

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA
CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA**

**AVALIAÇÃO DO MANEJO DA IRRIGAÇÃO EM PIVÔ
CENTRAL COM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NA
COSTA LESTE DO MATO GROSSO DO SUL**

MATHEUS MACARINI DONÁ

Orientador: Prof. Dr. Fernando Braz Tangerino Hernandez

Ilha Solteira - SP
Agosto - 2022

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA
CURSO DE ENGENHARIA AGRÔNOMICA**

**AVALIAÇÃO DO MANEJO DA IRRIGAÇÃO EM PIVÔ
CENTRAL COM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NA
COSTA LESTE DO MATO GROSSO DO SUL**

MATHEUS MACARINI DONÁ

Orientador: Prof. Dr. Fernando Braz Tangerino Hernandez

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Engenharia
do campus de Ilha Solteira -- UNESP,
como parte dos requisitos para obtenção
do grau de Engenheiro Agrônomo.

Ilha Solteira - SP
Agosto - 2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Doná, Matheus Macarini.
D674a Avaliação do manejo da irrigação em pivô central com integração lavoura-
pecuária na Costa Leste do Mato Grosso do Sul / Matheus Macarini Doná. --
Ilha Solteira: [s.n.], 2022
54 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2022

Orientador: Fernando Braz Tangerino Hernandez
Inclui bibliografia

1. Evapotranspiração. 2. Solo-Planta-atmosfera. 3. Fieldnet advisor.

Raiane da Silva Santos
Raiane da Silva Santos

Superintendente Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Divisão Técnica de Biblioteca e Documentação
CSB-1 - 9999

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

ATA DA DEFESA - TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**TÍTULO: AVALIAÇÃO DO MANEJO DA IRRIGAÇÃO EM PIVÔ CENTRAL COM
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NA COSTA LESTE DO MATO GROSSO DO SUL**

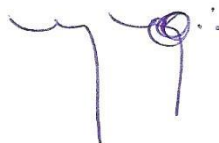
ALUNO: *Matheus Macarini Doná*

RA: 17205390-1

ORIENTADOR: Fernando Braz Tangerino Hernandez

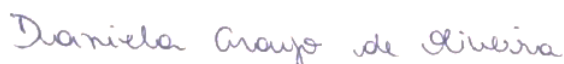
Aprovado (X) - Reprovado () pela Comissão Examinadora com Nota: 10 (DEZ)

Comissão Examinadora:



Prof. Dr. Fernando Braz Tangerino Hernandez

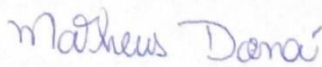
Presidente (Orientador)



Me. Daniela Araújo de Oliveira



Profa. Dra. Cristiane Pirola Narimatsu



Matheus Macarini Doná

Ilha Solteira, 11 de agosto de 2022.

Durantes estes 5 anos de jornada a vida me desprende de duas pessoas fundamentais na minha formação e assim dedico este trabalho a minha avó Diorides e meu avô José Carlos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo discernimento e amparo espiritual para coerentemente evoluir ao longo destes 5 anos de graduação.

Aos meus pais, Andréia e Luiz, pela oportunidade de poder me dedicar exclusivamente ao estudo, fornecendo aportes emocionais e financeiros.

A minha namorada, Maria Júlia, pelo imenso apoio estendido durante toda a minha caminhada e por vencermos juntos as inseguranças de um namoro a distância.

Ao professor Fernando Tangerino e a toda a equipe da Área de Hidráulica e Irrigação da UNESP campus de Ilha Solteira pelos infinitos conhecimentos compartilhados, pelo aporte técnico e, não menos importante, braçal para realização de todas as práticas propostas.

A todos os amigos que a graduação me trouxe, sendo na República Santa Galo, na turma LIV ou fora dela.

A “AgroPassion” que ofereceu aporte estrutural, operacional e financeiro para que este trabalho fosse concluído. Em especial a Antônio Ricardo Sechis, Carlos Augusto Lopes Lima e José Roberto Mascaro.

RESUMO

Transformar áreas com pastagens, antes degradadas pela pecuária extrativista, em sistemas tecnificados altamente produtivos é um dos caminhos que garantirá sustentabilidade na prática de produzir carne no território nacional, assim, fundir técnicas agronômicas e sistemas de irrigação proporcionaram fluidez ao processo. Deste modo, este trabalho teve como objetivo avaliar o manejo da irrigação em uma área irrigada por pivô central no município de Cassilândia-MS que recebeu a integração lavoura-pecuária pela sucessão entre a forrageira *Panicum Maximum* BRS Zuri e a soja (*Glycine max* (L.) Merrill), analisando-se o conjunto solo-planta-atmosfera. No solo, valores acima de 200 mm.h⁻¹ para a taxa de infiltração básica merecem atenção do ponto de vista de lâmina aplicada pela irrigação; além disso, o armazenamento de água do solo foi medido ao longo das safras por uma sonda “Sentek”, o que permitiu comparar e validar que o software de manejo “FieldNet Advisor” licenciado pela fazenda é aplicável ao manejo da irrigação. Estimar a evapotranspiração dentro da área irrigada, através de leitura de sensores, permitir propor o coeficiente corretivo de 0,965 em relação a estação operada pelo INMET do município de Água Clara – MS. O manejo da irrigação fora bem aplicado dentro dos parâmetros analisados.

Palavras-chaves: Evapotranspiração, solo-planta-atmosfera, FieldNet Advior.

ABSTRACT

Transforming areas with pastures, previously degraded by extractive livestock, into highly productive technified systems is one of the ways that will guarantee sustainability in the practice of producing meat in the national territory, thus, merging agronomic techniques and irrigation systems provided fluidity to the process. Thus, this study aimed to evaluate the irrigation management in an area irrigated by central pivot in the municipality of Cassilândia-MS that received the crop-livestock integration by the succession between the forage *Panicum Maximum* BRS Zuri and soybean (*Glycine max* (L.) Merrill), analyzing the soil-plant-atmosphere set. In the soil, values above 200 mm.h⁻¹ for the basic infiltration rate deserve attention from the point of view of the depth applied by irrigation; In addition, soil water storage was measured throughout the seasons by a “Sentek” probe, which allowed comparing and validating that the “FieldNet Advisor” management software licensed by the farm is applicable to irrigation management. Estimating the evapotranspiration within the irrigated area, through sensor reading, allows proposing the corrective coefficient of 0.965 in relation to the station operated by INMET in the municipality of Água Clara - MS. Irrigation management was well applied within the parameters analyzed.

Keywords: Evapotranspiration, soil-plant-atmosphere, FieldNet Advisor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Caracterização da área utilizada no projeto.....	17
Figura 2 - Resumo detalhado da composição do sistema de irrigação do tipo Pivô Central.....	18
Figura 3 - Mapa da distribuição da porção granulométrica argila dentro da área do pivô central - gerada pela empresa “Desafios Agro”	20
Figura 4 - Zoneamento atribuído ao software “FieldNet Advisor” para nortear o adequado manejo da irrigação.....	22
Figura 5 - Distribuição espacial dos pontos amostrais.....	23
Figura 6 - Gráfico de dispersão que correlaciona a RG com a PAR no município de Populina – SP.....	26
Figura 7.- Comportamento da TIB na área nomeada “Baixa” - metodologia dos anéis concêntricos.....	27
Figura 8.- Comportamento da TIB na área nomeada “Alta” - metodologia dos anéis concêntricos.....	28
Figura 9.- Comportamento da TIB na área nomeada “Baixa” - metodologia do mini infiltrômetro de disco.....	28
Figura 10.- Comportamento da TIB na área nomeada “Alta” - metodologia do mini infiltrômetro de disco	29
Figura 11 - Comportamento do armazenamento médio diário de água no solo a partir de dados da sonda “Sentek” - de 14/07/2021 até 03/09/2021.....	31
Figura 12 - Comportamento do armazenamento médio diário de água no solo a partir de dados da sonda “Sentek” - de 05/10/2021 até 19/11/2021.....	31
Figura 13 - Comportamento do armazenamento médio diário de água no solo a partir de dados da sonda “Sentek”- safra da soja (2021/2022).....	32
Figura 14 - Depleção da água estimada pelo software “FieldNet Advisor” - safra da soja (2021/2022) - cultivar “ST 797”	33
Figura 15 - Depleção da água estimada pelo software “FieldNet Advisor” - safra da soja (2021/2022) - Cultivar “NEO 750”	34

Figura 16 - Uso de água pela cultura projetado pelo software “FieldNet Advisor” na safra da soja 2021/2022 - Cultivar “ST 797”	35
Figura 17 - Uso de água pela cultura projetado pelo software “FieldNet Advisor” na safra da soja (2021/2022) - Cultivar “NEO 750”	35
Figura 18 - Distribuição do conteúdo radicular do <i>Panicum Maximum</i> BRS Zuri na parte nomeada “Baixa”	36
Figura 19 - Distribuição do conteúdo radicular do <i>Panicum Maximum</i> BRS Zuri na parte nomeada “Alta”	36
Figuras 20 - Distribuição do conteúdo radicular da Soja, safra 2021/2022, na parte nomeada “Baixa”	37
Figuras 21 - Distribuição do conteúdo radicular da Soja, safra 2021/2022, na parte nomeada “Alta”	37
Figura 22 - Curva Característica de Retenção de Água no Solo - 21/02/2022.....	38
Figura 23 - Correlações entre as diferentes evapotranspirações na safra do <i>Panicum Maximum</i> BRS Zuri - de 14/07/2021 até 03/09/2021.....	41
Figura 24 - Correlações entre as diferentes evapotranspirações na safra do <i>Panicum Maximum</i> BRS Zuri, - 05/10/2021 até 19/11/2021.....	42
Figura 25 - Correlações entre as evapotranspirações aferidas na safra da soja (2021/2022).....	43
Figura 26 - Relação entre o Kc projetado no início da safra e o Kc ajustado ao longo da mesma - “ST 979”	46
Figura 27 - Relação entre o Kc projetado no início da safra e o Kc ajustado ao longo da mesma - “NEO 750”	47
Figura 28 - Comportamento ETc ao longo do ciclo da soja - Cultivar “NEO 750”	47
Figura 29 - Comportamento da ETc ao longo do ciclo da soja - Cultivar “ST 797”	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resultados médios dos macronutrientes da análise de solo feita pela empresa “Desafios Agro”	19
Quadro 2 - Resultados médios dos micronutrientes da análise de solo feita pela empresa “Desafios Agro”	20
Quadro 3 - Resultados da análise de porosidade do solo e densidade aparente.....	21
Quadro 4 - Coeficientes de correção dos dados de umidade da sonda “Sentek”	24
Quadro 5 - Descrição dos sensores alocados na área de estudo.....	25
Quadro 6 - Resultados da análise de textura da área de estudo.....	30
Quadro 7 - Correlação entre potencial matricial e umidade volumétrica do solo das amostras colhidas, aferidos em análise laboratorial.....	37
Quadro 8 - Parâmetros obtidos através do modelo de GENUCTHEN (1980).....	38
Quadro 9 - Resultados da análise de porosidade do solo e densidade aparente.....	39
Quadro 10 - Determinação da CAD ajustada para cada uma das culturas em dois pontos diferentes da área estuda.....	40
Quadro 11 - Relação entre ET _c , Chuva e Irrigação - Safra do <i>Panicum Maximum</i> BRS Zuri.....	44
Quadro 12 - Projeção da ET _c para a safra da soja proposta pelo software de manejo da irrigação no início do ciclo – “ST 797”	45
Quadro 13 - Projeção da ET _c para a safra da soja proposta pelo software de manejo da irrigação no início do ciclo – “NEO 750”	45
Quadro 14 - Ajuste feito a ET _c da cultura de acordo com as modificações no K _c propostas ao longo do ciclo – “ST 797”	45
Quadro 15 - Ajuste feito a ET _c da cultura de acordo com as modificações no K _c propostas ao longo do ciclo – “NEO 750”	46
Quadro 16 - Relação geral da ET _c , Chuva e Irrigação da Safra da soja (2021/2022) - Cultivar “ST 797”	49
Quadro 17 - Relação geral da ET _c , Chuva e Irrigação da Safra da soja (2021/2022) - Cultivar “NEO 750”	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 Culturas.....	12
2.2 Relação Solo-Planta-Atmosfera	14
2.3 Irrigação no Mato Grosso do Sul.....	15
3 OBJETIVO GERAL	16
3.1 Objetivos específicos	16
4 MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1 Área de estudo	17
4.2 Aspectos químicos, físicos e zoneamento para manejo da irrigação.....	19
4.3 Taxa de infiltração básica do solo (TIB) e Granulometria	22
4.4 Umidade e armazenamento de água no solo	23
4.5 Sistema radicular efetivo	24
4.6 Caracterização climática.....	25
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1 Taxa de infiltração básica do solo e granulometria	27
5.2 Armazenamento de água no solo.....	30
5.2.1 Sonda de Sentek.....	30
5.2.2 FieldNet Advisor.....	33
5.3 Sistema radicular efetivo	35
5.4 Curva característica de água do solo	37
5.5 Capacidade de armazenamento de água do solo ajustada	39
5.6 Evapotranspiração	40
5.6.1 Evapotranspiração de referência (ET ₀)	40
5.6.2 Evapotranspiração da cultura (ET _c).....	43
6 CONCLUSÕES.....	50
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1 INTRODUÇÃO

A pecuária brasileira desde sua origem promove anualmente, intensa participação na economia do país, abrangendo o ponto de vista de consumo interno e produtos para exportação. O sucesso deste seguimento pode ser explicado pela preconização do rebanho criado a pasto, reduzindo custo de produção e potencializando a lucratividade (FERRAZ; FELICIO, 2010).

Segundo o censo do IBGE de 2017, o Brasil possui uma parcela em utilização de terras por pastagens de 159.497.547 hectares. Cerca de 45% do total de pastagem quantificado, vem passando por um processo de transformação, substituindo forrageiras nativas por pastagens plantadas de alta tecnologia, preconizando melhora na formação e manejo das mesmas e, conseqüentemente, incrementando produção (DIAS-FILHO, 2014).

O sistema integração lavoura pecuária (ILP) é um conceito de produção que objetiva potencializar o uso dos recursos naturais pela rotação ou sucessão entre pastagens e grãos na mesma área, interagindo entre si de forma benéfica (ALVARENGA e NOCE, 2005). O déficit hídrico registrado nas principais regiões produtoras da soja, incluindo o estado do Mato Grosso do Sul, fez com que a safra 2021/2022 do grão fosse 10,2% inferior a anterior com produtividade média de 3.029 kg/ha, mesmo com o aumento da área cultivada de 4,5%, (CONAB, 2022).

Com a finalidade de suprir as necessidades hídricas das culturas e garantir a segurança alimentar no seguimento, a agricultura irrigada brasileira atualmente abrange uma área de 8,2 milhões de hectares, o qual tende a uma expansão de 79%, atingindo, de acordo com o Atlas Irrigação, um montante de 12,4 milhões de hectares até 2040 (ANA, 2021).

Contar com sistemas de irrigação em zonas de transformação, passando da pecuária degradada extrativista para um sistema agropecuário intensivo, potencializa o processo e, junto de técnicas agronômicas, são capazes de converter um solo arenoso com baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, em um forte alicerce produtivo para a agropecuária brasileira. (HERNANDEZ, 2019).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Culturas

A forrageira do gênero *Panicum* (*Panicum Maximum* cv. BRS Zuri) foi originada por um programa de melhoramento genético comandado pela Embrapa de Corte em parceria com

outras instituições. Tal forrageira é designada como uma gramínea cespitosa de alta produtividade, alto valor nutritivo, resistente a cigarrinha-das-pastagens, além de um alto grau de resistência contra a doença nomeada “Mancha das Folhas”. Destaca-se o seu bom desenvolvimento em solos bem drenados, peculiaridade que a remete como uma opção de forrageira para o Cerrado brasileiro, devido a dominância de solos arenosos. Entretanto, salienta-se sua baixa tolerância a seca e volume mínimo de precipitação pluviométrica em torno de 800 mm/ano, o que a torna uma planta exigente por um regime hídrico consistente (EMBRAPA, 2014).

Segundo Costa *et al.*, a água é pontualmente o fator mais limitante na produção da forrageira. Devido a esta característica cita-se a irrigação em pastagens como uma prática promissora, evitando perdas de produtividade da cultura ocasionadas pelas épocas secas do ano, e assim, promovendo uma estabilização da produção em locais onde o fotoperíodo e temperatura não são fatores limitantes (FERNANDES *et al.*, 2010).

A Soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma planta leguminosa, dicotiledônea, originária da Ásia, cuja produção visa a obtenção de seus grãos, estes que se destacam pelo alto teor de proteína. O principal derivado desta matéria prima é o óleo, voltado a alimentação humana, animal e, atualmente, produção de biocombustíveis (SEDIYAMA *et al.*, 2009). Visando a alimentação animal destaca-se a suplementação de ruminantes, onde que principalmente em períodos secos do ano o aporte proteico para o rebanho corrige as deficiências do pasto e ainda potencializa a digestão de fibra no rúmen dos animais (EUCLIDES *et al.*, 2001; ZERVOUDAKIS *et al.*, 2001).

Quanto a máxima produção, a cultura apresenta necessidade hídrica na faixa de 450 a 800 mm/ciclo, com valores máximos nas fases de floração e enchimento de grãos, números estes que variam de acordo com o cultivar, época de semeadura e características climáticas da região específica (KRZYZANOWSKI *et al.*, 2015).

