



JESSICA ELLEN LIMA DIAS

**PLANILHA COMPUTACIONAL PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO POR
ASPERSÃO CONVENCIONAL DE CULTURAS AGRÍCOLAS**

LAVRAS – MG

2019

JESSICA ELLEN LIMA DIAS

**PLANILHA COMPUTACIONAL PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO POR
ASPERSÃO CONVENCIONAL DE CULTURAS AGRÍCOLAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Engenharia
Agrícola, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Luiz Gonsaga de Carvalho

Orientador

LAVRAS – MG

2019

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Dias, Jessica Ellen Lima.

Planilha Computacional para o Manejo da Irrigação por Aspersão Convencional de Culturas Agrícolas / Jessica Ellen Lima Dias. – Lavras: UFLA, 2019.
48 p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (bacharel em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, 2019.

Orientador: Luiz Gonsaga de Carvalho.

Bibliografia.

1. Evapotranspiração. 2. Planilha computacional. 3. Coeficiente da cultura. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

JESSICA ELLEN LIMA DIAS

**PLANILHA COMPUTACIONAL PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO POR
ASPERSÃO CONVENCIONAL DE CULTURAS AGRÍCOLAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Engenharia
Agrícola, para a obtenção do título de Bacharel.

Aprovada em 18 de novembro de 2019.

Banca:

Prof. Dr. Fábio Ponciano de Deus

Prof. Dr. Felipe Schwerz

Prof. Dr. Luiz Gonsaga de Carvalho

Orientador

LAVRAS – MG
2019

A minha avó Maria, a minha mãe Diana, a minha irmã Júlia, a minha irmã Isabel, à Raquel, à Magna, à madrinha Vanessa, à tia Juliana, à Nathália, à tia Cleusa, à Thaís e Aurora, à Bruna, à Marcelle, à Aninha, à Miriane, à Liz, à Fernanda, à Patrícia, e a todas as mulheres fortes, guerreiras, batalhadoras e incríveis que conheci. Obrigada por me mostrarem que caminhando juntas vamos além.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, todos os dias, por cada amanhecer, por cada respirar, a todo momento.

A minha família, pelo apoio durante os meus estudos.

À UFLA, pelo curso de Engenharia Agrícola de altíssimo nível, conhecimentos incomparáveis, experiências inesquecíveis, professores excelentes, salas de aula, almoços acessíveis no restaurante universitário, biblioteca, internet e tantas outras instalações que fizeram possível este momento.

Ao meu orientador, Professor Luiz Gonsaga pelo abrir de olhos para o campo da Agrometeorologia, e por toda ajuda fornecida para a realização do trabalho.

Aos professores Fabio Ponciano e Felipe Schwerz pela ajuda, apoio e incentivo para a realização do trabalho.

A coordenadora Giselle Borges pelas vezes que me escutou e aconselhou.

Ao meu irmão Gabriel por seu carinho, amizade e ajuda.

Ao Bruno, meu cunhado. Obrigada pela sua ajuda, pela sua simplicidade e por ser tão brilhante.

Ao meu namorado Daniel pela incansável motivação e pelo nosso amor em todos os momentos, inclusive nos finais de semana que passamos estudando. Você é a luz da minha vida.

RESUMO

Para o processo de irrigação, a disponibilidade de recurso hídrico é um fator limitante e deve ser observada. Com isso, para determinar o volume de água a ser aplicado nas culturas o objetivo do manejo deve ser a obtenção da máxima produção por unidade de água. Cerca de 54% de toda a água captada anualmente no Brasil destina-se ao cultivo de culturas irrigadas. Desse quantitativo apenas 40% do volume de água atinge as reais necessidades hídricas das culturas. Os 60% restantes se perdem em problemas dos sistemas, e especialmente no manejo inadequado da irrigação, quando se aplicam lâminas superestimadas. Essa ineficiência gera um desperdício de aproximadamente 16.500 milhões de m³ de água anualmente. Dos problemas encontrados no processo de aplicação da água nas culturas nota-se que existe uma lacuna na compreensão sobre a quantidade e a periodicidade de irrigação. E ainda que os equipamentos utilizados para o controle exato do fornecimento de água às culturas são onerosos diante dos custos de produção, principalmente para médios e pequenos produtores. Portanto, este trabalho se balizou na criação de uma plataforma computacional que diante da alimentação de dados fornece a quantidade e o momento de aplicação da irrigação. Utilizou-se o ambiente Excel® e a linguagem de programação VBA (*Visual Basic for Applications*) para criar a plataforma. De posse dos elementos meteorológicos, é calculada a evapotranspiração de referência (ET₀) adotando a metodologia de Penman-Monteith-FAO. Em seguida estima-se a evapotranspiração da cultura (ET_c) aplicando o coeficiente da cultura (K_c) variando por interpolação de acordo com a fase fenológica. Diante da demanda hídrica (ET_c) e dos parâmetros físico-hídricos do solo é possível estabelecer a quantidade e o momento adequado da irrigação de forma prática e eficiente durante todo o ciclo da cultura. Pela planilha de cálculos, executado o balanço hídrico, levando em consideração as chuvas ocorrentes, efetua-se a proposta do manejo da irrigação bem como o tempo de funcionamento dos emissores do sistema de aspersão convencional. Este procedimento auxilia o irrigante em sua tomada de decisão quanto à quantidade e ao turno de rega a ser adotado, evitando a falta ou excesso de água às culturas.

Palavras-chave: Evapotranspiração. Irrigação. Balanço hídrico no solo. Programação VBA.

ABSTRACT

To perform the irrigation process and apply water to the cultures, the availability of water resources needs to be considered and managed aiming to obtain the maximum plant production over water applied. Of all the water consumed annually in Brazil, 54% goes to irrigation of agricultural crops. Of this percentage only 40% effectively fulfill the water needs of the plants, the other 60% gets wasted on systems, especially, in the management of how much water should be applied and when. This inefficiency represents 16.500 million m³ of water wasted every year. When evaluating the problems regarding the irrigation it is noticeable that there is a gap in understanding how much and when water should be used. The irrigation controlling systems are expensive and onerous considering the cost of production, especially for medium and smaller farmers. Therefore, this piece creates a computational platform that is easy and friendly to help with the decision-making related to water usage providing the quantity and estimated water shifting. The program Excel® was used in the Developer environment VBA (Visual Basic for Applications) to create the platform. Possessing the meteorological data, the platform calculates the reference evapotranspiration (ET₀) using the FAO Penman-Monteith method, it then converts to the crop evapotranspiration (ET_c) using the K_c set in the database. The crop requires a daily water balance computation for the calculation of the soil water content remaining in the soil, that is called readily available water. As a standard, the coefficients were set for maize, dry beans, soy, and wheat. But beholding the K_c the platform can be set for any cultivation. The programing then calculates the water balance, considering rain and soil parameters, to return the volume of water that is required and the estimated shift to be employed. This procedure helps the producer plan the irrigation process to avoid excesses or lack of water for the cultivation.

Keywords: Evapotranspiration. Irrigation. Water usage. Spreadsheet.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição da precipitação média mensal no Brasil no período de 1961 a 2007	7
Figura 2: Diferentes curvas de retenção de água no solo para dois tipos de solo.	13
Figura 3: Armazenamento de água no solo.	16
Figura 4: Umidades características para solos.....	18
Figura 5: Sistema portátil de irrigação por aspersão convencional.	19
Figura 6: Sistema de irrigação por aspersão convencional para couve.	20
Figura 7: Abas da planilha.....	24
Figura 8: Dados para cálculo da ET_0	25
Figura 9: Colunas sequenciais de cálculos para obter a ET_0	27
Figura 10: Criação da planilha de cálculos.....	28
Figura 11: Comando de programação para criar a planilha de cálculos.....	29
Figura 12: Exemplo da linha de programação para entrada de dados diários.	30
Figura 13: Entrada de todos os dados é obrigatória.....	30
Figura 14: Programação de retorno do valor da irrigação.	31
Figura 15: Abas para manejo de irrigação por planilhas.	33
Figura 16: Aba EntradaDadosDiarios.	34
Figura 17: Histórico de dados e irrigação diária.....	34
Figura 18: Ajuste de K_c usado pela planilha de manejo de irrigação.	38
Figura 19: Gráfico de armazenamento e irrigação fornecido pelo sistema SISDAGRO.	39
Figura 20: Configuração do sistema SISDAGRO.....	40
Figura 21: Gráfico de K_c usado pelo sistema SISDAGRO.....	40
Figura 22: Gráfico de armazenamento e capacidade de água disponível remanescente.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores médios de K_c para culturas sem estresse hídrico.	12
Tabela 2: Valores máximos do sistema radicular e fator de depleção para culturas.	15
Tabela 3: Relação da textura do solo com algumas propriedades.	17
Tabela 4: Culturas indicadas para aspersão convencional.....	21
Tabela 5: Nível de precisão para diferentes sistemas de manejo.	23
Tabela 6: Dados coletados na estação convencional de Paracatu MG.	36
Tabela 7: Recomendações de irrigação pela planilha de manejo de irrigação.	39
Tabela 8: Recomendações de irrigação sistema SISDAGRO.	39
Tabela 9: Comparação entre as recomendações de irrigação.	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS.....	4
3	REFERENCIAL TEÓRICO	5
3.1	Agrometeorologia aplicada à irrigação.....	5
3.2	Evapotranspiração de referência.....	9
3.3	Coeficiente da cultura e evapotranspiração da cultura	11
3.4	Balanço hídrico do solo	12
3.5	Irrigação por aspersão convencional	18
3.6	Métodos de manejo da irrigação.....	22
4	MATERIAL E MÉTODOS	24
4.1	Evapotranspiração pelo método Penman-Monteith-FAO	25
4.2	Estrutura de programação VBA	28
4.3	Histórico e travamento contra edição	31
4.4	Cálculo do balanço hídrico	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1	Simulação da utilização	35
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
7	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

Em 2002 a área total destinada ao cultivo agrícola no Brasil era de 69 milhões de hectares, dos quais 89% se dedicavam para culturas anuais, destacando-se arroz, feijão, soja, milho e trigo. Já em 2012, o total físico de área cultivada no Brasil era estimado em 80 milhões de hectares segundo a FAO 2015, representando um aumento de 15% de área em uma década. Esse cenário demonstra um período de crescimento que se iniciou em 1940, e desde então, até os dias atuais representa um crescimento de cerca de 6 vezes na área dedicada à agricultura. Globalmente, esse crescimento se faz importante para garantir a segurança alimentar, sendo o Brasil um grande exportador de commodities alimentícias. Por outro lado, esse crescimento deve garantir a sustentabilidade ambiental, que é entendida como a manutenção do equilíbrio ao longo do tempo, ou seja, a capacidade de conseguir suprir as necessidades humanas atuais sem que sejam afetadas as habilidades das gerações futuras de fazer o mesmo. O crescimento na agricultura brasileira pode ser atribuído a uma série de fatores como: a abundância de recursos naturais, extensas áreas agricultáveis, disponibilidade de água, calor e luz. Mas também, principalmente, aos investimentos feitos no desenvolvimento de pesquisas agrícolas, majoritariamente nos últimos 50 anos que trouxeram avanços nas ciências agrárias, tecnologias e inovações complementando a competência dos agricultores.

O caso da cultura da soja é um bom exemplo de como a tecnologia pôde transformar a produção agropecuária. Os avanços feitos passaram por técnicas de melhoramento genético, em que foram desenvolvidas cultivares de soja adequadas às condições de solo e clima do Brasil, criando plantas menos sensíveis aos dias longos e mais tolerantes às pragas do mundo tropical. Bem como a correção e adubação de solos trouxeram a otimização do uso de corretivos e fertilizantes, permitindo o plantio nos solos de Cerrados, antes considerados improdutivos. O uso de fertilizantes se tornou então um elemento chave, juntamente a utilização da fixação biológica de nitrogênio, presente hoje em 75% das áreas cultivadas de soja. E, dentre outras tecnologias de produção, o uso adequado dos recursos hídricos tem se destacado.

Especificamente para o Brasil, o uso de água para irrigação no meio agrícola representa 54% do total de toda a água captada para consumo anualmente. No entanto, avalia-se que cerca de 40% dessa quantidade de água não seja aproveitada pelas plantas por conta de sistemas de irrigação que apliquem lâminas superestimadas, vazamentos em tubulações e o próprio manejo da irrigação feito por suposição, levando a grandes desperdícios de água, energia e trabalho (EMBRAPA, 2017).

Esse valor representa um desperdício de aproximadamente 16.500 milhões de m³ de água anualmente (FAO, 2015). A eficiência geral no processo de irrigação, em 2012, foi apontada como sendo de 0,39 para o Brasil (AQUASTAT, FAO, 2015). Ressaltando a importância de se adotar sistemas que auxiliem a realização do manejo de irrigação.

De 2000 a 2006, um total de 4,45 milhões de hectares de área foi irrigada anualmente no País, o que representava uma porcentagem de 6,5% do total de áreas cultivadas. Já no período de 2012 a 2015, a área irrigada total foi de 6,15 milhões de hectares anuais, o que representou 7,7% da área total cultivada. Analisando esse mesmo período o crescimento da produção de grãos foi cerca de 58%, de 96 milhões de toneladas em 2002 para 166 milhões de toneladas em 2012 (ANA, 2017).

Estima-se que até 2030 o Brasil explore um potencial de expansão de áreas irrigadas de 76 milhões de hectares, sendo 11,6 milhões de hectares de área efetiva, que são áreas com maior aptidão aos cultivos quanto aos tipos de solo e relevo, boa qualidade logística e excluem áreas de preservação ambiental e já irrigadas (ANA, 2017). O uso adequado de recursos hídricos no meio rural envolve a tomada de decisões sobre o manejo da irrigação que dependem de métodos recomendados para cada tipo de solo e cultura, do monitoramento preciso da atmosfera e da utilização de sistemas que se adaptem às condições locais, evitando o desperdício e, portanto, melhorando a eficiência.

Em meados dos anos 2000 a baixa produtividade agrícola média brasileira tinha como principais fatores a falta de aplicação de práticas culturais adequadas, como espaçamento e época de plantio (SANTOS et al., 2004). No entanto, atualmente para as regiões de clima semiárido, principalmente no Norte de Minas e no Nordeste do Brasil a produtividade das culturas ainda está abaixo da média nacional, o que se deve ao baixo nível tecnológico empregado na agricultura e à escassez de recursos hídricos superficiais. Em virtude da baixa disponibilidade dos recursos hídricos, sobretudo em regiões áridas, Moraes (2015) assegura que o objetivo no manejo de irrigação deve ser a obtenção da máxima produção por unidade de água aplicada.

A disponibilidade hídrica nas primeiras fases de crescimento das culturas é decisiva no estabelecimento da planta e no aumento da produtividade. Seguindo as fases de diferenciação é mandatório que não haja restrição hídrica, e essa demanda decai nas fases finais de maturação.

Portanto, as lâminas de irrigação aplicadas influenciam diretamente o desenvolvimento da cultura e a sua produtividade. Baseado nisso, verifica-se a necessidade de implementar técnicas de controle e planejamento do processo de irrigação de modo a fornecer para a cultura o que lhe é requerido, sem que haja falta ou excesso, e assim evitando o desperdício.

A irrigação, se bem planejada e executada, possibilita: o aumento da produção, o aumento da eficiência no uso da água, o aumento da diversidade de culturas, contribuindo significativamente no fomento da produção agrícola e, conseqüentemente, no próprio PIB do País.

Segundo o manual de Métodos e Estratégias de Manejo de Irrigação, da Embrapa (2002), a utilização de instrumentos para o monitoramento da água no solo ou na planta é pouco frequente em condição de lavoura, sendo mais comum nos trabalhos de pesquisa. Geralmente, são equipamentos que requerem conhecimento e treinamento para sua utilização. A exemplo do tensiômetro, que irá medir a tensão com que a água está retida pelas partículas de solo.

