPa, observou o que permitia um turno de rega de 6 dias.

De Brito et al. (2015), analisando produtividade de feijoeiro, cultivar ametista, com diferentes tratamentos de potenciais matriciais durante o florescimento da cultura, obteve que o potencial de -30 kPa, proporcionou melhor

produtividade em detrimento aos tratamentos com -40 kPa, -50 kPa, -60 kPa e -70 kPa em solo argiloso com baixa permeabilidade e alta capacidade de retenção de água no solo.

3.3. Termometria

Chamamos de Termologia a parte da física que estuda os fenômenos relativos ao calor, aquecimento, resfriamento, mudanças de estado físico, mudanças de temperatura, etc. Termometria é a parte da termologia voltada para o estudo da temperatura, dos termômetros e das escalas termométricas. (BASSALO, 1991)

A temperatura foliar, tal qual a diferença existente entre a temperatura da folha e do ar, tem sido apontadas em diversas literaturas como indicadoras de déficit hídrico bem como como critério para a irrigação (GARROT JÚNIOR et al., 1994, CLAWSON e BLAD, 1982).

O uso da temperatura da cobertura vegetal ou do dossel vegetativo para avaliação do estresse hídrico utiliza como base, o fato de que ao transpirar, a folha se resfria, portanto, ao diminuir os teores de água no solo, a transpiração foliar tende a diminuir, fazendo que as temperaturas de folha se elevem. Nesse sentido, quando pouca água é transpirada, a tendência é que as folhas fiquem mais quentes que o ar devido a absorção da radiação (MAGGIOTTO,1996). De forma prática, quando mais água há disponível para a planta, mais transpiração suas folhas realizam e menor é sua temperatura.

Segundo a lei de Stefan-Boltzmann, a temperatura da superfície da cobertura vegetal pode ser expressa em termos da radiação por ela emitida. Assim, conhecendo-se o fluxo de radiação emitido pela superfície do corpo, pode-se determinar sua temperatura (MAGGIOTTO,1996).

A termometria infravermelha é um método que possibilita a medição da temperatura de uma porção do dossel vegetativo sem a necessidade de contato físico com as folhas, esse é o princípio de como funcionam os termômetros infravermelhos que medem o fluxo de radiação emitida pela folha (GARCIA, 2000). Já as câmeras termais, são uma evolução do processo, possuem uma câmera híbrida que captura imagens normais e imagens termais na medida que convertem

a radiação emitida na forma das leituras dos raios infravermelhos pela folha na forma de imagens termais. (SOBRINHO et al., 2018)

Crusiol et al. (2017) utilizando drones com câmeras termais acopladas para observar plantas de soja, em dados coletados 44 dias após a semeadura, obtiveram as maiores temperaturas de folha no tratamento submetido a estresse hídrico vegetativo (29,5 °C) em detrimento ao tratamento sem restrição hídrica, que apresentou a temperatura mais baixa (23,1 °C).

Nascimento et al. (2009), testando variedades de feijão-caupi, buscando genótipos resistentes a seca, observou que quando os genótipos foram submetidos a déficit hídrico, houve, em média, uma elevação de 3,5 °C com relação à temperatura média foliar (Tf).

3.4. **CWSI**

Na evolução das espécies, a disponibilidade de água sempre foi uma grande força seletiva. Plantas que conseguiam desenvolver a habilidade para lidar com déficit ou excesso de água sempre tiveram uma grande vantagem no processo de adaptação, distribuição, evolução das culturas agrícolas. (BATISTA, 2012). A água, em um sistema solo-planta-atmosfera está sempre em um ciclo, sendo absorvida do solo pelas raízes e posteriormente perdida por evapotranspiração para a atmosfera de forma que quando as perdas são maiores que a absorção, a planta entra em déficit hídrico (LAWLOR e CORNIC, 2002).

O estresse hídrico, diretamente relacionado com os processos fisiológicos da planta, costuma aumentar a resistência difusiva ao vapor d'água, provocando como reação o fechamento dos estômatos, diminuindo a transpiração e, conseqüentemente, o suprimento de gás carbônico para a fotossíntese, efeitos que demonstram os mecanismos de adaptação das plantas ao meio ambiente (NOGUEIRA, 1997).

De acordo com Ortolani e Camargo (1987), a ocorrência e a intensidade de déficits hídricos são fatores limitantes da produtividade das culturas, pois desconsiderando os efeitos extremos, a produção pode ser até 70% prejudicada.

O Crop Water Stress Index (CWSI) do inglês "Índice de estresse hídrico das culturas" foi desenvolvido por IDSO et al. (1981) e modificado por Jackson et

al. (1981), que apresentaram referenciais teóricos para desenvolver o CWSI baseados na diferença entre a temperatura da folha e a temperatura do ar. Para isso, utilizaram de forma combinada a equação de Penman Monteith e a equação do balanço de energia, no intuito de desenvolver os limites mínimos e máximos de variação dessa diferença, denominados respectivamente de linha de base inferior (LBI) e linha de base superior (LBS).

Padhi et al. (2012), em experimento com a cultura do algodão, testou se a termografia infravermelha pode distinguir variação sistemática na irrigação. Para isso utilizou lâminas que correspondiam a 50%,60%,70% e 85% da capacidade de campo e relataram que a temperatura do dossel pode ser medida de forma confiável com a utilização de imagens térmicas. Dados esses que podem ser associados com parâmetros ambientais e com o índice de condutância estomática relacionados a tensão de água nas plantas. O autor cita ainda, que o uso do índice de estresse hídrico obtido pela termografia é uma boa ferramenta no manejo da irrigação do algodão.

Bellvert et al. (2014) utilizando um veículo aéreo não tripulado, obtiveram imagens termais de sensoriamento remoto e as compararam com temperaturas obtidas em um termômetro infravermelho na determinação do CWSI em videiras com e sem restrições hídricas, por dois anos consecutivos: 2009 e 2010. Conseguiram boas correlações entre o potencial de água nas folhas e o índice de estresse hídrico da videira em ambas situações e concluíram que os dois métodos são eficientes na determinação da variabilidade do estresse hídrico dessas plantas.

Lobo et al. (2004), já utilizou o manejo apenas com as temperaturas de folha, sem relacionar a outro método de irrigação e tentando obter um momento exato para se realizar a irrigação a partir do método do CWSI, obteve que a cultura do feijão deve receber água sempre que a temperatura foliar de uma planta sem restrição hídrica estiver de 3 a 4 °C mais quente que a planta em estudo.

3.5. Neossolos

Segundo o Sistema Brasileiro de classificação dos solos, a classe dos neossolos é responsável por cerca de 13% dos solos do Brasil. São solos constituídos de pouca matéria orgânica e que apresentam poucas alterações em

relação ao material de origem, devido a baixa atividade de processos pedogenéticos. São solos “novos”, que sofreram pouca ação do processo de intemperismo, seja devido à resistência devido as características do próprio material de origem, ao clima, relevo e/ou tempo. (SANTOS et al. 2011).

Os Neossolos se subdividem em níveis de classificação mais baixos em Neossolos Litólicos (horizonte superficial diretamente sobre rocha sã ou semidecomposta, ou horizonte C ou Cr); Regolíticos (solos com material superficial assente sobre rocha ou horizonte C ou Cr a mais de 50 cm de profundidade, com ocorrência de minerais primários); Flúvicos (derivados de sedimentos aluviais) e Quartzarênicos (solos arenosos, de textura areia ou areia franca). (SANTOS et al. 2011);

Neossolos são solos mais rasos, novos e com maior porcentagem de pedras e areia diferente dos latossolos. Tem como característica reter menos água, logo irrigação tem que ser feita de forma mais leve e com mais frequência pois Irrigações muito pesadas podem acabar em desperdício e degradação do solo. Também, possui baixos níveis de fósforo. (JACOMINE, 1996).

3.6. Feijão

A cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) pertence ao gênero *Phaseolus* que está dentro da subclasse Rosidae, ordem Fabales e família Fabaceae (CRONQUIST, 1988). A quantidade de espécies de *Phaseolus* espalhados pelo mundo é de cerca de 31 a 52 espécies, mas apenas cinco são cultivadas: *P. vulgaris* L., *P. lunatus* L., *P. coccineus* L., *P. acutifolius* A. Gray e *P. polyanthus greeman* (ABREU, 2005).

O feijão é um dos alimentos com registros mais antigos do mundo sendo muito apreciado na Grécia e no antigo Egito. Há relatos, também de seu cultivo durante a idade do Bronze (1000 a.C.) na região que hoje corresponde à Suíça. Historiadores acreditam que sua disseminação rápida se deu com as guerras, visto que era um dos alimentos da linha de frente dos combatentes. Contudo, seu centro de origem não é a Europa, mas sim as américas: México (grãos miúdos), Andes (grãos graúdos) e Colômbia (EMBRAPA, 2000).

O feijão comum é uma leguminosa rica principalmente em proteínas, fibras, aminoácidos, ferro e magnésio (ANTUNES, 1995), muito apreciada na culinária mundial. O Brasil é o quarto maior produtor do grão, atrás de Índia, China e Myanmar; contudo não é grande exportador visto a alta demanda do mercado interno (ARAGÃO e CONTINE, 2021) e por isso também não é negociado como commodity internacional, assim como a soja e o milho. Garcia et al. (2012), citam o feijão como um dos principais alimentos de sustento básico para a maioria da população nacional.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o consumo de feijão pelo consumidor brasileiro é de 142,2 g/hab/dia aproximadamente, quantidade que vem em queda, mas que segue muito relevante. (IBGE, 2020).

Segundo a CONAB (2021), a produção total da safra brasileira de 2020/21 foi de 2884,9 mil toneladas do grão, abaixo das 3222,6 mil toneladas da safra anterior, mas com preços que chegaram a 270/280 reais/saca, o que enfatiza ainda mais seu valor comercial para os produtores brasileiros. Vale ressaltar, que desse montante 780 mil toneladas são provenientes do feijão de terceira safra, do qual a grande maioria é irrigado, onde a produtividade média pode chegar facilmente a 40 sacos por ha (IBRAFE, 2019).

Como características da cultura podemos citar o ciclo curto variando de 65 a 90 dias, a possibilidade de ser cultivado em todo país, em até 3 safras caso haja auxílio de irrigação na terceira (CONAB, 2020).

Tem sido relatada a sensibilidade da cultura do feijão ao estresse hídrico, devida a baixa capacidade de recuperação após a deficiência hídrica em virtude de um ciclo menor e de um sistema radicular pouco desenvolvido (FRANCISCO et al., 2016).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Local da Estufa:

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Estação de Biológica da Universidade de Brasília, localizada a 15°44'06" de latitude sul e

47°52'58" de longitude Oeste, a 1020 m de altitude em Brasília, Distrito Federal, entre junho e agosto de 2021.

A estufa (30 x 13 m) utilizada possuía sistema de arrefecimento, que ajustava a temperatura do ar em 27 °C. Possuía para isso também, um painel de argila expandida ligado a um conjunto motobomba que levava a água a parte superior do painel. Havia oito exaustores cada um com potencial de remoção de 450 m³ ar min⁻¹, dispostos na lateral oposta ao painel de argila com a finalidade de retirar o ar úmido da casa de vegetação. A visualização superior do ambiente do experimento encontra-se na Figura 1:



Figura 1 – Visualização da casa de vegetação da UnB na Estação Biológica da UnB. (Google Maps, 2021).

4.2. Cultivar

A cultura escolhida foi o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), tipo carioquinha, cultivar BRS FC104 superprecoce desenvolvida pela Embrapa, com ciclo de 65 a 75 dias da sementeira a maturação (EMBRAPA, 2017).

4.3. Solo e análise química

O solo utilizado foi o neossolo, sua análise química na profundidade de 0-20 cm, encontra-se descrita na Tabela 1.

Tabela 1- Análise química de neossolo regolítico utilizado nos vasos do experimento, obtido na Fazenda Água Limpa em Brasília- DF.

PH	P	K	Ca	Mg	AL	H+AL	MO
	mg.dm ⁻³			Cmolc.dm ⁻³			g.Kg ⁻¹
6,3	1,2	0,05	0,5	0,1	0,5	3	7,7

Potencial hidrogeniônico (pH); matéria orgânica (M.O.); fósforo (P-resina); potássio (K); cálcio (Ca); magnésio (Mg); alumínio (AL) hidrogênio + alumínio (H+Al);

Os dados foram interpretados e a adubação foi calculada seguindo as recomendações de Sousa e Lobato (2004) para região do Cerrado brasileiro, com duas coberturas aos 15 e aos 25 dias, em cada vaso. A Tabela 2 trás as quantidades de adubo aplicadas em cada vaso visando obter 5 toneladas por hectare.