Na área estudada foram utilizadas duas cultivares de soja diferentes, sendo a cultivar “NEO 750” desenvolvida pela empresa “Neogen” que possui por característica hábito de crescimento indeterminado, pertence ao grupo de maturação 7.5, apresenta florescimento em 27 dias e necessita de alta condição de fertilidade do solo (SEMENTEC, 2022). A segunda cultivar escolhida para compor a área fora a “ST 797” desenvolvida pela empresa “Bayer” que apresenta hábito de crescimento indeterminado, pertence ao grupo de maturação 7.9 e necessita de uma alta condição em fertilidade do solo, sendo diferencial desta cultivar sua robustez e boa relação com condições de estresse hídrico (AGRANDA, 2020).

2.2 Relação Solo-Planta-Atmosfera

O solo na agricultura irrigada é tratado como o reservatório de água da lavoura, capaz de suprir as necessidades hídricas quando abastecido. Nesta perspectiva se faz necessário quantificar qual o volume de água armazenado no mesmo para entender seu adequado manejo, necessitando-se conhecer o ponto de capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP), que associado a profundidade efetiva do sistema radicular, definem a capacidade de água disponível (CAD) (BERNARDO; SOARES; MONTOVANI, 2011).

Segundo Veihmeyer e Hendrickson (1931) define CC como o ponto máximo de retenção de água no solo, descartando-se o excesso de umidade drenado. Por outro lado, designa-se como PMP o teor de umidade abaixo do qual o sistema radicular das plantas é incapaz de absorver. De modo geral estes pontos são influenciados pela característica textural do solo, sua respectiva porosidade e o conteúdo de matéria orgânica encontrado no local.

De acordo Richards (1965) a determinação destes pontos pode ser feita laboratorialmente aplicando tensões empíricas que simulam a exercida pelo solo em condições reais, nomeada de tensão matricial do solo. Está análise busca mapear a correlação entre a tensão aplicada e o volume de água retido na amostra, gerando a denominada curva característica de retenção de água do solo. Nesta vertente, Genuchten (1980), desenvolveu uma representação matemática baseada em regressão múltipla não linear capaz de modelar a curva e promover a estipulação de valores de umidade volumétrica em qualquer ponto da mesma.

Além do entendimento do volume de água armazenado no solo, se faz importante entender o comportamento da água no momento da aplicação, permitindo-se analisar a efetividade da irrigação em fornecer o insumo na profundidade do solo tomado por raízes. Nesta perspectiva, busca-se quantificar a taxa de infiltração básica do solo, parâmetro que reflete a quantidade de água que efetivamente é infiltrada no perfil e permite analisar possível escoamento superficial do recurso (FIORIN, 2008).

A planta entra na relação ditando suas necessidades hídricas diversas ao longo de um ciclo completo, uma vez que de acordo com a espécie ocorre uma variação fisiológica exigindo maior suprimento de água em determinados pontos de seu desenvolvimento. Neste aspecto define-se, segundo Allen et al. (1998), o coeficiente de cultura (K_c), buscando correlacionar peculiaridades da cultura e efeitos evaporativos médios do solo com o decorrer do ciclo. Este coeficiente varia de acordo com o tipo da cultura, duração de seu ciclo vegetativo e diferentes estágios fisiológicos da mesma, assumindo alterações para o estágio inicial, intermediário e final de desenvolvimento. Estas modificações se dão em função da expansão da área foliar da planta com o decorrer do cultivo, alterando a participação da evaporação do solo no processo

de evapotranspiração, à medida que a transpiração da planta se torna mais consistente e a radiação solar não atinge a superfície evaporativa do sistema, o solo (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2005).

Conclusivamente, na relação destaca-se o componente atmosférico, interferindo através da evapotranspiração, descrita pela soma da água evaporada - do solo e superfície da planta - e aquela transpirada pela mesma, demandando principalmente energia solar para ocorrer (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2005). O termo evapotranspiração, segundo Allen et al. (1998), é subdividido em evapotranspiração de referência (ET_0), evapotranspiração da cultura (ET_c) e evapotranspiração atual (ET_a).

Define-se a evapotranspiração de referência (ET_0) como aquela proveniente de uma cultura padronizada que não altera seu estágio fenológico ao longo do ano, devendo permanecer sempre em adequadas condições hídricas e com crescimento controlado. A estimativa desta variável pode ser feita de acordo com vários métodos, entretanto, a equação de Penman-Monteith é aceita como padrão pelo Boletim FAO 56, necessitando apenas coletar, através de estações agrometeorológicas instalada sob a vegetação descrita, dados de umidade relativa do ar, radiação global, pressão atmosférica e velocidade do vento para estimar com precisão o valor desejado (ALLEN et al., 1998).

Por outro lado, descreve-se a evapotranspiração da cultura (ET_c) como a multiplicação entre a ET_0 e o K_c , onde a mesma não passa por estresse hídrico ou qualquer interferência de agentes bióticos ou abiótico, em todas as etapas de seu ciclo (ALLEN et al., 1998).

Por fim, relata-se a evapotranspiração atual (ET_a) como aquela fielmente exercida pela cultura em condições reais, onde que ataque de pragas, patógenos e falta de água interferirão na grandeza. Cita-se que uma das formas de estimar esta variável se dá pela utilização do sensoriamento remoto através de imagens capturadas por satélites, necessitando aplicar algoritmos para determiná-la (TEIXEIRA, 2012).

2.3 Irrigação no Mato Grosso do Sul

A utilização de irrigação agrícola tem origem antiga, começando a ser praticada nas primeiras civilizações, destacando o Egito e a Mesopotâmia. Trata-se de um conjunto de técnicas e equipamentos que visam cessar ou minimizar condições de estresse hídricos pelas culturas. A água pode ser direcionada através de quatro principais métodos, sendo a irrigação de superfície, subterrânea, localizada e por aspersão (ANA, 2019).

Destacando o método de irrigação por aspersão, define-se o mesmo pela distribuição da água através de tubulações pressurizadas, onde orifícios ou aspersores subdividirão a mesma

em um jato dispersado sob pressão no meio. Dentre os sistemas de aspersão salienta-se o pivô central, apresentando movimentação radial e intensidade de aplicação definida de acordo com a velocidade de deslocamento de suas torres ao longo da área (FRIZZONE et al., 2018).

Segundo Hernandez (2019), o estado do Mato Grosso do Sul possui uma área irrigada de cerca de 8 mil hectares, sobressaindo o sistema de pivô central, com 90 exemplares; os solos arenosos da região possuem baixa capacidade de retenção de água e, consequentemente, fornecimento hídrico limitado, justificando assim, o uso da irrigação como fator de sustentabilidade do negócio de produzir alimentos.

O município de Cassilândia - MS apresenta historicamente um prolongado período de escassez de chuvas, o que reflete num balanço hídrico climático negativo, definido quando a montante da evapotranspiração de referência ao longo do ano se torna maior que os índices pluviométricos registrados no mesmo período, tornando-se fundamental investimentos em sistemas de irrigação e adequado manejo da água (DONÁ; HERNANDEZ; FAUVEL, 2021).

A relação de balanço hídrico pode ainda ser aprofundada no balanço hídrico normal e sequencial, estes que correlacionam ET₀, índices pluviométricos e a capacidade de armazenamento de água no solo, separando assim o momento anual ou em certo período que ocorreu déficit hídrico. Novamente a ausência de chuva traz escassez hídrica ao município de Cassilândia - MS, pontuando que em um período de 18 meses analisados entre 2021 e 2022 foram destacados 8 meses de déficit hídrico (BORGES; HERNANDEZ; FAUVEL, 2021).

3 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo avaliação o manejo da irrigação empregado no pivô central localizado em Cassilândia - MS, conduzindo integração lavoura pecuária pela sucessão entre uma forrageira (*Panicum Maximum* cv. BRS Zuri) e uma leguminosa (*Glycine max* (L.) Merrill), analisando-se as condições do sistema solo-planta-atmosfera da área, além de indicar a aplicabilidade do software de manejo da irrigação licenciado pela fazenda.

3.1 Objetivos específicos

- Determinação da taxa de infiltração básica do solo, entendendo a velocidade de infiltração do insumo e sua correlação com a umidificação das camadas solo pela prática da irrigação.
- Determinar o armazenamento de água no solo através dos dados colhidos pela sonda “Sentek” instalada junto aos demais sensores, permitindo comparação com a modulação proposta pelo software de manejo da água.

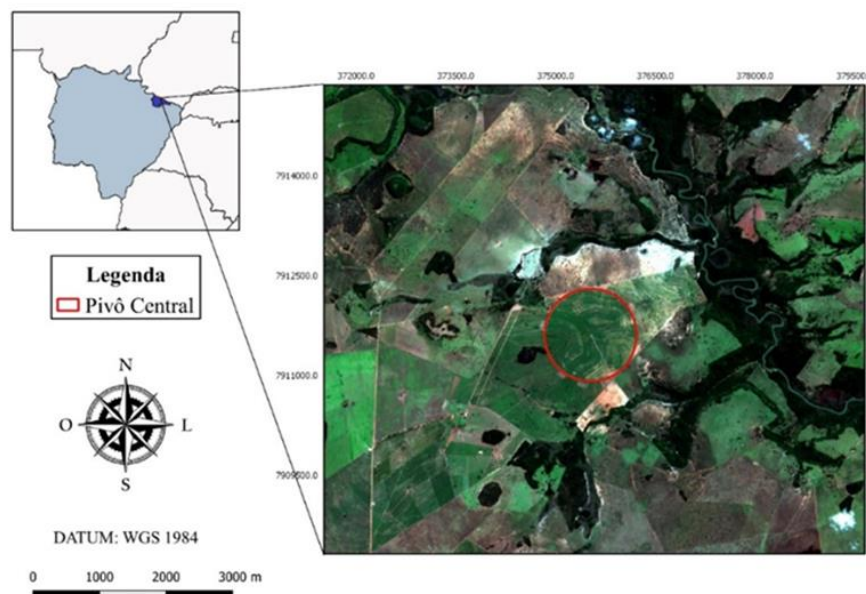
- Determinar a profundidade efetiva do sistema radicular das culturas de modo à estimar as capacidades de armazenamento de água para cada uma delas.
- Acompanhar a mudança na CAD da área, comparando os resultados no momento antes e depois da implantação da integração lavoura-pecuária.
- Estimar a evapotranspiração (ET) na área de estudo através dos dados climáticos colhidos pelos sensores implantados na mesma e compara-los com dados obtidos de forma gratuita em estações agrometeorológicas regionais, afim de determinar correlações e estabelecer correlações entre as fontes.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na área do pivô central da Fazenda Cantinho do Céu localizada no município de Cassilândia –MS (Latitude: 18° 53 ' 2" S; Longitude: 52° 10 ' 54" O; Altitude: 574 m) (Figura 1), cuja solo é classificado como um Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf) (EMBRAPA, 2006). O clima na região é classificado Aw segundo Köppen, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno (CARDOSO, 2012).

Figura 1 - Caracterização da área utilizada no projeto



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A fazenda em questão iniciou em novembro de 2020 um processo de modernização em sua infraestrutura produtiva envolvendo desde a recuperação dos solos com calagem, gessagem,

onde a primeira safra ainda em sequeiro fora cortada no dia 15/05/2021. Após este corte iniciou-se a safra da forrageira de interesse do estudo, que posteriormente foi dessecada para receber o plantio da soja em 19/11/2021.

4.2 Aspectos químicos, físicos e zoneamento para manejo da irrigação

Os dados de fertilidade do solo da área do pivô central foram processados afim de obter valores médios dos 16 pontos amostrais coletados e analisados pela empresa prestadora de serviços local “Desafios Agro” no dia 31/05/2021, permitindo entendimento sobre a saúde do mesmo ao início da segunda safra do *Panicum Maximum* BRS Zuri (Quadros 1)

Quadro 1 - Resultados médios dos macronutrientes da análise de solo feita pela empresa “Desafios Agro”

PROFUNDIDADES		0 - 20 cm	20 - 40 cm			
pH	$CaCl_2$	5,37	4,88			
M.O	$g.dm^{-3}$	10,19	8,52			
C.O		5,90	4,94			
CTC	$cmolc.$	3,81	3,40			
Sat. Bases		59,53	36,87			
Sat. Alumínio	%	3,77	16,71			
MACRONUTRIENTES	Ca + Mg	2,26	1,25			
	Ca	1,59	0,85			
	Mg	0,67	0,40			
	Al	0,07	0,20			
	H + Al	1,51	2,13			
	K	0,05	0,04			
	P	14,74	6,48			
	(mel)					
MICRONUTRIENTES						
PROFUNDIDADES	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
$mg.dm^{-3}$ (ppm)						
0 - 20 cm	8,96	0,19	0,68	64,69	7,09	0,39
20 - 40 cm	7,37	0,18	0,58	83,25	4,99	0,22
MICRONUTRIENTES						
PROFUNDIDADES	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
$mg.dm^{-3}$ (ppm)						
0 - 20 cm	8,96	0,19	0,68	64,69	7,09	0,39
20 - 40 cm	7,37	0,18	0,58	83,25	4,99	0,22

Fonte: Adaptado de dados fornecidos pela fazenda.

Complementando os resultados de fertilidade, a empresa prestadora de serviço utilizando-se do mesmo grid determinou as características granulométricas locais cuja resultados médios para cada profundidade são tratados no quadro 2.

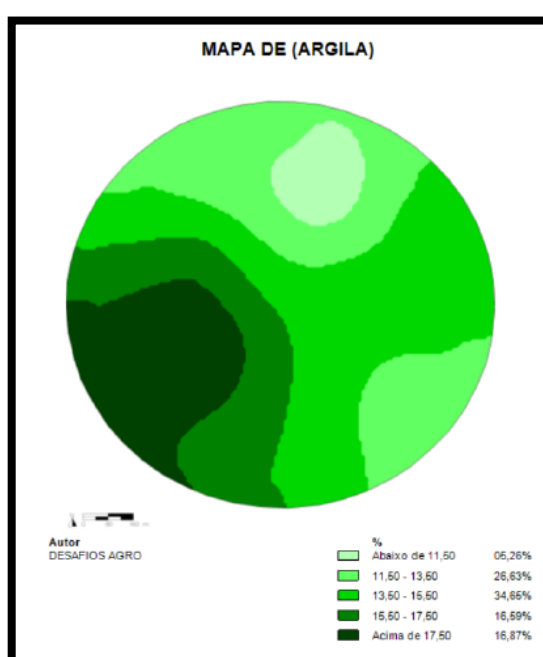
Quadro 2 - Resultados médio das análises granulométricas de toda a área do pivô central feita pela empresa “Desafios Agro”

	Argila	Silte	Areia
	<i>g. Kg⁻¹</i>		
0 - 20 cm	148,1	60,9	790,9
20 - 40 cm	157,5	62,5	780,0

Fonte: Adaptado de dados fornecidos pela fazenda.

Continuando a caracterização física da área, a Área de Hidráulica e Irrigação da UNESP de Ilha Solteira coletou no dia 08/04/2021 amostras indeformadas de solo seguindo dois pontos amostrais pré-definidos, nomeados “Parte Alta” e “Parte Baixa”. A decisão por dividir a área desta maneira se deu pela diferença espacial dos teores de argila local, explicado pela modulação dos resultados granulométricos fornecidos pela empresa “Desafios Agro” que retratou datas diferenças através da Figura 3.

Figura 3 - Mapa da distribuição da porção granulométrica argila dentro da área do pivô central - gerada pela empresa “Desafios Agro”



Fonte: Dados fornecidos pela fazenda.

Os resultados de tais coletas, transcritos pelo laudo do laboratório de Física do Solo da UNESP de Ilha solteira, foram processados pelo software SWRC (Software to model soil water retention curves, version 2.0) (NETO *et al*, 2000) para obter os parâmetros do modelo de GENUCTHEN (1980) e assim definiu-se os valores da CAD para os pontos amostrais sendo 0,8 mm/cm e 0,6 mm/cm, respectivamente para a “Parte Alta” e “Parte Baixa”.

Por fim, aproveitando as amostras indeformadas da análise anterior, determinou-se a distribuição dos poros no solo e a determinação da densidade aparente do mesmo (Quadro 3).

Quadro 3 - Resultados da análise de porosidade do solo e densidade aparente

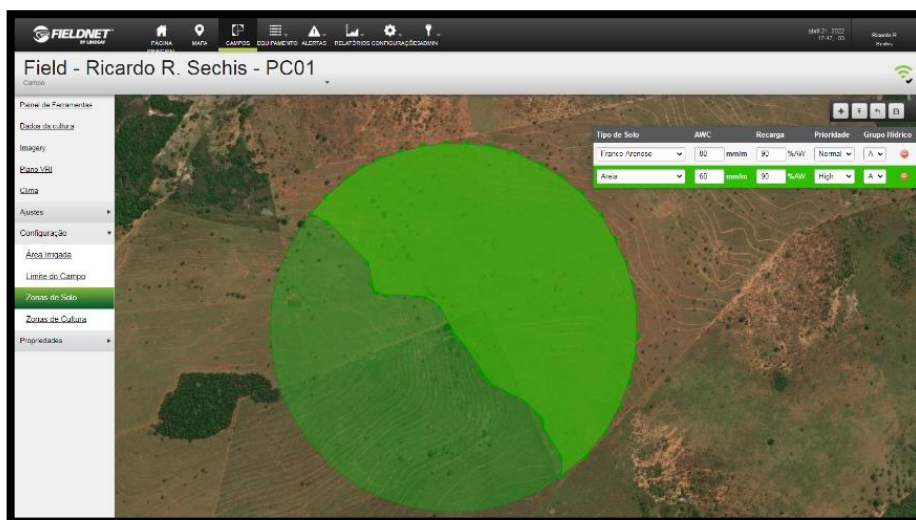
	Baixo	Alto
Porosidade Total (%)	36,1	36,1
Macroporosidade (%)	27,0	20,9
Microporosidade (%)	9,1	15,2
Densidade (g/cm³)	1,7	1,6

Fonte: Adequado do laudo emitido pelo Laboratório de Física do Solo da UNESP de Ilha Solteira.