Para determinar com exatidão as lâminas de irrigação e os turnos de rega, é necessário conhecer outros parâmetros, como a curva de retenção de água do solo, a profundidade do sistema radicular, a evapotranspiração da cultura e o nível de esgotamento permissível.

Diante desse cenário, este trabalho fornecerá uma planilha computacional ajustada para as variáveis de clima, solo e cultura que informará o momento de irrigação e a quantidade de lâmina a ser aplicada. Bastando somente que o usuário insira os dados meteorológicos diários de sua região obtidos por estações meteorológicas convencionais.

2 OBJETIVOS

Desenvolvimento de uma planilha em ambiente computacional capaz de determinar a lâmina de irrigação a ser aplicada e conseqüentemente do turno de rega para o manejo da irrigação, aplicada à diferentes condições de clima, solo e cultura.

Disponibilização da planilha computacional criada em ambiente online, para que se torne público e acessível para utilização por qualquer parte interessada, sejam estudantes ou agricultores, que permita a configuração de acordo com a região e o cultivo a ser manejado, em uma interface amigável e compreensível ao usuário.

Auxiliar os produtores no manejo da irrigação através de uma ferramenta que além de informar a lâmina a ser aplicada considere a eficiência da irrigação para o sistema de aspersão convencional, e permita que a partir dos dados de vazão do sistema de aspersão e do espaçamento, informe o tempo necessário de funcionamento do sistema para aplicação da determinada lâmina.

Confrontar os resultados obtidos na simulação de utilização da planilha com o sistema SISDAGRO, para demonstrar a viabilidade do uso da planilha no manejo da irrigação.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Agricultores tradicionalmente envolvidos em produção agrícola programam um certo agendamento da irrigação para suas culturas, baseado principalmente na sabedoria tradicional e na intuição, em vez do cálculo baseado no conhecimento científico. A ciência demonstra uma correlação entre o crescimento das culturas e os parâmetros meteorológicos, como a insolação com a exigência de água e com a umidade do solo. A irrigação se faz necessária quando ocorre falta, insuficiência ou má distribuição das precipitações pluviais em determinada área. É estabelecido por pesquisas que a aplicação da irrigação deve ser tal que a água disponível no solo esteja acima do ponto de murcha permanente, ou preferencialmente acima da umidade crítica, que leva em consideração o fator de disponibilidade, e que esta umidade seja totalmente utilizada pela cultura antes de exigir uma nova aplicação de água para reabastecer a umidade esgotada no solo (Reddy, 2010).

3.1 Agrometeorologia aplicada à irrigação

Em um sistema solo planta atmosfera, o solo e a atmosfera são tidos como meio físico no qual se faz possível que a cultura exista e produza. Os fenômenos físicos e processos que ocorrem na atmosfera e em suas regiões de interação adjacentes são objeto do estudo que se denomina meteorologia. A atmosfera das camadas próximas à Terra quando estudadas como meio de habitação para plantas, animais e organismos, juntamente aos efeitos deste meio sobre a formação, a continuidade e a produção da vida é estudado como Agrometeorologia (Rijks e Baradas, 2000). Estudam-se os efeitos do clima, que reúne dados sobre as condições locais de determinada atmosfera em um período cronológico específico, e do tempo que se refere a condição momentânea da atmosfera sobre a instalação e manutenção da agricultura, estabelecendo o principal desafio da agrometeorologia.

Para determinar equações quantitativas da dependência da formação, do crescimento e do desenvolvimento de uma cultura devem-se considerar os fatores meteorológicos como componentes básicos e de ocorrência variável. Como por exemplo, a existência de ar, luz, calor e água são elementos vitais para que haja vida e para que se explore o potencial agrícola de uma região garantindo a capacidade produtiva das culturas. Cada um desses elementos não pode ser substituído. O comportamento da atmosfera se dará, então, por meio de elementos do clima que

são a temperatura, a umidade do ar, as precipitações pluviais, a nebulosidade, a radiação solar, que são observados cotidianamente.

Neste contexto, quando analisamos os elementos do clima em uma escala local, em mesoescala ou em uma microescala, podemos obter informações essenciais para o planejamento e a instalação da atividade agrícola e pecuária. O clima do solo, como definem Seemann e Chirkov (2012) é um ciclo perene de temperatura e umidade variáveis juntamente a condições do ar e de propriedades físicas que serão resultado de ações naturais e antropogênicas. Ele resultará do clima atmosférico ao mesmo tempo que influenciará a atmosfera de camadas próximas à Terra. O clima do solo é composto de três elementos: temperatura do solo, umidade do solo e aeração do solo, ou ar presente na porosidade do solo. Assim como o clima atmosférico, o clima do solo irá variar de acordo com a sazonalidade temporal, diária e anual, e regional seguindo características territoriais.

A temperatura e a umidade do solo são mais variáveis quando comparadas às mesmas características para a atmosfera, devido a sua composição e propriedades físicas, com isso, quando sob influência de fatores como microrganismos, vegetação e diferentes utilizações o clima do solo varia consideravelmente mais rápido que a atmosfera (Kirkham, 2014).

No entanto, o clima do solo pode ser controlado pelo homem com maior facilidade e em maior escala do que a atmosfera. Por essa razão, medidas destinadas a otimizar o clima do solo são bastante eficazes como manipulação por implementos, irrigação e drenagem.

Quando se manipula a umidade do solo utilizando a irrigação, os dados meteorológicos informam qual o suprimento potencial de água pela chuva para ser armazenado no solo, e qual a saída de água do solo de determinada região. Essa saída compreende tanto a evaporação da superfície do solo e da vegetação, quanto a transpiração realizada pelas plantas. Cada cultura necessita de uma quantidade de água e em cada fase de desenvolvimento da mesma cultura essa quantidade também varia. Com essa informação é possível se calcular a demanda hídrica da cultura, ou seja, o suprimento necessário de água para seus processos fisiológicos naquele clima local. As condições meteorológicas e a cultura, em conjunto com informações sobre o solo, auxiliam na estimativa da disponibilidade de água no solo e da precipitação efetiva, água que infiltra no solo para que a planta consiga efetivamente utilizar (Timm et. al. 2005). A irrigação visa suplementar o que a planta necessita, ou seja, complementa o que é fornecido pela natureza, diminuindo o risco atrelado a produção agrícola.

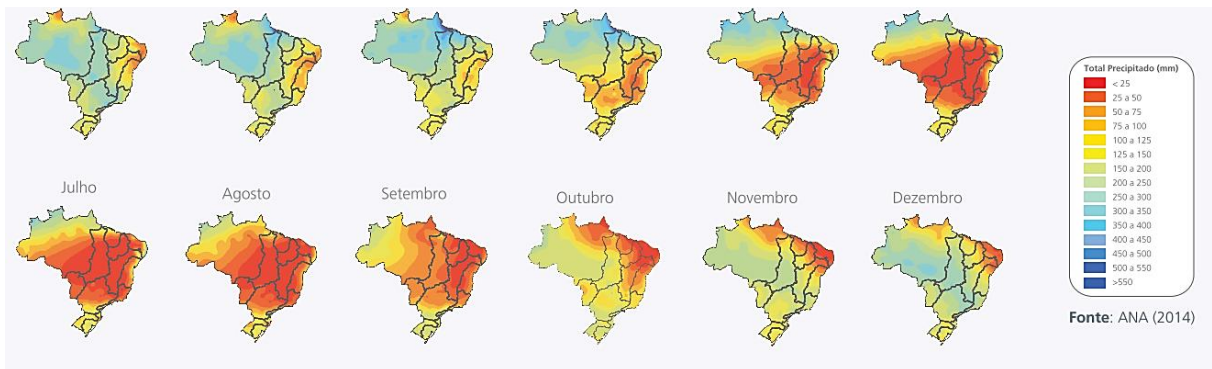
A implantação de um sistema de irrigação deve ser projetada com o objetivo de maximizar a eficiência técnica e econômica do processo. Quando esse objetivo é atendido ele minimiza os

riscos de perdas da produtividade ocasionadas por oscilações do clima, ou seja, ela reduz a incerteza oriunda da variabilidade climática enfrentada pelas culturas de sequeiro.

Segundo o Atlas Irrigação (ANA, 2017), a irrigação no nosso País é considerada pequena frente ao potencial estimado, à área agrícola total, à extensão territorial e ao conjunto de fatores físico-climáticos favoráveis, inclusive a boa disponibilidade hídrica. Esse panorama é o oposto do verificado nos demais países líderes em irrigação, China e Índia, já que de forma geral, estão mais próximos do aproveitamento total do seu potencial estimado. Para explorar esse potencial em um país de dimensões continentais como o Brasil, é imprescindível conhecer as condições climáticas e suas regiões. Pode-se dividir o Brasil de acordo com o sistema de classificação climática de Köppen que identifica zonas homogêneas quanto a precipitação pluvial e temperatura. Ou ainda, segundo a ANA (2014) pode-se separar as regiões conforme seu comportamento de precipitação pluvial média mensal, mostrado na Figura 1.

Destacando a importância da irrigação para regiões áridas e semiáridas onde a segurança produtiva é afetada pela escassez contínua de água, minimizada somente no período úmido compreendido de dezembro a março quando pode-se desenvolver algumas culturas de sequeiro.

Figura 1: Distribuição da precipitação média mensal no Brasil no período de 1961 a 2007



Fonte: Adaptado de ANA (2014).

A observação meteorológica é uma avaliação ou medida de um ou vários parâmetros meteorológicos. Temperatura, umidade, precipitação, pressão do ar, velocidade e direção do vento são observações importantes da atmosfera que ajudam os meteorologistas a prever o tempo e o clima.

Com o passar dos anos os tipos e a qualidade dos instrumentos de medição e métodos de análise mudaram significativamente. Atualmente, os instrumentos básicos de observação do tempo incluem termômetros, psicrômetro, pluviômetro, barômetro e anemômetro.

Equipamentos mais sofisticados são estações meteorológicas automáticas que fazem leituras de velocidade e direção do vento, chuva, temperatura, umidade, radiação solar, e incidência de raios UV. Existem também radares Doppler e satélites.

Todos os dias são feitas no mundo milhões de observações, processadas e usadas para criar previsões meteorológicas. As observações são gravadas e carregadas em poderosos modelos de computador que criam previsões meteorológicas globais e regionais. Dependendo das necessidades e interesses da sociedade, elas podem incluir previsões de clima severo, clima para aviação, risco de fogo, previsões para navegação marítima, monitoramento de vulcões, neve e qualidade do ar (NOAR, 2019).

Por sua vez, a aplicação da meteorologia à agricultura é essencial uma vez que todas as facetas da atividade agrícola dependem do tempo.

A meteorologia aplicada traz benefícios à eficiência da atividade agrícola, protege a saúde de animais e culturas, auxilia no desenvolvimento sustentável e na gestão de recursos naturais e conseqüentemente aumenta o rendimento econômico e o valor de mercado da produção. Organizações agrícolas internacionais também usam aplicações de meteorologia para se basearem na tomada de decisão que garanta segurança alimentar e diminua possíveis situações de fome.

A aplicação bem-sucedida de decisões tomadas com base em observações meteorológicas traz benefícios, como descrevem Rijks e Baradas (2000) sobre os incêndios florestais comuns todos os anos no norte da África. No entanto, preservar a vegetação arbustiva é necessário para pastagem de gado e ovinos. Usando observações de vento, temperatura e umidade para indicar velocidade direção do fogo, as queimadas controladas evitam que os incêndios se espalhem. Os autores estimam que reduzir a área queimada em 1% das pastagens permite que mais 5 000 ovelhas pastem, o que representa um valor anual adicional de US\$ 100.000. Outro exemplo, o Sudão, onde cálculos precisos da necessidade hídrica de culturas foram usados para melhorar o potencial de irrigação, garantindo uma ampliação de 8000 ha de área irrigada e cerca de US\$2 milhões a mais anualmente em produção.

No Brasil diversas plataformas fornecem atualizações diárias de informações agrometeorológicas para apoiar a tomada de decisão como o Agritempo <www.agritempo.gov.br> e o Cepagri/Unicamp <www.cpa.unicamp.br>.

E o Instituto Nacional de Meteorologia <www.inmet.gov>, órgão federal competente de elaborar e divulgar diariamente, em nível nacional, a previsão do tempo, avisos e boletins conforme descrevem:

A missão do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, é prover informações meteorológicas à sociedade brasileira e influir construtivamente no processo de tomada de decisão, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do País. Esta missão é alcançada por meio de monitoramento, análise e previsão de tempo e de clima, que se fundamentam em pesquisa aplicada, trabalho em parceria e, compartilhamento do conhecimento, com ênfase em resultados práticos e confiáveis.
(www.inmet.gov.br). Sobre o INMET, 2019).

O INMET representa o Brasil junto à Organização Meteorológica Mundial (OMM) e, por delegação desta Organização, é responsável pelo tráfego das mensagens coletadas pela rede de observação meteorológica da América do Sul.

Em sua fonte de dados encontram-se observações meteorológicas de superfície coletadas em todo o território nacional. Disponibilizadas para agricultores, irrigantes e demais usuários dados atualizados diariamente.

3.2 Evapotranspiração de referência

A evaporação da água pela superfície do solo e a transpiração das plantas, representa na prática o consumo de água efetivo por uma cultura, geralmente medida em milímetro por dia (mm/dia). Dá-se então o termo evapotranspiração (ET), comumente utilizado para descrever os dois processos de transferência de água da superfície para a atmosfera. A ET_0 refere-se à evapotranspiração que ocorre numa cultura de referência, hipotética com altura uniforme de 0,12 m e albedo de 0,23. Cobrindo completamente o solo e sem restrição hídrica (ALLEN et. al., 1998).

Para alterar o estado das moléculas de água de líquido para vapor é necessária energia térmica. A radiação solar direta e a temperatura ambiente do ar fornecem essa energia. A força motriz para remover o vapor de água da superfície de evaporação é a diferença entre a pressão do vapor de água na superfície de evaporação e a da atmosfera circundante. À medida que a evapotranspiração avança o ar circundante se torna gradualmente saturado e o processo diminui sua velocidade e pode até parar, se o ar úmido não for transferido para a atmosfera. A substituição do ar saturado por ar mais seco depende muito da velocidade do vento. Assim, a radiação solar, a temperatura do ar, a umidade do ar e a velocidade do vento são parâmetros climatológicos a serem considerados na avaliação do processo de evapotranspiração. A superfície de evaporação é a superfície do solo, o grau de sombreamento do dossel da cultura e a quantidade de água disponível na superfície são outros fatores que afetam o processo de

evapotranspiração. Chuva e irrigação molham a superfície do solo e repõe o que foi consumido pela evapotranspiração.

Onde o solo é capaz de fornecer água rapidamente o suficiente para satisfazer a demanda de evapotranspiração, ou existe manejo de irrigação ajustado à cultura, a evaporação do solo é determinada apenas pelas condições meteorológicas.

A determinação da evapotranspiração é fundamental para o manejo correto do consumo de água em cultivos irrigados. No sistema solo-planta a os dois processos pelos quais a água é transferida ocorrem simultaneamente. Nesse processo a água líquida é convertida em vapor de água (vaporização) e removida da superfície do solo por evaporação (remoção de vapor).

Esses são os parâmetros meteorológicos que são medidos por estações meteorológicas e afetam a evapotranspiração: radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. A taxa de transpiração também é influenciada pelas características da cultura, aspectos ambientais e práticas de cultivo. Diferentes tipos de plantas terão transpiração em diferentes taxas (Doorenbos e Pruitt, 1977).