Tabela 2- Recomendação de adubação para cada vaso com expectativa para 5 ton/ha rendimento.

Calcário Dolomítico (g)	Ureia (g)	Yoorin master (g)	Cloreto de Potássio (g)
Plantio	8,54	10,06	0,69
Correção			
Cobertura	-	0,98	0,46

4.4. Controle de pragas e doenças:

Para o manejo fitossanitário, visto que estávamos em uma condição de ambiente “controlado”, utilizamos como fungicida o princípio ativo mancozeb na concentração de 750 g/kg em duas aplicações aos 35DAE e 45DAE na dose de 2g para 5 L de calda para o controle de doenças como a antracnose e a mancha angular. Já como inseticidas, utilizamos os princípios ativos deltametrina 25 g/L e o óleo de neen 850 g/L, sendo respectivamente aplicados nas dosagens 4 ml/5L e 20 ml/5L na tentativa de controlar insetos como *Bemisia tabaci* e *Frankiniella schultzei*.

4.5. Estação meteorológica :

Foi instalada na estufa uma estação meteorológica modelo ET900 no local, que de hora em hora gravava valores de radiação solar, temperatura do ar e umidade relativa em tempo real. A Figura 2, mostra os dados registrados para a temperatura do ar durante o período do experimento, já à 3 mostra os dados de umidade relativa. No dia 11 de agosto, já na parte final do experimento, houve um problema nos exaustores, o que explica os dados anormais de temperatura do ar e umidade relativa nesse período.

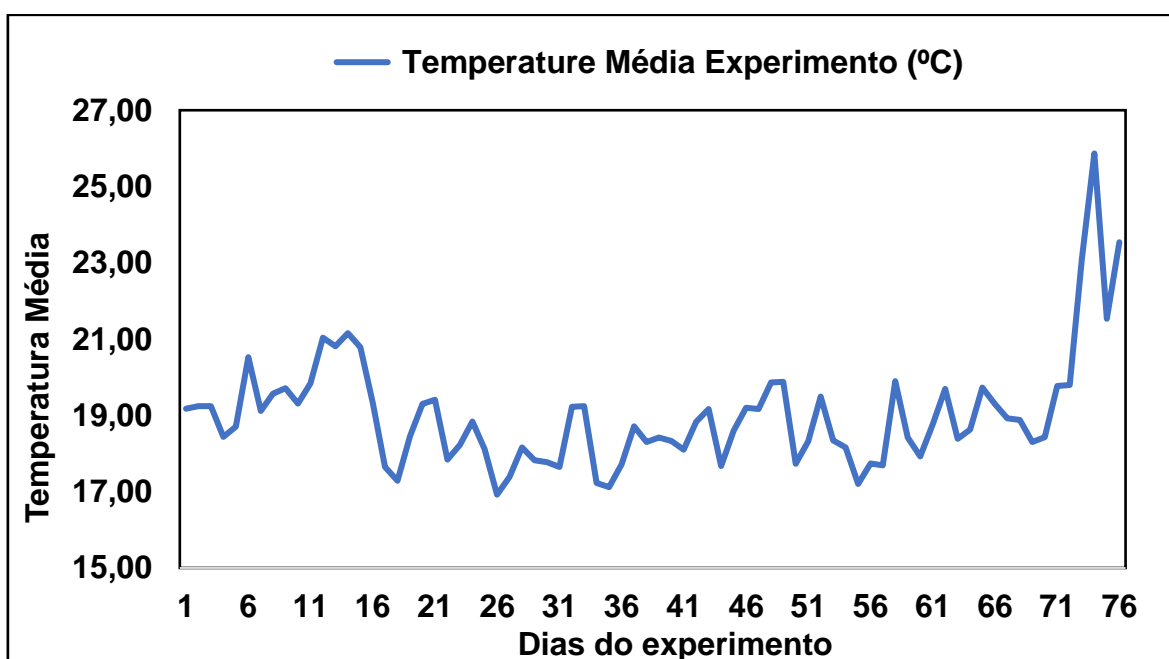


Figura 2- Temperatura média diária do ar durante o período do experimento.

A Figura 3 mostra os dados de umidade relativa, registrados para o mesmo período:

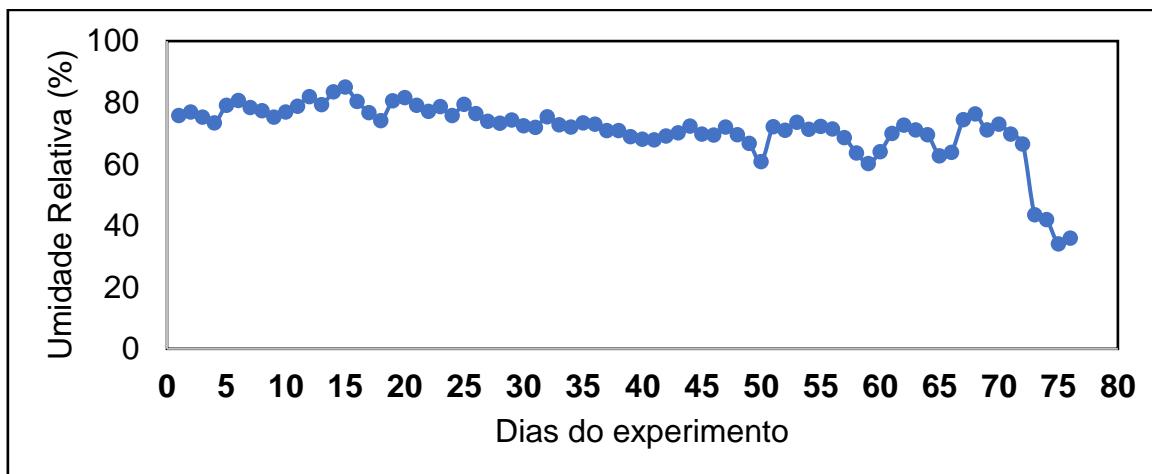


Figura 3-Umidade Relativa do ar durante o período do experimento.

4.6. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado e consistiu de 40 vasos do neossolo, divididos em 5 lâminas diferentes irrigados conforme a medição dos potenciais matriciais com 5 kPa (T1), 10 kPa (T2), 15 kPa (T3), 20 kPa (T4), 25 kPa (T5), distribuídas aleatoriamente pela estufa, sendo 8 repetições em cada uma. O volume da unidade experimental (Vaso) era de 11L de solo e havia duas plantas em cada unidade. A Figura 3 mostra o experimento disposto na casa de vegetação:



Figura 4-(A) Vista diagonal disposição dos casos vasos no experimento da estufa (B) Vista lateral da disposição dos vasos.

4.7. Termometria

De dois em dois dias, foram obtidas fotos termais de cada unidade experimental, individualmente com a câmara portátil de medição da temperatura da marca Hikvision, modelo DS-2TPH10-3AUF. A temperatura descrita no ponto superior esquerdo da imagem é exatamente a temperatura do foco verde do centro da câmara e há uma escala de cor no canto direito que traz as mensurações das temperaturas de todo perímetro da foto. Ao todo foram tiradas 1000 fotografias, em 25 dias de análises, 40 em cada dia, ao longo de todo o experimento. A Figura 4 é uma amostra de algumas das fotos registradas durante o experimento:

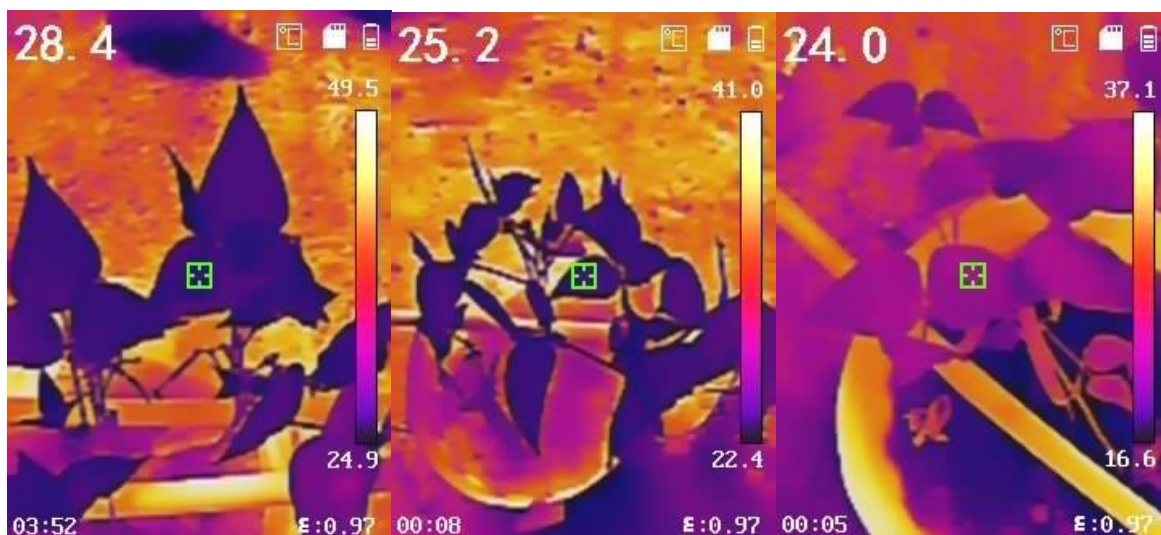


Figura 5- Exemplos de Fotos termais obtidas durante o experimento (autor, 2021).

4.8. Índice de estresse hídrico da Planta (CWSI)

De posse dos dados de temperatura foliar e dos dados de temperatura do ar no momento que as fotos foram tiradas, calculou-se o Índice de estresse hídrico das plantas (CWSI) por meio da metodologia proposta por Jackson, Kustas e Choudhury (1988), conforme a Equação 1:

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a) - (T_c - T_a)_{LBI}}{(T_c - T_a)_{LBS} - (T_c - T_a)_{LBI}} \quad (1)$$

Em que:

CWSI – Coeficiente de estresse hídrico da cultura, adimensional;

T_c – temperatura da cultura, °C;

T_a – temperatura média do ar, °C;

$(T_c - T_a)_{LBI}$ – linha base de temperatura inferior que corresponde a diferença de temperatura ambiente com a superfície de uma folha, sem restrições hídricas em °C. Corresponde a menor diferença entre ar e folha, de todas as medições avaliadas;

$(T_c - T_a)_{LBS}$ – linha base de temperatura superior, corresponde a diferença de temperatura do ar ambiente para uma superfície de folha com déficit hídrico em °C. Corresponde a maior diferença entre o ar e a folha, dentre as medições avaliadas.

4.9. Manejo e sistema de irrigação:

A sistema de irrigação foi do tipo gotejamento, de vazão igual a 1 L h⁻¹, movido por um motor de 1 CV com um reservatório composto por duas caixas de água de 10 m³ de capacidade cada.

Primeiramente, fez-se irrigações iguais, cerca de 3 minutos em todos os tratamentos até os 20 dias, para garantir a germinação e estabelecimento de pelo menos duas plantas em cada unidade experimental (vaso) e permitir que chegassem em condições parecidas para entrar em diferentes tipos de estresse hídricos.

Posteriormente, a irrigação utilizada em cada tratamento foi baseada no potencial matricial de cada solo. Esse potencial era medido de dois em dois dias com a ajuda de vacuômetros em tensiômetros instalados em metade dos vasos do experimento (4 em cada tratamento) e a irrigação de cada lâmina só era feita se o valor da média da leitura dos potenciais matriciais de cada tratamento fosse igual ou superior a -5 kPa, -10 kPa, -15 kPa, -20 kPa, -25 kPa, respectivamente nos tratamentos de 1 a 5. Caso atingisse os valores dos tratamentos determinados, era feita a irrigação para reposição da água evapotranspirada.

Para caracterização físico-hídrica do solo, foram coletadas amostras no início do trabalho utilizado uma pá em uma trincheira de neossolo, mesmo solo

utilizado posteriormente nos vasos, na Fazenda Água Limpa da UnB em Cerrado natural (15°58'48,27" S; 47°56'57,54" O). As características físicas e as demais necessárias, foram determinadas em laboratório e estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3- Características físico-hídricas do Neossolo Regolítico utilizado nos vasos do experimento.