A época a área estava cultivada com capim Zuri, ainda sem o uso do sistema de irrigação.

Para fins de manejo, o pivô central fora dividido em duas zonas distintas, norteadas pelos valores de CAD obtidos nos resultados da curva característica de água do solo, que atrelados as profundidades do sistema radicular efetivo considerada, permitiu indicar qual a capacidade de água disponível de ambas as áreas em questão. Para a cultura da forrageira adotando-se a profundidade radicular de manejo de 80 centímetros, resultando em uma CAD de 64 e 48 mm, respectivamente para as diferentes partes. Já na cultura da soja, 50 cm foram considerados para alcançar todo o sistema radicular efetivo, adotando uma CAD de 40 e 30 mm, respectivamente, para “Alta” e “Baixa”. Tal divisão proposta na área está exposta na Figura 4.

Figura 4 - Zoneamento atribuído ao software “FieldNet Advisor” para nortear o adequado manejo da irrigação



Fonte: Dados fornecidos pela fazenda.

No caso da soja a divisão entre CADs estabelecida com propósito de manejo serviu para locar as duas cultivares utilizadas, posicionando a cultivar “NEO 750” na área nomeada “Alta” e a “ST 797” na área nomeada baixa.

Ao final da safra da cultura da soja, no dia 21/02/2022, foram amostrados novamente os pontos nomeados “Parte Alta” e “Parte Baixa” para acompanhar a evolução de tal parâmetro, coletando amostras indeformadas a 15 e 30 cm em cada local pré-definido.

4.3 Taxa de infiltração básica do solo (TIB) e Granulometria

Taxa de infiltração básica do solo é um parâmetro que busca encontrar a velocidade média (estabilizada) que a água é capaz infiltrar em determinado solo, sendo fundamental sua análise em áreas onde sistema de irrigação por aspersão são locados, entendendo se a vazão entregue pelo sistema conseguirá infiltrar no meio sem que o excedente de água seja perdidos por escoamento superficial. Nesta perspectiva, fora aplicado na área, seguindo a divisão espacial do manejo da irrigação – Parte “Alta” e Parte “Baixa” - no dia 07/08/2021 duas metodologias para determinar a taxa de infiltração básica do solo, a metodologia dos anéis concêntricos e a metodologia do mini infiltrômetro de disco.

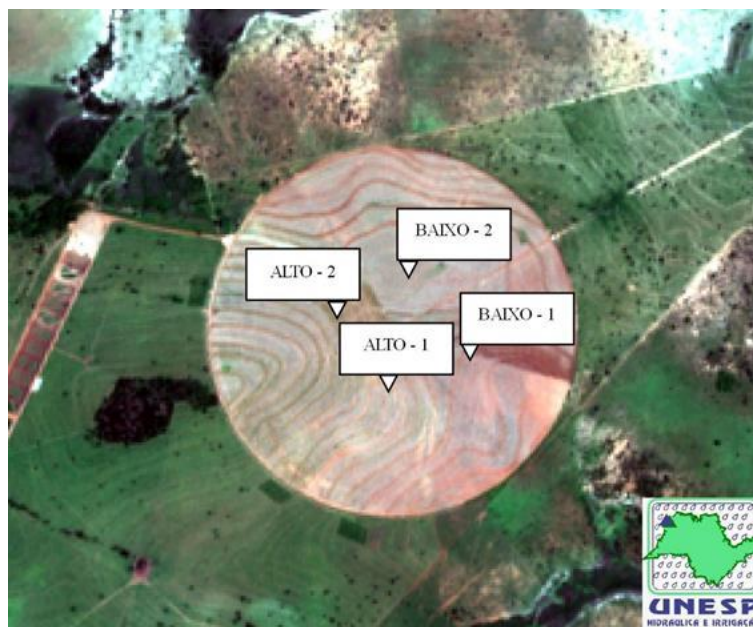
Segundo Bernardo et al. (2011), a metodologia do infiltrômetro de anéis concêntricos consiste em cravar ao solo dois anéis metálicos com dimensões diferentes, sendo um menor, com 25 cm de diâmetro e 30 cm de altura e um maior, com 50 cm de diâmetro e 30 cm de altura,

posicionados de forma concêntrica. Tal análise termina no momento em que se adquire consecutivamente ao menos 3 leituras iguais, estas que se baseiam no tempo gasto pela água para se infiltrar no solo, neste momento se crava qual a taxa de infiltração básica do solo.

Por outro lado, pontuando a metodologia do mini infiltrômetro de disco proposta por Zhang (1997), cita-se que foi introduzido ao solo o equipamento sobre uma camada fina de areia, tendo como funcionalidade impedir o contato direto de sua câmara porosa do equipamento ao solo, e assim coletadas leituras da velocidade da infiltração de água no solo a cada 30 segundo, encerrando o teste quanto se atingir uma leitura constante em ao menos 3 leituras.

Por fim, com o intuito de precisamente caracterizar as condições granulométricas dos locais escolhidos para determinação da TIB que foram segregados das duas zonas de manejo da irrigação, colheu-se amostradas deformadas de solo no dia 06/01/2022 em duas profundidades, 45 e 50 cm, escolhidas de forma a se diferenciar dos dados obtidos pela empresa “Desafio Agro”. Os pontos foram ilustrados na Figura 5 e os resultados foram emitidos, ao se aplicar a metodologia padrão, pelo Laboratório de Física do Solo da UNESP de Ilha Solteira.

Figura 5 - Distribuição espacial dos pontos amostrais



Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

4.4 Umidade e armazenamento de água no solo

A capacidade de quantificar o armazenamento de água no solo através de leituras de umidade trata-se de uma forma indireta de acompanhar o manejo da irrigação, nomeado

“manejo via solo”. Neste sentido foi instalado na área de estudo, junto aos sensores climáticos, uma sonda de umidade e temperatura do solo da fabricante “Tecnal” nomeada “sonda Sentek”. Tal equipamento possui 60 cm de comprimento e é capaz de coletar informações a cada 10 cm, partindo de 5 até 55 cm de profundidade, lendo umidade e temperatura do solo com uma acurácia de R2: 0,992 e precisão de +/- 0,003% (TECNAL, 2018).

A sonda foi instalada na área, assim como os demais sensores, no dia 13/07/2021 afim colher dados diariamente até o final da safra de interesse do *Panicum Máximum* BRS Zuri e durante toda a safra da soja, permitindo que através de uma correlação com a CAD considerada no manejo da água pelo software “FieldNet Advisor” fosse mensurado o comportamento do armazenamento de água no solo.

Afim de comprovar a precisão das leituras da sonda “Sentek”, coletou-se na área ao redor da mesma, amostras deformadas de solo nos dias 06/01/2022 e 21/02/2022 para estabelecer laboratorialmente a umidade volumétrica real e comparar com as leituras colhidas no coerentemente na mesma faixa de tempo. Concluiu-se que haviam diferenças entre os resultados, necessitando aplicação dos coeficientes de correção propostos no quadro 4.

Quadro 4 - Coeficientes de correção dos dados de umidade da sonda “Sentek”

Profundidades	Coeficientes
5 cm	4,4463
15 cm	3,2196
25 cm	2,7489
35 cm	2,4072
45 cm	2,9225
55 cm	1,0874

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

4.5 Sistema radicular efetivo

Para a determinação do sistema radicular efetivo das culturas foi aplicado o método da trincheira (BRASIL et al., 2007) baseada na abertura do perfil paralelamente a linha de cultivo da cultura, afim de expor o seu sistema radicular, onde com o auxílio da câmera de um smartphone foram retiradas fotos do conteúdo de raízes. As imagens coletadas foram subdivididas em fragmentos menores, 0,2 x 0,5m na forrageira e 0,1 x 0,5m na cultura da soja, processadas posteriormente pelo software SAFIRA (JORGE; SILVA, 2010).

Devido ao sistema radicular do *Panicum* em questão alcançar até profundidade de 1,0 m de profundidade cerca de 95% de seu volume total (PEDREIRA, 1975), no dia 05/10/2021 foram abertas três trincheiras na área estuda de tal modo que fosse possível capturar imagens até a profundidade de 1 metro de raízes; os pontos amostrados convergem para divisão proposta

para amostragem da taxa de infiltração básica do solo e granulométrica (Figura 6), escolhendo nesta análise obter resultados dos pontos “Baixo_1”, “Baixo_2” e “Alto_1” por limitações operacionais e de tempo. No caso da soja, considerando que até 50 cm de profundidade se encontra todo o volume radicular da cultura (AZEVEDO; LEITE; NETO, 2004), escavou-se no dia 21/02/2022 duas trincheiras nos pontos nomeados “Baixo_1” e “Alto_1” coletando, neste horizonte, as imagens que foram processadas.

4.6 Caracterização climática

A caracterização climática fora baseada em comparar os valores da evapotranspiração (ET) estimados na fazenda, aplicando-se a equação de Penman-Monteith, padronizada pelo Boletim FAO 56 (ALLEN *et al.*, 1998), com aqueles obtidos através das estações regionais operadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e os fornecidos pelo software de manejo da irrigação “FieldNet Advisor”.

Para estimar a evapotranspiração na área de estudo, foram instalados no dia 13/07/2021 sensores capazes de fornecer as variáveis climáticas necessárias (Quadro 5).

Quadro 5 - Descrição dos sensores alocados na área de estudo

Modelo	Descrição	Tipo de sensor
03002-L12	Anemômetro	Dir./Vel. do vento
LI190SB-L19	Quantum	PAR
CS215-L14	Sensores de temperatura e umidade relativa	Temp./Umr.
TB4-L15	Pluviômetro	
CR1000-ST-SW-NC	Datalogger CR 1000	Datalogger

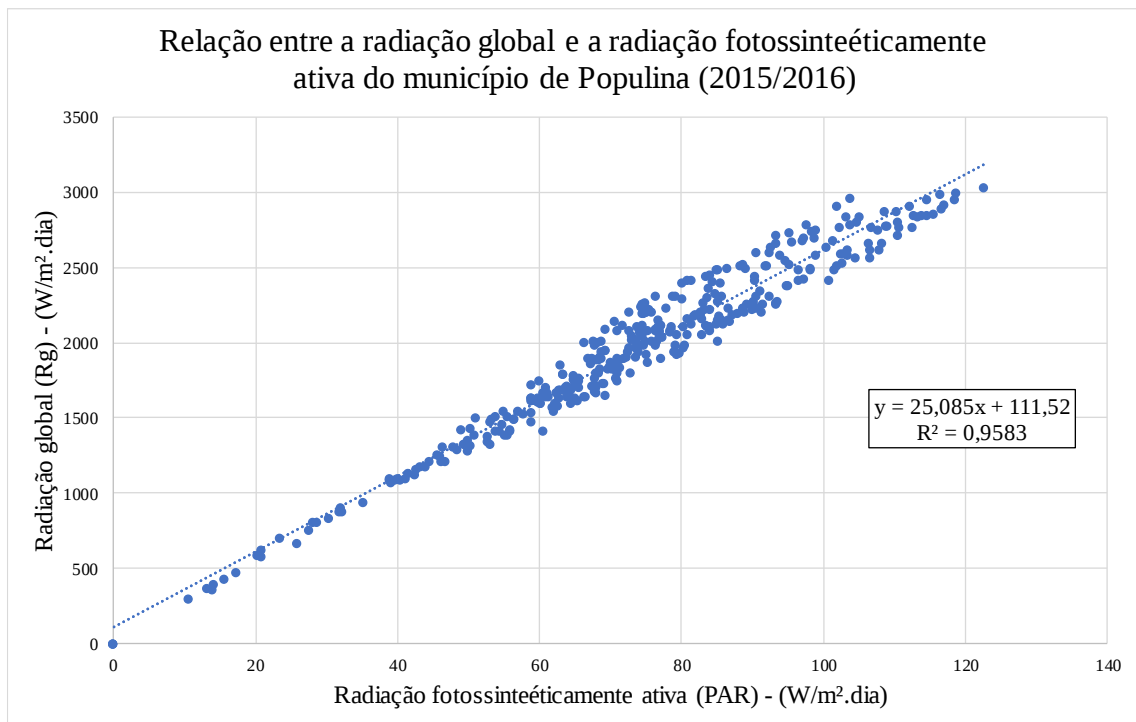
Fonte: Adaptado de “Lista de Estações” do Canal Clima da UNESP.

Apesar de não ter sido instalado um piranômetro para computar a radiação global na propriedade utilizou-se do fundamento que a radiação fotossinteticamente ativa trata-se de uma fração da radiação global, portanto existe uma correlação direta entre tais variáveis. No estudo de Antônio *et al.* (2008) constata-se que a relação entre a radiação global e a radiação fotossinteticamente ativa firmou-se em uma regressão linear com r^2 : 0,996 para os coeficientes estabelecidos, afirmando direta relação entre as leituras.

Neste sentido buscou-se estabelecer uma correlação entre radiações que pudesse ser considerada na área de estudo, devendo-se ser próxima e com latitude corrente, uma vez que a latitude local interfere diretamente nos valores de radiação solar devido ao ângulo zenital. Nesta perspectiva, coletou-se dados da estação agrometeorológica operada pela Área de Hidráulica e

Irrigação da UNESP campus de Ilha Solteira locada no município de Populina - SP (Latitude: 19° 52' 46,4" S; Longitude: 50° 28' 13,3" O) na faixa temporal de 01/01/2015 e 31/12/2016, momento em que constatou-se melhor consistência na massa de dados computados, para pôr fim gerar o gráfico de regressão linear que forneceu os coeficientes para estimar a radiação global através da radiação fotossinteticamente ativa lida na área de estudo (Figura 6).

Figura 6 - Gráfico de dispersão que correlaciona a RG com a PAR no município de Populina - SP



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Do ponto de vista dos dados obtidos de estações regionais, cita-se que foram extraídos gratuitamente das estações meteorológicas dos municípios de Cassilândia - MS (Latitude: 19° 12' S; Longitude: 51° 72' O) e Água Clara - MS (Latitude: 20° 26' 24" S; Longitude: 52° 52' 48" O), operadas INMET, as informações lidas pelos sensores locais que permitiram estimar a ET₀ através da equação de Penman-Monteith, (ALLEN *et al.*, 1998).

Posteriormente, tais dados de ET₀ foram transformados em evapotranspiração da cultura (ET_c) pela correção através os respectivos K_c, aplicando segundo Allen *et al.* (1998) (Equação1)

$$ET_c = ET_0 * K_c \quad (1)$$

Do ponto de vista de coeficiente da cultura (K_c), admite-se para a pastagem valores: K_{c inicial} = 0,9 e K_{c médio/final} = 1,0, respeitando as fases de desenvolvimento da cultura; já para

a soja admite-se valores de: : $Kc_{inicial} = 0,40$; $Kc_{médio} = 1,2$ e $Kc_{final} = 0,5$ (ALLEN et al., 1998).