A evapotranspiração de referência (ET_0) representa evapotranspiração de uma superfície de vegetação padronizada. Fatores como salinidade do solo, baixa fertilidade, aplicação limitada de fertilizantes, presença de horizontes de solo duros ou impenetráveis, a ausência de controle de pragas e doenças e o manejo mecanizado do solo pode limitar o desenvolvimento da cultura e influenciar na evapotranspiração. Outros fatores a serem considerados na avaliação de ET são a cobertura do solo, densidade de plantas e a água disponível no solo. O efeito do teor de água do solo na evapotranspiração é condicionado, principalmente, pela magnitude do déficit hídrico, entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, e pelo tipo de solo. A medida em que a disponibilidade de água se reduz ocorre também e a redução na taxa de crescimento da planta. Por outro lado, o superdimensionamento de um sistema de irrigação para fornecer água de maneira exagerada para a cultura, e desta forma garantir que não haja estresse hídrico pela falta, acarretará custos desnecessários com equipamentos e demanda energética, que muitas vezes acabam inviabilizando a prática da irrigação. Em situações extremas, o excesso de água resultará em alagamento que pode danificar a raízes e limitar a absorção de água inibindo respiração.

As práticas de cultivo e o tipo de método de irrigação implementado podem alterar o microclima, afetar as características da cultura ou o umedecimento do solo e da superfície da planta (ALLEN et. al., 1998). Por exemplo, um quebra-vento reduzirá a velocidade do vento e diminuirá a taxa de evapotranspiração. A evaporação do solo em um pomar jovem, onde as árvores são amplamente espaçadas, pode ser reduzido usando irrigação por sistema de

gotejamento. Os gotejadores aplicam a água diretamente ao solo perto das árvores, deixando a maior parte da superfície do solo seca e limitando as perdas de evaporação.

O uso de coberturas, como exemplo no plantio direto, é outra forma de reduzir substancialmente a superfície de evaporação do solo. Evidentemente que em cultivos agrícolas irrigados, tem-se que todos os fatores produtivos estejam em condições não limitantes à cultura, tais como adubação, controle fitossanitário e disponibilidade de água no solo. Diante disso, a evapotranspiração ocorre em condições potenciais inerentes à espécie vegetal e de acordo com sua fase fenológica, surgindo, portanto, o conceito de evapotranspiração da cultura (ETc).

3.3 Coeficiente da cultura e evapotranspiração da cultura

Segundo Doorenbos e Pruitt (1977), a evapotranspiração da cultura (ETc) representa a transferência de água por uma determinada cultura sem nenhuma restrição hídrica, em qualquer estágio de desenvolvimento, sob ótimas condições agronômicas e manejo de irrigação. A determinação da ETc é obtida pelo processo de duas etapas, ou seja, primeiramente estima-se a evapotranspiração de referência (ET₀) multiplicando-a pelo coeficiente de cultura (Kc).

O Kc, ou coeficiente da cultura, se refere ao fator de ajuste da ET₀ para obtenção da ETc. Esse, por sua vez é encontrado na literatura, comumente em forma de tabelas, oriundos de trabalhos de pesquisa. Existem também modelos de determinação e, ou ajuste de Kc, de acordo com as condições de cultivo e tipo de irrigação adotado (ALLEN et. al., 1998). O Kc na fase inicial do ciclo da cultura sofre o efeito da frequência de umedecimento da superfície do solo, por ela estar descoberta ou pouco vegetada.

Uma das primeiras publicações sobre Kc, FAO em seu manual 24 (Doorenbos e Pruitt, 1977), nos apresentou gráficos e tabelas para as diversas culturas em função da frequência de molhamento do solo e dos valores de ET₀ que ocorrem nesse período.

Na fase inicial do ciclo fenológico, quando as plantas não cobrem totalmente a superfície do solo, é suposto que todas as culturas de ciclo anual, como o milho, soja e o sorgo, se comportam de modo semelhante com relação ao Kc. Para essas culturas, os valores apresentados para o Kc inicial variam entre 0,20 até 1,00. Baseando-se na proposta de Doorenbos e Pruitt (1977) diversos autores vem apresentando equações de regressão matemática que ajustem os valores de Kc a outros parâmetros, como encontram-se, por sua vez, modelos de estimativa de Kc como função de graus-dia.

Ao buscar valores de Kc na literatura para as culturas cultivadas e irrigadas no Brasil, Conceição (2016) assegura que pode-se estimar o Kc do feijão comum ao dividir o seu

desenvolvimento em quatro principais estádios fenológicos, apresentando os valores de 0,57 para fase inicial, 0,83 para fase de crescimento e perfilhamento, 1,25 para fase de maturação e 0,31 para fase de secagem ao final do ciclo da colheita. Neste caso o ciclo da cultura do feijão teve duração de 117 dias.

Já para uma cultura perene frutífera, a goiabeira, Teixeira et. al. (2003) estimou valores de 0,75 a 0,93 para fase de brotação e crescimento vegetativo, e 0,61 a 0,84 para fase de maturação até o término da colheita do fruto, em um ciclo de 200 dias para cultura irrigada por sistema de microaspersão na região de Petrolina-PE.

Segundo o manual da Embrapa para Manejo de Irrigação (2011) os Kcs podem ser divididos em três fases conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Valores médios de Kc para culturas sem estresse hídrico.

Cultura	Kc inicial	Kc médio	Kc final
Brócolis	0,65	1,05	0,95
Batata	0,50	1,15	0,75
Cenoura	0,70	1,05	0,95
Alho	0,65	1,00	0,70
Berinjela	0,60	1,05	0,85
Batata doce	0,50	1,15	0,65
Beterraba	0,50	1,05	0,95
Feijão	0,40	1,15	0,90
Soja	0,20	1,10	0,50
Trigo	0,20	1,10	0,50
Milho	0,30	1,15	1,05

Fonte: Adaptado de Embrapa (2011).

3.4 Balanço hídrico do solo

De uma maneira mais ampla, o balanço hídrico do solo consiste na determinação de seus componentes, quais sejam, a chuva efetivamente infiltrada no solo, a evapotranspiração e a umidade do solo em razão de seu armazenamento.

O solo é o meio físico de suporte e desenvolvimento das plantas, constituído por fase líquida, sólida e gasosa. A maneira com que as partículas sólidas se arranjam na formação dos solos no que diz respeito a sua estrutura, criará a porosidade, composta pelos macroporos e microporos. A porosidade do solo é responsável por um conjunto de fenômenos e desenvolve uma série de mecanismos de importância na física de solos, tais como retenção e fluxo de água e ar, e, se analisada conjuntamente com a matriz do solo, gera um grupo de outras propriedades

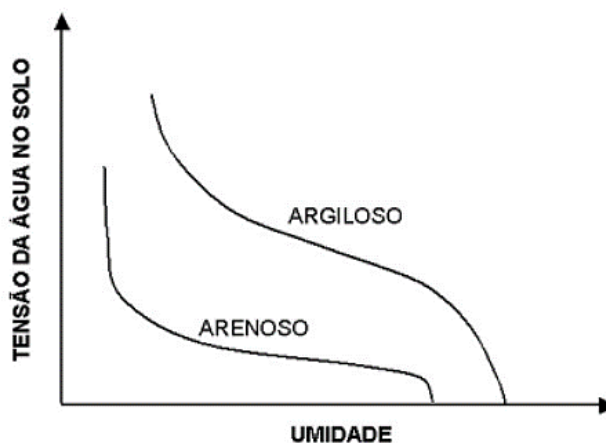
físicas do solo associadas às relações de massa e volume das fases do sistema solo (Reinert e Reichert, 2006).

Uma série de forças age sobre as moléculas em sua interface entre as diferentes fases do solo, ocasionando forças de adesão e coesão que proporcionam o aprisionamento da água e do ar na estrutura do solo. O resultado dessas forças de interações é entendido como o potencial de pressão da água no solo, logo o valor de potencial do solo irá variar, majoritariamente, pela sua umidade. Quanto mais negativo o valor do potencial do solo, maior a força em que o solo retém a água. Desta forma pode-se traçar a curva de retenção do solo, que expressa a relação entre o conteúdo de água, em base de massa ou volume, e o potencial matricial da água no solo, força de ligação entre as moléculas de água e as partículas de solo (Brito et. al., 2011).

Essa curva irá variar de acordo com o tipo de solo e sua respectiva estrutura, exemplificado na Figura 2.

A curva apresenta aplicações práticas e técnicas, tais como: a determinação da capacidade de campo do solo, do ponto de murcha permanente e da disponibilidade total de água no solo, variáveis indispensáveis para um adequado manejo de irrigação tomando por base o balanço hídrico de água no solo. A umidade de capacidade de campo (Θ_{cc}) compreende o valor do teor de água que o solo atinge após a ocorrência da drenagem natural do excesso de água, e está entre 5 a 33 kPa, segundo Embrapa (2007). Já ponto de murcha permanente (Θ_{pmp}) são valores de umidade quando ocorre e persiste o murchamento das plantas, e seu valor obtido experimentalmente é de 1500 kPa.

Figura 2: Diferentes curvas de retenção de água no solo para dois tipos de solo.



Fonte: Adaptado de Gardoni et. al. (2010)

O solo funciona como uma caixa de reserva hídrica para extração de água pelas plantas. Quanto à variação na capacidade de armazenamento de água, os solos argilosos possuem maior

capacidade de armazenar água do que os arenosos, sendo capazes de manter a taxa de ET por um período mais longo. No entanto, em solos arenosos, ou de estrutura arenosa, as raízes tendem a ser mais profundas, tendendo a balancear a menor retenção de água.

A relação entre a umidade do solo e a evapotranspiração depende das características físicas do solo, da cobertura vegetal e da demanda evaporativa da atmosfera. Sendo conhecidos os parâmetros físico-hídricos do solo de uma determinada região predominante, é possível calcular a Água Disponível Total, chamada de ADT, ou do inglês *Total Available Water* (TAW), mensurado em mm, que pode ser obtida pela seguinte equação:

$$ADT = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) * z$$

em que:

ADT é a Água total disponível (mm);

θ_{cc} é a umidade na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_{pmp} é a umidade no ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

z é a profundidade efetiva do sistema radicular (mm).

Após chuvas ou irrigação, o excedente de água no solo drenará até que a umidade na capacidade de campo seja atingida. A umidade na capacidade de campo é a umidade, ou quantidade de água que um solo retém contra forças gravitacionais, ou a quantidade de água restante quando a drenagem cessa.

Nessa condição de solo suficientemente úmido, a extração de água pela planta ocorre com facilidade atendendo sua demanda conforme a variação da ET_c , e na ausência de abastecimento de água, o teor de água na zona de raiz diminui como resultado da absorção pela planta.

À medida que a absorção de água progride, a água restante é retida nas partículas do solo com maior força, diminuindo sua energia potencial e dificultando a extração da planta. Eventualmente, chega-se a um ponto em que a cultura não consegue mais extrair a água restante. O consumo de água torna-se zero quando a umidade do solo atinge o ponto de murcha, nesse ponto as plantas irão murchar permanentemente.

Embora teoricamente a água esteja disponível até o ponto de murcha permanente, a absorção de água pela cultura é reduzida antes que a umidade do solo atinja o ponto de murcha permanente. Quando o conteúdo de água no solo cai abaixo de certo limite tolerável pela planta, a água do solo não pode mais ser transportada com rapidez suficiente para as raízes respondendo à demanda de transpiração, então a cultura começa a sofrer estresse hídrico, a esse valor de umidade atribui-se o nome de umidade crítica (Θ_c). Assim, até a Θ_c têm-se a fração do total de

água disponível para a planta que uma cultura pode extrair da zona radicular sem sofrer estresse hídrico é denominada Água Disponível Real (ADR). A água disponível real é também chamada de Água Facilmente Disponível, do inglês RAW, onde lê-se *Readily Available Water*. Quanto mais profundo o sistema radicular, maior a caixa de reserva de água oferecida pelo solo para a planta.

Nesse intervalo entre a Θ_{cc} e a Θ_c , a absorção de água pela planta é igual à ET_c . A Θ_c é definida pelo coeficiente de depleção ou fator de disponibilidade (p) que irá variar conforme a cultura (ALLEN et. al., 1998). O fator de depleção representa o percentual da água disponível total no solo (ADT) capaz de ser extraído pela planta sem que atinja o estresse hídrico. Para calcular a disponibilidade hídrica, a água disponível real é obtida por:

$$ADR = ADT * p$$

em que:

ADR é a Água disponível real (mm);

ADT é a Água disponível total (mm);

p é o coeficiente de depleção.

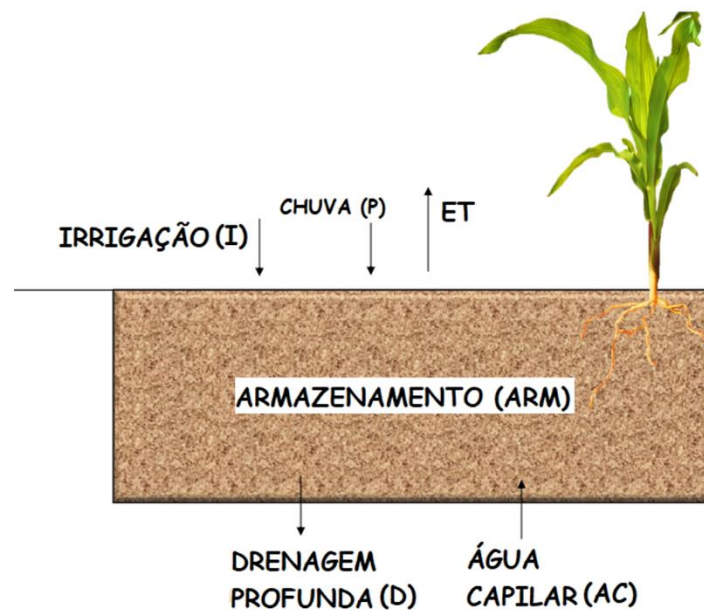
Tabela 2: Valores máximos do sistema radicular e fator de depleção para culturas.

Cultura	Máxima Profundidade do Sistema Radicular (m)	Coefficiente de Depleção (p)
Brócolis	0,4 - 0,6	0,45
Cenoura	0,4 - 0,7	0,35
Alho	0,3 - 0,5	0,30
Berinjela	0,7 - 1,2	0,45
Melancia	0,8 - 1,5	0,40
Batata doce	1,0 - 1,5	0,65
Beterraba	0,7 - 1,2	0,55
Feijão	0,6 - 0,9	0,45
Soja	0,6 - 1,3	0,50
Trigo	1,0 - 1,5	0,55
Milho	1,0 - 1,7	0,50
Sorgo	1,0 - 2,0	0,55

Fonte: Adaptado de Allen et. al. (1998).

Tratando esquematicamente os componentes do balanço hídrico do solo, tem-se a Figura 3.

Figura 3: Armazenamento de água no solo.



Fonte: da autora.

Portanto o balanço hídrico será a água de armazenamento, ou saldo entre o que é fornecido ao solo e o que é consumido, dado por:

$$ARM = P + I + AC - D - ET$$

As propriedades físicas do solo são parâmetros fundamentais na caracterização para o uso e manejo adequado. A densidade do solo é um atributo físico que fornece indicações sobre o estado de conservação e sobre propriedades como infiltração e retenção de água no solo, que influenciam no desenvolvimento de raízes, trocas gasosas e suscetibilidade à processos erosivos. A densidade do solo é uma propriedade variável e depende da estrutura e compactação do solo. De acordo com Costa et al. (2003), a densidade tende a aumentar com a profundidade o que se deve a fatores como teor de matéria orgânica em horizontes incipientes, menor agregação, menor penetração de raízes em horizontes profundos, maior compactação ocasionada pela carga das camadas superiores e diminuição da porosidade total.