Variáveis	NR	Variáveis	NR
Densidade do solo (kg dm ³)	1,292	Areia (%)	77,2
Porosidade total (m ³ m ⁻³)	0,512	Silte (%)	8,5
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	0,2	Argila (%)	14,3
Microporosidade (m ³ m ⁻³)	0,312		

O cálculo da quantidade de água a ser irrigada, foi feito com base no potencial matricial obtido em cada solo. Esse valor era transformado para umidade (θ), em cm³/cm³, através do modelo proposto por Van Genuchten (1980), que relaciona os valores de ψ_m com os respectivos valores de θ utilizando a equação 2:

$$\theta(\psi_m) = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{(1 + (\alpha \psi_m)^n)^m} \quad (2)$$

Em que :

$\theta(\psi_m)$ – Umidade volumétrica em função do potencial matricial, cm³/cm³;

θ_r – Umidade volumétrica residual do solo, cm³.cm³;

θ_s – Umidade volumétrica do solo saturado, cm³.cm³;

m e n – Parâmetros de regressão da equação, adimensionais;

α – Parâmetro com dimensão igual ao inverso da tensão, kPa⁻¹;

ψ_m – potencial matricial, kPa.

A partir da obtenção dos parâmetros físico-hídricos do solo, foi determinada a curva de retenção, em experimento para tese doutorado de Pereira (2021) de água no solo pelos métodos da mesa de tensão e extratores de “Richards” com placas porosas. Então a equação 2 foi ajustada, utilizando a restrição de Mualem e o software RETC (VAN GENUCHTEN et al., 1991), bem

como a umidade dos solos na capacidade de campo (θ_{cc}) na tensão de -5 kPa e ponto de murcha permanente (θ_{pmp}) na tensão de -1500 kPa para o Neossolo regolítico, obtendo a curva descrita na figura 6:

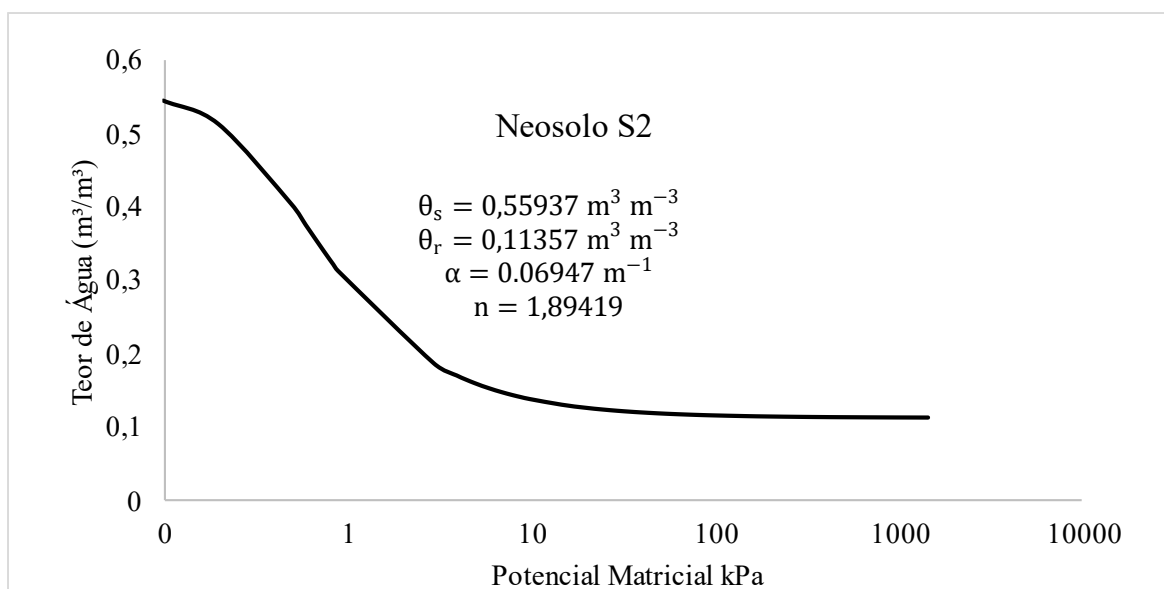


Figura 6- Curva de retenção obtida para neossolo Regolítico com coeficientes da equação característica. (PEREIRA, 2021 adaptado pelo autor).

Em cada dia de leitura das tensões de água no solo, foi calculada a quantidade de água média necessária para elevar os potenciais de interesse à capacidade de campo, por meio da equação 3 e obteve-se os tempos que cada registro deveria ser aberto para tal em cada tratamento, por meio da equação 4, descritas abaixo:

$$L20 = \theta_{cc} - \theta_n \quad (3)$$

Em que:

L_n – lâmina necessária para elevar a umidade da camada 20cm até a capacidade de campo, mm;

θ_{cc} – umidade volumétrica na capacidade de campo para a camada x, $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$;

θ_n – umidade volumétrica atual estimada para a camada n, $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$;

$$TI = \frac{LI \cdot A}{Q \cdot Ea} \cdot 60 \quad (4)$$

Em que:

TI – tempo de irrigação, minutos;

LI – lâmina de irrigação necessária para elevar a umidade do solo até a capacidade de campo, mm;

A – área de solo da parcela, m²;

Q – vazão do sistema, em L.h⁻¹;

Ea – Eficiência de aplicação, decimal.

4.10. Relação entre Potencial Matricial e CWSI:

Um dos objetivos desse trabalho, é estimar equações empíricas que associem o potencial matricial com o CWSI. Para isso, foram utilizadas médias dos CWSIs e dos potenciais matriciais obtidos, em cada tratamento, em cada dia de medição, para fases diferentes do ciclo do feijoeiro que associam os dois parâmetros. As medições se iniciaram após a emergência e desenvolvimento inicial de todos os tratamentos, especificamente até a abertura da terceira folha trilobada que corresponde ao V4 do feijoeiro (EMBRAPA, 2018). E corresponderam às fases:

- V4= 16/06 a 23/06/2021
- R5=24/06 a 03/07/2021
- R6 e R7=05/07 a 20/07/2021
- R8=21/07 a 04/08/2021
- R9= Sem água

Foram propostas 4 equações de segundo grau para a irrigação do feijoeiro em neossolo conforme as temperaturas de folha, para as descritas fases. Os softwares utilizados foram o Sisvar 5.6, o Microsoft Excel 2013 e o Libreoffice

Calc 6.2. A Figura 7, traz um mapa simplificado de necessidades hídricas de uma cultura, para que se explique a utilização de 4 equações para manejo de irrigação durante o ciclo de qualquer cultura.

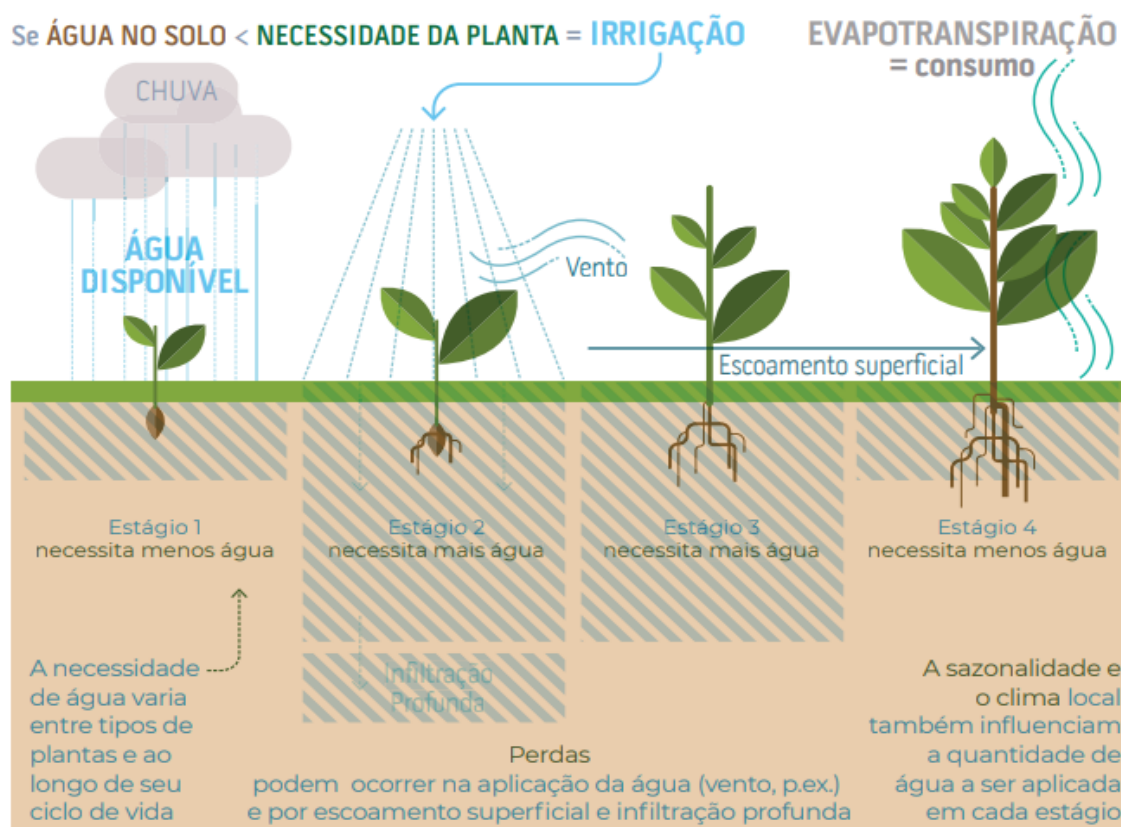


Figura 7 Ciclo exigências de água durante um ciclo. Fonte: Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2017).

4.11. Análise das Plantas:

A irrigação foi suspensa no dia 04/08/2021 para que as plantas terminassem o processo de maturação dos grãos. As análises, foram realizadas após a colheita no dia 13/08/2021, quando as plantas já se encontravam secas, no laboratório de física de solos na Universidade de Brasília. As variáveis analisadas foram comprimento de vagem, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e produtividade por hectare, tomando como base uma população de 280 mil plantas por hectare, que obteve melhor média de produtividade no experimento de Guimarães et al (2019) em municípios de Goiás com clima semelhante para cultivar em estudo. Todas foram submetidas a análise de variância (ANAVA) de regressões lineares, quadráticas e cúbicas, tanto para os tratamentos de potencial matricial,

quanto para o parâmetro CWSI geral, obtido através da média dos CWSIs encontrados durante todo experimento. Os softwares utilizados foram o Sisvar 5.6, o Microsoft Excel 2013 e o Libreoffice Calc 6.2.

5. RESULTADOS

5.1. Potencial matricial x CWSI

Foram propostas 4 equações para associar o potencial matricial ao CWSI médio do feijoeiro, durante as seguintes fases fenológicas respectivamente: V4, R5, R6 e R7 e R8.

5.1.1. V4

A relação Potencial matricial e CWSI para a fase V4, que correspondeu as medições feitas do dia 16/06 ao dia 23/06, não apresentou correlações que concluam que o potencial matricial possa ser associado ao CWSI. As equações lineares e quadráticas obtiveram 0,048 e 22,35 de R², o que se deve principalmente ao fato de que houve alguns problemas iniciais na implantação do experimento, como falhas no vacuômetro analógico, tampinhas que não seguravam vácuo nos 33 tensiômetros e uma tela sombrite que estava disposta acima do experimento que reduzia a radiação solar que chegava as plantas.

Apesar de obter um R² alto para regressão cúbica, essa é inadequada pois não representa uma equação de uma relação esperada entre os parâmetros. Os valores estatísticos obtidos para a fase fenológica V4, estão descritos na Tabela 4 ANAVA e a equação $y = -0,0396x^2 + 0,5597x - 1,4514$, descrita na Figura 8.

Tabela 4- Resumo da Análise de variância obtida da Regressão CWSI médio x Potencial matricial da água no solo obtido em fase fenológica V4.

