



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA E
DESENVOLVIMENTO TERRITORIAL

VALTENCY REMÍGIO SOUTO

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA O MANEJO DA
IRRIGAÇÃO

JUAZEIRO-BAHIA

2023



VALTENCY REMÍGIO SOUTO

**DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA O MANEJO DA
IRRIGAÇÃO**

Tese apresentada a Universidade do Estado da Bahia – UNEB, Campus de Juazeiro-BA, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Agroecologia e Desenvolvimento Territorial.

Orientador: Dra. Gertrudes Macário de Oliveira

Coorientador: Dr. Marcos A. Vanderlei Silva

JUAZEIRO – BAHIA

2023

FICHA CATALOGRÁFICA
Sistema de Bibliotecas da UNEB

S728d

Souto, Valtency Remígio

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA O MANEJO DA
IRRIGAÇÃO / Valtency Remígio Souto. - Juazeiro, 2023.
124 fls : il.

Orientador(a): Gertrudes Macário de Oliveira.

Coorientador(a): Marcos Antônio Vanderlei Silva.

Inclui Referências

Tese (Doutorado) - Universidade do Estado da Bahia. Departamento
de Tecnologia e Ciências Sociais. Programa de Pós Graduação em
Agroecologia e Desenvolvimento Territorial - PPGADT, Campus III. 2023.

1.Aplicativo móvel. 2.Manejo da irrigação. 3.Evapotranspiração.
4.Pequenos agricultores.

CDD: 631



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA E
DESENVOLVIMENTO TERRITORIAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

VALTENCY REMÍGIO SOUTO

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA O MANEJO DA
IRRIGAÇÃO

Tese apresentada como requisito para obtenção do título de Doutor em Agroecologia e Desenvolvimento Territorial, pela Universidade do Estado da Bahia.

Aprovada em: 14 de Julho de 2023.

Banca Examinadora

Gertrudes Macário de Oliveira, Doutora, UNEB-DTCS III.

Alexandre Boleira Lopo, Doutor,
UNEB-DTCS III.

Lígia Borges Marinho, Doutora,
UNEB-DTCS III.

Miriam Cleide C. de Amorim, Doutora,
UNIVASF.

Eudis Oliveira Teixeira, Doutor,
IFSERTÃO-PE.



À minha família...
Dedico



AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e pelo dom de aprender.

Aos meus pais, Valdenir e Fátima, que sempre me incentivaram a estudar e me educaram da melhor forma possível. A meu pai, que de onde estiver, está torcendo por mim.

Minha esposa, Denise, pela paciência e apoio nos momentos mais difíceis.

A minha filha, Melissa, que nasceu durante a pandemia, durante esta pesquisa, que mesmo com sua pouca idade, me ilumina e me faz querer crescer cada vez mais.

A minha orientadora, Gertrudes, que sempre atarefada, ainda assim, encontrava um tempo para me atender, ler o trabalho e me guiar da melhor forma possível.

Ao meu coorientador, Marcos, que me deu dicas tão precisas durante esta jornada.

Aos queridos professores, que dedicaram muitos dos seus finais de semana nos ensinando e trazendo conhecimento de ponta em cada aula.

Aos meus incríveis colegas de turma, uma turma pequena, mas bastante unida, companheira e acolhedora.

“O desenvolvimento humano depende fundamentalmente da invenção. Ela é o produto mais importante de seu cérebro criativo. Seu objetivo final é o completo domínio da mente sobre o mundo material e o aproveitamento das forças da natureza em favor das necessidades humanas.”

Nikola Tesla.

RESUMO

O presente trabalho objetivou construir uma ferramenta tecnológica para apoiar o produtor no manejo da irrigação. A partir de observações do pesquisador em campo e buscas nas principais plataformas de softwares como Apple store e play store, foi possível detectar a falta de uma ferramenta simples e sem custo para que o produtor possa obter dados técnicos precisos no que tange a necessidade hídrica de sua cultura. A partir deste momento, foi realizada uma revisão bibliográfica, baseada em uma pesquisa qualitativa utilizando a metodologia *Design Science Research* para que se possa gerar um produto de qualidade e útil à comunidade. A hipótese aqui defendida é a de que, é possível construir uma ferramenta tecnológica, sem custo ao produtor, para auxiliá-lo de forma precisa no manejo da irrigação e assim economizar recursos hídricos. O aplicativo Fazenda Fácil (INPI: BR5120220021951), principal produto gerado durante a pesquisa, trata-se de um aplicativo georreferenciado, com base em dados de clima locais e coeficiente de cultura de livre acesso e uso, onde o produtor insere informações a respeito de sua fazenda e seu sistema de irrigação e o aplicativo se encarrega de calcular a evapotranspiração de referência, da cultura e o tempo necessário que o sistema de irrigação deverá permanecer funcionando para atender a necessidade hídrica da planta naquele momento. Após o desenvolvimento do aplicativo, foram realizados estudos em duas fazendas da região de Santa Rita, distrito de Casa Nova-BA, onde foi possível observar o funcionamento do aplicativo para o manejo da irrigação. O uso do App Fazenda Fácil permite o acesso gratuito e mostra-se uma ferramenta promissora para economia de água e tomadas de decisões baseadas na evapotranspiração da cultura sobre a quantidade de água adequada para a irrigação.

Palavras-chave: app; evapotranspiração, recursos hídricos.