Propriedades físicas como densidade e umidade são indicativos da qualidade do solo, quanto a sua capacidade de manter a produtividade biológica, a vida vegetal e animal (DORAN & PARKIN, 1994).

Outras propriedades como a textura e a estrutura do solo também influenciam fortemente na infiltração, permeabilidade e na capacidade de retenção de água de um solo.

A textura do solo é definida pela proporção relativa das classes de tamanho de partículas do solo, argila, silte e areia, desconsiderando a matéria orgânica e partículas maiores do que 2 mm. A estrutura do solo refere-se ao agrupamento e organização das partículas em agregados e relaciona-se com sua distribuição dessas em um volume de solo.

A estrutura do solo não é um fator indicativo direto da qualidade ambiental (Klein et. al. 2007). No entanto, está relacionada indiretamente com praticamente todos os fatores que agem sobre ela. A disponibilidade de água, a aeração, a disponibilidade de nutrientes e a penetração de raízes são afetados pela estrutura dos solos. De acordo com a organização das partículas e do ambiente de formação muitos tipos de agregados estruturais podem se formar. O tipo de agregado presente num solo determina o tipo de estrutura do solo. A estrutura pode ser granular, laminar, prismática ou em blocos. A olho nu as partículas de solo e agregados parecem se tocar, porém existem espaços vazios entre elas, esses espaços são chamados de poros. Quando o solo está seco a maioria dos poros estará preenchida por ar, e logo após uma chuva ou irrigação os poros estarão preenchidos por água, que parte é drenada e parte é retida. A porosidade total, por sua vez, será o espaço preenchido por água e ar presente entre as partículas de solo. Pode-se relacionar a textura e a estrutura com características físicas, como mostrado na Tabela 3.

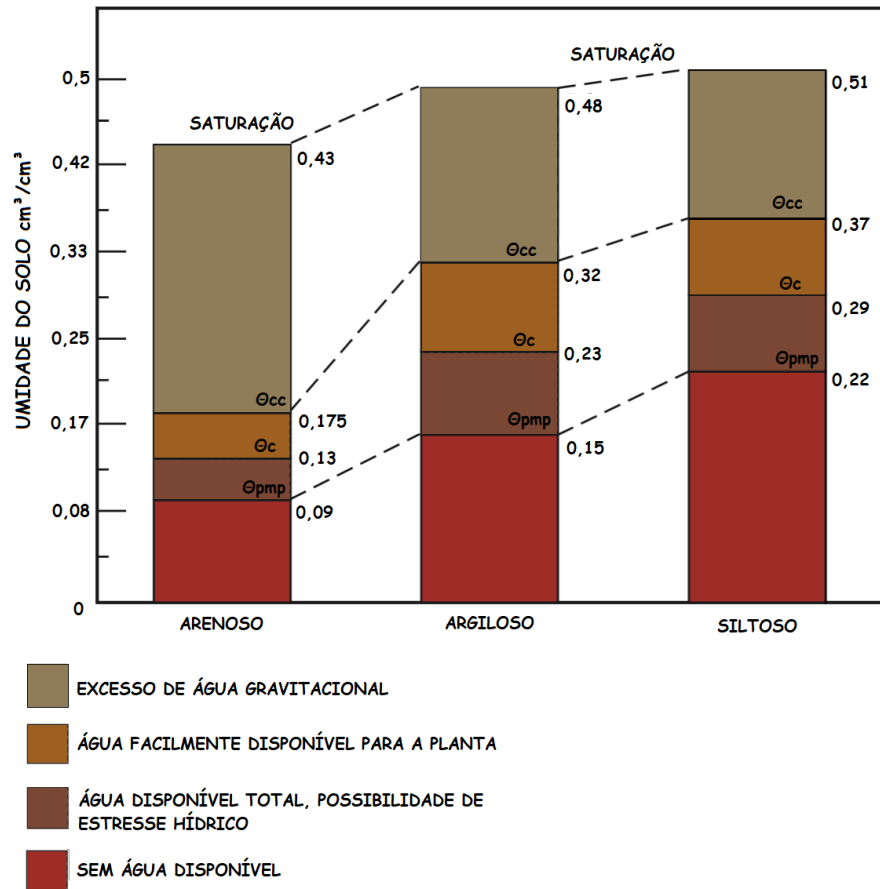
Tabela 3: Relação da textura do solo com algumas propriedades.

Solos Arenosos	Solos Argilosos
Estrutura Granular	Estrutura em blocos
Maior macroporosidade	Maior microporosidade
Menor porosidade	Maior porosidade
Baixa umidade	Alta umidade
Baixa retenção de água	Alta retenção de água
Boa drenagem e aeração	Drenagem lenta
Mais lixiviável	Menos lixiviável
Mais susceptível a erosão	Mais resistente a erosão
Baixa coesão entre as partículas	Coesão elevada entre as partículas

Fonte: Adaptado de Reinert e Reichert, 2006.

Portanto a infiltração, que compreende o movimento da água da superfície para o perfil do solo dá-se por gravidade para os espaços porosos no solo. A textura, a estrutura do solo e a inclinação do terreno têm o maior impacto na taxa de infiltração. E irão ocasionar umidades características para diferentes tipos de solo (Ball, 2001). Na Figura 4 encontra-se um resumo de umidades médias para solos de diferentes texturas.

Figura 4: Umidades características para solos.



Fonte: Adaptado de Ball, 2001.

As decisões de manejo relativas aos tipos de cultura, populações de plantas, programação de irrigação a serem aplicadas dependem da quantidade de umidade disponível para a cultura, e principalmente da capacidade do solo de reter água.

3.5 Irrigação por aspersão convencional

A aspersão convencional compreende o maior percentual da área irrigada de feijoeiro em terras altas na região dos Cerrados, segundo a Embrapa (2008). O sistema de aspersão convencional é considerado o sistema básico de irrigação por aspersão, do qual derivaram-se todos os demais sistemas. A irrigação por aspersão convencional se adapta com facilidade a qualquer tipo de solo no que diz respeito à textura e estrutura. Os solos que apresentam textura de alta velocidade de infiltração permitem a utilização de aspersores com maior intensidade de aplicação, assim a menor tempo de irrigação por posição (Ageitec, 2019).

A aspersão convencional pode ser utilizada em terrenos planos, de encosta ou terraços, no entanto áreas com declividades acentuadas dificultam o uso desse tipo de irrigação. Para este sistema as condições climáticas são um fator limitante e alteram a uniformidade de distribuição da água devido ao vento, e a eficiência de irrigação ligada a perda evaporativa devido a umidade relativa do ar e a temperatura.

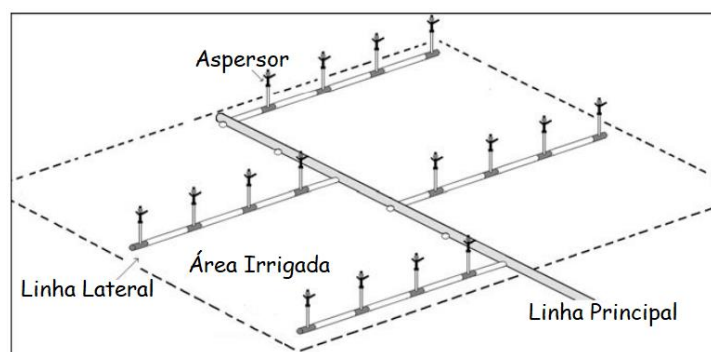
A aspersão convencional é classificada de acordo com o grau de movimentação dos equipamentos como portátil, semi-portátil e fixo.

A aspersão é um método que possibilita o bom controle da lâmina de água aplicada. De modo geral, a eficiência do método é em torno de 70 a 90%, e em condições severas de clima pode chegar a 50% (Ageitec, 2019). Entre as vantagens da aspersão convencional estão que é um sistema que se adapta a superfícies menos uniformes, pode ser usado com solos de alta capacidade de infiltração e baixa retenção pois permite irrigações de menor quantidade e maior periodicidade, propicia uma distribuição uniforme, não apresenta perdas no sistema de condução pois as linhas de água são dutos fechados, pode ser um sistema mecanizado ou automatizado.

Como desvantagens estão a sensibilidade do sistema a locais com ventos fortes, a perda de água por evaporação, o aumento de doenças quando em um macroclima favorável, impacto em tratos culturais e na fixação de botões florais devido ao choque mecânico das gotas, o investimento financeiro inicial, e a movimentação de tubulações e acessório pode ser trabalhosa.

O sistema de aspersão convencional é composto por aspersores com finalidade de pulverizar o jato de água, acessórios, tubulações de condução da água, linhas laterais, linhas de derivação, linha principal, linha de recalque e linha de sucção e o conjunto motobomba.

Figura 5: Sistema portátil de irrigação por aspersão convencional.



Fonte: Adaptado de Biscaro, 2009.

Figura 6: Sistema de irrigação por aspersão convencional para couve.



Fonte: Lopes, 2009.

A instalação do sistema de irrigação no campo admite diferentes formas, dada a diversidade das condições topográficas, de manejo e de vento.

A escolha do sistema de irrigação envolverá decisões sobre a viabilidade econômica de cada sistema aplicado a determinada área e para cada cultura. Além de fatores econômicos, a disponibilidade da fonte de água, energia, condições da área e clima, e a interação homem-sistema também devem ser considerados, onde havendo escassez de mão de obra opta-se por métodos de mais simples operação. E por fim deve-se avaliar os fatores intrínsecos a cultura como o risco fitossanitário, necessidade de tratamentos culturais e rotação de culturas, se houver.

A questão fitossanitária é crítica na irrigação por aspersão de algumas espécies de plantas, cuja água aplicada sobre as folhas pode interferir negativamente no controle químico e no desenvolvimento de pragas e doenças (Quevedo Tavares, 2007).

Com isso, os projetos de irrigação não seguirão uma constante quanto ao sistema instalado. O Manual de Uso e Manejo da Irrigação Embrapa (2008) indica uma pré-seleção do método de irrigação comparando a potencialidade para cada cultura, como preferência por determinado método ou sem preferência. Na Tabela 4 encontram-se culturas que indicam preferência por aspersão convencional.

Tabela 4: Culturas indicadas para aspersão convencional.

Preferência por aspersão	É usada a aspersão, porém não há preferência
Olerícolas não sensíveis ao molhamento Frutíferas de porte baixo Frutíferas de porte alto Batata	Culturas anuais de porte baixo Feijão Soja Trigo Arroz Pastagens e Forrageiras de porte baixo Cana de açúcar Café

Fonte: Adaptado de Embrapa, 2008.

A operação do sistema de irrigação por aspersão convencional consiste em deixar o sistema em funcionamento, aplicando água, por um determinado tempo. O manejo da irrigação por aspersão convencional será a determinação de quanto tempo deve-se irrigar, baseado em alguma fonte de dados seja ela conhecimento empírico, histórico de ET_0 , ou balanço hídrico diário.

Para determinar o tempo de irrigação deve-se conhecer a vazão do aspersor, o espaçamento entre aspersores e entre linhas laterais, que são dados do sistema, conhecidos pelos irrigantes. Com isso, calcula-se a intensidade de aplicação.

$$IA = \frac{q}{E_1 * E_2}$$

em que:

IA é a intensidade de aplicação (mm h^{-1});

q é a vazão do emissor ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$);

E_1 é o espaçamento entre aspersores;

E_2 é o espaçamento entre linhas laterais.

Conhecendo a lâmina bruta de irrigação a ser aplicada e a intensidade de aplicação (IA) se calcula o tempo em que os aspersores devem estar em funcionamento para fornecer a lâmina à cultura.

$$Ti = \frac{LBI}{IA}$$

em que:

Ti é o tempo de irrigação em horas;

LBI é a lâmina bruta de irrigação (mm).

3.6 Métodos de manejo da irrigação

Após selecionado e instalado o sistema de irrigação apropriado para cultura e condições locais, de clima e socioeconômicas, é necessário adotar uma metodologia para o manejo da irrigação capaz de indicar quando irrigar e quanto de água aplicar por operação.

Para responder à pergunta de quando irrigar deve-se considerar que o turno de rega pode ser prefixado ou variável (Embrapa, 2004). A estratégia desejável para melhorar a eficiência na utilização do recurso hídrico é a adoção de turno de rega variável, pois o solo é um reservatório limitado de água e a demanda de água pelas plantas (ETc) é variável ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura e em função das variações climáticas e da fase fenológica da planta.

Segundo Marouelli e Guimarães (2006) e o Manual de Manejo da Irrigação Embrapa (2011), o conhecimento antecipado da data das irrigações, predefinindo turnos de rega para cada estágio da cultura, possibilita que as práticas de tratos culturais e outras atividades possam ser planejadas. Sobretudo para produtores de olerícolas, batata, pimentão e tomate, é altamente desejável manejar a irrigação a partir de turnos de rega prefixados, visto que as irrigações e os tratos fitossanitários são relativamente frequentes. Turno de rega prefixado ocorre também quando o manejo de água for realizado com base em dados históricos de ETc.

Por outro lado, a adoção de um turno de rega muito pequeno pode trazer problemas fitossanitários à cultura e desenvolvimento superficial das raízes. Para à questão de quanto irrigar pode-se adotar dois procedimentos principais, um a partir da avaliação do teor de água no solo medindo a tensão do solo. E outro a partir da determinação da ETc, com base na atmosfera.

Para plantas em lavouras comerciais sensíveis ao estresse hídrico e de alto retorno econômico, acompanhar a necessidade diária de água com base na estimativa da ETc em tempo real, usando o procedimento Penman-Monteith-FAO (ALLEN et al., 1998), e medir com base no uso de sensores de umidade ou de tensão de água no solo compõem o método de manejo mais preciso e eficiente para determinar a demanda hídrica.

Na Tabela 5 encontra-se a precisão relativa dos principais métodos de manejo da irrigação aplicados comumente por produtores, onde o método de precisão 0 é o menos preciso e o método 6 é o mais preciso.

Tabela 5: Nível de precisão para diferentes sistemas de manejo.

Precisão	Método de manejo
0	Suposição
1	Tato e aparência
2	Calendário devido a histórico de Etc
3	Estado da água no solo
4	Estado da água no solo e evapotranspiração
5	Balanço hídrico diário
6	Balanço hídrico diário e medição da água no solo para ajuste do balanço hídrico

Fonte: Adaptado de Manual de Irrigação Embrapa, 2011.

O método do balanço hídrico diário na zona radicular consiste na realização de um controle diário da ETc, precipitação pluviométrica, lâmina de irrigação, ascensão capilar da água, além das perdas de água por percolação profunda e escoamento superficial, estimando o armazenamento do solo. A irrigação deve ser realizada em qualquer momento em que a disponibilidade de água no solo estiver reduzida a um valor mínimo, ou a umidade crítica que não prejudique o desempenho da cultura aplicando um turno de rega variável (Marouelli et. al. 2006).

Para irrigar no momento certo, é necessário o monitoramento contínuo, no local de cultivo, do teor de água ou da tensão no solo. Isso pode ser feito por meio de sensores que medem diretamente a tensão de água, como o tensiômetro. Ou a umidade do solo, como sensores do tipo capacitivo. Ou ainda medir a umidade por meio de amostragem de solo, como o método gravimétrico.

O método do tato e aparência, apesar de ser empírico, possibilita uma avaliação qualitativa da fração de água disponível no solo e dará uma ideia de solo seco, úmido ou molhado.

O método do calendário de irrigação consiste no manejo da água de irrigação por meio da adoção de turnos de rega prefixados, seja para cada estágio de desenvolvimento da cultura, seja para todo o ciclo de desenvolvimento da cultura. Prestabelecendo as lâminas de água a serem aplicadas com base em dados históricos de ETc. Esse método somente é recomendado quando não se dispõe de equipamentos que permitam o emprego de um método mais preciso (Manual de Irrigação Embrapa, 2011).