Fontes de variação	GL	S.Q	QM	Pr>F	CWSI R4 R ²
Reg.Linear R ²	1	0,0038	0,004	0,576NS	0,048
Reg.Quadratica R ²	1	0,0137	0,014	0,294NS	22,35
Reg.Cúbica R ²	1	0,0585	0,059	0,040*	99,72
Potenciais Matriciais	4	0,0762	0,019	*	-

Médias	0,497
CV(%)	21,67

$\alpha = 5\%$

*: Significativo ao nível de 5%; **: Significativo a 1%; NS: Não significativo a 5%;

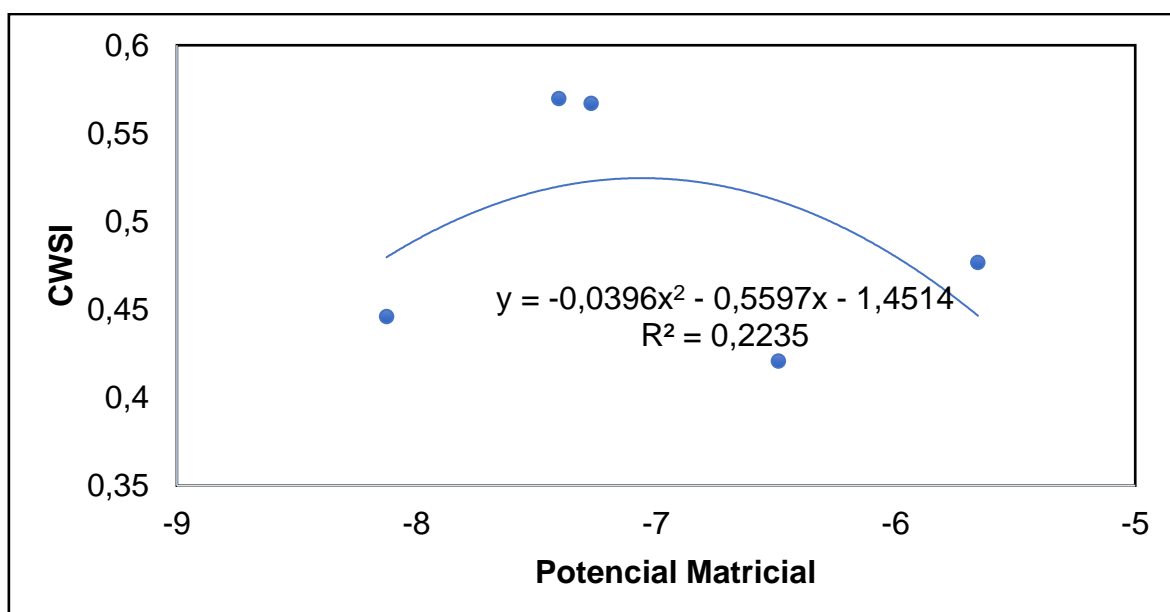


Figura 8: CWSI x Potencial Matricial de água no solo para a fase fenológica V4 da cultura do feijão.

5.1.2. R5

Já para a análise da fase reprodutiva R5, que corresponde ao pré-florescimento da cultura, e contém as médias das medições feitas entre os dias 24/06/2021 e 06/07/2021, obteve-se uma boa relação entre o CWSI e o Potencial matricial, descrita na Tabela 5. Fato que se deve à correção feita nas tampinhas e vacuômetro. Contudo, ainda havia a tela sombreada, sobre o experimento o que pode ter mantido os potenciais matriciais mais baixos. O CWSI mostrou alta correlação com os potenciais obtidos através da equação quadrática, $y = -0,0151x^2 + 0,3844x - 1,7857$, que resultou um $R^2 = 97,28$, o que é apresentado na Figura 9.

Tabela 5- Resumo da Análise de variância obtida da Regressão CWSI médio x Potencial matricial da água no solo obtido em fase fenológica em R5.

Fontes de variação	GL	S.Q	QM	Pr>F	CWSI R5 R ²
Reg.Linear R ²	1	0,04	0,04	0,08ns	39,41
Reg.Quadratica R ²	1	0,587	0,587	0,037*	97,28
Reg.Cúbica R ²	1	0,00006	0,00006	0,944ns	97,34
Potenciais Matriciais	4	0,1015	0,025	*	-
Médias					0,537
CV(%)					20,2

$\alpha = 5\%$

*: Significativo ao nível de 5%; **: Significativo a 1%; NS: Não significativo a 5%;

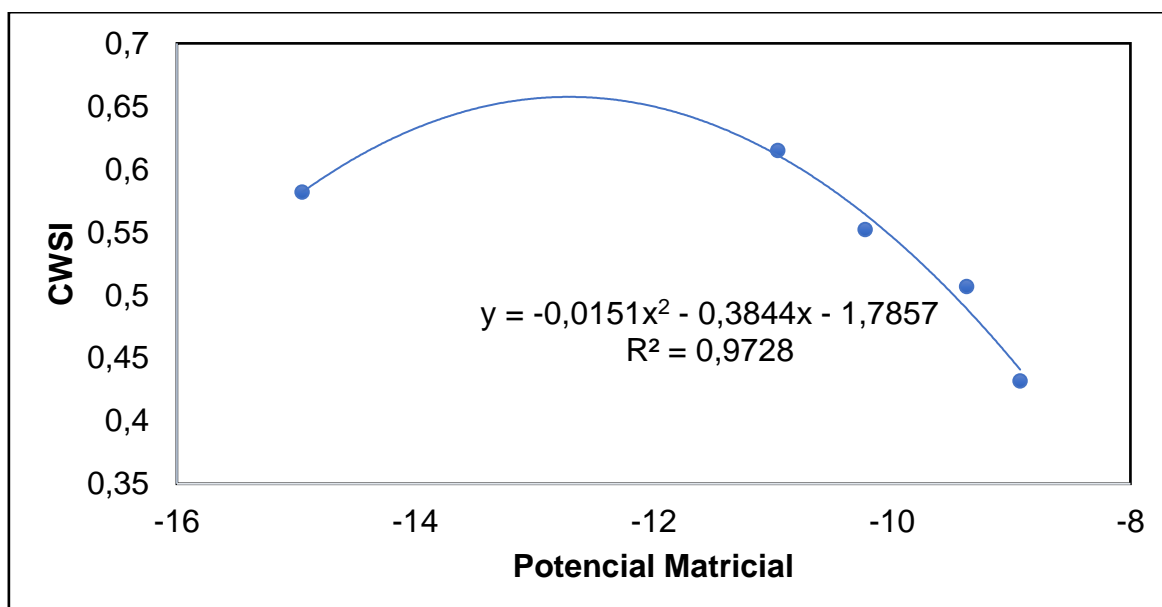


Figura 9: CWSI x Potencial Matricial de água no solo para a fase fenológica R5 da cultura do feijão.

5.1.3. R6 e R7

Para as fases R6 e R7, que correspondem respectivamente ao período de floração e aparecimento das primeiras vagens, foi gerada apenas uma equação devida a demanda de água semelhante para ambas as fases. As medições foram

realizadas entre 05/07/2021 a 20/07/2021 e se obteve boa correlação, essa inclusive, em equação quadrática com R^2 de 83,06. A tabela 6 traz o resumo da ANAVA obtida pelo teste de regressão dessas fases fenológicas. Nesta fase pode-se observar potenciais matriciais mais altos, esses relacionados diretamente a índices de estresse maiores, apresentado pela equação: $y = -0,0014x^2 + 0,072x - 0,3035$ descrita na figura 10, considerada significativa.

Tabela 6- Resumo da Análise de variância obtida da Regressão CWSI médio x Potencial matricial da água no solo obtido nas fases fenológicas R6 e R7.

Fontes de variação	GL	S.Q	QM	Pr>F	CWSI R ²	R6R7
Reg.Linear R ²	1	0,461	0,461	0,000**	62,86	
Reg.Quadratica R ²	1	0,148	0,148	0,003*	83,06	
Reg.Cúbica R ²	1	0,017	0,017	0,279ns	85,49	
Potencias Matriciais	4	0,734	0,183	**	-	
Médias					0,488	
CV(%)					24,87	

$\alpha = 5\%$

*: Significativo ao nível de 5%; **: Significativo a 1%; NS: Não significativo a 5%;

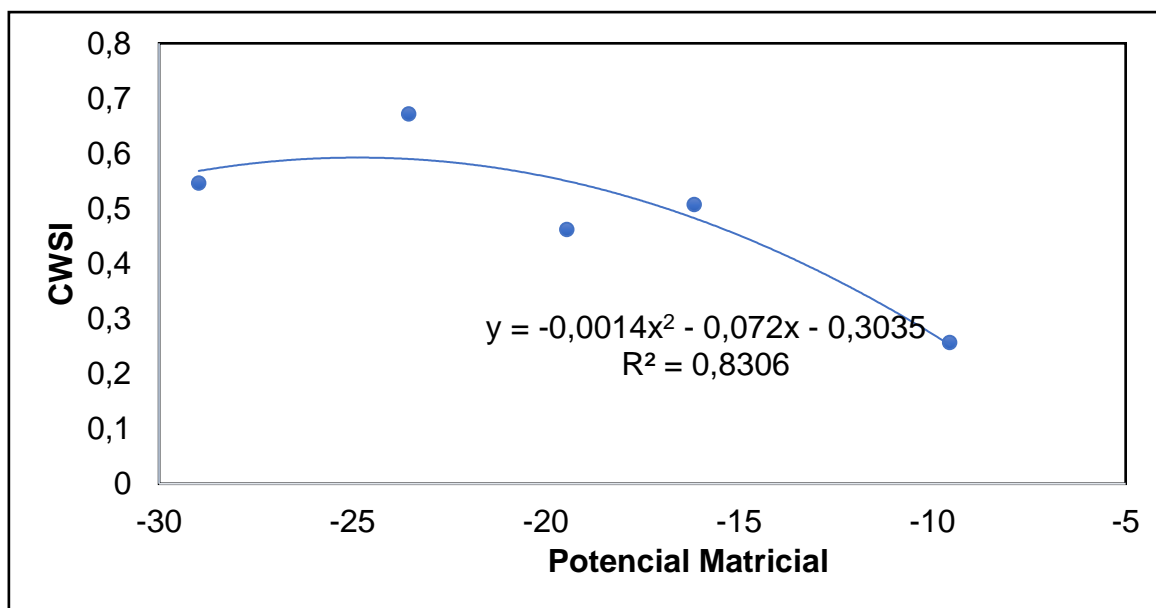


Figura 10- CWSI x Potencial Matricial de água no solo para a fase fenológica R6 e R7 da cultura do feijão.

5.1.4. R8

Na fase R8 do feijoeiro, neste trabalho com medições realizadas de 21/07 a 04/08/2021, correspondente a fase de enchimento de grãos, obteve-se mais uma vez, uma ótima correlação entre o CWSI e o Potencial matricial, através de teste de regressão, descrito na Tabela 7. A equação quadrática obtida foi: $y = -0,0015x^2 + 0,0812x - 0,5229$ e o coeficiente R^2 teve valor de 99,76 e correlação foi considerada significativa, o que está na Figura 11.

Tabela 7-Resumo da Análise de variância obtida da Regressão CWSI médio x Potencial matricial da água no solo obtido em fase fenológica R8.