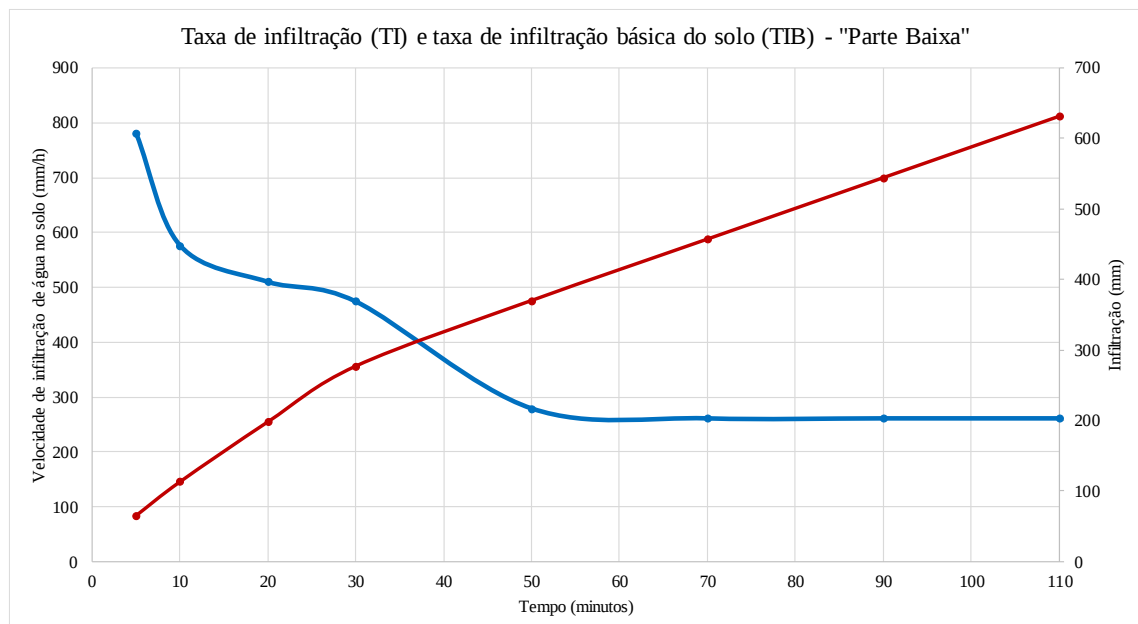
Por fim, juntando-se aos demais, obteve-se os valores de ET do software “FieldNet Advisor” fornecidos pelo responsável da fazenda. Tal software de manejo da irrigação fora lançado no mercado pela empresa norte americana “Lindsay Corporation” com o objetivo de fornecer ao usuário recomendações de irrigação para todo o ciclo da cultura, monitorando o processo e otimizando a utilização da água. O processamento é feito através da correlação entre dados de solo, tipo da cultura manejada, dados meteorológicos hiperlocais e dados históricos (LINDSAY, 2017).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Taxa de infiltração básica do solo e granulometria

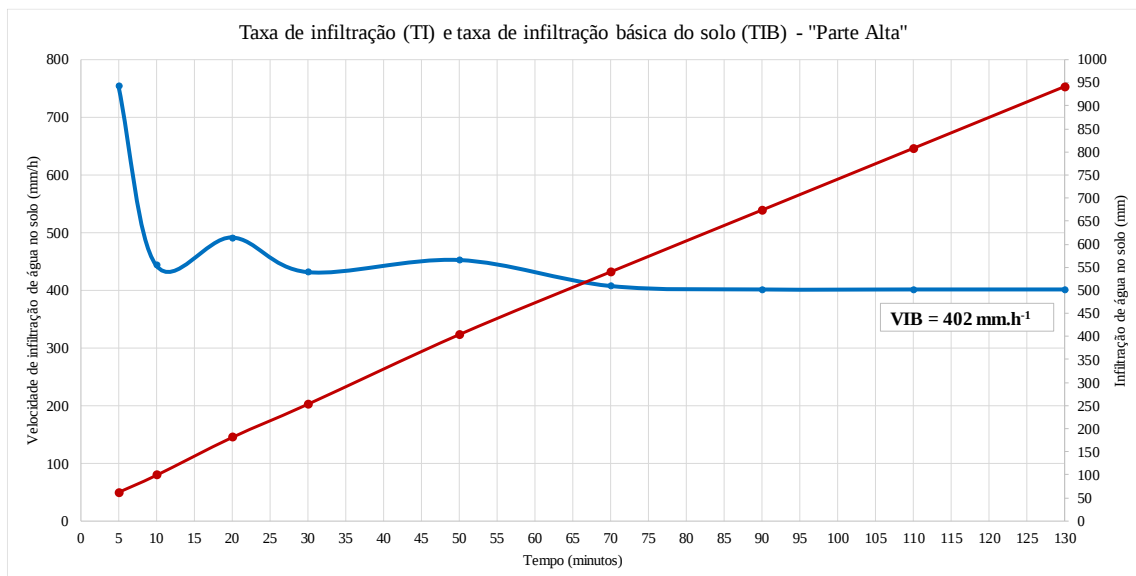
As figuras 7 e 8 trazem os resultados obtidos pela aplicação da metodologia dos anéis concêntricos para os pontos nomeados “Parte Baixa” e “Parte Alta”.

Figura 7.- Comportamento da TIB na área nomeada “Baixa” - metodologia dos anéis concêntricos



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Figura 8.- Comportamento da TIB na área nomeada “Alta” - metodologia dos anéis concêntricos

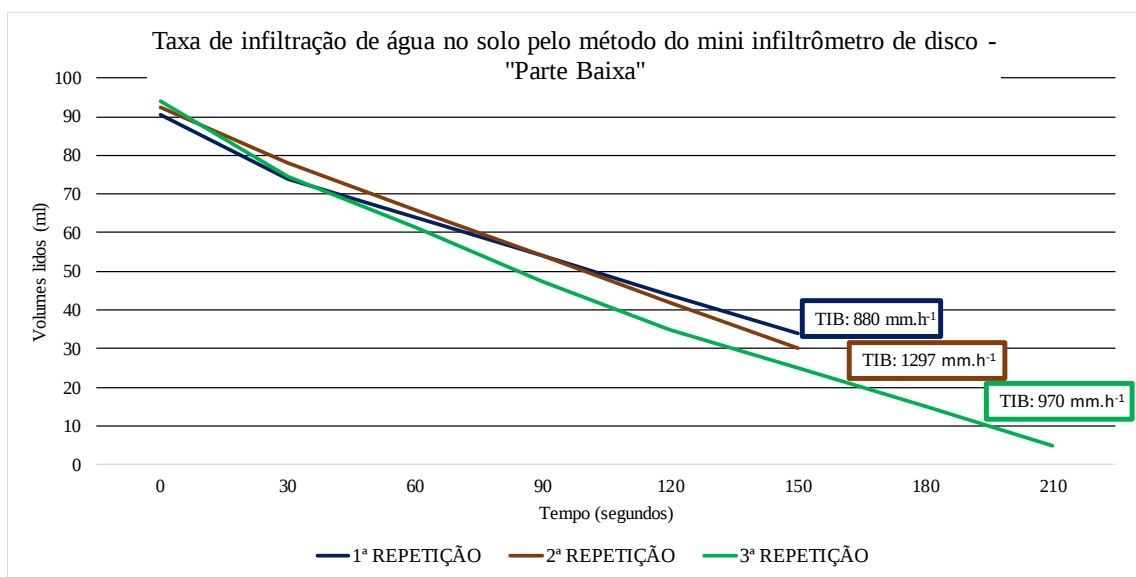


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Na pesquisa de Scopel, Sousa e Martins (2013) realizada em solos muito arenosos na região do cerrado brasileiro que abrange o estado de Goiás, encontrou-se valores de taxa de infiltração de água no solo, aplicando a metodologia dos anéis concêntricos, que caminham na faixa entre 40 a 70 cm/h e mostram coerência com os valores determinado na área de estudo.

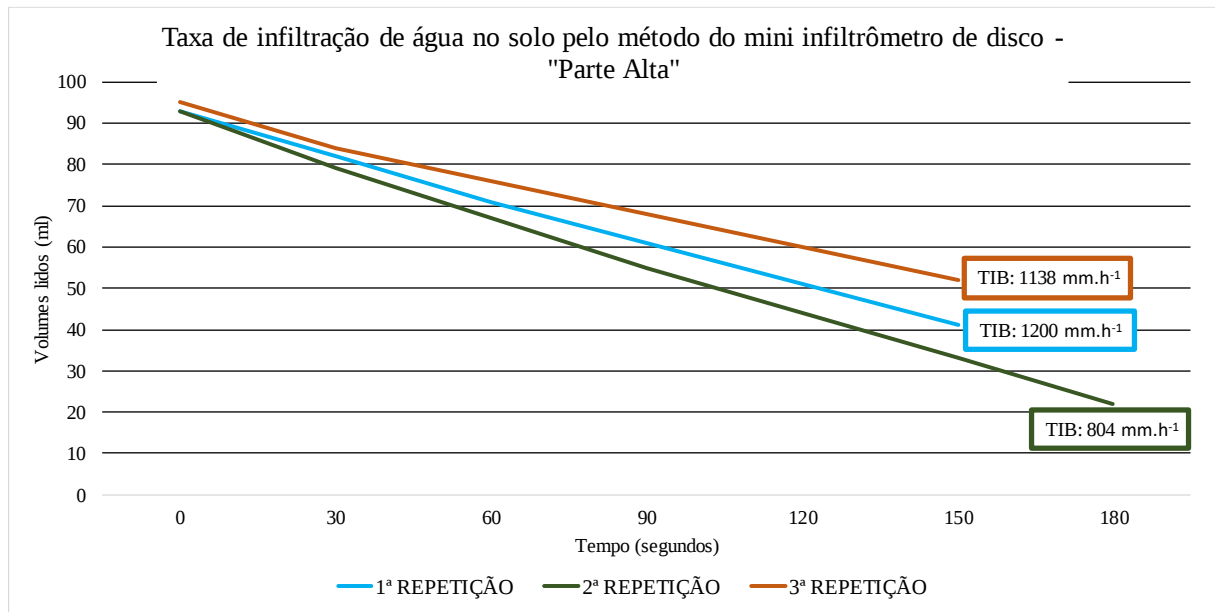
As figuras 9 e 10 trazem os resultados obtidos pela aplicação da metodologia do mini infiltrômetro de disco para os pontos nomeados “Parte Baixa” e “Parte Alta”.

Figura 9.- Comportamento da TIB na área nomeada “Baixa” - metodologia do mini infiltrômetro de disco



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Figura 10.- Comportamento da TIB na área nomeada “Alta” - metodologia do mini infiltrômetro de disco



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Conclusivamente, aponta-se que a análise do mini infiltrômetro de disco trouxe resultados médios de 1049 mm.h⁻¹ e 1047 mm.h⁻¹ para a “Parte Baixa” e “Parte Alta”, respectivamente.

Do ponto de vista de manejo da irrigação, aponta-se que tais resultados se comportam semelhantemente do ponto de vista quantitativo. O estudo realizado por MENDES *et al.* (2015) trouxe resultados quanto a capacidade de lixiviação do nitrato de cálcio num solo arenoso ao se aplicar lâminas pesadas de irrigação, indicando nestas condições as perdas do nutriente alcançaram 100%, indicando que a decisão por aplicar baixas lâminas de irrigação em solos arenoso é fundamental para evitar lixiviação de nutrientes. Seguindo a mesma direção, conclui-se que as condições de textura arenosa do solo do local estudado atrelado aos elevados valores da taxa de infiltração básica obtidos, aponta-se a necessidade de optar por lâminas “leves” de irrigação com o objetivo de evitar lixiviação de nutrientes das camadas superficiais e ainda impedir que a água aplicada alcance camadas muito profundadas com baixo conteúdo radicular, caracterizando um inadequado manejo da irrigação.

As coerências entre os resultados das análises da TIB recordam uma condição divergente da esperada de acordo com a variação espacial do conteúdo de argila nas duas zonas de manejo da irrigação, indicando uma suposta variação nos valores de infiltração. Nesta perspectiva, os resultados da análise de granulometria feito na área trazem condições para se explicar tal homogeneidade (Quadro 6).

Quadro 6 - Resultados da análise de textura da área de estudo

RESULTADOS DA ANÁLISE DE TEXTURA				
AMOSTRAS	Profundidade	Areia	Silte	Argila
	cm			
Baixo 1	40	903	1	96
	55	897	1	103
Baixo 2	40	906	4	90
	55	904	2	94
Alto 1	40	895	5	101
	55	896	14	90
Alto 2	40	883	17	101
	55	878	21	101

Fonte: Adequado do laudo emitido pelo Laboratório de Física do Solo da UNESP de Ilha Solteira.

Conclusivamente, afere-se que os valores granulométricos determinados nos diferentes pontos amostrais da área seguem uma linha homogênea e não se alteram ao variar a profundidade, sendo valores médios de: 898 g/Kg de areia, 8 g/Kg de silte e 97 g/kg de argila.

Trazendo em evidencia a metodologia dos anéis concêntricos, explica-se que tal procedimento visa isolar no resultado obtido apenas a infiltração que ocorre verticalmente no ponto amostral, sendo responsabilidade do conteúdo de água do anel externo inibir a infiltração lateral e isolar nas leituras feitas no anel interno apenas a infiltração vertical (BERNARDO, 2011). Desta forma, conclui-se que a semelhança entre os resultados aferidos na parte “Baixa” e na parte “Alta” da área de estudo são explicados pela influência das camadas sub-superficiais do solo, onde a homogeneidade textural do solo destacada na análise granulométrica influenciaram diretamente nos resultados da TIB.

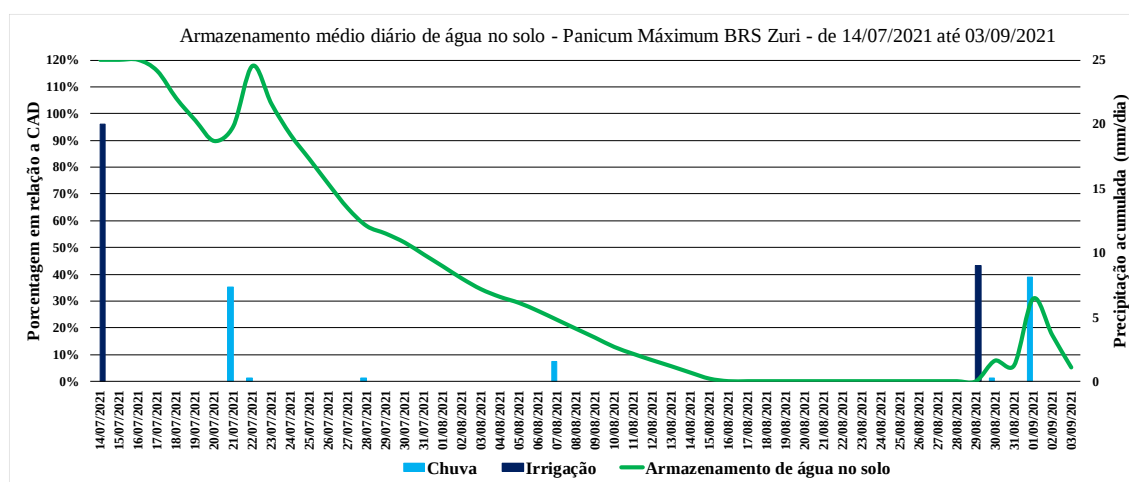
5.2 Armazenamento de água no solo

5.2.1 Sonda de Sentek

O acompanhamento do conteúdo de água no solo com o uso da sonda Sentek durante a safra do *Panicum Maximum* BRS Zuri se concluiu de forma incompleta, devido a algumas falhas do equipamento durante o ciclo da planta e o fato dos sensores microclimáticos terem sido instalados na área do pivô central certo tempo após o início da mesma. Contudo, retrata-se dois momentos ao longo do ciclo da cultura e observa-se realidades totalmente opostas do ponto de vista de presença de chuva/irrigação.

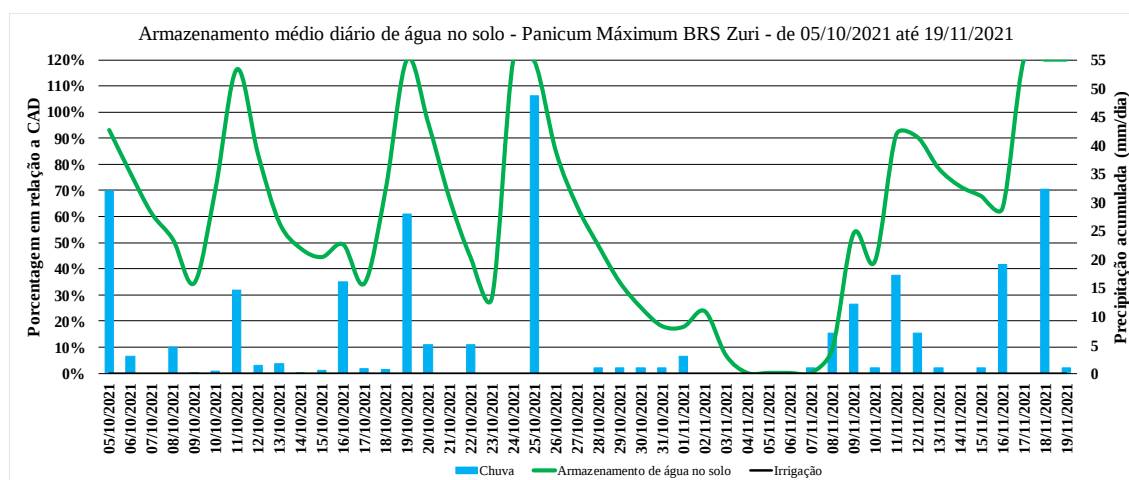
Relata-se que os resultados do armazenamento foram obtidos através da média entre os resultados das cinco profundidades que a sonda é capaz de ler valores da umidade volumétrica e que os mesmos corredos para obtenção da estimativa da umidade real. Além disso, salienta-se o fato dos valores de umidade do solo caminharem até a casa dos 120% respeita a condição inserida no software de manejo, onde se considerou que até 20% da água que ultrapassa o ponto de CC pode ser aproveitado no ponto de saturação de tal solo. Desta forma, se traz nas figuras 11 e 12 o acompanhamento do armazenamento de água solo proposto pelos dados da sonda.