ABSTRACT

This study presents the results of a professional doctoral research aimed at developing tools to assist farmers in irrigation management. Based on field observations and research conducted on main software platforms such as Apple Store and Play Store, it was possible to identify the absence of a simple, cost-free tool for farmers to obtain accurate technical data regarding the water needs of their crops. Subsequently, a literature review was conducted, based on qualitative research using the Design Science Research methodology, in order to create a useful tool for the community. The hypothesis proposed in this study is that it is feasible to develop a cost-free technological tool to assist farmers in precise irrigation management and thus save water resources. The Fazenda Fácil application (INPI: BR5120220021951), the main product generated during the research, is a georeferenced app based on local climate data and freely accessible and usable crop coefficients. Farmers input information about their farm and irrigation system, and the app calculates the reference evapotranspiration, crop evapotranspiration, and the irrigation duration necessary to meet the plant's water requirements. After the development of the application, studies were conducted on two farms in the Santa Rita region, Casa Nova-BA, where the functioning of the app and irrigation management without compromising the quality of the cultivated fruits were observed. The results indicated that the app improved the efficiency in the use of these resources, bringing benefits to farmers and the environment. Farmers were able to make decisions based on crop evapotranspiration regarding the appropriate amount of water for irrigation, avoiding waste and reducing resource consumption.

Key words: app; evapotranspiration, water resources.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 Estrutura da Engenharia de Requisitos.....	30
Figura 2.2 Ciclo de desenvolvimento	31
Figura 2.3 Processo de desenvolvimento DSR	37
Figura 3.1 Área de estudo - Santa Rita, Casa Nova-BA	49
Figura 3.2 Mapa da localização das estações meteorológicas próximas a estação do INMET em Petrolina-PE (A).	50
Figura 3.3 Mapa da DSR.....	60
Figura 4.1 Diagrama do fluxo de atividades	63
Figura 4.2 Dados do sistema de irrigação.....	64
Figura 4.3 Tela principal do aplicativo.	64
Figura 4.4 Equação da evapotranspiração de referência em Dart	66
Figura 4.5 Comparação de de evapotranspiração de referência obtida a partir de diferentes estações meteorológicas da região do Submédio do Vale do São Francisco.....	68
Figura 4.6 Estações Meteorológicas automáticas do INMET	73



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Coeficiente de correlação (r) entre dados das estações meteorológicas ...	69
Tabela 2 Coeficiente múltiplo de Pearson (r)	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
API	Interface de Programação de Aplicação
DSR	Design Science Research
ER	Engenharia de Requisitos
ET	Evapotranspiração
ETc	Evapotranspiração da cultura
ETo	Evapotranspiração de referência
EUA	Estados Unidos da América
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
Kc	Coefficiente de cultura
MVC	Model, View, Control
SENAR	Serviço Nacional de Aprendizagem Rural
SQL	Structured Query Language
SVSF	Submédio Vale do São Francisco
TI	Tecnologia da Informação
UNEB	Universidade do Estado da Bahia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1.	Agricultura	14
2.2.	Irrigação e métodos de estimativa da evapotranspiração	16
2.3.	Aplicativos para manejo de irrigação.....	24
2.4.	Desenvolvimento de Softwares.....	26
2.4.1.	Paradigma e metodologia de desenvolvimento de software	32
2.4.2.	Framework de desenvolvimento	34
2.4.3.	Padrão MVC e Banco de Dados	34
2.5.	Metodologia DSR	35
2.6.	Correlação entre dados meteorológicos.....	40
2.7.	Penman-Monteith	41
2.8.	Sistemas de irrigação.....	45
2.9.	Diagnóstico Prévio	47
3.	MATERIAL E MÉTODOS	49
3.1.	Área de Estudo	49
3.2.	Procedimentos metodológicos	51
3.3.	Concepção e desenvolvimento do aplicativo	52
3.3.1.	Planejamento e codificação	56
3.4.	Artefatos auxiliares.....	59
3.5.	Percurso da pesquisa.....	60
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4.1.	Fluxo de atividades do aplicativo	62
4.2.	Dados das estações.....	67
4.3.	Irrigação e safras	70
4.4.	Publicação do App	71
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
6.	REFERÊNCIAS	77

1 INTRODUÇÃO

Aumentar a produtividade de alimentos é um dos grandes desafios da agricultura nos próximos anos, uma vez que a demanda mundial por produtos agrícolas vem aumentando a cada ano, seja pelo crescimento populacional, seja por mudanças no perfil de consumo ou mesmo pelo aumento da produção de ração animal. O período de crescimento e desenvolvimento de uma cultura é limitado pela água, temperatura e radiação solar ou luminosidade (DE FREITAS, 2020).

Os esforços para defender a agricultura familiar são justificáveis por vários motivos. Isso porque, apesar de sua relevância, o setor ainda ocupa um lugar secundário na política agrícola nacional e, o que é mais grave, tem perdido espaço recentemente (AQUINO *et al.*, 2018).

Melo e Voltolini (2019) destacam a importância dos pequenos produtores para o Brasil; com envolvimento de 8,6 milhões de pessoas, das quais 38% residem na região Semiárida, região caracterizada por extrema irregularidade de chuvas no tempo e no espaço; tornando-se, portanto, um desafio, a produção sustentável nessa região, devido a limitação da oferta de água.

A irrigação é uma ferramenta pela qual os produtores encontram uma forma de assegurar suas produções, frente a fenômenos e variações climáticas. É uma ferramenta onerosa quando mal dimensionada e utilizada, que pode reduzir a rentabilidade dos pequenos produtores, assim como inviabilizar seu uso em certos casos (ALVES JÚNIOR *et al.*, 2017).

Existem diversos tipos de irrigação entre os mais utilizados estão: a irrigação por aspersão, irrigação por superfície e a irrigação localizada. A técnica de irrigação localizada é muito utilizada em regiões semiáridas do país, fornecendo água próximo de onde se encontram as raízes das plantas, evitando assim, irrigar grandes áreas e perder parte desta água para a atmosfera, devido a altas temperaturas no solo. Na região do Submédio do Vale do São Francisco, o tipo de irrigação predominante é a irrigação localizada (ANA, 2020a).