Fontes de variação	GL	S.Q	QM	Pr>F	CWSI R8 R ²
Reg.Linear R ²	1	0,297	0,297	0,000**	75,02**
Reg.Quadratica R ²	1	0,098	0,098	0,017*	99,76*
Reg.Cúbica R ²	1	0,000	0,000	0,998ns	99,76ns
Potenciais Matriciais	4	0,395	0,099	**	**
Médias					0,456
CV(%)					27,46

$\alpha = 5\%$

*: Significativo ao nível de 5%; **: Significativo a 1%; NS: Não significativo a 5%;

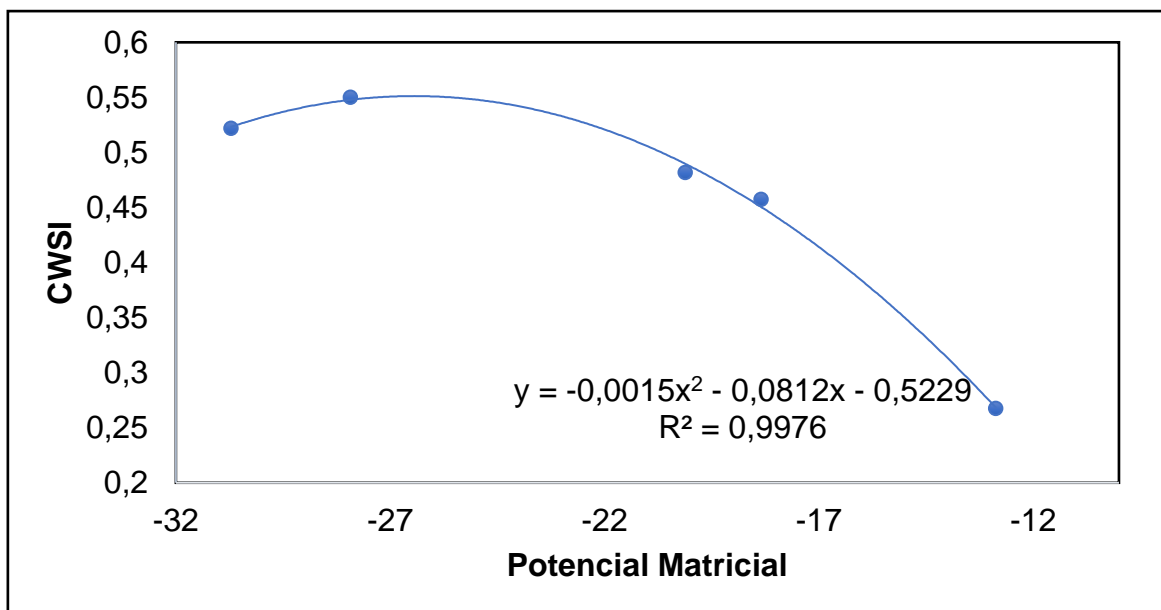


Figura 11- CWSI x Potencial Matricial de água no solo para a fase fenológica R8 da cultura do feijão.

5.2. Efeito do CWSI e potencial matricial sobre os componentes de produção da cultura do feijão.

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos quando se comparou o quanto os tratamentos de potenciais matriciais influenciaram nos parâmetros de produtividade, bem como também, o quanto os CWSIs médios encontrados, estão relacionados com as características de produtividade.

5.2.1. Comprimento de vagem

O potencial matricial teve relação significativa com o comprimento de vagem, obtendo correlação inversa significativa a 5 % na equação linear, com R^2 de 63,14. O que era esperado, visto que a água é um fator de extrema importância no desenvolvimento das plantas. A relação está expressa em gráfico descrito na figura 12, sendo que a Tabela 8 traz o resumo da ANAVA da regressão comprimento de vagem x potencial matricial.

Tabela 8- Resumo da Análise de variância obtida pela Regressão: Comprimento de Vagem x Potencial matricial de água no solo.

Fontes de variação	GL	S.Q	QM	Pr>F	COMP. R ²
Reg.Linear R ²	1	3,238	3,238	0,033*	63,14
Reg.Quadratica R ²	1	1,098	1,098	0,191ns	84,54
Reg. Cúbica R ²	1	0,174	0,174	0,593ns	87,94
Potenciais Matriciais	4	5,128	1,282	*	-
Médias					7,397
CV(%)					10,34

$\alpha = 5\%$

*: Significativo ao nível de 5%; **: Significativo a 1%; NS: Não significativo a 5%;

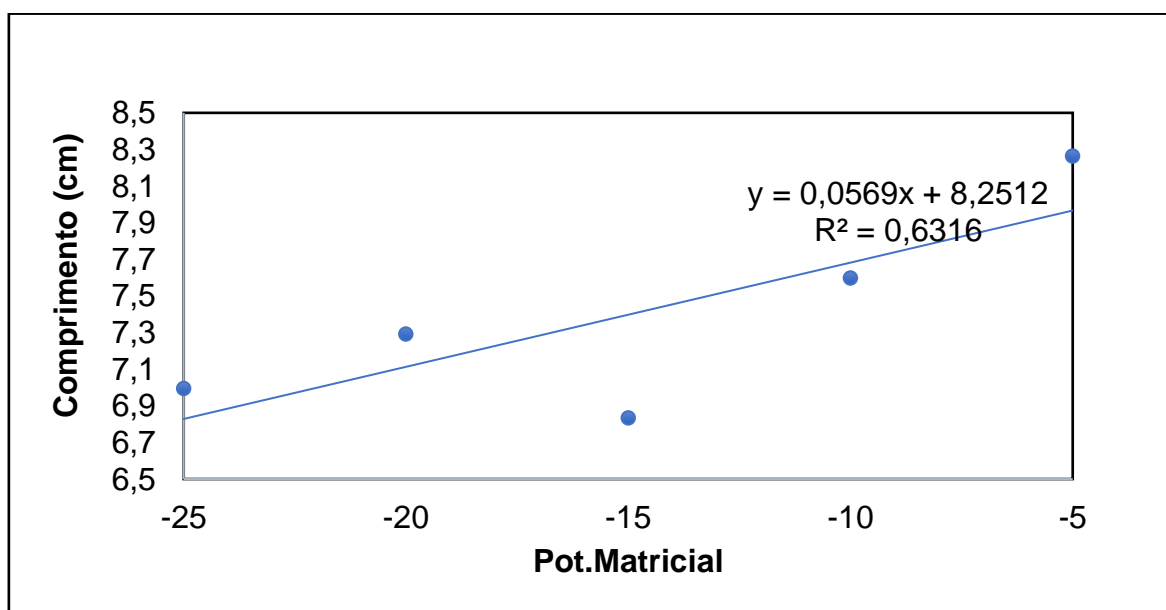


Figura 12- Comprimento de Vagem x Potencial Matricial de água no solo para a cultura do feijão. (autor, 2021)

Em relação ao CWSI médio, obtido por meio da média de todos os tratamentos ao final do experimento, também houve diferença significativa na correlação linear com o comprimento da vagem, o que está na Tabela 9. Os valores do CWSI médio se comportaram de forma inversamente proporcional ao tamanho de vagem com R² de 62,24, relação presente na Figura 13.

Tabela 9- Resumo da Análise de variância obtida pela Regressão: Comprimento x CWSI médio obtido.

Fontes de variação	GL	S.Q	QM	Pr>F	Comprimento R ²
Reg.Linear R ²	1	3,192	3,192	0,034*	62,24
Reg.Quadratica R ²	1	0,339	0,339	0,458ns	68,85
Reg.Cúbica R ²	1	1,002	1,002	0,210ns	88,41
CWSI	4	5,154	1,282	*	-
Médias					7,397
CV(%)					10,34

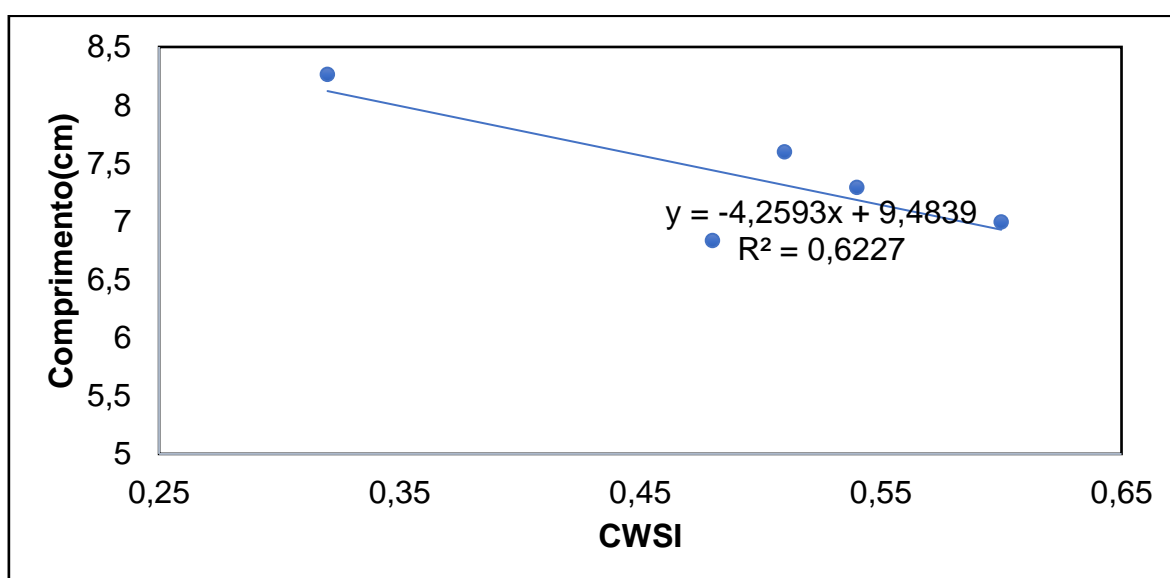


Figura 13- Comprimento de Vagem x CWSI médio obtido durante experimento para a cultura do feijão

5.2.2. Número de Vagens por Planta

Em relação ao número de vagens por planta, obteve-se também uma correlação significativa em relação ao potencial matricial. A Tabela 10 traz um resumo da ANAVA para essa correlação, onde conforme o potencial matricial diminuía menor era o número de vagens por planta. A equação linear obteve 75,86

de R^2 , sendo significativa a 1% e a quadrática 97,81 de R^2 sendo significativa a 5%, o que está na Figura 14.

Tabela 10- Resumo da Análise de variância obtida pela Regressão: Número de Vagens por planta x Potencial matricial de água no solo.

					Nº
					Vagens/Planta
Fontes de variação	GL	S.Q	QM	Pr>F	R ²
Reg.Linear R ²	1	12,1	12,1	0,000**	75,86
Reg.Quadratica R ²	1	3,5	3,5	0,020*	97,81
Reg.Cúbica R ²	1	0,306	0,306	0,453ns	99,73
Potenciais Matriciais	4	15,95	3,988	**	-
Médias					2,7
CV(%)					26,62

$\alpha = 5\%$

*: Significativo ao nível de 5%; **: Significativo a 1%; NS: Não significativo a 5%;

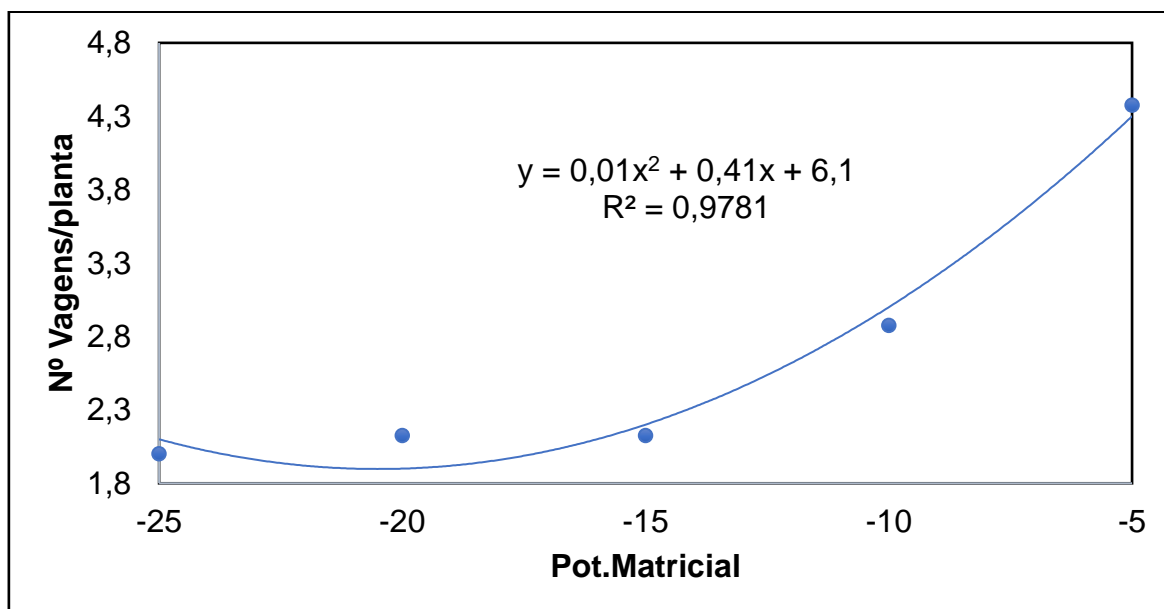


Figura 14- Número de Vagens por planta x Potencial Matricial de água no solo para a cultura do feijão.

Em relação ao CWSI médio, a correlação também foi significativa a 1 % para a equação linear, ou seja, conforme o CWSI diminui, maior a quantidade de vagens por planta, o que era esperado visto que os tratamentos com maior restrição hídrica possuíram os maiores índices de estresse, situação mostrada na Tabela 11. A correlação linear obteve R^2 de 82,85 e a correlação aparece na Figura 15.