4 MATERIAL E MÉTODOS

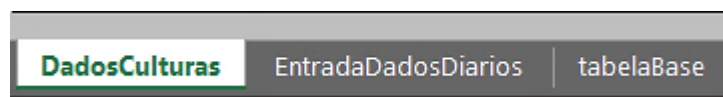
Utilizando a plataforma Excel® foram empregadas equações matemáticas e a programação Visual Basic for Applications (VBA) para desenvolver três abas de planilhas computacionais que a partir da inserção de observações meteorológicas diárias obtidas em estação convencional, calcula o balanço hídrico e indica a lâmina de irrigação considerando a eficiência de irrigação por aspersão como 80%. A variação de K_c conforme as fases da cultura, e os parâmetros de solo quanto a umidade na capacidade de campo, ponto de murcha e fator de depleção também são considerados.

O balanço hídrico é realizado tendo como método de estimativa da evapotranspiração a equação de Penman-Monteith-FAO, cujos dados de alimentação são os elementos meteorológicos obtidos em estação meteorológica convencional.

A planilha foi feita em três abas: DadosCulturas, EntradaDadosDiarios e tabelaBase, mostradas na Figura 7. DadosCulturas é onde se inserem os dados referentes à cultura que são: o nome da cultura a ser manejada, o coeficiente de depleção (p), o número de dias estimado até a floração, o número de fases para K_c da cultura, o número de dias por fase e a profundidade da raiz para cada fase.

Na aba EntradaDadosDiarios é onde se inserem os dados meteorológicos diários e se realiza o manejo em si. Em sua primeira etapa é criada a planilha para o projeto entrando o nome do projeto, selecionando a cultura e informando os dados do solo. A partir de então uma planilha de tabelaBase para a cultura é criada conforme os dados inseridos referentes ao manejo da irrigação, onde se calcula o balanço hídrico para retornar a lâmina de irrigação que deve ser fornecida à cultura. O valor da lâmina será mostrado na aba EntradaDadosDiarios.

Figura 7: Abas da planilha.



Fonte: da autora.

Para que a planilha opere de maneira correta deve ser habilitada a função de macros, pois sua criação foi feita utilizando a programação no software Excel. Para isso, basta que a planilha seja salva em “salvar como” e o tipo de arquivo deve ser “Pasta de Trabalho habilitada para macro do Excel”. Para acessar a programação é necessário que o programa Excel esteja configurado para desenvolvedor. A versão do programa Excel não pode ser inferior ao ano de 2003.

4.1 Evapotranspiração pelo método Penman-Monteith-FAO

Para estimar a evapotranspiração de referência utilizou-se o método de Penman-Monteith-FAO. Sua equação é dada por:

$$ET_0 = \frac{s}{s + \gamma^*} (Rn - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma \cdot 900}{(s + \gamma^*)(T + 273)} U_2 (es - ea)$$

em que:

ET_0 é a evapotranspiração de referência (mm d^{-1});

s é a declividade da curva de pressão de saturação do vapor d'água ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$);

γ^* é o coeficiente psicrométrico modificado ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$);

Rn é o saldo de radiação (Mj kg^{-1});

G é o Fluxo de calor no solo, que em escala diária é considerado 0 ($\text{Mj m}^{-2}\text{d}^{-1}$);

λ é o calor latente de evaporação (Mj kg^{-1});

γ é o coeficiente psicrométrico ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$);

T é a Temperatura média diária do ar ($^\circ\text{C}$);

U_2 é a velocidade do vento para nível de 2 metros (m s^{-1});

ea é a pressão atual de vapor d'água (kPa);

es é a pressão de saturação do vapor d'água (kPa).

Para estimar o valor de ET_0 , é necessário informar a data, a latitude local em graus e os dados meteorológicos médios diários: temperaturas máxima, mínima e média ponderada diária, umidade relativa, pressão atmosférica, a velocidade do vento, insolação e chuva, que são preenchidos nas colunas da tabela Base dispostas nas colunas da Figura 8. Esses dados serão digitados na aba EntradaDadosDiarios.

Figura 8: Dados para cálculo da ET_0 .

Dias	Data	Dia Juliano	lat(grau)	lat(rad)	Tx	Tn	UR	T	Pmb	V	Z	n
1		0,00		0,0000				0				

Fonte: da autora.

Os resultados são calculados passo a passo conforme as variáveis necessárias para chegar a ET_0 . A primeira variável calculada é o calor latente de evaporação, λ , por meio da fórmula:

$$\lambda = 2,501 - 0,002361 T [\text{Mj kg}^{-1}]$$

Seguido do cálculo da pressão de saturação do vapor d'água, e_s , usando a fórmula:

$$e_s = 0,6108 \times 10^{\left(\frac{7,5T}{(237,3+T)}\right)} \text{ [kPa]}$$

A partir do cálculo da e_s , a próxima variável é a declividade da curva de pressão de saturação do vapor d'água, s :

$$s = \frac{4098 e_s}{(T + 237,3)^2} \text{ [kPa } ^\circ\text{C}^{-1}\text{]}$$

Utilizando o calor latente calculado e a pressão atmosférica em kPa, calcula-se o coeficiente psicrométrico, γ :

$$\gamma = 0,0016286 \frac{P}{\lambda} \text{ [kPa } ^\circ\text{C}^{-1}\text{]}$$

Em seguida, considerando a altura de medida da velocidade dos ventos como Z metros o valor de velocidade do vento deve ser corrigido para altura de 2 metros, U_2 , conforme a fórmula:

$$U_2 = U_z \left(4,868 \left(\ln(67,75Z - 5,42)\right)^{-1}\right) \text{ [m s}^{-1}\text{]}$$

A partir da velocidade do vento a 2 metros e do coeficiente psicrométrico previamente calculado, é possível calcular o coeficiente psicrométrico modificado, γ^* :

$$\gamma^* = \gamma(1 + 0,33U_2) \text{ [kPa } ^\circ\text{C}^{-1}\text{]}$$

A pressão atual de vapor d'água é calculada a partir da umidade relativa fornecida e da pressão de saturação previamente calculada:

$$e_a = \frac{e_s UR}{100} \text{ [kPa]}$$

O próximo passo é calcular a declinação solar utilizando o dia juliano, δ :

$$\delta = 0,4093 \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{365}J - 1,405\right) \text{ [radianos]}$$

A partir da declinação solar se calcula o ângulo horário de nascer ou pôr do sol, ω_s :

$$\omega_s = \arccos(-\tan\phi \tan\delta) \text{ [radianos]}$$

onde ϕ é a latitude local em radianos.

A partir do dia juliano também é calculado a distância relativa entre Terra e Sol, dr :

$$dr = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365}J\right)$$

A partir do ângulo horário de nascer ou pôr do sol, é então calculada a duração do dia em horas:

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \text{ [horas]}$$

Então pode-se calcular o balanço de radiação, iniciado pela radiação no topo da atmosfera ou na ausência da atmosfera, R_a :

$$R_a = 37,586 \, dr (\omega_s \sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \sin\omega_s) \text{ [Mj m}^{-2}\text{d}^{-1}\text{]}$$

A partir de R_a e da insolação informada nos dados de entrada, é calculada a radiação solar incidente à superfície de cultivo, R_s :

$$R_s = \left(0,25 + 0,50 \frac{n}{N}\right) R_a \text{ [Mj m}^{-2}\text{d}^{-1}\text{]}$$

em que n é a insolação diária em horas.

Em seguida calcula-se o saldo de ondas curtas, R_{ns} :

$$R_{ns} = (1 - r) R_s \text{ [Mj m}^{-2}\text{d}^{-1}\text{]}$$

em que r é o albedo ou índice de refletividade da cultura hipotética, ou cultura de referência.

O saldo de ondas longas, R_{nl} :

$$R_{nl} = -\left(0,9 \frac{n}{N} + 0,1\right) (0,34 - 0,14\sqrt{ea}) 4,903 \times 10^{-9} (T_x^4 + T_n^4) \frac{1}{2} \text{ [Mj m}^{-2}\text{d}^{-1}\text{]}$$

em que $4,903 \times 10^{-9}$ é a constante de Stefan – Boltzmann em $[\text{Mj m}^2 \text{d}^{-1} \text{K}^{-4}]$

Por fim, o balanço de radiação diário será:

$$R_n = R_{ns} + R_{nl} \text{ [Mj m}^{-2}\text{d}^{-1}\text{]}$$

O fluxo de calor, G , na escala diária é considerado 0, chegando ao cálculo da ET_0 , conforme mostrado nas colunas da Figura 9.

Figura 9: Colunas sequenciais de cálculos para obter a ET_0 .

λ	es	s	Patm(kpa)	γ	U2	γ^*	ea	Rad (δ)	Rad (Ws)	dr	R_a	N	R_s	R_{ns}	R_{nl}	R_n	G	ET_0
2,501	0,6108	0,04	0	0	#NÚM!	#NÚM!	0	-0,40369	1,570796	1,0330	35,71		#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	0	

Fonte: da autora.

Após o cálculo da ET_0 , o valor de K_c configurado na aba DadosCulturas é interpolado para cada dia do ciclo da cultura, que multiplicado pela ET_0 estima a ET_c . A partir de então é efetuado o balanço hídrico.

Quando o balanço hídrico alcança o valor de 1 mm ou inferior é recomendada a irrigação para reabastecer todo o armazenamento. A partir do valor de lâmina calculado, considerando a eficiência de irrigação como 80% tem-se o valor de lâmina bruta de irrigação. Digitando a vazão do aspersor, o espaçamento entre aspersores e espaçamento entre linhas laterais a planilha calcula a intensidade de aplicação. Com a lâmina bruta de irrigação e a intensidade de aplicação, se calcula o tempo de irrigação em que os aspersores devem estar em funcionamento. Nesse tempo não é considerado o tempo de montagem do sistema.

4.2 Estrutura de programação VBA

Habilitando a opção de desenvolvedor no Excel® é possível trabalhar com Macros, que são sub-rotinas capazes de executar tarefas pré-programadas, por meio de programação VBA. Para criar a planilha que será utilizada no manejo deve ser digitado o nome do projeto, selecionada a cultura no *ComboBox*, digitada a umidade da capacidade de campo e ponto de murcha do solo e clicar em CRIAR PLANILHA, mostrado na Figura 10.

Figura 10: Criação da planilha de cálculos.

A interface de usuário do software 'MANEJO DE IRRIGAÇÃO POR PLANILHAS' apresenta os seguintes elementos:

- Logos de DEEA (Engenharia Agrícola) e UFPA (Universidade Federal de Lavras) no topo.
- Formulário de entrada com os seguintes campos:
 - Nome do projeto: teste
 - Cultura: Fellao
 - Dados do Solo: cc 0,32 e pmp 0,17
- Botão 'CRIAR PLANILHA' destacado com um retângulo vermelho.

Fonte: da autora.

O botão criar planilha foi adicionado no grupo de controles, ActiveX, botão de comando. E sua atuação foi configurada em formatar controle, rodando o comando do código de *CreateSheet* mostrado na Figura 11 para criar a planilha de cálculos.

A programação cria uma cópia da tabelaBase com os dados de solo e cultura selecionados, combinando o nome do projeto e da cultura selecionada. A programação confere se o nome de projeto está em branco e se o projeto está duplicado, sendo falsos se cria uma cópia para a tabela de cálculo, sendo verdadeiro apresentará uma mensagem de erro.

As fases fenológicas da cultura a ser manejada variam de 1 a n. Essas fases definirão o comportamento do K_c . Este por sua vez é calculado por interpolação dos valores atribuídos a

cada fase, que foram definidas na aba DadosCulturas. Com o uso do comando *offset* é aplicado a interpolação e retornado os valores.

Para definir o valor de K_c de uma fase qualquer, temos que o K_{cX} (K_c a ser definido) equivale a diferença entre o K_{cn} (K_c do último dia da fase) e o K_{c1} (K_c do primeiro dia da fase) dividido pela quantidade de dias da fase, este resultado é acrescido do K_{cX-1} (K_c do dia anterior). Esse procedimento de cálculo compreende a interpolação e foi aplicado à programação garantindo o aumento ou a diminuição do K_c ao longo da fase.

Figura 11: Comando de programação para criar a planilha de cálculos.

```

sbCreateSheet()
Application.ScreenUpdating = False
Dim blSheetExists As Boolean
Dim stSheetName, stCultura As String

stCultura = Sheets("EntradaDadosDiarios").ComboBox1.Value

If InStr(Range("C3").Value, " ") = 0 And Len(Range("C3").Value) > 0 Then
    stSheetName = Range("C3").Value & "_" & stCultura nome do projeto _ cultura

    blSheetExists = False
    For i = 1 To Worksheets.Count
        If Worksheets(i).Name = stSheetName Then
            blSheetExists = True
        End If
    Next i

    If blSheetExists = False Then
        Sheets("tabelaBase").Visible = True
        Sheets("tabelaBase").Copy after:=Sheets("EntradaDadosDiarios")
        Sheets("tabelaBase").Visible = False
        ActiveSheet.Name = stSheetName

        Dim culturaCell As Range
        Dim fasesCell As Range
        With Sheets("DadosCulturas") 'Inicia a construção da nova planilha baseado na cultura selecionada
            Set culturaCell = .Cells.Find(what:=stCultura)
            Dim nFases As Integer

```

Fonte: da autora.

Abastece-se a entrada de dados meteorológicos diários que calcularão a ET_0 digitando na aba EntradaDadosDiarios. Na programação, o comando *range* copia e entrega os dados digitados nas células da planilha EntradaDadosDiarios para aba criada do projeto, onde serão realizados os cálculos. Esse comando, como mostrado na Figura 12, é efetivado para cada dado digitado. Os valores copiados ao serem inseridos abastecem as fórmulas do método Penman-Monteith-FAO dispostas em colunas, calculando o resultado automaticamente.

Figura 12: Exemplo da linha de programação para entrada de dados diários.

```
'Data
Sheets(stSheetName).Range("B" & intNextRow).Value = .Range("C9").Value
.Range("F9").Value = .Range("C9").Value
.Range("C9").Value = ""
```

Fonte: da autora.

Após entregar os valores para a tabelaBase do projeto, o comando irá zerar as células de entrada diária para que novos dados sejam inseridos pelo usuário. Foram adicionadas opções para tornar a operação da planilha amigável, como o impedimento da entrada de dados com dados faltantes, mostrando um aviso para que sejam digitados todos os campos, exemplificado na Figura 13. Valores com o número 0 (zero) são aceitos e devem ser digitados.

Figura 13: Entrada de todos os dados é obrigatória.

The screenshot displays the 'MANEJO DE IRRIGAÇÃO POR PLANILHAS' interface. At the top, it shows the project name 'teste' and culture 'Feijao'. Below this, there are input fields for 'Lâmina de Irrigação Inicial' and 'Irigar Lâmina', both set to 0,0 mm. A 'Dia #' field is set to 0, and 'Dias para Floração' is set to 45. The main section is titled 'Dados de Entrada Diários' and contains a table with the following data:

Dados de Entrada Diários	
Data dia/mês/ano	01/04/2019
Latitude local em graus	-17,2
Temperatura máxima (°C)	30,9
Temperatura mínima (°C)	18,8
Temperatura média ponderada (°C)	24,9
Umidade Relativa %	
Pressão Atmosférica (hPa)	935,3
Velocidade do vento (m/s)	1,7
Insolação (h)	10
Chuva (mm)	0

To the right of the table, there is a section for 'Último dado adicionado' with a list of fields: Data, Latitude, Temperatura, Umidade, Pressão, Velocidade do vento, Insolação, and Chuva. A red box highlights the 'Umidade Relativa %' field in the table, and a red arrow points from it to a 'Microsoft Excel' dialog box that says 'Digite todos os campos!' (Enter all fields!).