Inúmeros fatores interferentes na técnica de irrigação afetam diretamente na quantidade de água usada e concomitantemente, no planejamento da irrigação, dentre elas o tipo de solo, a necessidade hídrica de acordo com a espécie e a evapotranspiração (FERREIRA *et al.*, 2016).

Alguns dos benefícios da agricultura irrigada destacados pela Agência Nacional de Águas, ANA (2020a) são: “aumento da produtividade da ordem de 2 a 3 vezes em relação à agricultura de sequeiro; redução do custo unitário de produção; utilização do solo durante todo o ano com até três safras ao ano”.

Segundo a ANA (2020b), 66,1% do consumo de água no país foi destinado a irrigação em 2019. No mesmo ano, mais 11,6% foram consumidos para abastecimento animal. Esse perfil de consumo de água na agropecuária reflete o consumo mundial que é em torno de 70% voltado para o mesmo setor.

A Embrapa Territorial estimou em 65 milhões de hectares, a área cultivada no Brasil, ou seja, 7,8% da área total do país são destinadas a agricultura e, esta, representa um consumo de 72% dos recursos hídricos do país. Ainda assim, o país é um dos que menos utiliza e cultiva suas terras. Alguns países europeus chegam a utilizar mais de 60% de seu território para a agricultura, porém o Brasil possui 49% do seu território de áreas preservadas dedicadas à vegetação nativa (ANA, 2020a; DE MIRANDA, 2018; EMBRAPA, 2020).

De acordo com os cálculos de Yoshimaga, diretor da organização para agricultura e alimentação (FAO), agência das nações unidas (ONU), o incremento de apenas 1% na eficiência do uso da água de irrigação, nos países em desenvolvimento de clima árido significa uma economia de 20 mil litros de água por agricultor, hectares/ano (BAIA *et al.*, 2017).

Santos *et al.* (2008) afirmam que “a evapotranspiração é um processo natural de perda de água do solo e da planta para atmosfera, constituindo-se um parâmetro de grande relevância para o dimensionamento e para o manejo da irrigação”.

Conhecer a evapotranspiração de uma cultura (ET_c) ao longo de seu ciclo e o seu coeficiente de cultivo (K_c), é fundamental para o dimensionamento e o manejo de sistemas de irrigação, uma vez que se busca estimar as reais demandas hídricas da cultura, além de verificar o consumo de água da cultura em cada estágio de desenvolvimento, contribuindo para uma agricultura racional e sustentável (MONTENEGRO *et al.*, 2004; MEDEIROS *et al.*, 2004; DALLACORT *et al.*, 2011).

Cada cultura necessita de uma quantidade de água e em cada fase de desenvolvimento da cultura essa quantidade varia. Essa informação é agregada para se calcular a evapotranspiração real da cultura, ou seja, o suprimento hídrico necessário para seus processos fisiológicos naquele clima local (ANA, 2020a).

No entanto, buscar dados de evapotranspiração e extrair informações pertinentes a sua própria plantação, pode ser um trabalho custoso e inviável para o pequeno produtor. É necessário proporcionar alternativas tecnológicas e inovadoras para os agricultores familiares, isso também contribuirá para a adoção de práticas que proporcionem o melhor uso dos recursos naturais, tornando, assim, a produção familiar cada vez mais sustentável ambientalmente (BITTENCOURT, 2020).

O objetivo da pesquisa foi construir uma ferramenta com informações técnicas, visando definir o quanto de água deve ser fornecido a plantação através da irrigação. O sistema móvel é georreferenciado e durante a pesquisa reuniu dados climatológicos do SVSF, e gerou informações sobre a irrigação. Esta tese do PPGADT – Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Territorial está inserida na linha de pesquisa IV – Convivência Com o Semiárido, Inovações Sociotécnicas e Desenvolvimento de forma que os rigores climáticos do semiárido e as inovações tecnológicas trouxeram à tona um aplicativo capaz de economizar água durante a irrigação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Agricultura

A agricultura compreende a atividade econômica responsável pela produção de alimentos que ao longo da história ocupou as terras férteis de vales de rios e posteriormente, desenvolveu técnicas e procedimentos que tornaram os solos mais produtivos, buscando sempre uma maior produtividade (LIMA *et al.*, 2019).

A história do desenvolvimento humano é a história da colheita e da prosperidade da agricultura. Há evidências históricas que confirmam a importância do desenvolvimento agrícola na história. Para citar um exemplo bem conhecido, na Índia, os textos védicos posteriores (3.000 - 500 aC) fazem referências frequentes à tecnologia e práticas agrícolas (FREIRE *et al.*, 2018).

A origem da agricultura remota ao período neolítico há mais de 10 mil anos, em algumas regiões pouco numerosas e relativamente pouco extensas do planeta (MAZOYER; ROUDART, 2010). Durante toda a sua existência, o homem sempre retirou da natureza a sua sobrevivência, inicialmente através da coleta, caça e pesca, até que ocorresse a consolidação da prática agrícola. A agricultura, enquanto prática de sobrevivência da sociedade, surge quando algumas condições se materializam no seio dessa sociedade tais como: mudança no modelo de consumo alimentar, novos instrumentos de trabalhos para coleta e armazenagem, e assim, a passagem da humanidade de nômade à sedentário (LIMA *et al.*, 2019).

A maioria dos países em desenvolvimento depende de sua própria agricultura para fornecer alimentos para sua população. Esses países não possuem receitas regulares em moedas estrangeiras necessárias para importar os alimentos que sua população necessitaria e, portanto, têm que depender de sua própria agricultura para produzir alimentos suficientes para atender às suas necessidades de consumo. Como resultado, a economia atinge um estado estacionário, onde a renda e a produção per capita estagnariam (FREIRE *et al.*, 2018).