Tabela 11- Resumo da Análise de variância obtida pela Regressão: Número de vagens por planta x CWSI médio obtido.

Fontes de variação	GL	S.Q	QM	Pr>F	Nº Vagens/Planta R ²
Reg.Linear R ²	1	13,214	13,214	0,000**	82,85
Reg.Quadratica R ²	1	0,899	0,899	0,207ns	88,48
Reg.Cúbica R ²	1	0,423	0,423	0,380ns	91,14
CWSI	4	15,95	3,987	**	-
Médias					2,7
CV(%)					26,62

$\alpha = 5\%$

*: Significativo ao nível de 5%; **: Significativo a 1%; NS: Não significativo a 5%;

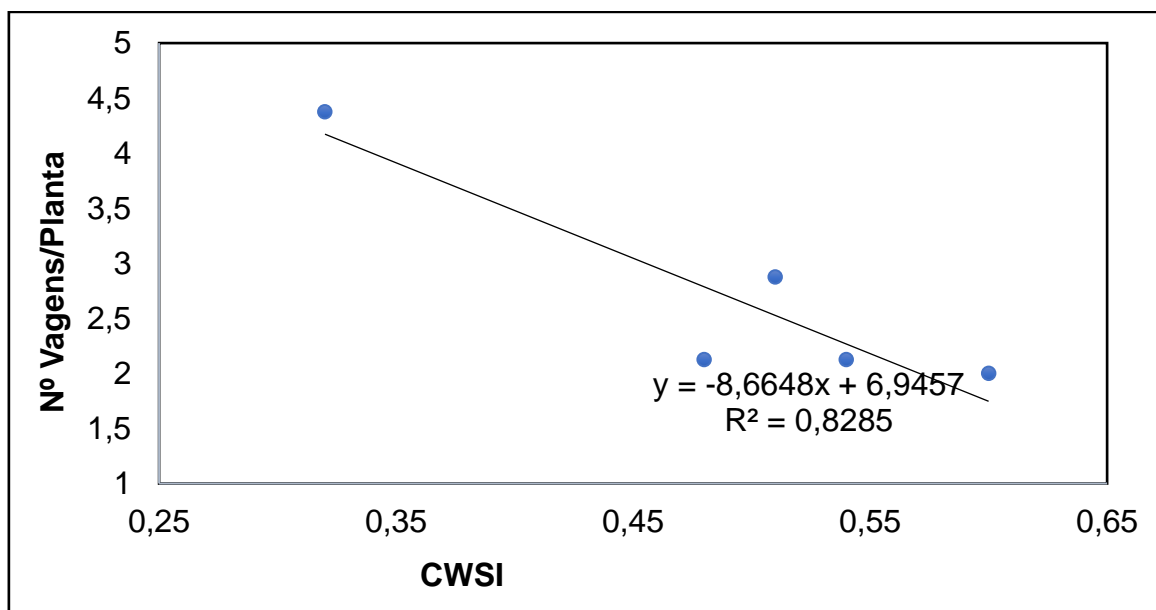


Figura 15- Número de Vagens por planta x CWSI médio obtido durante experimento para a cultura do feijão.

5.2.3. Número de Grãos por Vagem

Para a característica nº grãos por vagem, obteve-se novamente uma correlação significativa com os tratamentos de potencial matricial, onde mais uma vez, o tratamento com potencial maior (-5kPa) obteve o melhor desempenho em equação linear, porém o R^2 fechou com 46,64. O resumo da ANAVA, Potencial matricial x Nº de grãos por vagem, está descrito na Tabela 12, bem como o gráfico da correlação está representado na Figura 16.

Tabela 12 Resumo da Análise de variância obtida pela Regressão: Número de grãos por vagem x Potencial matricial de água no solo.

					Nº
					Grãos/Vagem
Fontes de variação	GL	S.Q	QM	Pr>F	R²
Reg.Linear R²	1	3,238	3,238	0,017*	46,64
Reg.Quadratica R²	1	1,254	1,254	0,117ns	64,7
Reg.Cúbica R²	1	1,239	1,239	0,119ns	82,55
Potenciais Matriciais	4	6,942	1,736	*	-
Médias					3,924

CV(%)

17,13

 $\alpha = 5\%$

*: Significativo ao nível de 5%; **: Significativo a 1%; NS: Não significativo a 5%;

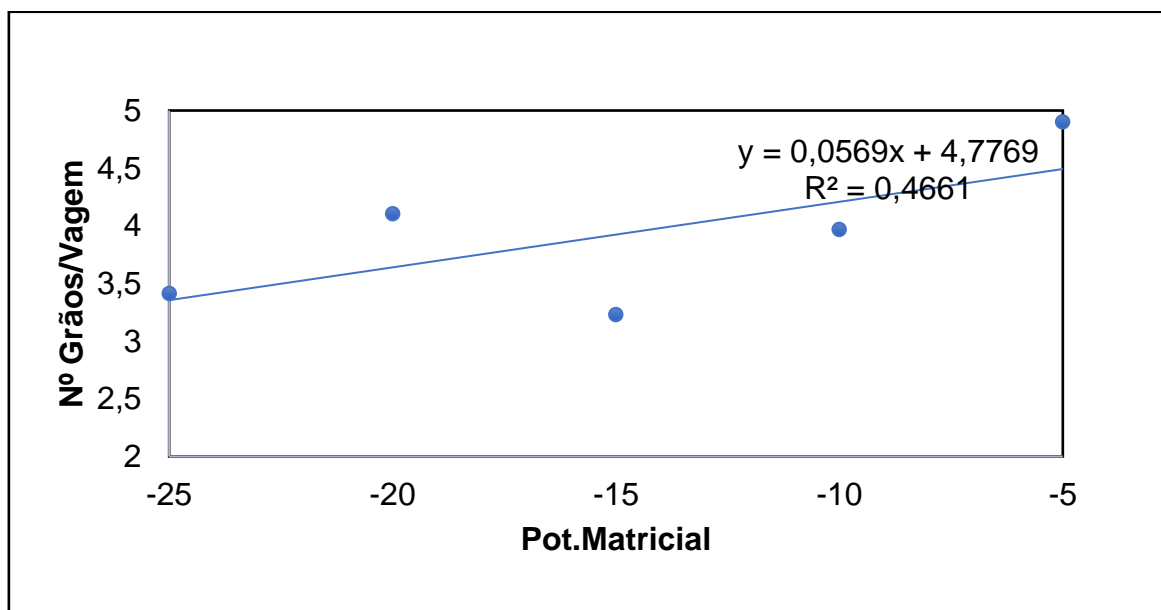


Figura 16- Número de grãos por vagem x Potencial Matricial de água no solo para a cultura do feijão.

Já para o parâmetro CWSI, o ajuste foi significativo tanto para equação linear com R^2 de 55,41, descrita na Figura 17, quanto para regressão cúbica com 98,55 de R^2 . A Tabela 13, traz o resumo da análise de variância da regressão que associou CWSI x Número de grãos por vagem.

Tabela 13- Resumo da Análise de variância obtida pela Regressão: Número de grãos por vagem x CWSI médio obtido.

					Nº
					Grãos/Vagem
Fontes de variação	GL	S.Q	QM	Pr>F	R ²
Reg.Linear R ²	1	3,846	3,846	0,011*	55,41
Reg.Quadratica R ²	1	0,4902	0,4902	0,314ns	62,47

Reg.Cúbica R ²	1	2,505	2,505	0,033*	98,55
CWSI	4	6,942	1,736	*	-
Médias					3,924
CV(%)					17,13

$\alpha = 5\%$

*: Significativo ao nível de 5%; **: Significativo a 1% ; NS: Não significativo a 5%;

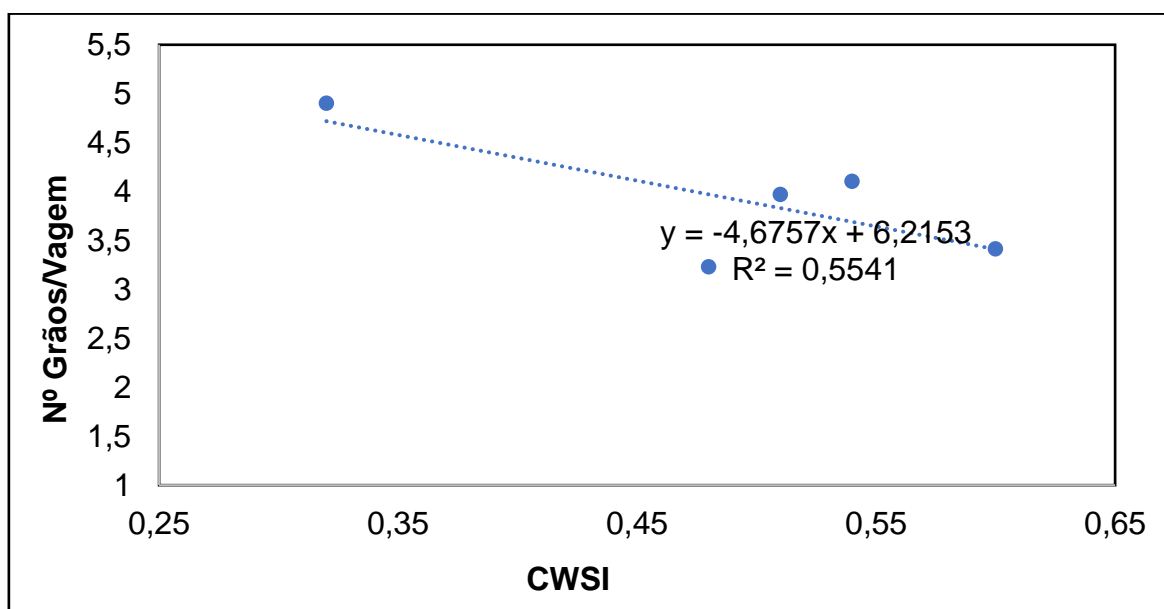


Figura 17- Número de grãos por vagem x CWSI médio obtido durante experimento para a cultura do feijão

5.2.4. Produtividade por planta

Com relação ao peso de grãos obtidos em cada planta, ou seja, a produtividade obtida por planta, o potencial matricial mostrou-se, mais uma vez significativo para todas as regressões, linear ($R^2= 65,16$), quadrática ($R^2= 89,92$) e cúbica ($R^2= 97,92$), sendo que a quadrática está apresentada na Figura 18. A tabela 14, traz o resumo da análise de variância da regressão em estudo.

Tabela 14- Resumo da Análise de variância obtida pela Regressão: Produtividade por Hectare x Potencial matricial de água no solo.

Fontes de variação	GL	S.Q	QM	Pr>F	Prod/Hectare R ²
Reg.Linear R ²	1	1771122	1771122	0,000**	78,63
Reg.Quadratica R ²	1	672834,4	672834,4	0,008**	87,16
Reg.Cúbica R ²	1	217491,8	217491,8	0,006**	96,31
CWSI	4	2717978,9	24743,03	**	-
Médias					604,604
CV(%)					26,02

$\alpha = 5\%$

*: Significativo ao nível de 5%; **: Significativo a 1%; NS: Não significativo a 5%;

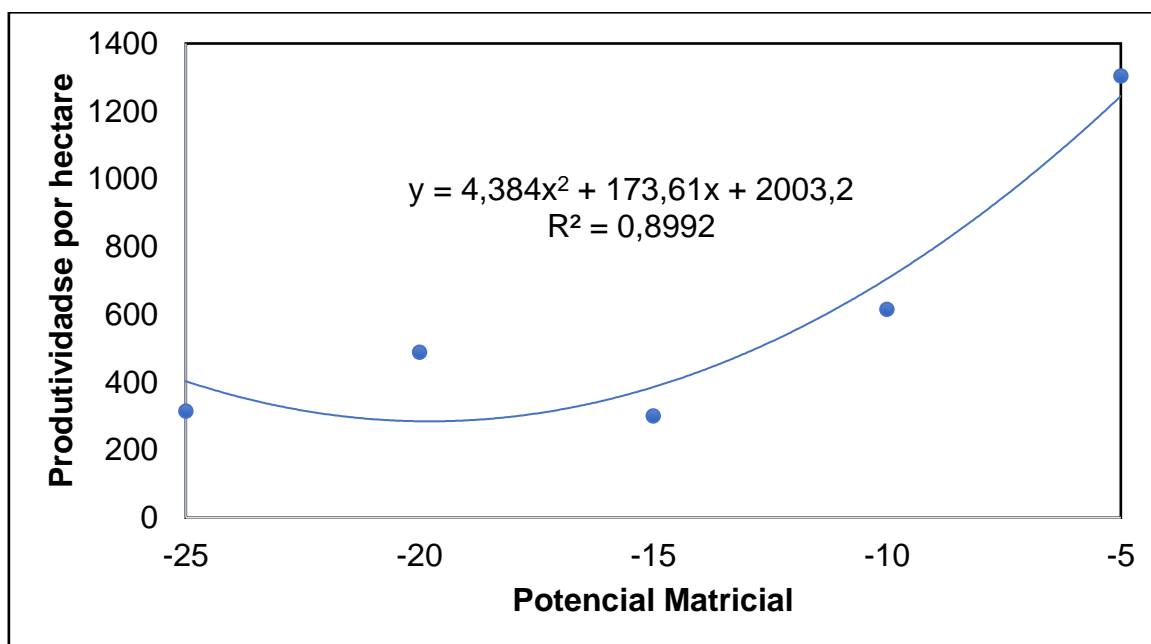


Figura 18- Produtividade por Hectare x Potencial Matricial de água no solo para a cultura do feijão.