Figura 11 - Comportamento do armazenamento médio diário de água no solo a partir de dados da sonda “Sentek” - de 14/07/2021 até 03/09/2021



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Figura 12 - Comportamento do armazenamento médio diário de água no solo a partir de dados da sonda “Sentek” - de 05/10/2021 até 19/11/2021

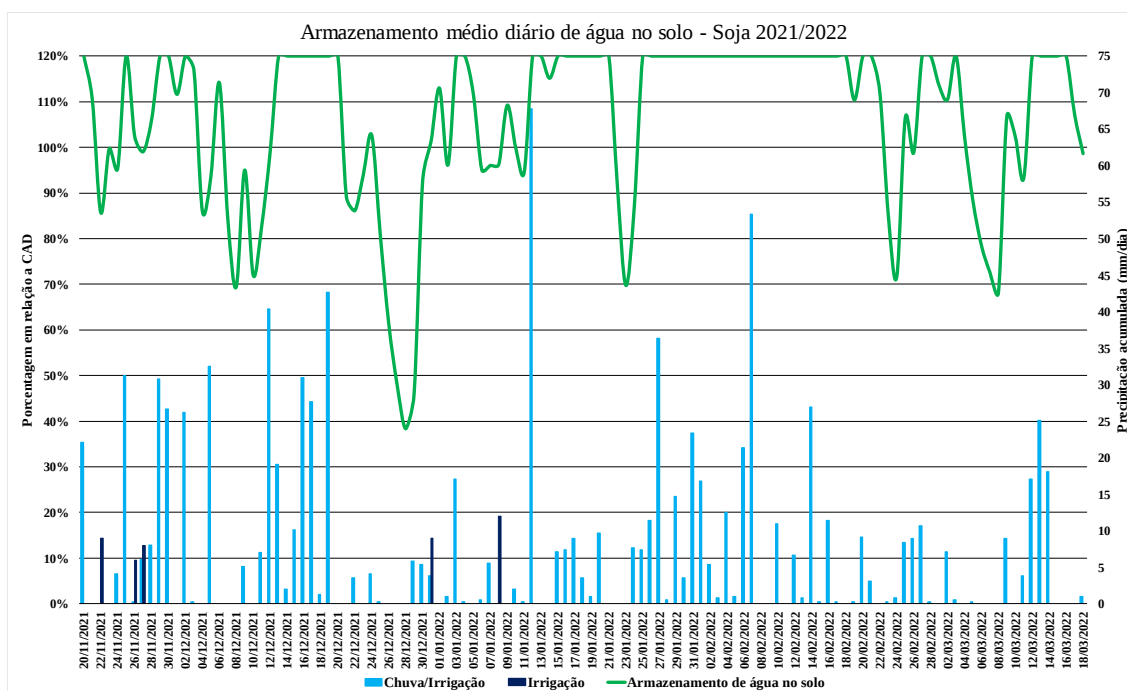


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O acompanhamento do armazenamento de água no solo durante o ciclo da forrageira estudada mostra que, durante a maior parte do tempo, o conteúdo do insumo se manteve insuficiente do ponto de vista de suprir as necessidades da planta, descendo a zero a partir do dia 15/08/2021. Explica-se que tal situação fora impulsionada por problemas técnicos no equipamento que impossibilitaram a irrigação e o fato de que após a forte geada registrada na área, que ocorreu no dia 01/07/2021, optou-se por não desprender do sistema por motivos econômicos, entendendo que não era viável suprir uma cultura que praticamente entrou em senescência com o congelamento do tecido celular.

Caminhando na mesma linha da forrageira ao se considerar os valores da CAD indicados ao software de manejo e aplicando os coeficientes de correção nas diferentes profundidades analisadas pela sonda, acompanhou-se integralmente a flutuação do conteúdo de água do solo na cultura da soja (Figura 13).

Figura 13 - Comportamento do armazenamento médio diário de água no solo a partir de dados da sonda “Sentek”- safra da soja (2021/2022)



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Pontuando o fato da cultura da soja apresentar um fator f de 0,5, segundo Allen et al. (1998), salienta-se que, segundo modulação da sonda “Sentek” locada na área, apenas em um momento da safra a cultura entrou em uma condição de estresse hídrico do ponto de vista de manejo da irrigação, período que foi de 25/12/2021 até 31/12/2021, decorrência explicada por

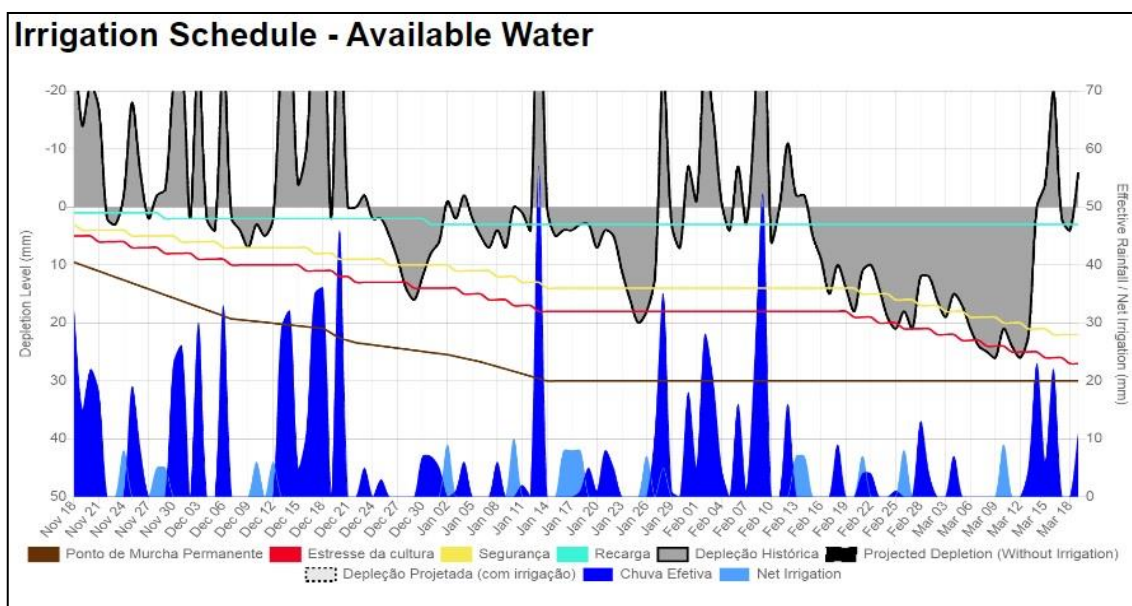
um problema técnico ocorrido com a bomba centrífuga instalada sobre balsa no início do recalque do equipamento, necessitando desta pausa na irrigação para reparo do dano. Conclusivamente, recorda-se a grande importância de melhorar os valores da CAD de um solo através de técnicas agronômicas, possibilitando que condições inesperadas como a relata não ocorra perda de produtividade por escassez hídrica.

5.2.2 FieldNet Advisor

O software de manejo da irrigação adotado pela fazenda em questão propõe um acompanhamento do armazenamento de água no solo ao correlacionar condições atmosféricas de evapotranspiração da cultura e características do solo regendo assim sua capacidade de estocar tal insumo e garante um monitoramento estratégico capaz de sugerir o melhor momento e lâmina ideal para evitar perdas produtivas.

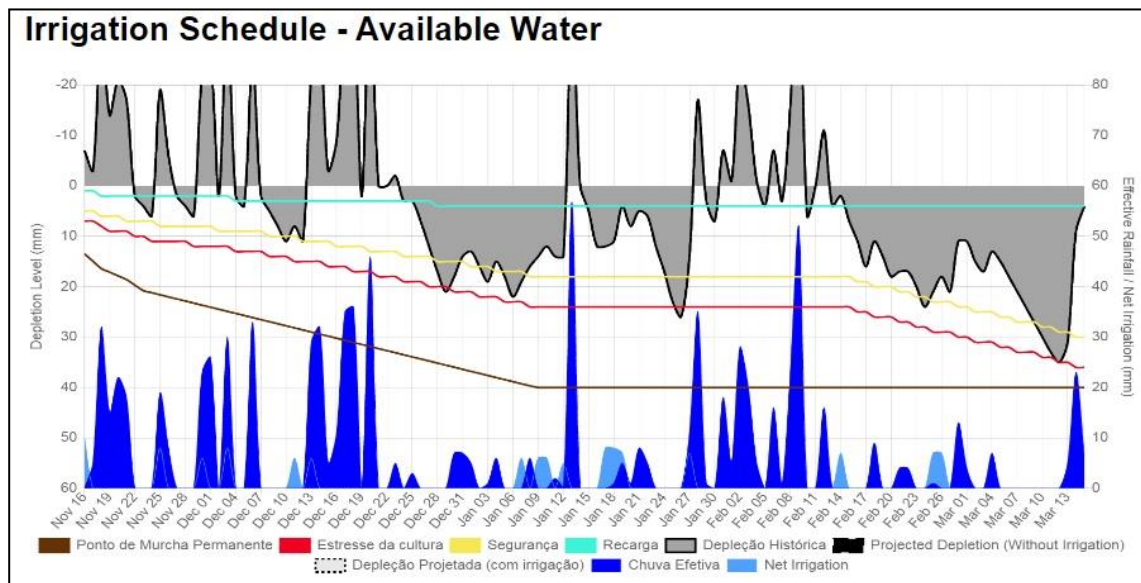
Ao final da safra da soja (2021/2022) coletou-se junto ao responsável pela irrigação na propriedade o retrato geral desta curva de retenção de água exposta pelo “FieldNet Advisor” (Figuras 14 e 15). Devido à perda de dados relatada na safra da forrageira, tais dados do software de manejo tornaram-se irrelevantes do ponto de vista comparativo e para validação da aplicabilidade da plataforma, justificando assim a ausência de tais informações.

Figura 14 - Depleção da água estimada pelo software “FieldNet Advisor” - safra da soja (2021/2022) - cultivar “ST 797”



Fonte: Dados da própria fazenda.

Figura 15 - Depleção da água estimada pelo software “FieldNet Advisor” - safra da soja (2021/2022) - Cultivar “NEO 750”



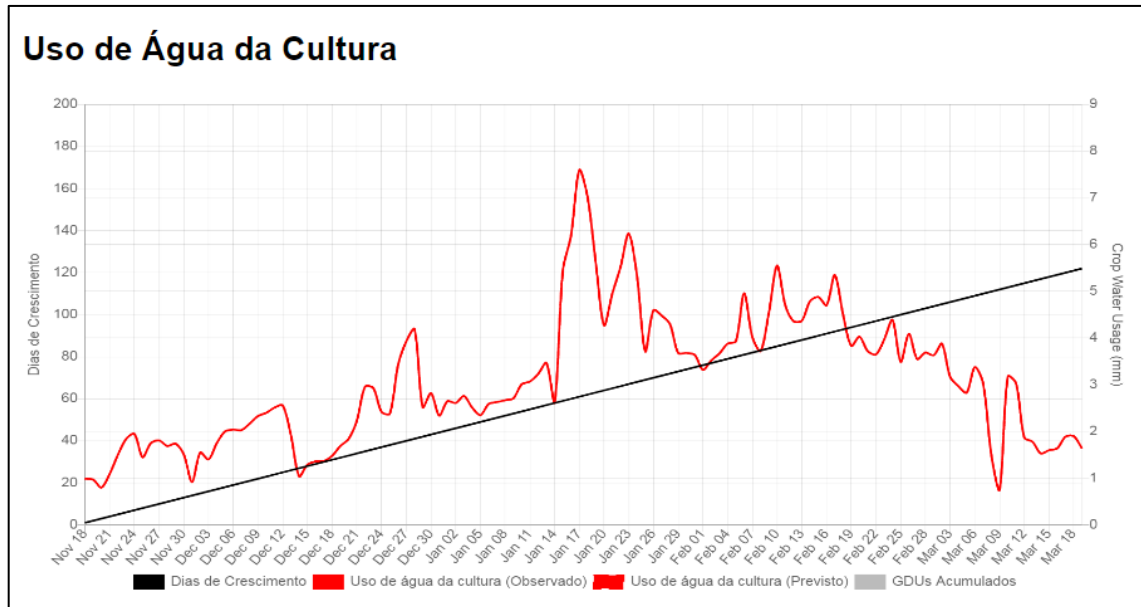
Fonte: Dados da própria fazenda.

Reafirmando o ponto da safra destacado a partir dos dados da sonda “Sentek”, nota-se no caminhar da linha de depreciação da água que entre os dias 25/12/2021 e 31/12/2021 o conteúdo de água no solo alcançou a linha de estresse hídrico, retratando que neste momento a cultura possa ter sofrido perdas na produtividade devido escassez de água.

Aprofundando as indagações sobre tal momento, compara-se as projeções do armazenamento de água do solo proposto para cada cultivar, notando-se que para a cultivar “NEO 750” o período sem irrigação mencionado não fez com que sua curva de depleção de água adentrasse tanto a faixa de estresse hídrico, diferente do observado para a cultivar “ST 797”. Tal discrepância ocorreu, principalmente, devido a diferença de CAD aplicada a cada uma das cultivares, concluindo novamente a necessidade de potencializar tal parâmetro. Por fim, aponta-se a boa aplicabilidade do software de manejo da irrigação na computação do momento estresse hídrico lido através do sensor instalado, constando sua considerável eficiente ao acompanhar as condições hídricas na safra.

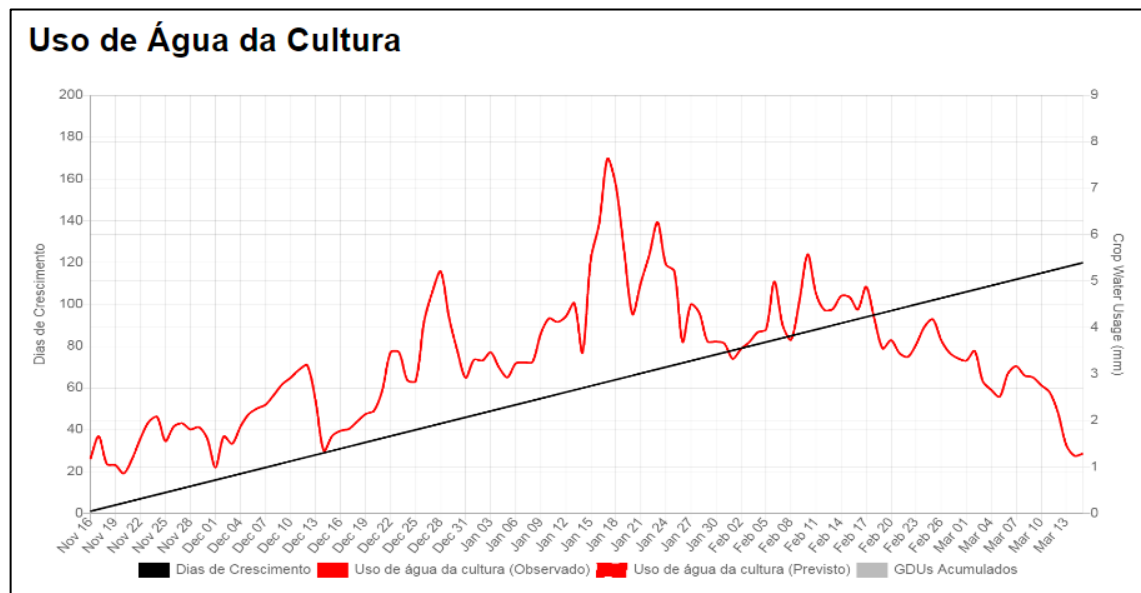
Por fim, de forma complementar, expõe-se a demandas hídricas para cada uma das cultivares (Figuras 16 e 17).

Figura 16 - Uso de água pela cultura projetado pelo software “FieldNet Advisor” na safra da soja 2021/2022 - Cultivar “ST 797”



Fonte: Dados da própria fazenda.

Figura 17 - Uso de água pela cultura projetado pelo software “FieldNet Advisor” na safra da soja (2021/2022) - Cultivar “NEO 750”



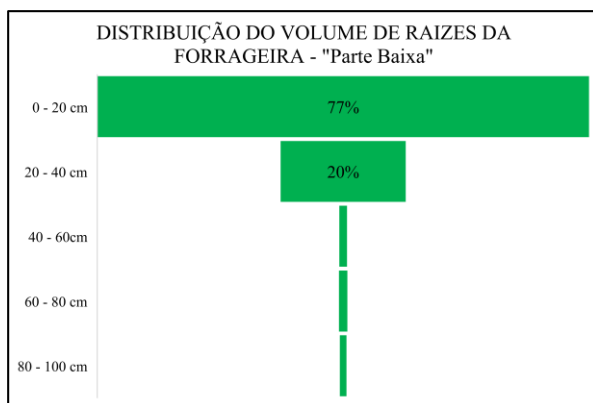
Fonte: Dados da própria fazenda.

5.3 Sistema radicular efetivo

Conhecer a real profundidade do sistema radicular efetivo, ou seja, encontrar a camada em que se estabilizaram ao menos 75% de todo o montante de raízes é indispensável no momento de efetuar um racional manejo da irrigação e garantir umidade no local onde ocorre efetividade na absorção. Neste sentido foram capturadas imagens dos perfis do solo seguindo a

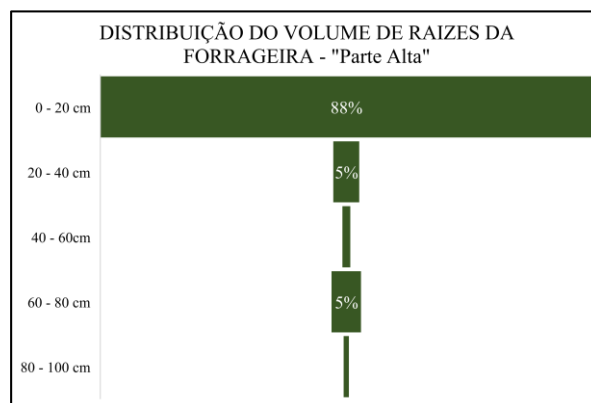
divisão pré-determinada de manejo e, para a cultura do *Panicum Maximum* BRS Zuri colheu-se os seguintes resultados após o adequado processamento (Figuras 18 e 19).

Figura 18 - Distribuição do conteúdo radicular do *Panicum Maximum* BRS Zuri na parte nomeada “Baixa”



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Figura 19 - Distribuição do conteúdo radicular do *Panicum Maximum* BRS Zuri na parte nomeada “Alta”



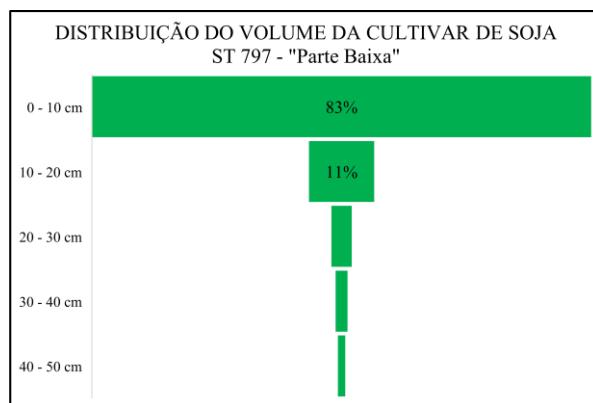
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Apesar de se tratar de uma forrageira que, por característica fisiológica, possui um sistema radicular profundo, destaca-se que efetivamente encontrou-se raízes somente na faixa de 0 a 20 cm de profundidade, pontuando a necessidade de manejar a irrigação com lâminas baixas afim de atingir tal camada.