Em 2017, estimou-se que o mundo tinha 1,87 bilhão de hectares de lavouras. A população mundial chegou a 7,6 bilhões de pessoas. Cada hectare, em média, alimentaria quatro pessoas. Mas, a produtividade varia muito, em função de solos,

clima, tecnologia empregada, tipo e qualidade dos cultivos produzidos (DE MIRANDA, 2018).

Segundo De Miranda (2018), o Brasil é o país que menos utiliza e cultiva as suas terras, apenas 7,6%. A maior parte dos países utiliza 20% a 30% do território com agricultura. Os países da União Europeia usam entre 45% e 65%. Os Estados Unidos, 18,3%; a China, 17,7%; e a Índia, 60,5%.

Desde a chamada Revolução Verde, que aconteceu a partir da década de 60, a agricultura vem se modernizando e mudando a forma de como se produz alimento em escala global. “A combinação da tecnologia, do conhecimento e da capacidade de inovação foi essencial para o desenvolvimento da agricultura brasileira” (BITTENCOURT, 2020).

As revoluções tecnológicas marcaram a evolução agrícola e acabam por demonstrar a existência de uma dualidade nesse setor, no qual, coexistem uma agricultura altamente mecanizada e avançada tecnologicamente, que dispõe de todo capital necessário à sua expansão e outra agricultura, que produz mais de 70% dos gêneros alimentícios consumidos pela população do país, como feijão, arroz, farinha, milho entre outros. A agricultura familiar convive com a escassez de recursos para novos investimentos em máquinas e equipamentos, sendo muitas vezes associada à agricultura de subsistência, de baixa renda ou precária (LIMA *et al.*, 2019).

Segundo o IBGE (2018a), no Brasil, a área ocupada pela agricultura familiar é de apenas 23% e ainda assim, possui um número maior de estabelecimentos agrícolas, comparada a agricultura não familiar, representando 77% do total do país. Quando se fala em agricultura não familiar, os números são inversamente proporcionais, deixando claro que um número infinitamente menor de estabelecimentos (23%) ocupa uma área bem maior (77%).

Ainda segundo o IBGE (2018a), a agricultura familiar é responsável por 48% do valor da produção de café e banana e por 80% do valor de produção da mandioca, 69% do abacaxi e 42% da produção do feijão. Ou seja, a agricultura familiar tem grande representatividade nos alimentos que chegam na mesa dos brasileiros.

A região do Submédio do Vale do São Francisco é uma região que se encontra no Semiárido nordestino. Apesar da boa disponibilidade de água no Submédio do Vale do São Francisco, especialmente na proximidade do rio São Francisco, a região é marcada por escassez de chuvas, e segundo De Moraes *et al.* (2015), “os recursos

hídricos são limitados e seriamente ameaçados de extinção por exploração excessiva, sendo de extrema importância a estimativa da demanda de água das culturas com o máximo de precisão possível". E, uma vez conhecida a demanda de água da cultura, através da irrigação, repõe-se a água ao solo, assegurando assim, o crescimento/desenvolvimento da cultura.

De acordo com o Censo agropecuário do IBGE, mais de 30 mil hectares na região de Casa Nova são destinados a lavouras, destes, 30% são plantações com área irrigada. Dos 7,5 mil estabelecimentos agrícolas, mais de cinco mil são estabelecimentos de agricultura familiar e pequenos produtores (IBGE, 2018b).

Ainda segundo o IBGE (2018b), os principais produtos agrícolas produzidos na região são a manga, a goiaba e a uva, das culturas permanentes, o feijão e a cebola, das culturas temporárias.

A região de Casa Nova possui um forte apelo socioeconômico voltado a agricultura familiar, onde 70% dos estabelecimentos agrícolas se encontram nesta categoria. Para enfrentar o clima Semiárido e a escassez de chuvas, muitos destes produtores lançam mão da irrigação para poder produzir seus alimentos (IBGE, 2018a).

2.2. Irrigação e métodos de estimativa da evapotranspiração

O principal objetivo da irrigação é suprir a necessidade hídrica da cultura durante todo o seu ciclo. A estimativa da necessidade hídrica das plantas é importante em diversas áreas da agricultura, tais como em estudos do manejo da irrigação, saneamento agrícola, estimativa da produção e estudos hidrológicos em geral (AVILEZ *et al.*, 2018).

Os métodos mais difundidos para estabelecer o manejo de irrigação requerem a determinação da evapotranspiração de referência (ET_o). O nível de precisão que se pretende obter está diretamente relacionado à escolha do método, a escala de tempo e a natureza dos dados climatológicos (VOSS; SCHOVEIGERT, 2018).

Em se tratando da evapotranspiração da cultura (ET_c), representa invariavelmente a perda de água da cultura para a atmosfera em condições ideais agrônomicas e de rega de acordo com o estágio de desenvolvimento em que a cultura se encontra (DE MORAES *et al.*, 2015).

A evapotranspiração da cultura representa o quanto a planta deverá repor através dos recursos hídricos disponíveis no solo, sejam provenientes da chuva ou da rega, para que assim, a planta possa se desenvolver normalmente sem sofrer por estresse hídrico. De forma simples, a evapotranspiração é a evaporação da água no solo somada a perda de água da planta por transpiração. A temperatura, a chuva, o vento, a radiação solar e a temperatura, são fatores que influenciam na evapotranspiração de referência (AVILEZ *et al.*, 2018).