Mais uma vez, as regressões obtidas foram significativas para as condições obtidas de CWSI, tanto a linear ($R^2=78,63$), quanto a quadrática ($R^2=87,16$) e a cúbica ($R^2=96,31$), neste caso todas a 1% de significância, análise descrita na Tabela 15. O que significa que neste trabalho o CWSI médio

tem grande relação com as produtividades do feijoeiro, relação retratada na Figura 19, com a representação gráfica da equação quadrática.

Tabela 15 Resumo da Análise de variância obtida pela Regressão: Produtividade por Hectare x CWSI médio obtido.

Fontes de variação	GL	S.Q	QM	Pr>F	Prod/Hectare R ²
Reg.Linear R ²	1	2137079	2137079	0,000**	78,63
Reg.Quadratica R ²	1	248562,4	248562,4	0,008**	87,16
Reg.Cúbica R ²	1	100338,8	100338,8	0,006**	96,31
CWSI	4	2717978,9	679494,7	**	-
Médias					604,604
CV(%)					26,02

$\alpha = 5\%$

*: Significativo ao nível de 5%; **: Significativo a 1%; NS: Não significativo a 5%.

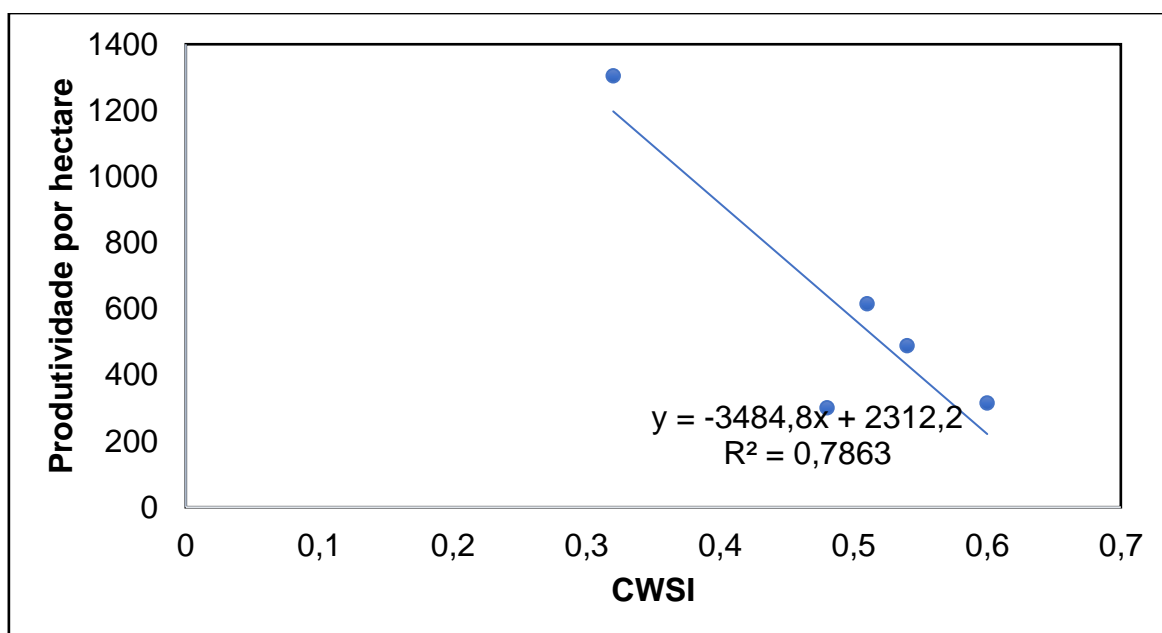


Figura 19- Produtividade por hectare x CWSI médio obtido durante experimento para a cultura do feijão.

6. DISCUSSÕES

Os valores de CWSI, nesse trabalho, apresentaram boas correlações com os potenciais matriciais para a cultura do feijoeiro nas condições de temperatura apresentadas, o que reforça o que foi obtido por Durigon E Van Lier (2013) para a mesma cultura, onde utilizando também o CWSI e tensiômetros obtiveram correlações negativas entre os fatores baseados na pressão de água no solo e o CWSI obtido a partir da metodologia de Idson et al. (1981). Porém divergem de resultados obtidos por Brito et al. (1996) que não observou correlações testando temperatura de folha e diferentes lâminas de irrigação também na cultura do feijoeiro irrigado. Pazzetti et al. (1992), fez o manejo de irrigação com 4 lâminas diferentes e obtiveram que a temperatura de copa e a diferença entre a temperatura da copa e do ar estão relacionadas com a irrigação e podem ser determinantes na produtividade do feijoeiro. Já Nóbrega (2001), utilizando diferentes lâminas de irrigação obteve baixas diferenças entre temperatura do ar e temperatura da cultura e com isso índice de estresse não conclusivos e sugeriu um trabalho realizado em condições noturnas que tendem a amenizar os déficits hídricos.

Com relação as características analisadas em correlação com o potencial matricial, o tratamento com o maior valor (-5 kPa) foi o que obteve melhor resultado nas análises. Assim como no trabalho de De Brito et al. (2015), que obteve resultado significativo para produtividade no menor potencial estudado - 30kPa. A diferença entre os valores de potencial observados nos dois trabalhos se dá, pelo motivo de que o solo utilizado nesse experimento é o neossolo regolítico, enquanto o da referência em questão é o latossolo vermelho, que possui uma maior capacidade de retenção, podendo receber irrigações mais espaçadas. Porém o mesmo autor não obteve resultados significativos para comprimento de vagem, número de vagens por planta e número de plantas por grão, características que também mostraram diferenças nesse trabalho. Martins et al. (2017), testando o efeito do déficit hídrico na fase R8 do feijoeiro (enchimento de grãos), encontraram que os tratamentos próximos as capacidades de campo nessa fase (0,01 mPa) obtiveram um resultado superior para características de produção como produtividade e número de vagens por planta e massa seca total. Rosalen e Piazzetta (2017) analisando vários tratamentos de irrigação em feijoeiro, dentre

eles o uso de tensiômetros, bem como Morais (2017), que analisou diferentes doses de irrigação e adubação na biometria das vagens e grãos de feijoeiro, obtiveram os melhores resultados para comprimento de vagem, número de grãos por vagens , número de vagens por planta e produtividade também em seus tratamentos mais próximos da capacidade de campo, o que leva a crer que os resultados obtidos nesse trabalho vão de encontro a outros trabalhos da literatura, quando se analisa o efeito dos diferentes potenciais matriciais nos componentes de produtividade do feijoeiro. Provavelmente, os déficits hídricos levam a um maior abortamento de flores, o que causa diminuição na quantidade de vagens e consequentemente da produtividade (HOSTALACIO & VALIO,1984).

Já, quando as características avaliadas foram analisadas em regressão com o CWSI, o experimento encontrou resultados esperados por Fernandes et al (2009). Onde quanto menor o CWSI, maior as condições de apresentarem fatores de produção melhores, o que de fato aconteceu neste trabalho, visto que em todos as variáveis analisadas (comprimento de vagem, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e produtividade por planta), o tratamento que recebeu mais água, T1, obteve resultados superiores, inclusive significativos para algumas equações (lineares, quadráticas ou cúbicas).

Guimarães et al (2006), analisando duas cultivares de feijão resistentes a seca a serem colocadas em melhoramento, utilizou um tratamento com déficit hídrico e um sem restrição hídrica, para avaliar comparativamente as características de produtividade, utilizando aditivamente a termometria por infravermelho e o potencial hídrico foliar e obteve que a linhagem Carioca obteve menor temperatura de dossel, maior potencial hídrico e melhor produtividade em restrição hídrica que a cultivar RAB96.

7. CONCLUSÃO

- Tanto o CWSI quanto o potencial matricial são fatores que podem ser utilizados em um manejo de irrigação individualmente ou associados.
- Existe correlação em regressão para o CWSI e o potencial matricial do solo no feijoeiro;
- As condições de potencial matricial do solo e de CWSI interferem diretamente nas características de produtividade do feijoeiro.
- O tratamento de potencial matricial -5kPa, se mostrou mais eficiente para as características avaliadas em neossolo regolítico.

8. REFERÊNCIAS

ABREU, G.F. **Bioprospecção de macroalgas marinhas e plantas aquáticas para o controle da antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**: Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2005. 80p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017**: relatório pleno. 2017.

ANDA, A. Tempo de irrigação no milho usando o índice de estresse hídrico (CWSI). **Cereal Research Communications**, v. 37, n. 4, p. 603-610, 2009.

ANTUNES, P. L. et al. Valor nutricional de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), cultivares rico 23, carioca, piratã-1 e rosinha-g2. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 1, n. 1, p. 12-18, 1995.

ARAGÃO.A; CONTINI.E; **Brasil é o quarto maior produtor de grãos e o maior exportador de carne bovina do mundo**. EMBRAPA SIRE. Junho de 2021 Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62619259/brasil-e-o-quarto-maior-produtor-de-graos-e-o-maior-exportador-de-carne-bovina-do-mundo-diz-estudo>> Acesso em 15 de Setembro de 2021.

AYRIMORAES, Sérgio. *et al.* **atlas irrigação**. Agencia nacional das Águas (ANA) Uso da Água na Agricultura Irrigada. 2020.

AZEVEDO, J.A. de; SILVA, E.M. da. **Tensiômetro: dispositivo prático para controle da irrigação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 33p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 001).

BASSALO, J. M. F. A crônica do calor: termometria. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 13, n. 1, 1991, p. 135-161

BATISTA, E.L.S. **Efeito do estresse hídrico sobre o crescimento de cultivares de cana de açúcar**. 97p. Dissertação (mestrado em Agronomia) -Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2012.

BELLVERT, J.; ZARCO-TEJADA, P.J.; GIRONA, J.; FERERES, E. Mapeando o índice de estresse hídrico em um vinhedo "*Pinot-noir*": comparando as medições do solo com imagens de sensoriamento remoto térmico de um veículo aéreo não tripulado. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v. 15, n. 4, p. 361–376, 2014.

BISPO. R. C.; FLORES, D. S; SANTOS, V.N.H. B; VENTURA, K. M; QUEIROZ, S. O.P. **Manejo de irrigação para cultivo de pimentão em ambiente protegido**, IV Inovagri International Meeting, Botucatu, SP. 2017.

BRITO, R. A. L., MAGALHÃES, P. C. e JÚNIOR, J. C. F. B. Índice de estresse hídrico da cultura do feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 49-53, 1996.

BRAGANÇA, S. M. **Crescimento e acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro conilon** (*Coffea canephora* Pierre). Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, UFV, 99p. 2005.

BUTTARO, D.; SANTAMARIA, P.; SIGNORE, A.; CANTORE, V.; BOARI, F.; MONTESANO, F.F.; PARENTE, A. Manejo da irrigação de tomate e pepino em estufa usando efeitos do tensiômetro na produção, qualidade e uso de água. **Agriculture and Agricultural Science**. Procedia. v. 4, p. 440-444, 2015.