Fonte: da autora.

Ao serem inseridos os primeiros dados, do primeiro dia do ciclo após a emergência da cultura, será indicada uma irrigação inicial abastecendo o armazenamento do solo após o plantio.

O contador de dias será iniciado, contando os dias corridos adicionados e quantos dias faltam para a floração estimada, que foi informada para a cultura na aba DadosCulturas. Após

a data estimada de floração o contador apresentará valores negativos, que significam dias corridos após a floração.

Para apresentação da resposta quanto a lâmina de irrigação, a programação devolve o valor calculado pelo balanço hídrico na tabelaBase do projeto. Aumentando o valor do balanço hídrico calculado em 25%, considerando a eficiência de irrigação como 80%.

Figura 14: Programação de retorno do valor da irrigação.

```
'Indica a irrigação necessária para o dia
.Range("D21").Value = Sheets(stSheetName).Range("AR" & intNextRow).Value / 0.8
'Irrigacao Inicial RAW
If intNextRow = 4 Then
    .Range("D20").Value = Sheets(stSheetName).Range("AP" & intNextRow).Value / 0.8
Else
    .Range("D20").Value = 0
End If
```

Fonte: da autora.

A resposta é mostrada na aba EntradaDadosDiarios sendo dividida entre a irrigação inicial e irrigar, como mostrado na Figura 13, que são recomendações de irrigação posteriores fornecidas em mm.

4.3 Histórico e travamento contra edição

Para garantir o correto funcionamento da planilha evitando que o usuário digite em células impróprias e invalide as equações, tornando o cálculo incoerente, a planilha apresenta suas células bloqueadas, exceto células de entrada de dados. A função do Excel em revisão, “proteger planilha” permite o travamento contra edição. A senha utilizada foi “password123”. Desta forma, pode-se desproteger a edição caso o usuário queira fazer alguma alteração. Toda vez que algum dado for adicionado à planilha rodando uma macro, como registrar cultura ou entrada de dados diários, a programação ativa automaticamente o comando de travamento contra edição, bloqueando as células novamente.

Para acompanhar o lançamento de dados diários e permitir a consulta da lâmina diária de irrigação foi adicionada a função histórico. Ao clicar em histórico, o programa cria um arquivo PDF que informa os dados digitados na entrada, o valor da ET_0 , o K_c , a ET_c e o saldo negativo atual do solo, fornecido como Irrigação Diária, sendo esse o valor necessário para reabastecer todo o armazenamento de água do solo para aquele dia. Sendo uma funcionalidade útil caso o turno de rega adotado seja 1 dia. Neste caso, o irrigante poderá inserir a lâmina aplicada

diariamente como “chuva”, na entrada de dados diários, mantendo o cálculo do balanço hídrico corretamente. O histórico foi criado na programação pela função *SaveHist*.

4.4 Cálculo do balanço hídrico

O balanço hídrico considerado é o somatório das entradas e saídas de água do solo diariamente. A planilha, a partir do parâmetro estimado de ET_c , acumula-o negativamente subtraindo do armazenamento a retirada de água pela cultura.

Com as umidades do solo, a profundidade de raiz e o coeficiente de depleção obtém-se a água disponível real, de onde o saldo negativo de ET_c é subtraído.

Segundo os autores Molinari e Vieira (2004), a taxa de infiltração de água no solo após 15 minutos foi de 70% e após 30 minutos foi de 50%. Para este trabalho arbitrou-se que o valor da lâmina infiltrada da chuva é de 80% do valor da chuva total. Esse saldo é adicionado positivamente ao saldo geral, contribuindo para o armazenamento.

O balanço hídrico foi resultante da condicional que limita o valor máximo de armazenamento ao valor da água disponível real. Quando o balanço hídrico alcança um valor superior a capacidade de água real do solo, ele é retornado ao valor máximo, reabastecendo toda a água disponível no armazenamento do solo.

Quando o saldo hídrico se encontra em valores inferiores a água disponível real, ele acumula valores negativos subtraindo a ET_c do saldo hídrico do solo diariamente, até que o resultado chegue a 1 mm (ou menos) de armazenamento, quando é recomendada a irrigação.

A irrigação fornecerá o valor de lâmina para reabastecer toda a capacidade de armazenamento, considerando o valor negativo da ET_c do dia de recomendação da irrigação.

O armazenamento será:

$$ARM = ADR + (0,8 * P) + I - ET_c$$

em que:

AMR é o armazenamento de água do solo, acumulado no dia;

ADR é a água disponível real do solo;

P é a chuva total;

I é a irrigação;

ET_c é a evapotranspiração da cultura.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A planilha desenvolvida é o principal resultado desse trabalho. A ferramenta realiza o manejo de irrigação estimando o valor da lâmina bruta de irrigação automaticamente, baseado no sistema de irrigação por aspersão convencional, informando também o tempo de funcionamento dos aspersores para aplicação da lâmina, pelo manejo por balanço hídrico diário.

Figura 15: Abas para manejo de irrigação por planilhas.



Fonte: da autora.

Na Figura 15 encontra-se a aba de registro de culturas, usada para adicionar culturas para as quais se deseja realizar o manejo da irrigação, seguida das abas de entrada de dados e tabela de cálculos. Na Figura 16 está a aba EntradaDadosDiarios, onde são informados os dados obtidos de estação meteorológica convencional diariamente. Abaixo do botão “inserir dados” estão as recomendações de irrigação inicial e recomendações de irrigação posteriores, onde é informada a lâmina a ser aplicada. Dia # informa o número de dias inseridos, contabilizando os dias corridos do ciclo da cultura. Dias para a floração informa os dias que faltam para que ocorra a floração prevista na aba de dados das culturas.

A parte de aspersão convencional informa o tempo de irrigação inicial e os tempos de irrigação recomendados posteriormente. Em Dados do sistema é possível digitar a vazão dos emissores e os espaçamentos.

Figura 16: Aba EntradaDadosDiarios.

DEA Engenharia Agrícola

MANEJO DE IRRIGAÇÃO POR PLANILHAS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

Nome do projeto: _____

Cultura:

Dados do Solo: _____

Theta cc: _____

Theta pmp: _____

CRIAR PLANILHA

Dados de Entrada Diários				Último dado adicionado			
Data dia/mês/ano				Data			
Latitude local em graus				Latitude local em graus			
Temperatura máxima (°C)				Temperatura máxima			
Temperatura mínima (°C)				Temperatura mínima			
Temperatura média ponderada (°C)				Temperatura média ponderada			
Umidade Relativa %				Umidade Relativa			
Pressão Atmosférica (hPa)				Pressão Atmosférica			
Velocidade do vento (m/s)				Velocidade do vento			
Insolação (h)				Insolação			
Chuva (mm)				Chuva			

INSERIR DADOS

Lâmina de Irrigação Inicial: mm

Irigar Lâmina: mm

Para saldo de irrigação diária consulte o histórico

HISTÓRICO

Dia #: #REF!

Dias para Floração: #REF!

Aspersão Convencional		Dados do sistema	
Primeiro tempo de irrigação (minutos)	<input type="text" value="0"/>	Vazão do emissor (m³/h)	<input type="text" value="4,33"/>
Tempo de irrigação (minutos)	<input type="text" value="0"/>	Espaçamento (m x m)	<input type="text" value="18"/> <input type="text" value="24"/>
		Intensidade de aplicação (mm/h)	<input type="text" value="10,0"/>

Fonte: da autora.

A ET₀ calculada na tabela base fica disponível para consulta no histórico gerado em arquivo PDF. O Kc pode ser manipulado de acordo com a entrada de fases cadastrada na aba DadosCulturas, permitindo diferentes ajustes para diferentes culturas.

Figura 17: Histórico de dados e irrigação diária.

DEA Engenharia Agrícola

MANEJO DE IRRIGAÇÃO POR PLANILHAS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

Nome do projeto: _____

Cultura: Feijao

Dados do Solo: _____

Theta cc: 0,32

Theta pmp: 0,15

Dias	Data	lat(grau)	T. max	T. min	UR	T. med	P. mbar	Vel.	Ins.	N	Et0	Kc	Etc	P(mm)	Irrigação Diária
1	1/4/19	-17,24	31,3	18,8	67,5	25,05	935,3	1,7	10	11,84	4,6	0,15	0,7	0,0	0,9
2	2/4/19	-17,24	30,9	19,6	70,5	25,25	934,9	2,7	8,5	11,83	4,5	0,27	1,2	0,0	2,4
3	3/4/19	-17,24	32,1	19,6	75,5	25,85	934	1,7	6,3	11,81	3,8	0,39	1,5	0,0	4,3
4	4/4/19	-17,24	31,1	21	71,75	26,05	932,5	1,7	7,3	11,79	4,1	0,51	2,1	0,0	6,9
5	5/4/19	-17,24	27,4	21,2	71,75	24,3	934,5	3,3	5,8	11,78	3,9	0,64	2,5	0,0	0,0
6	6/4/19	-17,24	28,4	20,6	88,25	24,5	936,3	1,7	3,2	11,76	2,7	0,76	2,0	0,0	2,5

Fonte: da autora.

Silva et. al. (2013) mostra a possibilidade de utilizar planilhas eletrônicas para diferente parâmetros e metodologias de cálculo no manejo de irrigação. No entanto, sua planilha não é disponibilizada para utilização. A Embrapa em seu sistema de documentos para cultivo de

frutíferas disponibiliza planilhas de cálculo para ET_0 e ET_c , no entanto elas devem ser abastecidas e calculadas manualmente, bem como interpretadas, sem fornecer um resultado automático mediante a entrada de dados.

Neste trabalho a planilha se encontra disponível no link abaixo, juntamente com o tutorial para instrução de como utilizá-la corretamente.

<<https://drive.google.com/drive/folders/15X8iAaqqUTiisop8lv7iogAhGK2wIPyA?usp=sharing>>.

Qualquer pessoa com acesso a esse endereço pode realizar o *download* para a utilização.

As respostas geradas para o usuário são automáticas, fornecendo a lâmina de irrigação, o histórico de dados auxiliando na tomada de decisão quanto à irrigação.

Neste link também se encontra um tutorial de como utilizar a planilha, para tornar a experiência simples ao usuário.

5.1 Simulação da utilização

A simulação da utilização da planilha foi realizada com dados da estação convencional instalada em Paracatu, Minas Gerais, simulando o manejo de feijão irrigado para um ciclo de 90 dias.

Para comparação dos resultados obtidos a mesma simulação foi realizada na plataforma SISDAGRO do INMET, disponível no sítio:

<<http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/monitoramento/bhcirrigado>>.

Os dados da estação foram obtidos pela plataforma de dados históricos BDMEP, sendo:

Estação: PARACATU - MG (OMM: 83479)

Latitude (graus): -17.24

Longitude (graus): -46.88

Altitude (metros): 712.00

Estação Operante

Início de operação: 13/05/1918

Período solicitado dos dados: 01/04/2019 a 30/06/2019

Dados baixados de BDMEP <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Dados Históricos, 2019).

O parâmetro de solo utilizado foi de acordo com Oliveira Rosa (2016), onde se caracterizou o solo de Paracatu como Latossolo Amarelo Distrófico com textura argilosa, classe textural argilosa. Portanto, segundo Ball (2001) assume-se os valores de umidade na capacidade de campo de $0,32 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e ponto de murcha de $0,15 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. A Tabela 6 indica os dados fornecidos pelo BDMEP.

Tabela 6: Dados coletados na estação convencional de Paracatu MG.

Data	Latitude (graus)	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Temp. média ponderada (°C)	Umidade Relativa Média (%)	Pressão Atm. (hPa)	Velocidade do Vento Média (m/s)	Insolação (horas)	Precipitação (mm)
01/04/2019	-17,2	30,9	18,8	24,9	67,5	935,3	1,7	10,0	0,0
02/04/2019	-17,2	31,3	19,6	25,0	70,5	934,9	2,7	8,5	0,0
03/04/2019	-17,2	30,9	19,6	25,8	75,5	934,0	1,7	6,3	0,0
04/04/2019	-17,2	32,1	21,0	26,0	71,8	932,5	1,7	7,3	0,0
05/04/2019	-17,2	31,1	21,2	25,8	71,8	934,5	3,3	5,8	0,0
06/04/2019	-17,2	27,4	20,6	23,0	88,3	936,3	1,7	3,2	0,0
07/04/2019	-17,2	28,4	19,4	24,0	82,0	936,6	2,3	2,7	2,6
08/04/2019	-17,2	25,2	20,2	22,6	87,3	936,0	1,7	0,9	0,0
09/04/2019	-17,2	30,3	19,2	23,6	82,0	935,1	1,7	6,2	3,6
10/04/2019	-17,2	30,3	14,8	23,7	75,3	934,3	0,7	7,8	11,0
11/04/2019	-17,2	29,2	20,2	24,3	85,0	936,0	1,3	6,2	0,8
12/04/2019	-17,2	30,2	21,0	24,3	90,5	935,4	1,7	2,2	2,0
13/04/2019	-17,2	29,2	20,8	23,7	89,0	935,5	1,7	1,3	4,0
14/04/2019	-17,2	26,0	20,0	22,7	92,5	935,5	3,7	1,0	30,2
15/04/2019	-17,2	28,4	20,2	24,0	86,0	936,4	1,7	1,4	0,6
16/04/2019	-17,2	29,6	19,8	24,0	77,5	937,0	2,0	5,8	0,0
17/04/2019	-17,2	29,4	20,4	23,5	93,0	934,7	1,7	3,2	2,8
18/04/2019	-17,2	31,9	18,8	24,0	73,8	934,6	2,0	10,0	14,2
19/04/2019	-17,2	31,5	19,2	25,3	70,3	935,0	2,3	9,9	2,8
20/04/2019	-17,2	32,5	18,8	25,4	69,0	935,1	1,0	10,4	0,0
21/04/2019	-17,2	31,5	18,8	24,8	68,5	934,3	1,3	10,4	0,0
22/04/2019	-17,2	30,9	18,8	25,1	73,8	934,4	1,3	9,8	0,0
23/04/2019	-17,2	30,9	20,0	24,7	76,5	937,3	1,7	7,0	0,0
24/04/2019	-17,2	29,8	20,4	24,6	69,0	938,7	3,3	9,7	0,0
25/04/2019	-17,2	29,6	19,4	24,1	72,0	938,1	3,0	9,7	0,0
26/04/2019	-17,2	30,0	18,6	24,1	69,3	938,0	2,7	10,2	0,0
27/04/2019	-17,2	30,0	19,2	24,3	74,5	937,3	3,0	9,6	0,0
28/04/2019	-17,2	31,9	18,4	25,3	70,3	935,9	0,3	10,3	0,0
29/04/2019	-17,2	30,7	20,2	25,1	67,3	934,0	2,3	8,1	0,0
30/04/2019	-17,2	30,7	18,4	24,5	73,8	936,5	1,3	9,3	0,0
01/05/2019	-17,2	30,9	18,8	24,9	72,5	936,2	3,0	9,2	0,0
02/05/2019	-17,2	29,8	20,8	24,5	80,5	934,9	2,3	4,8	0,0
03/05/2019	-17,2	29,0	20,0	23,8	82,3	936,6	3,0	4,9	9,6
04/05/2019	-17,2	29,8	19,8	23,3	83,5	937,9	2,0	3,7	0,0
05/05/2019	-17,2	28,8	19,8	23,7	79,3	938,0	2,3	4,3	0,0
06/05/2019	-17,2	30,2	18,0	24,0	68,5	938,4	2,0	9,7	0,0
07/05/2019	-17,2	30,7	18,8	24,9	71,5	936,0	1,3	9,5	0,0
08/05/2019	-17,2	30,9	20,0	25,0	66,8	936,2	0,7	9,5	0,0
09/05/2019	-17,2	30,0	19,4	24,1	74,8	936,6	2,7	8,7	0,0
10/05/2019	-17,2	30,0	19,0	24,0	70,0	935,1	2,7	9,1	0,0
11/05/2019	-17,2	29,8	18,4	23,8	79,3	935,5	3,3	9,9	0,0