Nota-se que na porção nomeada “Parte Alta” o desenvolvimento radicular mostrou-se melhor distribuído em profundidade, apesar dos 75% do mesmo ainda estarem superficialmente. Tal situação pode estar relacionada a maior CAD do solo nesta faixa, proporcionando que a planta permaneça em uma condição hídrica mais favorável, situação que converge para o resultado encontrado por OLIVEIRA (2020) onde a disponibilidade hídrica de 88% promoveu o maior desenvolvimento radicular para o *Panicum Maximum* BRS Zuri num ambiente arenoso.

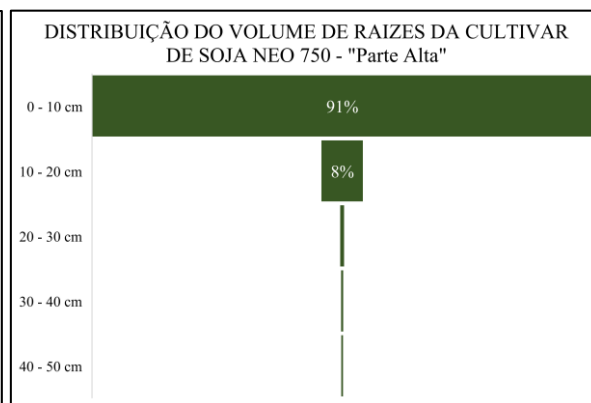
Posteriormente, durante o ciclo da cultura da soja realizou-se a mesma prática para pontuar seu respectivo sistema radicular efetivo, podendo agora comparar a variação espacial da área e a interferência de cultivares diferentes (Figuras 20 e 21).

Figuras 20 - Distribuição do conteúdo radicular da Soja, safra 2021/2022, na parte nomeada “Baixa”



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Figuras 21 - Distribuição do conteúdo radicular da Soja, safra 2021/2022, na parte nomeada “Alta”



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Seguindo a mesma linha de superficialidade do sistema radicular efetivo, a cultura da soja em ambas as cultivares permaneceu-se nos primeiros 10 cm de profundidade, parâmetro que combinado com uma baixa CAD força novamente que a umidade do solo permaneça na superfície para ser capaz de atingir corretamente o alvo, 75% do conteúdo de raízes.

5.4 Curva característica de água do solo

Potencializar a CAD de solo predominantemente arenosos é fundamental para o sucesso do adequado manejo da água, uma vez que maiores reservas de água garantem sustentabilidade produtiva da cultura sem a excessiva demanda hídrica. Neste sentido, se traz no quadro 7 os resultados da análise da curva características de água do solo.

Quadro 7 - Correlação entre potencial matricial e umidade volumétrica do solo das amostras colhidas, aferidos em análise laboratorial

AMOSTRAS	POTÊNCIAL MATRICIAL DO SOLO (CCA)					
	0	60	500	1000	2000	3000
	UMIDADE VOLUMÉTRICA (cm³/cm³)					
Baixo - 15 cm	0,351	0,142	0,07	0,066	0,061	0,052
Baixo - 30 cm	0,371	0,153	0,106	0,091	0,078	0,06
Média	0,361	0,148	0,088	0,079	0,070	0,056
Alto - 15 cm	0,288	0,218	0,112	0,106	0,097	0,085
Alto - 30 cm	0,299	0,2	0,118	0,105	0,094	0,08
Média	0,294	0,209	0,115	0,106	0,096	0,083

Fonte: Adaptado do laudo emitido pelo Laboratório de Física do Solo da UNESP de Ilha Solteira.

A partir dos mesmos aplicou-se novamente o modelo matemático de GENUCTHEN (1980) para obtenção dos parâmetros numéricos que permitem estimar as devidas nova CAD local da área de interesse (Quadro 8)

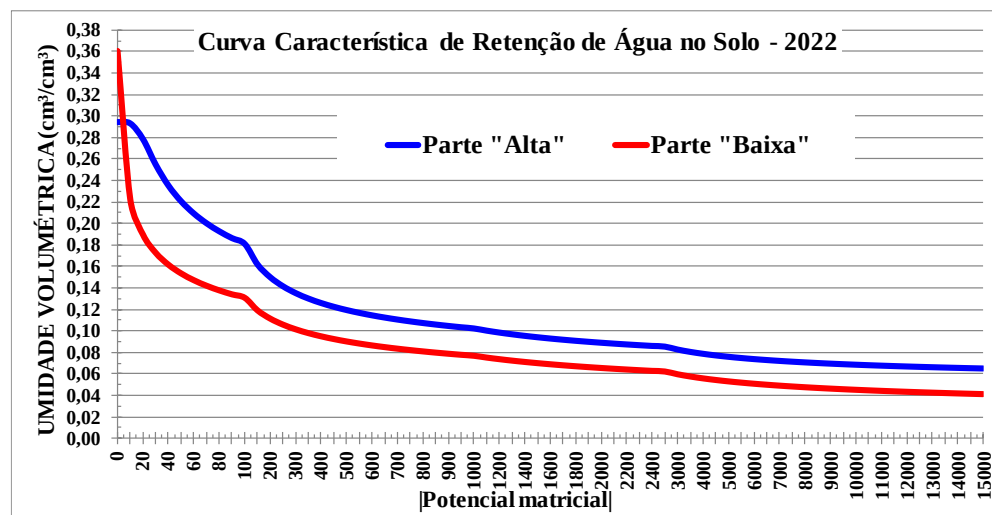
Quadro 8 - Parâmetros obtidos através do modelo de GENUCTHEN (1980)

Parâmetros	Baixo	Alto
Alpha (α)	0,805	0,051
m	0,094	0,087
n	2,452	4,215
θ_s (cm ³ /cm ³)	0,361	0,294
θ_r (cm ³ /cm ³)	0	0,043
CA	0,999	0,998
θ_{CC} (cm ³ /cm ³)	0,131	0,181
θ_{PMP} (cm ³ /cm ³)	0,041	0,065
z (mm)	10	10
CAD 40 (mm/cm)	0,6	0,9
CAD 50 (mm/cm)	0,5	0,9
CAD 60 (mm/cm)	0,5	0,8
CAD 100 (mm/cm)	0,5	0,7
CAD saturada (mm/cm)	3,2	2,3

Fonte: Adaptado dos resultados obtidos no software SWRC, version 2.0.

Sabendo-se tais resultados, pode-se novamente estimar a CAD de cada um dos pontos analisados, chegando-se em 1,2 mm/cm e 0,9 mm/dia, respectivamente para as partes “Alta” e “Baixa”. Ampliando a visualização dos resultados obtidos na determinação da curva característica, gerou-se um gráfico que correlaciona cada um dos potenciais matriciais com as respectivas umidades volumétricas (Figura 22).

Figura 22 - Curva Característica de Retenção de Água no Solo - 21/02/2022



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Comparativamente aos resultados obtidos na área ainda em situação de sequeiro, nota-se que a CAD da parte “Alta” aumentou em 71% enquanto que a parte “Baixo” se mostrou 80% superior que os resultados obtidos em 08/04/2021. Uma vez que a capacidade de armazenamento de água no solo é influenciada, principalmente, pela textura do mesmo e pelo conteúdo de matéria orgânica (BERNARDO, 2011), relata-se que tais modificações foram possíveis através da inserção do sistema radicular das culturas que rotacionaram no local, deixando após sua senescência uma massa orgânica responsável por tais melhoras neste parâmetro física crucial para o racional uso da água.

A fim de potencializando os olhares para as modificações provocadas pela ação radicular relatada, o Quadro 9 traz os valores de duas análises físicas complementares.

Quadro 9 - Resultados da análise de porosidade do solo e densidade aparente.

Parâmetros	Baixo	Alto
Porosidade Total (%)	36,1	29,4
Macroporosidade (%)	21,4	8,5
Microporosidade (%)	14,8	20,9
Densidade (g/cm³)	1,6	1,8

Fonte: Adequado do laudo emitido pelo Laboratório de Física do Solo da UNESP de Ilha Solteira.

Analisando-se o quadro em destaque e se comparando com a análise feita anteriormente na área, salienta-se grandes diferenças nas proporções da microporosidade, onde que se calcula um aumento de 38% da fração na parte nomeada “Alta” e, ainda mais expressivo, afere-se um aumento de 65,7 % do conteúdo de microporos na parte nomeada “Baixa”. Uma das formas de converter macroporos em microporos ocorre pela compactação das camadas devido ao trânsito de maquinários pesados que realizam os tratos culturais nas lavouras, entretanto ao se deparar com um solo caracteristicamente arenoso e, portanto, pouco estruturado pontua-se ineficiência no processo de compactação, trazendo que tal conversão retratada foi possível pela adição de raízes nos “buracos” do solo (LIMA et al., 2012). Tal modificação na microporosidade explica o aumento da CAD, sendo nestes espaços o refúgio preferencial da água.

5.5 Capacidade de armazenamento de água do solo ajustada

Adotar diferentes estratégias para manejar racionalmente a água em sistemas irrigados é indispensável para a sustentabilidade da atividade e exige adequar os turnos de rega e lâminas ao conjunto solo-planta-atmosfera. Nesta perspectiva, unindo os dados da curva característica

de retenção de água no solo analisa ao final da safra da soja com as devidas profundidades efetivas do sistema radicular calcula-se qual deveria ter sido, pensando no ótimo, o volume da reserva considerada no manejo da água no pivô central (Quadro 10).

Quadro 10 - Determinação da CAD ajustada para cada uma das culturas em dois pontos diferentes da área estuda

CAD do <i>Panicum Maximum</i> BRS Zuri	
Parte “Alta”	$CAD: (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) * z \therefore CAD: (0,181 - 0,065) * 200 \therefore CAD: 23,2 \text{ mm}$
Parte “Baixa”	$CAD: (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) * z \therefore CAD: (0,131 - 0,041) * 200 \therefore CAD: 18 \text{ mm}$
CAD da Soja	
Parte “Alta”	$CAD: (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) * z \therefore CAD: (0,181 - 0,065) * 100 \therefore CAD: 11,6 \text{ mm}$
Parte “Baixa”	$CAD: (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) * z \therefore CAD: (0,131 - 0,041) * 100 \therefore CAD: 9 \text{ mm}$

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Tratando-se de volumes muito baixo e pensando-se na necessidade hídrica das culturas nos momentos de maior exigência, aponta-se grande dificuldade em manejar a irrigação em tais condições, tornando-se indispensável continuar o trabalho feito no solo em busca por elevar os valores da CAD, tarefa que se baseia na continua elevação do conteúdo de matéria orgânica local para aumentar a capacidade de reter água do solo. Contudo, recomenda-se, a partir dos resultados colhidos, reduzir a profundidade efetiva do sistema radicular da forrageira para 60 cm e da soja para 40 cm para efetuar o manejo da irrigação das safras subsequentes, adequando a CAD as camadas mais favorecidas do ponto de vista de volume radicular. Tal mudança é possível, sem prejudicar muito a operacionalidade do sistema, devido a melhora da capacidade de reter água do solo observada na nova cura característica.

Integrar leguminosas e forrageiras mostra-se extremamente necessário para potencializar as condições físicas de solos arenosos. Segundo Salton e Tomazi (2014) a introdução da forrageira do gênero braquiária na ILP exercida na fazenda São Mateus em Selvíria - MS trouxe ao solo, que possui em média 9% de argila, uma acentuada melhora de sua estruturação pela garantia de maior agregação das partículas sólidas.

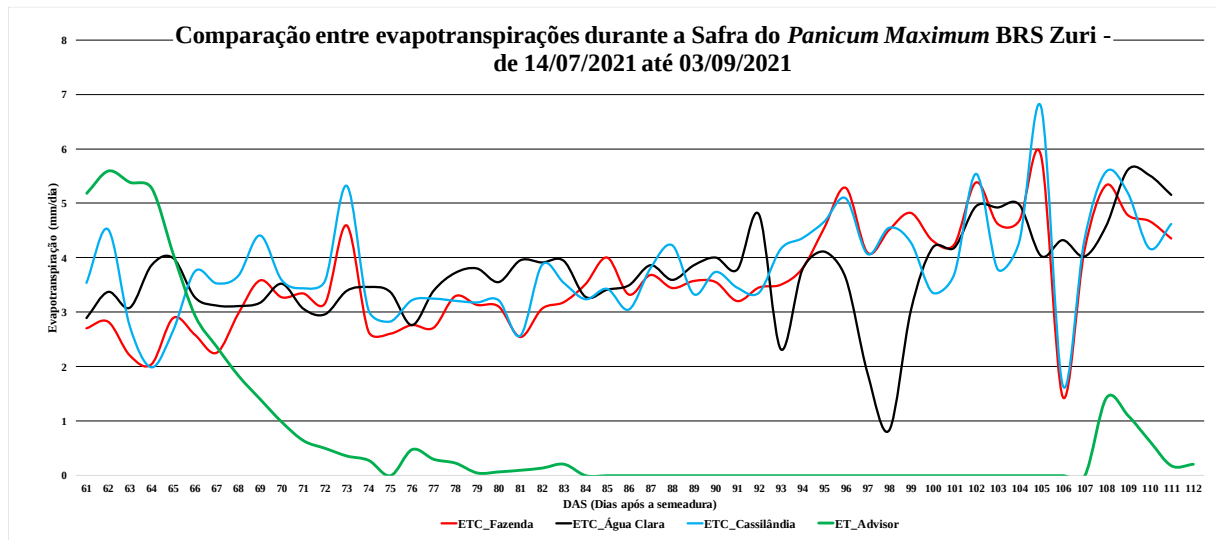
5.6 Evapotranspiração

5.6.1 Evapotranspiração de referência (ET₀)

Devidos aos problemas técnicos relatados, que proporcionaram perdas de dados na safra da forrageira, se divide novamente o ciclo em duas parcelas como feito com os dados do armazenamento de água do solo. Comparou-se entre a ET estimada na fazenda, a ET estimada pelo software de manejo da irrigação “FieldNet Advisor” e as ET₀s calculada nas estações

meteorológicas operadas pelo INMET dos municípios de Cassilândia e Água Clara (Figuras 23 e 24).

Figura 23 - Correlações entre as diferentes evapotranspirações na safra do *Panicum Maximum* BRS Zuri - de 14/07/2021 até 03/09/2021

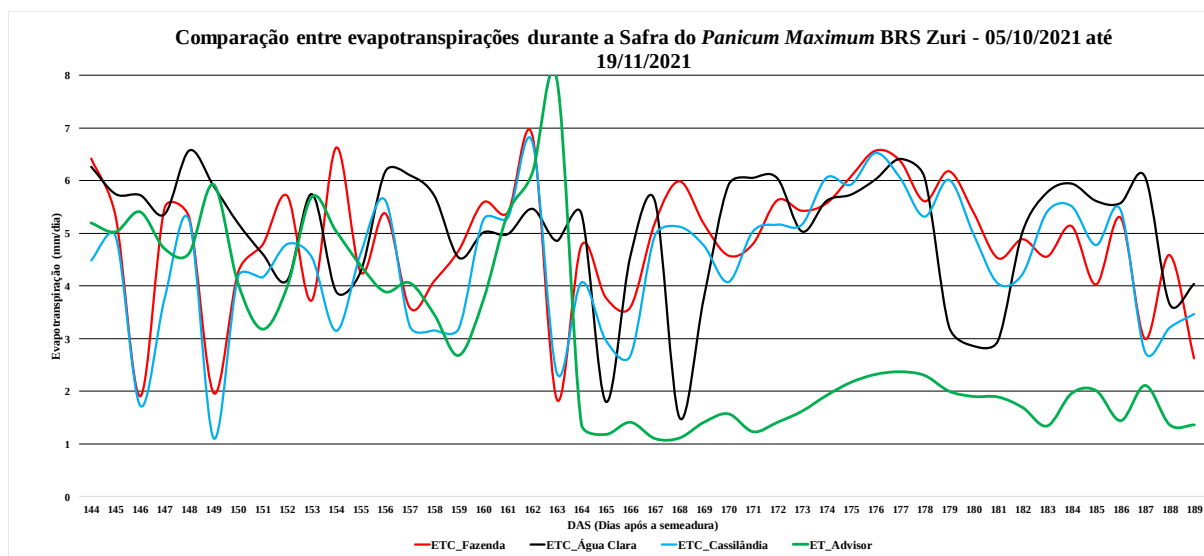


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Visualmente nota-se que a curva de ET estimada na fazenda e de ET₀ calculada a partir da estação de Cassilândia-MS caminham de forma convergente ao longo de todo o período analisado, fato também apurado quando comparamos numericamente os resultados, sendo a diferença média entre a ET estimada na fazenda e a ET₀ estimada na estação considerada foi de 5%, ou seja, para fins de manejo da irrigação deve-se considerar que ET₀ na fazenda se comporta de forma semelhante a estimada na estação do INMET, que disponibiliza os dados gratuitamente.