CAMARGO A.P.; GROHMANN, F.; CAMARGO, M.B.B. Tensiômetro simples de leitura direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n.12, p.1963-1972, 1982.

CAMPBELL, G.S.; MULLA, D.J. Medição do conteúdo e potencial de água do solo. In: STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R., ed. **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA, p.127- 141. (*Agronomy Monograph*, 30) 1990.

CAMPOS, A.R.F.; **Manejo de irrigação na palma forrageira: definição de critérios com base no potencial matricial da água no solo / Allan Radax Freitas Campos.** Cruz das Almas, BA, 2018.

CARNEIRO, J. E.; JÚNIOR, T. J. P.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio à colheita**. 2015 EMBRAPA Arroz e Feijão. Origem e história do feijoeiro comum do arroz. 2000.

CHAVARRIA, G., DURIGON, M. R., KLEIN, V. A., KLEBER, H. Restrição fotossintética de plantas de soja sob variação de disponibilidade hídrica. **Ciência Rural**, v. 45, p. 1387-1393, 2015.

CLAWSON, K.L; BLAD, B.L. Termometria infravermelha para escala de irrigação em milho. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 2, p. 311-316, 1982.

COELHO, S. L.; TEIXEIRA, A. S. Avaliação do tensiômetro eletrônico no monitoramento do potencial matricial de água no solo. **Engenharia Agrícola**, v. 24, p. 536-545, 2004.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB- Acompanhamento da Safra de grãos V.7. Safra 2019/2020- Nº 12, **Observatório agrícola**. Décimo segundo levantamento. Setembro.2020. 68p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB- **Série histórica de monitoramento de grãos por produtos**. Outubro, 2021. Disponível em < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>> Acesso 22 de outubro de 2021.

CONTRERAS, J. I.; ALONSO, F.; CÁNOVAS, G.; BAEZA, R. Manejo da irrigação de abobrinhas em casa de vegetação com diferentes níveis de potencial mátrico do solo. Efeitos agrônômicos e ambientais. *Agricultural Water Management*, v. 183, p. 26-34, 2017.

CRONQUIST, A. A evolução e classificação das plantas com flores. *The New York Botanical Garden*, New York, U.S.A. 1988. p. 555.

CRUSIOL, L. G. T., CARVALHO, J. D. F. C., SIBALDELLI, R. N. R et al. Variação do NDVI de acordo com o tempo de medição, tamanho da amostra, posicionamento do sensor e regime hídrico em diferentes cultivares de soja. *Precision Agriculture*, 18(4), 470-490. 2017.

DE BRITO, R. R.; GRASSI FILHO, H.; SAAD, J. C. C., RIBEIRO; V. Q., & OLIVEIRA; S. R. M. Critérios de manejo na irrigação do feijoeiro em solo de textura arenosa. *Irriga*, 20(2), 334-347.2015.

DURIGON, A.; VAN LIER, Q. J. Temperatura do dossel versus pressão de água do solo para a previsão de estresse hídrico da cultura. *Agricultural water management*, v. 127, p. 1-6, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA- **BRS FC104: Cultivar de Feijão-Comum Carioca Superprecoce**. Folheto. Embrapa Arroz e Feijão. Santo Antônio de Goiás, GO. 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA- **Origem do feijoeiro comum e do arroz**. Folheto. Embrapa Arroz e Feijão. Goiânia: 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

FELDENS, L. **O homem, a agricultura e a história**, 1. ed. Lageado: Editora Univates, 2018, 171p.

FERNANDES, D. S., HEINEMANN, A. B., DA PAZ, R. L., AMORIM, A. D. O. & CARDOSO, A. S. Índices para a quantificação da seca. **Embrapa Arroz e Feijão- Documentos (INFOTECA-E)**, 2009.

FRANCISCO, P. R. M.; BANDEIRA, M. M.; SANTOS, D.; PEREIRA, F. C.; GONÇALVES, J. L. G. **Aptidão climática da cultura do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) para o estado da Paraíba**. Revista Brasileira de Climatologia, Paraíba-PB, v. 19, n. 1, p. 366-378, 2016.

FRIZZONE, J.A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação**. Piracicaba, ESALQ/USP, 1986. 133p. Tese Doutorado, 1986.

GARCIA, A. **Utilização da temperatura do dossel vegetativo na estimativa de índices de estresse, para a determinação da necessidade hídrica do feijoeiro**

(*Phaseolus vulgaris* L.). Jaboticabal, 2000. 135p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Universidade Estadual Paulista, 2000.

GARCIA, S. H.; ROZZETO, D. S.; COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F. Simulação de estresse hídrico em feijão pela diminuição do potencial osmótico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages-MG, v. 11, n. 1, p. 35-41, 2012.

GARDNER, W., ISRAELSEN, O. W., EDLEFSEN, N. E., CONRAD, H.: A função potencial capilar e sua relação com a prática de irrigação. **Phys. Rev. Ser. 2**, 196 (1922)

GARROT JÚNIOR, D.J., OTTMAN, M.J., FANGMEIER, D.D. et al. Quantificação do estresse hídrico no trigo com as irrigações do programa de índice de estresse hídrico da cultura. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, n. 1, p. 195- 199, 1994.

GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 70-75, 2006.

GUIMARÃES, C. M., STONE, L. F., da SILVEIRA, P. M., & SARMENTO, P. H. L. Componentes agronômicos do feijoeiro superprecoce BRS FC104 em diferentes arranjos espaciais e adubações fosfatadas. In **Colloquium Agrariae**. ISSN: 1809-8215 (Vol. 15, No. 3, pp. 40-48), 2019.

HOSTALACIO, S. e VALIO, I.F.M. Desenvolvimento de plantas de feijão cv. Goiano Precoce, em diferentes regimes de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.9n.2, p.211-8, 1984.

IBRAFE- INSTITUTO BRASILEIRO DE FEIJÃO E PULSES- Com pivôs, produtores investem no cultivo de feijão irrigado durante período de seca em MT- 2019 Disponível em <<https://www.ibrafe.org/artigo/com-pivos-produtores-investem-no-cultivo-de-feijao-irrigado-durante-periodo-de-seca-em-mt/#closePopup>> Acesso em 20 de setembro de 2021.

IDSO, S. B., Jackson, R. D., Pinter, P. J., Reginato, R. J. e Hatfield, J. L. Normalizando o parâmetro de grau de estresse-dia para a variabilidade ambiental. **Agricultural Meteorology**, 24, 45-55, 1981.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE Brasileiro ainda mantém dieta à base de arroz e feijão, mas consumo de frutas e legumes é abaixo do esperado, 2020 Disponível em <<https://newseguros.com.br/ibge-brasileiro-ainda-mantem-dieta-a-base-de-arroz-e-feijao-mas-consumo-de-frutas-e-legumes-e-abaixo-do-esperado/>>. Acesso em 21 de outubro de 2021.

JACKSON, R.D.; KUSTAS, W.P.; CHOUDHURY, B.J. A. Reexame do índice de estresse hídrico da cultura. **Irrigation Science**, New York, v. 9, n. 4, p. 309–317, 1988.

JACKSON, R.D.; IDSO, S.B.; REGINATOR, R.J.; PINTER, P.J. Temperatura do dossel como indicador de estresse hídrico na cultura. **Water Resources Research**, Washington, v. 17, n. 4, p. 1133–1138, 1981.

JACOMINE, P.K.T. Solos sob caatinga: Características e uso agrícola. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. e FONTES, M.P.F., eds. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG, SBCS/UFV/DPS, 1996. p.95-111.

LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Assimilação fotossintética de carbono e metabolismo associado em relação aos déficits de água em plantas superiores. **Plant, Cell and Environment**, v.25, p.275-294, 2002.

LÉTOURNEAU, G.; CARON, J.; ANDERSON, L.; CORMIER, J. Manejo da irrigação baseado no potencial matricial do morango cultivado no campo: Efeitos na produtividade e na eficiência do uso da água. **Agricultural Water Management**, v. 161, p. 102-113, 2015.

LOBO, F.A., OLIVA, M. A., RESENDE, M., LOPES, N. F., & MAESTRI, M. Termometria ao infravermelho na programação da irrigação de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39(2), 113-121, 2004.

MAGGIOTTO, S.R. **Estimativa da evapotranspiração de referência pelo uso da termometria ao infravermelho**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996. 71p.

MARTINS, C. A.S; REIS, E. F.; OLIVEIRA .G. G., & TOMAZ, M. A. Efeito do déficit hídrico na fase de enchimento de grãos do feijoeiro comum. **Nativa**, 5(6), 386-395, 2017.

MILLAR, A. A., & CHOUDHURY, E. N. Um modelo para definir a frequência operacional de irrigação para o rendimento máximo das safras. Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE).1980.

MORAIS, W. A. et al. Biometria das vagens e grãos dos feijoeiros submetidos a variações de doses de adubação e lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, p. 1285-1290, março 2017.

NASCIMENTO, S. P. D., BASTOS, E. A., ARAÚJO, E. C., FREIRE FILHO, F. R. e SILVA, E. M. D. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 15, 853-860, 2011.

NIELSEN, D. C. Programação de irrigações para soja com índice de estresse hídrico da cultura (CWSI). **Field Crops Research**, v. 23, n. 2, p. 103-116, 1990.

NÓBREGA, J. Q., RAO, T. V., BELTRÃO, N. E. D. M. & FIDELES FILHO, J. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 5, 437-443. NOGUEIRA, R.J.M.C. Efeitos do déficit hídrico no comportamento fisiológico de quatro cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*) adubadas ou não, com nitrogênio mineral. 1987. 156p. Dissertação (mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2001.

NOGUEIRA, R.J.M.C. **Efeitos do déficit hídrico no comportamento fisiológico de quatro cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*)** adubadas ou não, com nitrogênio mineral. 156p. Dissertação (mestrado em Agronomia)- Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1987.

VILLA NOVA, M. S. **Avaliação do desempenho do tensiômetro de bolha de ar na medida do potencial matricial da água no solo.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 1991.

ORTOLANI, A.A.; CAMARGO, M.B.P. **Influência dos fatores climáticos na produção.** In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. *Ecofisiologia da produção agrícola.* Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1987. P.71-100.

PADHI, J., MISRA, R. K.; PAYERO, J. O. Estimativa do déficit hídrico no solo em uma lavoura de algodão irrigado com termografia infravermelha. ***Field Crops Research*** 126, 45-55, 2012.

PAZZETTI, G. A., CANO, M. A. O., e RESENDE, M. Aplicação da termometria por infravermelho a irrigação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*): parâmetros fisiológicos. **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 1992.

PELLEGRINO, G. Q., ASSAD, E. D., e MARIN, F. R. Mudanças climáticas globais e a agricultura no Brasil. ***Revista Multiciência***, 8, 139-162, 2007.

PEREIRA, R, M., **Manejo de irrigação com automação de baixo custo no cultivo da alface submetida a diferentes potenciais matriciais do solo.** Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2021. 110 p;.

ROSALEN. K e PIAZZETTA, H. V. L. Ajuste da lâmina de irrigação na produtividade da cultura do feijão. Universidade Federal Da Fronteira Sul. 2017.

SANTOS, H. G. et al. O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. **Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E)**,2011.

SOBRINHO, O.P.L.; ARRIERO, S.S; GOMES, L.M et al. **Uso de potenciais da água na planta no manejo da Irrigação: Uma revisão.** Equipe mais soja, Convibra. 2018. Disponível em <<https://maissoja.com.br/uso-de-potenciais-da-agua-na-planta-no-manejo-da-irrigacao-uma-revisao/>>. Acesso em 10 de novembro de 2021.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado – **Correção do solo e adubação**. 2.ed. Embrapa, Brasília, DF, 2004. 416 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, M. Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. **Plant physiology**, 6. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017, 858p.

VAN GENUCHTEN, M.T. Uma equação de forma fechada para prever a condutividade hidráulica de solos insaturados. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892–898, 1980.

VAN GENUCHTEN, M. T; LEIJ, F. J.; YATES, S. R. **O código RETC para quantificar as funções hidráulicas de solos insaturados**, Washington, Environmental Protection Agency, 1991. 100 p.

WORLDOMETERS. c2021. Página inicial. Disponível em : < <https://www.worldometers.info/> >. Acesso em 28 de setembro de 2021.

9. AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Chamada MCTIC/CNPqNº 28/2018 - Processo: 423744/2018-6.