A evaporação de água da superfície para atmosfera e a transpiração das plantas é chamada de evapotranspiração da cultura - ET_c (Voss e Schveigert, 2018). Essa transpiração é controlada pelo suprimento hídrico do solo e pela disponibilidade de energia que a planta possui. Obter a variável ET_c é importante em atividades humanas como economia, reserva de água, planejamento e execução dos sistemas para irrigação, desenvolvimento dos recursos hídricos e problemas ambientais.

Uma forma usual de se estimar a ET_c, é a partir da evapotranspiração de referência (ET_o), por meio de coeficientes apropriados conhecidos como coeficiente de cultura (K_c). O K_c representa uma integração dos efeitos de quatro características primárias que distinguem uma cultura específica da cultura de referência, tais como: altura, albedo, propriedades aerodinâmicas e da folha e evaporação do solo (ALLEN *et al.*, 1998). Enquanto a ET_o representa um indicador de demanda climática, o valor de K_c varia principalmente em função das características particulares da cultura, variando somente numa pequena proporção em função do clima. Isto permite a transferência de valores padrão do coeficiente de cultivo entre diferentes áreas geográficas e climas, constituindo, assim, na principal razão de aceitação e utilização dos valores de K_c desenvolvidos em pesquisas anteriores (ALLEN *et al.*, 2006). Em outras palavras, o K_c representa a relação entre a evapotranspiração da cultura pela evapotranspiração de uma cultura de referência hipotética de cobertura total de solo, sem restrições hídricas e com aproximadamente 12 cm de altura, semelhante a um gramado.

O conhecimento da evapotranspiração viabiliza o planejamento racional da técnica de irrigação, que associado com outros elementos meteorológicos, fornece subsídios básicos à delimitação de áreas mais adequadas ao desenvolvimento de determinados grupos de espécies vegetais (TEIXEIRA *et al.*, 2011).

Galvani e Escobedo (2001) expõem que o conhecimento da evapotranspiração é crucial na avaliação da quantidade de água exigida por determinada cultura, principalmente em regiões áridas, ou com secas regulares, onde o crescimento e o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, a produtividade são limitados pelo fator hídrico.

No final da década de 30, diversos pesquisadores, em diversos países, iniciaram estudos para melhor determinar a necessidade de irrigação, não considerando apenas uma relação direta de temperatura e consumo de água, como era feito anteriormente. Blaney e Criddle observaram diversas medições feitas pelas agências de pesquisa do departamento de Agricultura dos Estados Unidos desde o início de 1900. Os pesquisadores obtiveram dados de evapotranspiração, temperatura, umidade, precipitação e velocidade do vento, mas observaram diversos dados faltantes em localidades diferentes. Então, na década de 40, os autores conduziram diversos estudos com lisímetros para determinar a evapotranspiração de referência e com base nos dados climatológicos, propuseram uma equação baseada na média diária de horas de luz em diferentes latitudes, temperatura e coeficientes de ajustes regionais (BLANEY; CRIDDLE, 1962).

A equação de Blaney e Criddle foi uma das primeiras equações propostas com a finalidade de calcular a evapotranspiração. Após o estudo, os autores ainda destacam diversos fatores que influenciam no bom desenvolvimento da cultura, são eles: a temperatura média diária, a irradiação solar, a precipitação, a umidade, a velocidade do ar, o estágio de desenvolvimento da planta, a latitude e a luz solar. Além destes fatores climatológicos e características da planta, os autores ainda elencaram outros fatores que podem influenciar no consumo de água, como: a fertilidade do solo, a qualidade da água, as pragas e as doenças na cultura (BLANEY; CRIDDLE, 1962).

Em 1948, Thornthwaite conduziu um estudo relacionando a temperatura e precipitação com o relevo e a topografia das regiões. No estudo, após classificar o clima de algumas regiões dos EUA (Estados Unidos da América), o autor estima a deficiência hídrica das regiões e propõe alguns índices de ajustes para regular a necessidade hídrica e, apresenta uma equação para calcular a evapotranspiração potencial da região. Thornthwaite propõe uma equação para períodos mais longos, utilizando a temperatura média mensal, o índice mensal de calor para o mês, o índice anual e um coeficiente de ajuste em função do índice anual. Ele enfatiza que as

classificações e os índices utilizados no seu trabalho, podem ser melhorados. Pois um método verdadeiramente eficaz de delimitar a eficiência de temperatura/calor de uma região, ainda havia sido desenvolvido (THORNTHWAITE, 1948).

Em 1951, foi efetuada uma tentativa de transferir o método de Blaney-Criddle desenvolvido na Califórnia para o Haiti. O método havia se mostrado não confiável em períodos de alta demanda. Ainda assim, nos anos 60, a FAO conduziu experiências e concluiu que o método Blaney-Criddle não poderia ser transferido diretamente da Califórnia para o Caribe pois, foi demonstrado que os coeficientes de cultura utilizados por Blaney-Criddle continham muitos componentes climáticos, o que impediria essa transferência, sendo necessário a proposta de uma nova equação sem coeficientes regionais de ajuste (HARGREAVES; ALLEN, 2003).

Jensen e Haise propõem uma abordagem para estimar a evapotranspiração de referência diariamente através do balanço de energia. Os autores avaliaram mais de 1000 dados coletados, ao longo de 35 anos, em áreas irrigadas na costa oeste dos Estados Unidos. Apesar da equação de Penman ter sido validada ao redor do mundo, ela não era popular entre os engenheiros, devido ao grande número de variáveis a se medir. Então, os autores propuseram uma equação simplificada baseada na radiação solar e na temperatura média diária (JENSEN; HAISE, 1963).