Em relação a evapotranspiração estimada pelo software “FieldNet Advisor” relata-se a brusca decida e permanência do parâmetro em zero durante determinada faixa de tempo, período este que coincide com intervalos de baixas temperatura e geadas que causaram sérios danos a forrageira, forçando o algoritmo que rege os cálculos do software a considerar nulo a capacidade de evapotranspirar da cultura.

Figura 24 - Correlações entre as diferentes evapotranspirações na safra do *Panicum Maximum* BRS Zuri, - 05/10/2021 até 19/11/2021

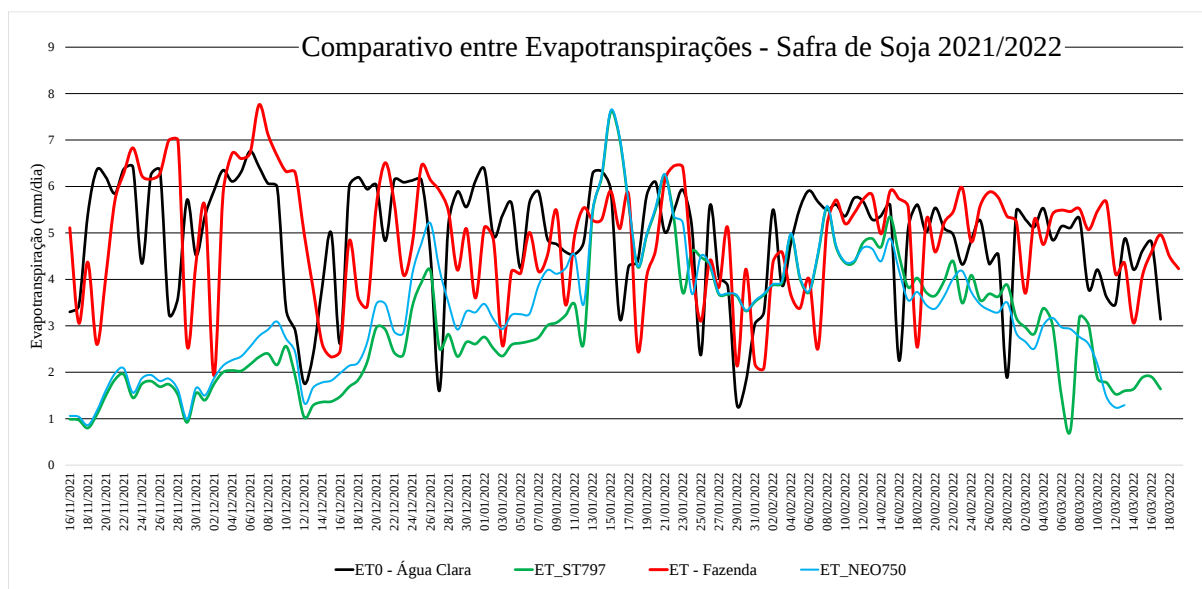


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A mesma situação é relatada neste segundo conjunto de dados analisados, sendo os valores estimados na fazenda e os calculados na estação de Cassilândia - MS coerentes entre si. Conclusivamente, considerando todo o conjunto de dados da safra da forrageira, aponta-se que a discrepância entre os dados da estação do INMET do município de Cassilândia - MS e aqueles lidos dentro da área irrigada é de 2,73%, possibilitando assim, que ao se multiplicar os valores de ET0 disponibilizados de forma gratuita por 0,973 estará se estimando de forma consistente as condições de ET0 na fazenda “Cantinho do Céu”.

Pensando exclusivamente nos dados de ET estimados pelo “Advisor”, nota-se que a partir do dia 25/10/2022 observou-se uma queda brusca da variável, explicada pelo período de entre safra vivido na área, onde a forrageira já “rapada” pelo pastejo animal é dessecada para receber o plantio da soja, fazendo com que a perda de água corra quase que exclusivamente pela evaporação do solo.

Pensando agora nos resultados da ET0 durante o ciclo das duas cultivares de soja conduzidas na área, explora-se na Figura 25 a comparação entre a ET calculada na fazenda, a ET0 estimada na estação operada pelo INMET do município de Água Clara - MS e a ET estimada pelo software de manejo, subdividida entre a cultivar “ST 979” e a “NEO 750”. Nota-se que, diferentemente da ET0 para a forrageira, o gráfico da cultura da soja não traz os dados calculados a partir da estação do município de Cassilândia - MS devido ao fato de que a partir do dia 01/12/2021 a estação não computou dados, impedindo sua utilização.

Figura 25 - Correlações entre as evapotranspirações aferidas na safra da soja (2021/2022)

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Diferentemente do que ocorreu com a estação do município de Cassiândia - MS, os resultados encontrados de ET da fazenda e ET0 do município de Água Clara - MS divergem entre si. Tal observação que pode ser explicado pela ET0 calculada em uma estação agrometeorológica, que segue os devidos padrões estabelecidos pela metodologia do Boletim FAO 56, colher os dados dos sensores sobre uma cultura que não altera seu estado fenológico ao longo do ano, diferentemente da fazenda, onde a soja esteve embaixo dos sensores, e ao alterar seu estágio fenológico contribui para moldar uma discrepância entre os resultados. Outro ponto é distância entre o município de Água Clara - MS e a área de estudo, deslocamento este que gera variações microclimáticas que interferem diretamente nos resultados estimados.

No comparativo entre as duas cultivares, nota-se que de modo geral a cultivar “ST 797” caminhou inferiormente em evapotranspiração em relação a “NEO 750”, divergência explicada devido a características fenológicas das culturas e distribuição espacial no terreno influenciarem sobre sua capacidade de evapotranspirar.

5.6.2 Evapotranspiração da cultura (ETc)

Adotar corretos coeficientes de cultura no momento de calcular a ETc é fundamental para adequar a variação da demanda hídrica da cultura ao decorrer do seu ciclo afim de tomar coerentes decisões em relação ao manejo da água (BERNARDO, 2011).

Quando se explora o cultivo de uma forrageira para obtenção de um volume de matéria verde, sendo diretamente para o pastejo animal ou armazenamento da mesma de alguma forma, considera-se que seu Kc flutua pouco ao longo do ciclo e mantém a média de 1, ou seja, para

determinar a ET_c deve-se apenas buscar o correspondente valor da ET_0 . Desta forma, para o *Panicum Maximum* BRS Zuri explora-se a relação entre as evapotranspirações da cultura estimadas nos períodos sem perdas de dados dos sensores microclimático e a precipitação/irrigação neste mesmo período, permitindo ao final concluir qual o déficit hídrico sofrido pela cultura, sendo este o volume total de água que as plantas necessitariam para atingir seu máximo produtivo em condições ótimas (Quadro 11).

Quadro 11 - Relação entre ET_c , Chuva e Irrigação - Safra do *Panicum Maximum* BRS Zuri

	Evapotranspiração da cultura		Chuva (mm)	Irrigação (mm)	Déficit
	Total (mm)	Média (mm/dia)			
ET_c Água Clara	421,39	4,34	295,17	16	110,22
ET_c Cassilândia	403,39	4,12			92,22
ET Fazenda	409,25	4,18			98,08
ET FieldNet Advisor	179,95	1,84			-131,22

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Observa-se que apenas o déficit estimado pelo software de manejo apresentou resultado negativo, ou seja, constatando que o volume repostado de água através da precipitação/irrigação teria sido mais do que suficiente para alcançar o potencial produtivo da cultura. Tal divergência ocorreu devido aos períodos em que a ET estimada pela plataforma caminhou no zero, fazendo com que seu montante se tornasse inferior. A modulação proposta pelo software de manejo visa sempre depreciar os valores potenciais da evapotranspiração da cultura em relação a condições atmosféricas e conteúdo hídrico estimado no solo, formando estimativas sobre a evapotranspiração atual da cultura.

No caso da safra da soja, moldou-se os valores do K_c da cultura de acordo com o avançar de seus estádios fenológicos afim de melhor retratar sua atual necessidade hídrica, fazendo com que tais flutuassem e 0,5 até 1,2 ao longo do ciclo. O formato que se era esperado de tal flutuação dos coeficientes para as diferentes cultivares fora anexada ao software “FieldNet Advisor” no início da safra, gerando a projeção da necessidade hídrica de ambas as cultivares ao longo de seus 120 dias (Quadros 12 e 13) e, após constantes ajustes de acordo com as mudanças fisiológicas observadas na lavoura destaca-se ao final da safra as demandas hídricas ajustadas (Quadros 14 e 14).

Quadro 12 - Projeção da ETc para a safra da soja proposta pelo software de manejo da irrigação no início do ciclo – “ST 797”

Cultivar “ST 797” Bayer

Fases Fenotípicas da Soja	DAS	FASE	Kc FAO	ETc (mm)	ETc Médio (mm/dia)
I – Estágio inicial (V0, VE e VC)	10	1	0,5	13	1,3
II – Desenvolvimento vegetativo	42	2	1,2	69	2,2
III – Florescimento (R1 ao R5)	91	3	1,2	251	5,1
IV – Enchimento de grãos (R6 ao R7)	119	4	0,5	105	3,7
V – Maturação (R8)	120	5	0,5	2	2,0
ETc ciclo ➡				Total :440	Média: 2,9

Fonte: Adequado dos dados fornecidos pela fazenda.

Quadro 13 - Projeção da ETc para a safra da soja proposta pelo software de manejo da irrigação no início do ciclo – “NEO 750”

Cultivar “NEO 750” Neogen

Fases Fenotípicas da Soja	DAS	FASE	Kc FAO	ETc (mm)	ETc Médio (mm/dia)
I – Estágio inicial (V0, VE e VC)	14	1	0,5	18	1,3
II – Desenvolvimento vegetativo	39	2	1,2	53	2,1
III – Florescimento (R1 ao R5)	90	3	1,2	262	5,1
IV – Enchimento de grãos (R6 ao R7)	119	4	0,5	110	3,8
V – Maturação (R8)	120	5	0,5	2	2,2
ETc ciclo ➡				Total :445	Média: 2,9

Fonte: Adequado dos dados fornecidos pela fazenda.

Quadro 14 - Ajuste feito a ETc da cultura de acordo com as modificações no Kc propostas ao longo do ciclo – “ST 797”

Cultivar “ST 797” Bayer

Fases Fenotípicas da Soja	DAS	FASE	Kc FAO	ETc (mm)	ETc Médio (mm/dia)
I – Estágio inicial (V0, VE e VC)	12	1	0,5	18	1,5
II – Desenvolvimento vegetativo	45	2	1,2	72	2,2
III – Florescimento (R1 ao R5)	92	3	1,2	197	4,2
IV – Enchimento de grãos (R6 ao R7)	121	4	0,5	86	3,0
V – Maturação (R8)	122	5	0,5	2	1,6
ETc ciclo ➡				Total :374	Média: 2,5

Fonte: Adequado dos dados fornecidos pela fazenda.

Quadro 15 - Ajuste feito a ETc da cultura de acordo com as modificações no Kc propostas ao longo do ciclo – “NEO 750”

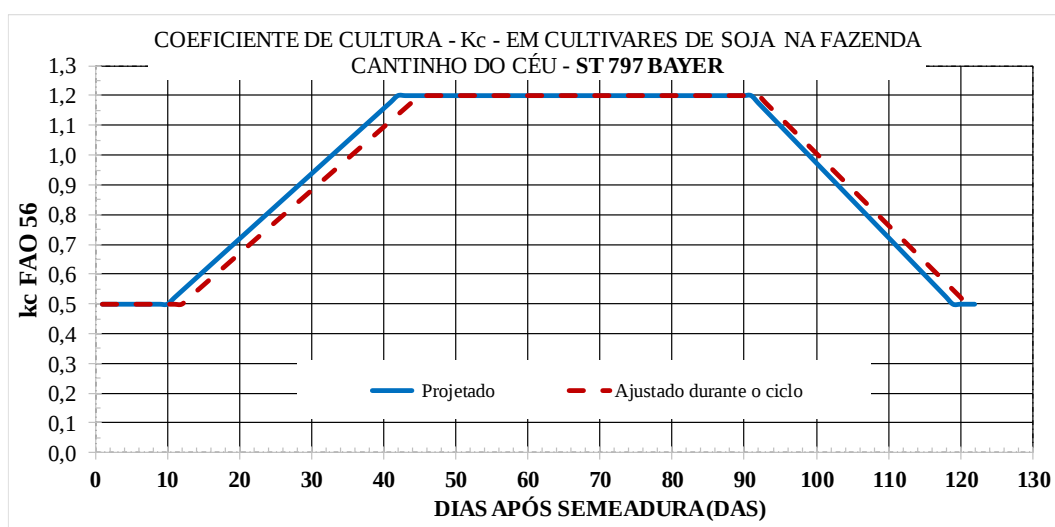
Cultivar “NEO 750” Neogen

Fases Fenotípicas da Soja	DAS	FASE	Kc FAO	ETc (mm)	ETc Médio (mm/dia)
I – Estágio inicial (V0, VE e VC)	7	1	0,5	9	1,3
II – Desenvolvimento vegetativo	40	2	1,2	72	2,1
III – Florescimento (R1 ao R5)	90	3	1,2	217	5,1
IV – Enchimento de grãos (R6 ao R7)	119	4	0,5	96	3,8
V – Maturação (R8)	120	5	0,5	1	2,2
ETc ciclo ➡				Total :396	Média: 2,5

Fonte: Adequado dos dados fornecidos pela fazenda.

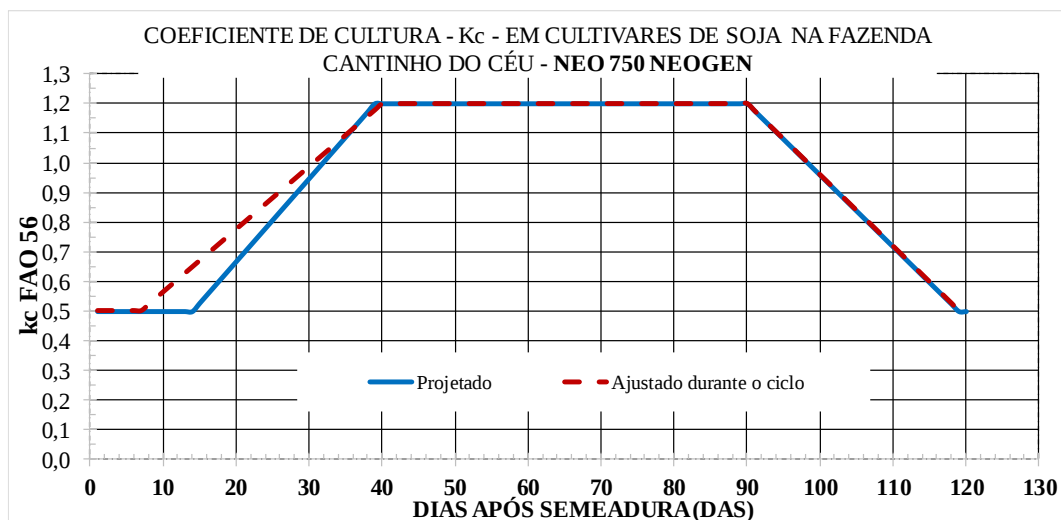
Expondo de forma mais didática o ajuste feito nos coeficientes de cultivo ao longo da safra, explora-se nas Figuras 26 e 27, como se comportou as alterações do parâmetro.

Figura 26 - Relação entre o Kc projetado no início da safra e o Kc ajustado ao longo da mesma - “ST 979”



Fonte: Adequado de dados fornecidos pela fazenda.

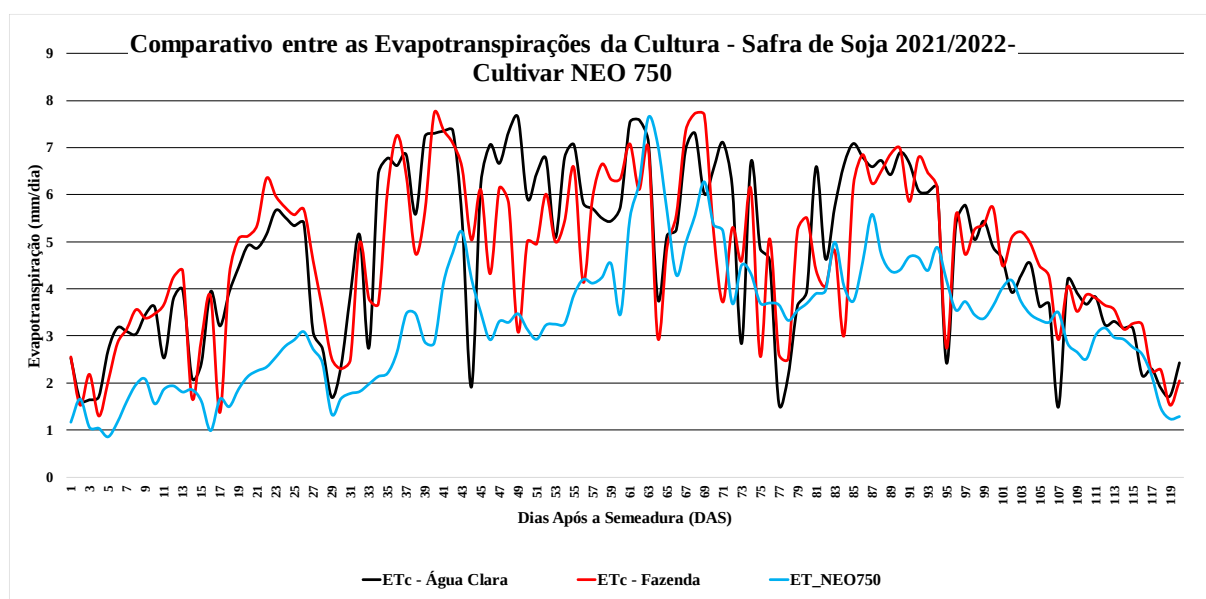
Figura 27 - Relação entre o Kc projetado no início da safra e o Kc ajustado ao longo da mesma - “NEO 750”



Fonte: Adequado de dados fornecidos pela fazenda.