12/05/2019	-17,2	30,2	18,6	24,2	72,3	937,5	1,7	9,0	0,0
13/05/2019	-17,2	31,3	17,8	24,3	69,5	937,4	1,7	9,8	0,0
14/05/2019	-17,2	31,7	18,4	24,7	69,5	937,0	0,3	9,9	0,0
15/05/2019	-17,2	30,2	19,6	23,1	81,8	935,1	2,3	7,3	0,0
16/05/2019	-17,2	21,8	18,0	20,0	91,0	935,5	1,3	0,0	5,6
17/05/2019	-17,2	21,8	17,2	19,0	90,0	937,3	3,3	0,4	57,6
18/05/2019	-17,2	22,6	15,8	18,8	89,0	937,5	1,0	2,0	9,4
19/05/2019	-17,2	28,8	14,6	21,1	86,3	936,9	2,0	9,6	0,0
20/05/2019	-17,2	30,0	14,8	22,1	75,5	936,9	0,3	9,8	0,0
21/05/2019	-17,2	30,2	16,2	23,2	64,0	936,4	2,0	9,8	0,0
22/05/2019	-17,2	30,2	18,2	23,5	66,5	937,0	1,3	9,7	0,0
23/05/2019	-17,2	30,3	17,2	23,4	69,3	936,3	1,3	10,0	0,0
24/05/2019	-17,2	30,9	18,8	23,4	63,3	935,4	2,0	6,4	0,0
25/05/2019	-17,2	28,0	16,2	21,7	75,8	935,8	2,7	7,7	0,0
26/05/2019	-17,2	29,2	16,4	22,5	71,0	936,6	1,7	9,5	0,0
27/05/2019	-17,2	29,8	16,6	23,4	66,8	937,8	1,3	9,6	0,0
28/05/2019	-17,2	30,0	16,6	23,0	72,3	936,7	2,0	9,0	0,0
29/05/2019	-17,2	30,3	16,4	23,1	69,0	937,9	2,3	9,8	0,0
30/05/2019	-17,2	29,6	18,2	23,4	69,8	937,1	2,0	9,5	0,0
31/05/2019	-17,2	30,5	16,8	23,2	60,0	936,1	3,0	9,5	0,0
01/06/2019	-17,2	30,5	16,4	23,3	65,8	935,4	2,4	8,7	0,0
02/06/2019	-17,2	30,5	17,6	23,4	69,8	936,0	1,7	8,3	0,0
03/06/2019	-17,2	29,8	17,4	23,2	67,5	938,0	2,4	7,7	0,0
04/06/2019	-17,2	27,6	17,2	21,5	68,5	933,1	3,1	8,9	0,0
05/06/2019	-17,2	26,4	13,2	19,2	63,0	941,1	2,7	9,6	0,0
06/06/2019	-17,2	25,6	13,6	19,2	74,8	941,0	2,4	9,7	0,0
07/06/2019	-17,2	25,8	12,4	20,6	62,0	940,4	2,4	7,5	0,0
08/06/2019	-17,2	26,8	13,4	19,5	66,0	939,9	2,1	9,2	0,0
09/06/2019	-17,2	27,2*	13,8	19,4*	69,2	940,4	0,3	9,2	0,0
10/06/2019	-17,2	27,4	13,8	19,9	72,3	941,5	2,4	9,2	0,0
11/06/2019	-17,2	27,6	13,2	20,2	69,8	940,7	2,4	9,8	0,0
12/06/2019	-17,2	27,8	15,0	21,8	71,5	942,2	2,7	9,4	0,0
13/06/2019	-17,2	28,0	17,8	21,9	69,0	940,6	4,1	9,6	0,0
14/06/2019	-17,2	28,6	17,4	21,6	68,8	942,3	2,7	7,2	0,0
15/06/2019	-17,2	28,4	15,8	21,2	68,5	941,0	3,4	9,7	0,0
16/06/2019	-17,2	26,8	16,0	20,1	70,5	942,0	2,4	7,8	0,0
17/06/2019	-17,2	27,4	15,0	20,3	65,8	940,8	1,7	9,3	0,0
18/06/2019	-17,2	28,6	14,0	21,0	63,3	938,6	3,1	9,6	0,0
19/06/2019	-17,2	29,8	15,2	22,2	65,3	940,0	2,4	9,8	0,0
20/06/2019	-17,2	28,8	15,6	21,2	63,3	940,4	2,7	9,7	0,0
21/06/2019	-17,2	27,8	15,8	20,4	65,3	942,3	3,1	9,8	0,0
22/06/2019	-17,2	26,8	13,6	20,2	67,5	943,9	5,1	9,8	0,0
23/06/2019	-17,2	27,2	13,2	20,0	68,0	942,2	2,1	9,9	0,0
24/06/2019	-17,2	28,2	14,0	20,9	70,8	939,1	3,1	10,0	0,0
25/06/2019	-17,2	28,6	15,8	22,2	65,5	936,3	3,1	5,1	0,0
26/06/2019	-17,2	29,8	18,8	23,2	59,3	937,5	3,4	9,3	0,0

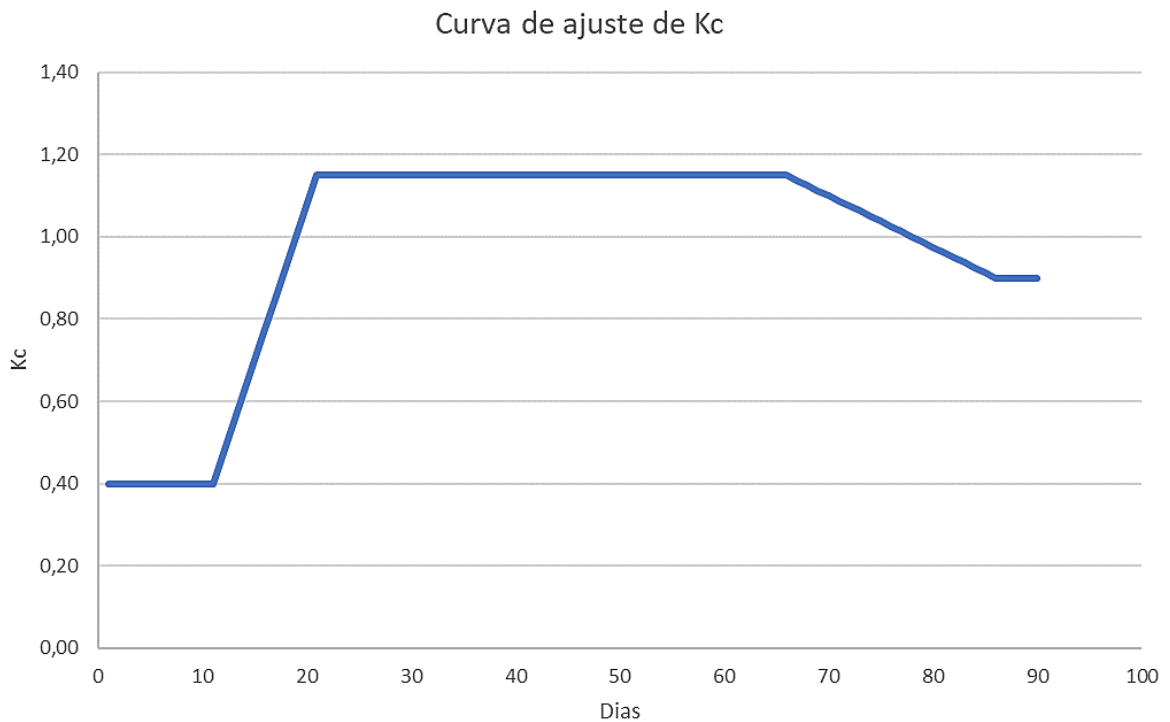
27/06/2019	-17,2	29,8	15,8	22,0	63,5	939,2	2,4	9,5	0,0
28/06/2019	-17,2	28,6	16,6	21,8	57,3	940,0	2,7	9,5	0,0
29/06/2019	-17,2	27,2	15,4	20,6	71,3	939,8	2,7	8,3	0,0
30/06/2019	-17,2	27,6	14,2	20,5	67,3	939,9	3,4	9,7	0,0

Fonte: Adaptado de BDMEP INMET, 2019.

*Dados inexistentes, preenchidos por interpolação.

O ajuste de Kc utilizado foi a interpolação entre os valores de Kc inicial 0,4 por 20 dias, o Kc médio de 1,15 por 45 dias, e o Kc final de 0,9 por 25 dias, conforme recomendado para o feijão pela Tabela 1, chegando ao ajuste do gráfico da Figura 18.

Figura 18: Ajuste de Kc usado pela planilha de manejo de irrigação.



Fonte: da autora.

As recomendações de irrigação feitas pela planilha se encontram na Tabela 7. O tempo de irrigação está exposto em minutos e foi calculado usando um emissor de $4,33 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ e espaçamentos de 18 m e 24 m. Esses valores foram adotados aleatoriamente somente para verificar o funcionamento do programa.

A proposta elaborada no projeto de simulação da utilização da planilha indica irrigar 27,0mm a cada 8 dias, em média.

Tabela 7: Recomendações de irrigação pela planilha de manejo de irrigação.

Data	Dia do ciclo	Lâmina recomendada (mm)	Tempo de irrigação (min)
05/04/2019	5	11,3	68
22/04/2019	22	30,0	180
27/04/2019	27	30,0	180
05/05/2019	35	30,0	180
11/05/2019	41	32,5	195
24/05/2019	54	30,0	180
30/05/2019	60	30,0	180
05/06/2019	66	38,8	232
15/06/2019	76	41,3	247

Fonte: da autora.

Para o mesmo período, cultura e estação meteorológica foi realizada a simulação de irrigação na plataforma SISDAGRO, disponível no site do INMET. Os resultados obtidos se encontram nas Figuras 19, 20 e 21.

As irrigações recomendadas se encontram compiladas na Tabela 8.

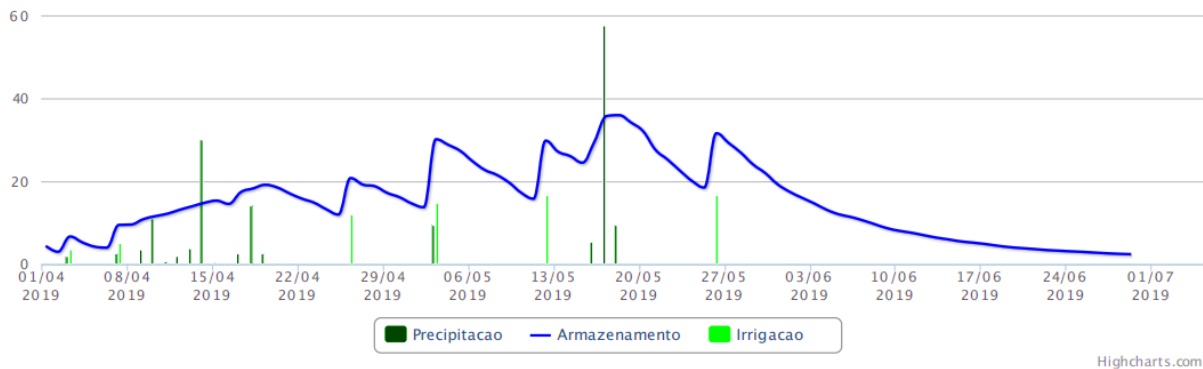
Tabela 8: Recomendações de irrigação sistema SISDAGRO.

Data	Dia do ciclo	Lâmina Recomendada (mm)
03/04/2019	3	3,74
07/04/2019	7	5,01
26/04/2019	26	11,94
03/05/2019	33	14,89
12/05/2019	42	16,82
26/05/2019	56	16,85

Fonte: Adaptado de SISDAGRO, 2019.

A proposta de irrigação do sistema SISDAGRO recomenda irrigar 11,54 mm a cada 9 dias, em média.

Figura 19: Gráfico de armazenamento e irrigação fornecido pelo sistema SISDAGRO.



Fonte: SISDAGRO, 2019.

A água disponível real máxima calculada pela planilha foi de 38,3mm, já pelo sistema SISDAGRO a água disponível real, indicada como CAD Final, foi de 38,4mm como mostrado na Figura 20.

O ajuste de Kc foi próprio do sistema SISDAGRO, considerando o Kc máximo de 1,05 por 14 dias, apresentado na Figura 21.

Figura 20: Configuração do sistema SISDAGRO.

Balço Hídrico de Cultivo Irrigado

Emergência: 01/04/2019

Cultura: Feijão - ciclo de 90 dias

Estação: PARACATU (C) - MG

Solo: Argiloso

CAD Final: 38.4

Lâmina Fixa
 Lâmina Variável

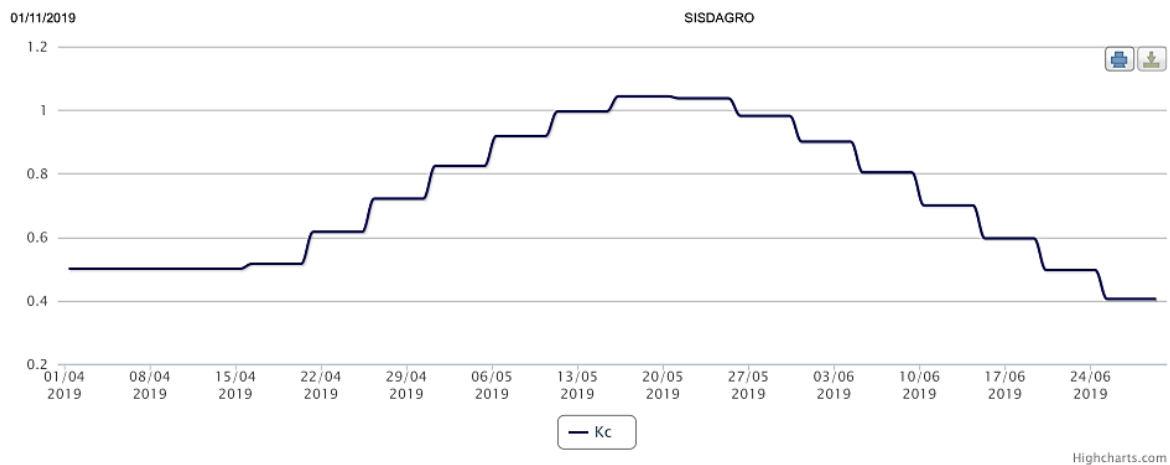
Lâmina de água: 0

Houve Irrigação: Sim
 Não

Rodar

Fonte: SISDAGRO, 2019.

Figura 21: Gráfico de Kc usado pelo sistema SISDAGRO.