Em 1975, Hargreaves apresenta um estudo comparando a evapotranspiração da grama obtida através de lisímetros, com grandes combinações de dados climáticos e ainda, comparando com diversos outros métodos de estimativa de evapotranspiração utilizando os dados coletados na Califórnia. O autor sugere então sua primeira equação para cálculo de evapotranspiração baseada apenas na radiação solar global e na temperatura (HARGREAVES; ALLEN, 2003).

Em estudos posteriores, Hargreaves em parceria com outros pesquisadores, perceberam a necessidade de melhorar a forma de calcular os coeficientes utilizados na equação, principalmente a temperatura e a radiação, passando a utilizar as temperaturas máximas e mínimas e a radiação solar extraterrestre, assim, os autores começaram a refinar as equações propostas e propuseram uma equação que ficou conhecida como o método Hargreaves-Samani de 1985. O método Hargreaves-Samani, geralmente utilizado para estimar a evapotranspiração semanalmente ou em períodos maiores, se tornou bastante atrativo devido a sua simplicidade,

confiabilidade e por utilizar poucos dados climatológicos (HARGREAVES; ALLEN, 2003).

No Brasil, Camargo (1962) conduziu estudos em três cidades do estado de São Paulo, utilizando evapotranspirômetros do tipo “Thornthwaite modificado” e coletando dados de evapotranspiração potencial mensal entre os anos de 1954 e 1959. Em seguida, o autor compara os resultados obtidos através dos lisímetros com as principais equações e os métodos de estimativa de evapotranspiração disponíveis à época. Encontrando discrepâncias em cada método estudado: Penman, Thornthwaite, Blaney e Criddle, o autor também sugere uma modificação da equação proposta anteriormente por Blaney e Criddle, para melhor se adaptar às condições locais utilizando um fator de ajuste que varia com a temperatura média anual do ar (CAMARGO, 1962).

Além dos métodos citados anteriormente, o método de Penman-Monteith destaca-se por ser recomendado pela Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) e utilizado para a calibração de outros métodos de cálculo de evapotranspiração, visto que, este se mostra eficiente em diversas condições climáticas (ONGARATTO; BORTOLIN, 2021).

No boletim da FAO número 56, além da recomendação do método de Penman-Monteith como padrão para estimativa da evapotranspiração de referência, são apresentados procedimentos de cálculo de vários parâmetros. O método de Penman-Monteith utiliza dados climáticos que podem ser facilmente medidos ou derivados de dados comumente medidos com o auxílio de uma estação meteorológica próxima. Todos os procedimentos de cálculo foram padronizados de acordo com os dados meteorológicos disponíveis e a escala de tempo de cálculo (ALLEN *et al.*, 2006).

Avaliar o comportamento agroclimático de uma certa localidade, é a principal etapa do planejamento científico agrícola. A estimativa do balanço hídrico climático e a classificação do clima são ferramentas agroclimáticas indispensáveis na determinação da aptidão de áreas para culturas agrícolas e no planejamento de sistemas de irrigação (PASSOS *et al.*, 2016).

Um dos principais parâmetros do balanço hídrico utilizados para determinação da necessidade hídrica da cultura é a evapotranspiração De Moraes *et al.*, 2015). No entanto, algumas vezes não é possível determinar a ETo pelo método de Penman-

Monteith, devido à falta de algumas variáveis. Desta forma, alguns métodos indiretos podem ser utilizados para efetuar o cálculo da ETo.

As equações e métodos indiretos de obtenção da evapotranspiração, apesar de serem mais simples que a equação de Penman-Monteith, possuem coeficientes de ajustes que aproximam seus resultados da evapotranspiração de referência e auxiliam os produtores no manejo da irrigação quando nem todos os dados climatológicos estão disponíveis.

O bom desenvolvimento da cultura depende da quantidade de nutrientes no solo e da disponibilidade de água. Entretanto, o consumo hídrico diário da cultura varia em função da variedade ou cultivar, do estágio fenológico, da evapotranspiração, dos meses do ano e da região (AVILEZ *et al.*, 2018).

A determinação precisa da necessidade hídrica das culturas é fundamental para otimização da produção agrícola, podendo ser útil para estudos de zoneamento agrícola, de manejo da irrigação e em estudos fisiológicos e hidrológicos (DE FREITAS, 2020).

O cálculo da demanda de água é complexo – envolve dezenas de variáveis, constantes e equações que resultam em uma necessidade de irrigação específica de cada cultura naquele local e período do ano, ou seja, no volume de água a ser aplicado para o pleno desenvolvimento das lavouras (ANA, 2020a).

Sabe-se que a irrigação é considerada uma prática que pode aumentar a produtividade das culturas; no entanto, a nível global, a agricultura responde por 70% do uso de água do planeta (AVILEZ *et al.*, 2020). Desta forma, é indiscutível a importância do planejamento eficiente da irrigação no quesito, preservação dos recursos hídricos.

O manejo adequado da irrigação permite o uso racional da água e a obtenção de maiores produtividades com qualidade superior, especialmente para as cultivares de alta capacidade produtiva (BANDEIRA *et al.*, 2011). E, entre outros fatores, para um adequado manejo da irrigação, é essencial o conhecimento da necessidade hídrica e do momento ideal de suprimento de água para a espécie a ser cultivada, nas suas diferentes fases de desenvolvimento.

É notório que a demanda de água é crescente com o aumento das áreas irrigadas devido a necessidade de produzir em zonas áridas e semiáridas para garantir a soberania alimentar. Entretanto, o aumento da demanda hídrica exige uma preocupação ambiental relativo à

renovação das fontes hídricas devido à alta demanda e, com isto existe a preocupação com a gestão sustentável dos recursos hídricos (DE FREITAS, 2020).