Sabendo-se estes ajustes no Kc ao longo da safra de forma separada para cada uma das cultivares estima-se ao final, multiplicando-se as diferentes evapotranspirações de referências estudadas como o coeficiente da cultura moldado, resultando na ETc para cada uma das cultivares conduzidas na área (Figuras 28 e 29).

Figura 28 - Comportamento ETc ao longo do ciclo da soja - Cultivar “NEO 750”



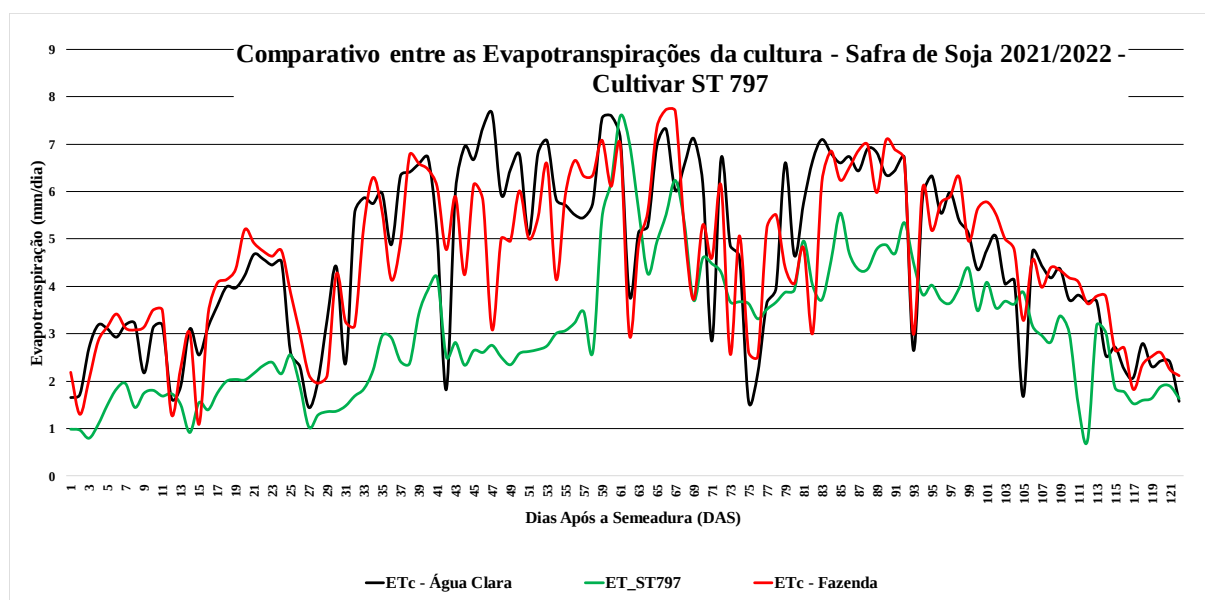
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Novamente observa-se o fato da ET estimada pelo software “FieldNet Advisor” apresentar-se de forma inferior as demais evapotranspirações da cultura, retratando mais uma

vez que a modulação dos resultados forçou os valores da ET para baixo devido a condições do meio que não permitem que a planta evapotranspire com excelência.

Entretanto, pensando no ponto central da safra, observa-se que os valores da “ET_NEO 750” tornam-se tão grandes quanto as ETcs estimada pela metodologia padrão, indicando que a planta alcançou condições ótimas para evapotranspirar. Tal episódio é explicado, principalmente, pelo fato deste período coincidir com o momento da safra que se registrou maiores índices pluviométricos (Figura 15), condizendo que o software só considerara que a planta é capaz de evapotranspirar seu potencial na presença de abundância hídrica.

Figura 29 - Comportamento da ETc ao longo do ciclo da soja - Cultivar “ST 797”



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Voltando-se os olhares para as diferenças observadas entre os dados de ET estimados dentro da área de estudo e aquelas calculadas a partir da ET₀ colhida no município de Água Clara - MS, afere-se que a média entre as diferenças destas duas fontes de dados se estabelece numa correlação de 96,51%, onde os valores ETc estimados através da estação do INMET e dos dados de Kc ajustados ao longo da safra são 3,49% menores do os computados na fazenda, possibilitando assim, na falta de dados na estação de Cassilândia - MS que é melhor posicionada em relação a fazenda, que a ETc da fazenda “Cantinho do Céu” pode ser extraída na estação de Água Clara - MS aplicando o coeficiente 0,965. Apesar da boa relação entre os dados das estações operadas pelo INMET e os dados colhidos dentro da área de estudo, considera-se ideal que a própria fazenda invista em uma estação agrometeorológica, possibilitando assim refinar toda e qualquer diferença que garantindo maior assertividade e adequado manejo da água.

Por fim, expondo o apanhado geral de ET_c, chuva e irrigação para as duas cultivares semeadas na área estuda formula-se as informações gerais colhidas ao longo dos ciclos (Quadros 16 e 17).

Quadro 16 - Relação geral da ET_c, Chuva e Irrigação da Safra da soja (2021/2022) - Cultivar “ST 797”

Fase Fenotípicas	DAS	ET_Advisor	Etc_Água Clara	ET_Fazenda	Chuva	Irrigação
I - Estágio Inicial	12	18	31,77	32,55	114,05	23
II - Desenvolvimento Vegetativo	45	72	143,58	143,55	332,81	7
III - Florescimento	92	197	278,81	258,58	320,56	78
IV - Enchimento de grãos	121	86	112,90	120,76	98,5	27
V - Maturação	122	2	1,57	2,12	11,2	0
	Total	375	568,6	557,6	877,1	135,0

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Quadro 17 - Relação geral da ET_c, Chuva e Irrigação da Safra da soja (2021/2022) - Cultivar “NEO 750”

Fase Fenotípicas	DAS	ET_Advisor	Etc_Água Clara	ET_Fazenda	Chuva	Irrigação
I - Estágio Inicial	7	9	16,52	15,60	93,07	12
II - Desenvolvimento Vegetativo	40	72	145,95	147,48	341,56	33
III - Florescimento	90	217	294,56	274,61	338,31	69
IV - Enchimento de grãos	119	96	116,81	124,24	71,25	24
V - Maturação	120	1	2,44	2,05	6,3	0
	Total	395	576,3	564,0	850,5	138,0

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

De modo geral, afirma-se que, do ponto de vista hídrico, ambas as cultivares da safra de grãos verão da fazenda “Cantinho do céu” (soja -2021/2022) foram supridas suficiente mente do recurso e não fecharam o ciclo com o balanço entre evapotranspiração e chuva/irrigação no vermelho.

Além do volume final, suprir a planta hidricamente depende de disponibilizar água nos momentos chaves para cada cultura, fase esta que definirá o potencial produtivo de uma safra inteira, por isso, torna-se fundamental acompanhar a relação solo-planta-atmosfera durante todo

o ciclo das culturas para garantir no final, sustentabilidade do negócio de produzir alimentos com o uso de sistemas de irrigação.

6 CONCLUSÕES

Solos arenosos, com elevadas taxas de infiltração de água no solo, devem receber atenção do ponto de vista de lâminas aplicadas por sistemas de irrigação, evitando que esta alta percolação lixivie nutrientes para camadas sub-superficiais.

Direcionada pelos benefícios trazidos pela integração lavoura-pecuária, rotacionando sistemas radiculares, conclui-se que houve uma melhora na capacidade de armazenamento de água no solo. Merece pontuar, que para potencializar tal processo, deve-se voltar os olhos para o aprofundamento do sistema radicular das culturas a partir de práticas agronômicas.

O software de manejo da irrigação “FieldNet Advisor” apresenta boa compatibilidade de informações quanto ao conteúdo de água no solo mesmo sem sensores físicos instalados no local, e assim, enquadra-se como uma importante ferramenta de manejo da água.

Os dados agrometereológicos da estação operada pelo INMET do município de Água Clara -MS, na ausência dos dados do município de Cassilândia - MS, são aplicáveis na área de interesse aplicando o coeficiente de 0,965.

A safra do *Panicum Maximum* BRS Zuri sofreu com diversos imprevistos técnicos e climáticos que impediram analisar pontualmente a eficiência do manejo da irrigação. Já para a cultura da soja, conclui-se que de acordo com os parâmetros analisados, o manejo da irrigação foi bem aplicado, uma vez que o armazenamento de água no solo permaneceu dentro da faixa recomendada para a cultura durante praticamente todo o ciclo e ao final os montantes de ETc não ultrapassaram o volume de água repostado pela chuva e irrigação.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRANDA. **Soja ST 797 IPRO**. Disponível em: <<https://www.agranda.com.br/produto/soja-st-797-ipro/>>. Acesso em: 05 de agosto de 2022.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO Irrigation and Drainage, Paper 56, p.297, 1998.

- ALVARENGA, R. C.; NOCE, M. A. **Integração lavoura e pecuária**. – Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 16 p.; 21 cm. - (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277 ; 47).
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA. **Atlas Irrigação atualiza área irrigada total no Brasil em 8,2 milhões de hectares**. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/atlas-irrigacao-atualiza-area-irrigada-total-no-brasil-em-8-2-milhoes-de-hectares>>. Acesso em: 10 de maio de 2022.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil**. Embrapa Milho e Sorgo. - 2. ed. - Brasília: ANA, 2019.
- AZEVEDO, D.M.P.; LEITE, L.F.C.; NETO, M.L.T. **Distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes métodos de preparo do solo**. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35989/1/Doc95.pdf>>. Acesso em: 12 de maio de 2022.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 7. Ed. Viçosa. MG, 2011. 611 p.
- BORGES, L.C.; HERNANDEZ, F.B.T; FAUVEL, J.M.P. **Balanço hídrico como ferramenta para planejamento da irrigação em Cassilândia - MS**. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fitossanidadeengenhariaruralesolos715/irrigacao5868/inovagri_2021_borges_b_hidrico_cassilandia.pdf>. Acesso em: 04 de agosto de 2022.
- BRASIL, et al. **Métodos de amostragem e quantificação para estudos do sistema radicular em condições de campo** - Uma revisão crítica. Revista Ciência da Vida, v.27, p.14-33, 2007.
- CARDOSO, M. **Classificação climática de Köppen do Mundo e do Brasil**. Disponível em: <<https://blogmurilocardoso.wordpress.com/2012/01/20/mapas-classificacao-climatica-de-koppen-do-mundo-e-do-brasil/>>. Acesso em: 01 de junho de 2022.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra Brasileira de Grãos. Julho de 2022**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 01 de agosto de 2022.
- DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental**. 2014. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/986147/1/DOC402.pdf>>. Acesso em: 20 de maio de 2022.

DONÁ, M.M; HERNANDEZ, F.B.T; FAUVEL, J.M.P. **Caracterização agroclimática do município de Cassilândia - MS como ferramenta de planejamento agrícola.**

Disponível

em:

<https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fitossanidadeengenhariaruralesolos715/irrigacao5868/caracterizacao_agroclimatica_dona_trabalho_completo.pdf>. Acesso

em: 04 de agosto de 2022.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Panicum Maximum - BRS Zuri.**

Disponível

em:

<<https://www.embrapa.br/en/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1309/panicum-maximum---brs-zuri>>. Acesso em: 22 de junho de

2022.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa de solos do Brasil.**

Disponível

em:

<http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil_solos_5m_20201104>.

Acesso em: 03 de julho de 2022.

EUCLIDES, V.P.B.; FILHO, K.E.; COSTA, F.P.; FIGUEIREDO, G.R. **Desempenho de**

novilhas F1 Angus - Nelore em pastagens de Brachiaria decumbens submetidos a diferentes regimes alimentares. Revista Brasileira de Zootecnia, v.30, n.2, p.470-481, 2001.

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. **A agricultura irrigada pode contribuir no aumento da produção de alimentos no Brasil.** Disponível

em: <<http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1110333/>>. Acesso em: 27 de maio de 2022.

FERNADES, A.L.T; AGUIAR, A.P.A.; SILVA, F.H. **Irrigação de pastagem - Instruções Técnicas.** Uberaba. 2010 (Comunicado Técnico 06).

FERRAZ, J.; FELICIO, P. **Production systems - An example from Brazil.** 2010 Disponível

em: <<http://www.usp.br/gmab/publica/msjbsf2010.pdf>>. Acesso em: 07 de junho de 2022.

FIORIN, T.T. **Estimativa da infiltração de água no solo a partir de pedofunções.** 2008. 116

f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa, Programa de Pós-Graduação, 2008.

FRIZZONE, J. A; REZENDE, R.; CAMARGO, A. P; COLOMBO, A. **Irrigação por aspersão: sistema pivô central.** Maringá: Eduem, 2018. 355 p.: il.color.

- HERNANDEZ, F.B.T. **A agricultura irrigada em solos arenosos**. In: Simpósio Brasileiro de Solos Arenosos, 3º, 2019, Campo Grande - MS.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados históricos anuais**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>>. Acesso em: 28 de maio de 2022.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Mapa das estações**. Disponível em: <<https://mapas.inmet.gov.br>>. Acesso em: 28 de junho de 2022.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agro 2017**. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultadosagro/estabelecimentos.html>. Acesso em: 20 de maio de 2022.
- JORGE, L.A.C.; SILVA, D.J.C.B. **SAFIRA: Manual de utilização**. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/77135/1/manual-safira-2013.PDF>>. Acesso em: 03 de julho de 2022.
- KRZYŻANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A.; NETO, J. B. F.; LORINI, I.; HENNING, F. A.; GAZZIERO, D. L. P. **Tecnologias para produção de sementes de soja**. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1006543/1/CATALOG_OSEMENTES2015OL1.pdf>. Acesso em: 16 de maio de 2022.
- Lima, V. M. P.; Oliveira, G. C.; Serafim, M. E.; Curi, N.; Evangelista, A. R. **Intervalo hídrico ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de Latossolo degradado**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.36, p.71-78, 2012.
- LINDSAY - **FieldNET Advisor**. Disponível em: <<https://www.lindsay.com/usca/en/irrigation/brands/fieldnet/remote-irrigation-solutions/analyze-apply/fieldnet-advisor/>>. Acesso em: 06 de julho de 2022.
- MENDES, W. C.; JUNIOR, J. A.; CUNHA, P. C. R.; SILVA, A. R.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D. **Lixiviação de nitrato em função de lâminas de irrigação em solos argiloso e arenoso**. IRRIGA & INOVAGRI, Botucatu, p.47-56, 2015.
- NETO, D. D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K. BACCHI, O. O. S. **Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00)**. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/sa/a/gzcbxj3cxXTzFB94g44q36t/?lang=en>>. Acesso em: 02 de agosto de 2022.
- OLIVEIRA, N. P. R. **Panicum maximum cv. BRS Zuri sob disponibilidades hídricas em neossolo flúvico**. 2020. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Rondonópolis, 2020.

- PEDREIRA, J.V.S. **Hábitos de perfilhamento do capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq.).** *Bol. Ind. Anim.*, 32(1):111-114, 1975.
- RICHARDS, L. A. **Physical conditions of water in soil.** In: Black, C. A. (ed.) *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.128-152.
- SALTON, J. C.; TOMAZI, M. **Sistema Radicular de plantas e qualidade do solo.** Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2014. - (Documentos / Embrapa Agropecuária Oeste, ISSN 1679-0472).
- SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, C.; BARROS, H.B. **Cultivares.** In: SEDIYAMA, T. (Ed). *Tecnologias de produção e usos da soja*. Londrina: Mecenasa, 2009. p.77-92.
- SEMENTEC. **NEO 750.** Disponível em: <<https://www.sementec.com.br/variedade/neo750-ipro/>>. Acesso em: 05 de agosto de 2022.
- SCOPEL, I.; SOUSA, M. S.; MARTINS, A. P. **Infiltração de água potencial de uso de solos muito arenosos nos cerrados (Savanas) do Brasil.** Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/3371/337127389004.pdf>>. Acesso em: 05 de agosto de 2022.
- TECNAL. **Sonda de umidade e temperatura do solo.** Disponível em: <https://tecnal.com.br/pt-BR/produtos/detalhes/9607_sonda_de_umidade_e_temperatura_do_solo>. Acesso em: 04 de agosto de 2022.
- TEIXEIRA, A.H.C. **Modelling evapotranspiration by remote sensing parameters and agrometeorological stations.** In: NEALE, C. M. U.; COSH, M. H. (Ed.). *Remote Sensing and Hydrology*. Wallingford, UK, 2012. v. 352, p. 154-157.
- VAN GENUCHTEN, M.T. **A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity unsaturated soils.** *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.
- VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, A.H. **Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils.** *Soil Science*, Baltimore, v. 68, n. 2, p. 75-94, Aug. 1931.
- ZHANG, R. **Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disc infiltrometer.** *Soil Science Society America Journal*, Madison, v.61, p.1024-1030, 1997.
- ZERVOUDAKIS, J.T.; PAULINO, M.F.; DETMANN, E.; LANA, R.P.; VALADARES FILHO, S.C.; CECON, P.R.; QUEIROZ, D.S.; MOREIRA, A.L. **Desempenho e características de carcaça de novilhos suplementados no período das águas.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.30, n.4, p.1381-1389, 2001.