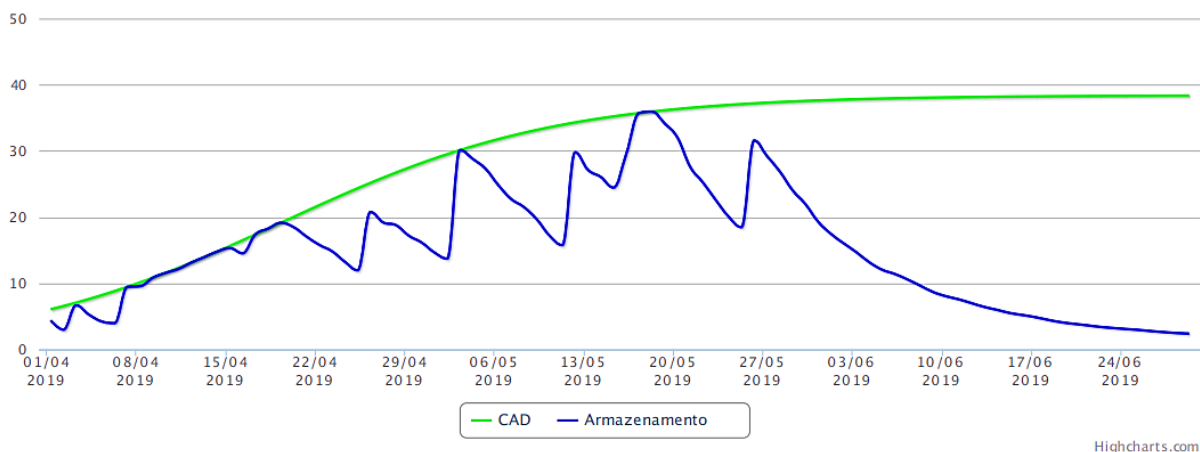
Fonte: SISDAGRO, 2019.

Tabela 9: Comparação entre as recomendações de irrigação.

SISDAGRO		MANEJO DE IRRIGAÇÃO POR PLANILHAS	
Dia do ciclo	Lâmina Recomendada (mm)	Dia do ciclo	Lâmina Recomendada (mm)
3	3,74	5	11,3
7	5,01	22	30,0
26	11,94	27	30,0
33	14,89	35	30,0
42	16,82	41	32,5
56	16,85	54	30,0
-	-	60	30,0
-	-	66	38,8
-	-	76	41,3

Fonte: da autora.

Figura 22: Gráfico de armazenamento e capacidade de água disponível remanescente.



Fonte: SISDAGRO, 2019.

Comparando as propostas médias de irrigação de 27,0 mm a cada 8 dias pela planilha, e 11,54 a cada 9 dias pelo sistema SISDAGRO, para a irrigação do feijão, observa-se que o SISDAGRO permite uma queda de produção, aplicando somente a metade da lâmina para o reabastecimento do armazenamento. Após o dia 56 do ciclo da cultura as irrigações não são mais recomendadas, evidenciado pelo gráfico da Figura 23. O que poderia indicar que o resultado da planilha superestima a lâmina de irrigação. Contudo, a planilha considera a eficiência do sistema de aspersão convencional e reabastece todo o armazenamento, garantindo o fornecimento de água para a cultura e, portanto, a produtividade da mesma.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A planilha criada se mostra uma ferramenta importante no manejo da irrigação, pois informa de maneira fácil informações de manejo que conversam diretamente com a operação do irrigante. A proposta de irrigação por meio do balanço hídrico diário, feita pela planilha, apresenta maior precisão quando comparada a proposta do sistema SISDAGRO que é feita por histórico de ETc.

É possível traçar um paralelo entre o projeto de irrigação e o manejo de irrigação?

Apesar de serem etapas diferente no processo operacional, eles estão interligados com relação ao funcionamento do sistema. A proposta elaborada no projeto de simulação da utilização da planilha indica irrigar 27,0 mm a cada 8 dias, em média, dando uma ideia de como seguirá a operação em si. No entanto, considerando todas as variáveis que foram listadas no decorrer desse trabalho é perceptível que a lâmina e o turno de rega irão variar durante a operação. Não podemos descartar o conhecimento empírico do irrigante, que adquire experiência e em conjunto com a informação disponível na planilha consegue tomar decisões mais assertivas.

Com isso conclui-se que o manejo e o projeto conversam quando o projeto prevê e é dimensionado para a condição de lâmina máxima. Em todas as outras situações as lâminas aplicadas foram variáveis e se ajustaram aos parâmetros meteorológicos, o que nos indica a redução no uso do recurso hídrico.

7 REFERÊNCIAS

AGUIAR NETTO, A. O.; NACIF, P. G. S.; REZENDE, J. O. Avaliação do conceito de capacidade de campo para um latossolo amarelo coeso do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 3, p. 661–667, 2014.

AGEITEC Embrapa. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. [S. l.], 2019. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 3 jun. 2019.

ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. Estimativa Da Eto (Padrão Fao), Para Minas Gerais, Na Ausência De Alguns Dados Climáticos. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 1, p. 39–50, 2015.

ALLEN, R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. 1999, Crop Evapotranspiration. **Guidelines for Computing Crop Water Requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome, United Nations – FAO. 300 pp.

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Informe 2012. Edição especial.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada 2014**. Brasília, 2017. 86 p. il.

ANA. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. [s.l: s.n.].

BALL, Jeff. **Soil and Water Relationships**. Noble Research Institute, [S. l.], p. 1-3, 1 set. 2001.

BARBOZA JÚNIOR, C. R. A. *et al.* Coeficiente de cultura da lima-ácida tahiti no outono-inverno determinado por lisimetria de pesagem em Piracicaba - SP. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 4, p. 691–698, 2009.

BASTOS, S. Q. DE A.; GOMES, J. E. Dinâmica da agricultura no Estado de Minas Gerais. Análise estrutural-diferencial para o período 1994-2008. **Ruris**, v. 5, n. 2, p. 45–76, 2011.

BISCARO, Guilherme Augusto. **Sistemas de irrigação por aspersão**. Dourados, MS. Editora da UFGD, 2009. 134p.

BISPO, R. C. *et al.* Manejo De Irrigação Para Cultivo De Pimentão Em Ambiente Protegido. p. 237–241, 2017.

BRITO, A. DOS S. *et al.* Estimativa da capacidade de campo pela curva de retenção e pela densidade de fluxo da água. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 35, n. 6, p. 1939–1948, 2011.

BRITTO, M. C. DE; FERREIRA, C. DE C. M. Aspectos da relação clima, estacionalidade e criminalidade violenta em Minas Gerais. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 2, p. 722–734, 2012.

C.H., R. *et al.* Soil Moisture Sensors. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 2, n. 1, p. 1–13, 2008.

CAMPOS, P. F. *et al.* Variedades de cana-de-açúcar submetidas à irrigação suplementar no cerrado goiano. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 6, p. 1139–1149, 2015.

CARVALHO, Luiz Gonzaga. **Estimativa da ET₀ e ETc**. In: CARVALHO, Luiz Gonzaga. Apostila de Evapotranspiração. Lavras MG: [s. n.], 2018.

CONCEIÇÃO, Chaiane Guerra. **Coefficientes de Cultura (Kc) do Feijoeiro Comum Irrigado**. Revista Brasileira da Agricultura Irrigada, Santa Maria RS, 2016.

CONCEIÇÃO, C. G. DA *et al.* Coeficientes De Cultura (Kc) Do Feijoeiro Comum Irrigado. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 3, p. 614–620, 2016.

COSTA, A.M.; SOUZA, M.A.S.; SILVA JUNIOR, A.M.; FALQUETO, R.J.; BORGES, E.N. **Influência da cobertura vegetal na densidade de três solos do cerrado**. In: Anais. II Simpósio Regional de Geografia. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia – MG. 2003.

CUNHA, P. C. R. *et al.* Manejo da irrigação no feijoeiro cultivado em plantio direto. n. 62, p. 735–742, 2013.

DAVIS, S. L.; DUKES, M. D. Irrigation scheduling performance by evapotranspiration-based controllers. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 1, p. 19–28, 2010.

DOLABELLA, R. Agricultura Irrigada e Desenvolvimento Sustentável. 2009.

DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 144p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 24).

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. **Defining and assessing soil quality**. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.3-22. (Publication Number, 35).

EMBRAPA. **Futuro da Agricultura Brasileira**. 2018.

EMBRAPA. **Manejo da Irrigação da melancia: Uso do tanque classe “A”**. Fortaleza: 2004. 13 p. (Circular Técnica, 20).

EMBRAPA. **Trajatória da Agricultura Brasileira**. Brasília, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>. Consultado em 15/04/2019.

EMBRAPA. **Uva e Vinho**. 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/uva-e-vinho/planilhas-irrigacao-de-videiras>. Consultado em 01/11/2019.

EMBRAPA. **Visão 2030: O futuro da agricultura brasileira**. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. 212 p.: il.

ESTIMATIVA da Evapotranspiração. In: ANTONIO ROBERTO, Pereira; NILSON AUGUSTO, Villa Nova; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. cap. 3, p. 1-183.

FAO. **Cartilha FAO Area Equipped**. p. 2014, 2014.

FAO – Organização das Nações Unidas Para Alimentação e Agricultura. **AQUASTAT**. [S. l.], 2015. Disponível em: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use_agr/Table4.pdf. Consultado em 03/08/2019.

FITOTECNIA, C. D. E. P. E. M.; L, C. A. **Avaliação do Crescimento , Necessidade Hídrica e Eficiência no Uso da Água pela Cultura do Pimentão**. 2006.

FLORES, C. A.; FLORES, C. A.; CLIMA, E. **Zoneamento Edáfico de Culturas para o Município de Santa Maria – RS , Visando o Ordenamento Territorial**. [s.l: s.n.].

FRANCISCO DE ASSIS MARTINS DOS SANTOS. **PROJETO DE IRRIGAÇÃO INTELIGENTE**. **Ekp**, v. 13, n. 3, p. 576, 2010.

GEISENHOFF, L. O. *et al*. **Produtividade do brócolis-de-cabeça sob diferentes sistemas de irrigação**. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 5, p. 863–874, 2015.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home2/index>>. Consultado em 01/11/2019.

JOSÉ EDSON FLORENTINO DE MORAIS, THIERES GEORGE FREIRE DA SILVA, L. S. B. DE S. Avaliação do método de Penman Monteith FAO 56 com dados faltosos e de métodos alternativos na estimativa da evapotranspiração de referência no Submédio Vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 06, p. 1644–1660, 2011.

JÚNIOR, A. D. E. S. Á. Köppen Para O Zoneamento Climático Do Estado De. 2009.

KIRKHAM, M. B. **Principles of Soil and Plant Water Relations, Chapter 13: Infiltration**. [s.l: s.n.].

KLEIN, V. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Água disponível em um Latossolo Vermelho argiloso e murcha fisiológica de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 646–650, 2007.

LEEZY, B. T. EFFECTIVE IRRIGATION SCHEDULING MASCARO ' S PHOTO QUIZ. n. August, p. 32–35, 2018.

LIU, X. *et al.* Simulating crop evapotranspiration response under different planting scenarios by modified SWAT model in an irrigation District, Northwest China. **PLoS ONE**, v. 10, n.

MOLINARI, Deivison Carvalho; VIEIRA, Antonio Fábio Guimarães. A Capacidade de Infiltração de água no solo no Distrito Industrial – Manaus AM. V **Simpósio Nacional de Geomorfologia**, [S. l.], p. 1-16, 7 ago. 2004.10, p. 1–21, 2015.

MAROUELLI, Waldir Aparecido *et al.* **Manejo da água de irrigação**. In: IRRIGAÇÃO e Fertirrigação. [S. l.: s. n.], 2017. cap. 5, p. 159-232.

MORAIS, J.E.F.; Silva, T.G.F.; Souza, L.S.B.; Moura, M.S.B.; Diniz, W.J.S.; Souza, C.A.A. **Avaliação do método de Penman-Monteith FAO 56 com dados faltosos e de métodos alternativos na estimativa da evapotranspiração de referência no Submédio Vale do São Francisco**. Revista Brasileira de Geografia e Física, [S. l.], p. 1644-1660, 2015.

MOURA, CARLOS ROBERTO; ZOLNIER, S. Coeficiente de cultura da alface hidropônica baseado no conceito de graus-dia. p. 224–233, 2010.

NOAR. National Oceanic and Atmospheric Administration: **Weather observations**. [S. l.], 2016. Disponível em: <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/weather-atmosphere-education-resources/weather-observations>. Acesso em: 10 jun. 2019.

NUNES DE CASTRO, C. A agricultura no nordeste brasileiro: oportunidades e limitações ao desenvolvimento (Agriculture in the Brazilian Northeast: opportunities and limitations to development). p. 77–89, 2013.

OLIVEIRA ROSA, A. DE. Caracterização Física De Solos Das Regiões Noroeste E Alto Paranaíba - Minas Gerais. p. 45, 2016.

ORTEGA, A. C. Desenvolvimento Territorial e Perímetros Irrigados: avaliação das políticas governamentais implantadas nos Perímetros Irrigados Bebedouro e Nilo Coelho em Petrolina (PE). **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 35, p. 88–118, 2010.

PEDROSA, M. G. Culturas anuais. **NT Editora e Figuramundo**, v. 3, n. Brasília, p. 161, 2014.

QUEVEDO TAVARES, V. E. Tese Sistema de irrigação e manejo de água na produção de sementes. 2007.

REDDY, R N. **Irrigation Engineering**. Índia: Gen-Tech Books, 2010.

REINERT, Dalvan José; REICHERT, José Miguel. **Propriedades física do solo**. 1. ed. Santa Maria: UFSM, 2006. 1-18 p.

RIJKS, D. and M.W. BARADAS. **The clients for agrometeorological information**. Agriculture for meteorology, 103:27–42. 2000.

SCIENCE, F.; JIM, I. B. Soil dynamics. n. May, p. 16–19, 2014.

SILVA, D.; MEZA, F. J.; VARAS, E. Estimating reference evapotranspiration (ET_o) using numerical weather forecast data in central Chile. **Journal of Hydrology**, v. 382, n. 1–4, p. 64–71, 2010.

SILVA, M. G. DA *et al.* Desenvolvimento de Planilha Eletrônica para o manejo da irrigação. p. 187–196, 2013.

SILVA, P. C. G. DA. Cenário Atual e Perspectivas da Agricultura no Nordeste. **Desafios, Avanços e Soluções de Plantas Daninhas**, n. Petrolina PE, p. 9–13, 2015.

SÍNTESE, R. **Projeto Pivos - ANA**. [s.l: s.n.].

SISDAGRO, Sistema de Suporte a Decisao na Agropecuária, INMET. Disponível em:

<<http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/monitoramento/bhcirrigado>> Consultado em 01/11/2019.

SNYDER, R. L. *et al.* Calculation and Simulation of Evapotranspiration of Applied Water. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 11, n. 3, p. 489–501, 2012.

SOUSA, E. F. DE; BERNARDO, S.; GOTTARDO, R. D. Determinação do coeficiente cultural (Kc) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L .), em Campos dos Goytacazes , RJ **Determination of the crop coefficient (Kc) for common bean (*Phaseolus vulgaris* L .) in Campos dos Goytacazes , RJ**. n. 22, p. 471–475, 2007.

T. DA S. FELISBERTO, L. B. M. M. D. D. Água Disponível no solo com ponto de murcha permanente obtido por diferentes metodos. n. 74, 2014.

TEIXEIRA, A. H. DE C. *et al.* Estimativa do consumo hídrico da goiabeira, utilizando estações agrometeorológicas automática e convencional. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 3, p. 457–460, 2005.

TIMM, L. C. *et al.* Interação solo-planta avaliada por modelagem estatística de espaço de estados. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 4, p. 751–760, 2005.

TOP, P. Estimativa de coeficientes de cultura (Kc) da fase inicial de culturas. v. 24, 1977.

TORRES, J. L. R. *et al.* Produtividade de feijão sobre lâminas de irrigação e coberturas de solo. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 4, p. 833–841, 2013.

ZOTARELLI, L. *et al.* Step by Step Calculation of the Penman-Monteith Evapotranspiration (FAO-56 Method). **Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida.**, p. 1–10, 2016.