Esta preocupação está intimamente ligada a projeção do crescimento populacional até 2050 e a forma como produzimos alimentos hoje, visto que até lá, a população mundial ultrapasse os 10 bilhões de habitantes e a produção de alimentos diminua o ritmo devido à escassez de recursos hídricos, alinhada ao uso cada vez menor de adubos e fertilizantes químicos, como parte da exigência mundial pela qualidade e segurança alimentar (RODRIGUES, 2020).

A irrigação é parte importante da agricultura praticada no Semiárido nordestino, pois devido as altas temperaturas e o elevado grau de incerteza de precipitação ao longo do ano, a irrigação está presente em grande parte das lavouras da região. O uso indiscriminado e irracional de água, atrelado ao superdimensionamento do sistema de irrigação, “pode gerar perda de produção em função da falta de aeração das raízes, déficit hídrico, pela lixiviação dos nutrientes e do ponto de vista econômico, aumento dos custos com aplicação de água e energia” (CAVALCANTE JÚNIOR *et al.*, 2013).

Sempre que a utilização de um sistema de irrigação ocorrer sem critério, ou seja, quando não se conhece a necessidade de água a ser aplicada que atenda às necessidades da cultura ao longo do ano e nas suas diferentes fases de desenvolvimento, podemos dizer que estamos fazendo uma molhação ou rega. Nestes casos as chances de fracasso na atividade são grandes (PEREIRA, 2014).

ANA (2020b), apresenta o consumo total de água nas bacias hidrográficas no Brasil em 2019. Constata-se que no país, a agropecuária foi responsável por consumir 77,7% do uso total de água no ano, enquanto 66% do total do consumo foi destinado apenas para a irrigação nas bacias de São Francisco, Jequitinhonha, Uruguai, Verde Grande, Piancó-Piranhas-Açu, Pardo e Parnaíba. A demanda por água na agricultura, é extremamente elevada. Esse consumo reflete também, o uso mundial da água doce para a irrigação que é de cerca de 70%.

A agricultura irrigada é altamente intensiva no uso da água. Estima-se que até 2050, pode haver um aumento na demanda mundial por alimento em torno de 70%. Neste cenário, qualquer esforço voltado ao uso consciente e eficiente da água é

válido. O aumento dessa produção de alimentos deve ser feito de maneira planejada e racional, levando em consideração uma abordagem mais sustentável para assim, evitar desequilíbrios (RODRIGUES, 2020).

Para a região de Casa Nova, ANA (2020b) mostra o perfil de uso da água da bacia hidrográfica do São Francisco. Neste caso, mais de 70% do uso da bacia é destinado a irrigação, similar ao que acontece quando se considera o total de consumo no país e no mundo. Segundo Rodrigues (2020), “em algumas sub-bacias do São Francisco como a Sub-bacia do Alto São Francisco e a Sub-bacia do Submédio São Francisco, a irrigação chega a representar mais de 85% de todas as retiradas”. Em segundo e terceiro lugar, estão o consumo urbano e a pecuária. Esta última também, assim como a agricultura, está ligada a produção de alimentos.

Atualmente, existem diversos tipos de irrigação, os quais pode-se dividir em três grandes grupos: irrigação por aspersão, irrigação por superfície e irrigação localizada. A irrigação por aspersão pode ser feita através de aspersores fixos ou portáteis, autopropelido ou pivô central, entre outros; os aspersores lançam jatos de água no ar que caem sobre as plantas simulando uma chuva. A irrigação por superfície ou irrigação por inundação, a distribuição da água e feita através da gravidade. E por fim, a irrigação localizada que pode ser feita por gotejamento ou microaspersão, em que a água é aplicada na proximidade do sistema radicular das plantas (ERTHAL; BERTICILLI, 2018).

Os métodos de irrigação comumente encontrados em pequenas propriedades rurais são os de aspersão ou localizada. Para a aspersão, a eficiência mínima do sistema é de 65%, ou seja, a cada 100 litros de água aplicada pelo sistema, pelo menos 65 litros da água aplicada foi efetivamente utilizada pela cultura irrigada. Já para a irrigação localizada, a eficiência mínima é de 90% (PEREIRA, 2014).

A ineficiência no manejo da irrigação adotado por grande parte dos produtores rurais, é indicado como um dos fatores que contribui para a escassez dos recursos hídricos (Fonte, ano). Entre 40 e 60% da água que é aplicada à cultura são efetivamente usados pela mesma, sendo o restante perdido no sistema, na propriedade e no campo (NASCIMENTO; BASSOI; PAZ, 2012).

Faz-se cada vez mais necessária a apresentação de ferramentas que auxiliem o produtor rural na realização do manejo de irrigação. A junção de boas práticas no

manejo da água e o emprego de dados técnicos na irrigação parece ser um ponto crucial na produção e no desenvolvimento econômico do pequeno produtor. Ter a mão um aplicativo que entregue dados importantes sobre sua lavoura e sobre como proceder com o manejo da irrigação, torna-se um excelente recurso para economizar no uso da água e conseqüentemente, economizar em outros aspectos (Fonte, ano).

2.3. Aplicativos para manejo de irrigação

Aplicativos são softwares modernos que podem ser operados a partir de um telefone celular – um *smartphone*. Nos dias atuais, um aplicativo de celular pode acessar diversos recursos no próprio aparelho, como fazer fotos e vídeos, guardar informações em um banco de dados próprio, acessar a localização real do indivíduo através de um GPS e ter acesso a uma infinidade de dados em tempo real através da internet (PATTON *et al.*, 2019).

Com tantas possibilidades, vários aplicativos surgem a cada dia para os *smartphones*, de modo que é possível encontrar alguns aplicativos para celulares e softwares para computadores disponíveis para calcular a evapotranspiração de referência (Fonte, ano).

Mariano *et al.* (2011) propõem um software para cálculo de evapotranspiração, que utiliza os dados inseridos no programa para calcular a evapotranspiração de referência usando o método Penman-Monteith. No entanto, o software apresentado funciona apenas em computadores com sistema operacional Microsoft Windows, não possui conectividade com a internet e todos os dados pertinentes ao cálculo devem ser inseridos manualmente, incluindo os dados meteorológicos. Apesar do software ser funcional, sua adoção se torna inviável para pequenos produtores, pois a busca diária e manual por dados climatológicos muitas vezes não é de fácil acesso ao produtor.

Reis *et al.* (2009), mostra um aplicativo desenvolvido para celulares com sistema operacional Android. Este, utiliza o método Penman-Monteith para se obter a evapotranspiração, não tem conexão com a internet e os dados precisam ser inseridos manualmente pelo usuário, no entanto, sem nenhum tratamento dos dados, podendo facilmente induzir o usuário ao erro, preenchendo, por exemplo, letras onde deve ser inserido apenas números. Esse aplicativo não está disponível na loja oficial do sistema

operacional Android, sendo necessário compilar o código fonte disponibilizado pelo autor e instalá-lo diretamente no celular, para tanto, é necessário desativar algumas opções de segurança do aparelho. Desta forma, o uso do aplicativo parece tornar-se impraticável para o usuário final.

Um outro aplicativo relevante, foi desenvolvido por Da Silva *et al.* (2010), para *smartphones* Android, mas tem o objetivo de calcular o balanço hídrico climatológico. Este, importa alguns dados climatológicos previamente preparados e disponibilizados na web ou permite inseri-los manualmente. Alguns dados ainda necessitam ser inseridos manualmente para que o aplicativo forneça o cálculo do balanço hídrico. O aplicativo revelou-se incompatível com celulares modernos durante os testes realizados, foi possível utilizá-lo apenas em um emulador simulando uma plataforma mais antiga. Ainda assim, não foi possível obter o resultado do balanço hídrico prometido pelo autor, tampouco a evapotranspiração.

O IrrIFES, proposto por Melo *et al.* (2017), é um aplicativo desenvolvido para auxiliar produtores rurais e estudantes no cálculo do balanço hídrico e na otimização da irrigação. Este, permite realizar os cálculos de evapotranspiração de referência (ET_o) utilizando uma forma simplificada da equação de Penman-Monteith que utiliza apenas temperaturas máximas e mínimas. Os dados de temperatura são inseridos manualmente ou através de transferência de arquivo via FTP (File Transfer Protocol). O aplicativo faz cálculos referentes a sistemas de irrigação por aspersão, porém, ainda não está disponível ao público.

Correia *et al.* (2016) desenvolveram um protótipo de baixo custo para monitoramento e controle automático de um sistema de irrigação, utilizando a plataforma Arduino. O sistema utiliza sensores de temperatura, de umidade do ar e chuva e dispõe de válvula solenoide, para controlar a irrigação. A comunicação é feita por meio de uma interface Web, facilitando o monitoramento e controle remoto. O protótipo usa a equação de Hargreaves-Samani para estimar a evapotranspiração de referência e a partir dos sensores, determinar a quantidade de água necessária para a irrigação. Este, apresenta potencial para auxiliar pequenos agricultores com recursos limitados a melhorar o manejo da irrigação em suas propriedades.

Um aplicativo bastante utilizado pelos grandes agricultores da região do Submédio do Vale do São Francisco é o Agrosmart. O aplicativo faz parte de uma solução integrada que contém sensores de solo FDR (Refletometria no Domínio do

Tempo), dados de estação meteorológica e de precipitação (AGROSMART, 2021). A solução está disponível para Android e iOS, no entanto, apresenta um custo elevado, possivelmente também é o principal fator para a não adesão deste para os pequenos agricultores da região.

O Quadro 1, exhibe as principais funcionalidades referentes ao escopo da pesquisa dos softwares encontrados citados anteriormente.

Quadro 1 - Comparativo entre sistemas encontrados

	Mariano (2011)	Reis (2009)	Da Silva (2010)	IrriFES (2017)	Correia (2016)	Agrosmart (2021)	Fazenda Fácil
Usa Penman-Monteith	Sim	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim
Dados meteorológicos automatizados	Não	Não	Não	Não ou FTP	Sim	Sim	Sim
Aplicativo móvel	Não	Apenas Android	Apenas Android	Pela Web	Pela Web	Sim	Sim
Georreferenciado	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Disponível para usuário	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim
Foi possível testar	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Sim
Possui custos	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não
Evapotranspiração da cultura	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim
Calcula o tempo de irrigação	Não	Não	Não	Apenas aspersão	Sim	Sim	Sim
Funcionalidades fora do escopo da pesquisa	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não

Fonte: Elaboração do autor.

Desta forma, é possível perceber que existem alguns aplicativos com propostas interessantes para diversos tipos de cálculo. No entanto, de acordo com os testes de aplicativos realizados por esta pesquisa, estes não fornecem aos agricultores a informação precisa, gratuita e simplificada necessária para orientar suas ações durante a etapa de irrigação de suas plantações. Alguns aplicativos não estavam disponíveis ou não funcionaram como deveriam nas plataformas indicadas.

2.4. Desenvolvimento de Softwares

Para se desenvolver um software ou um aplicativo, algumas métricas e padrões da Engenharia de Requisitos (ER) devem ser seguidos. Segundo Pressman (2006) “a engenharia de requisitos fornece o mecanismo para entender as necessidades do cliente”. A engenharia de requisitos é a parte inicial e de suma importância do

processo de construção de um software, pois ela define como o software funcionará e qual o objetivo dele.

Para Sommerville (2011), a ER é “o processo de compreender e definir quais serviços são necessários e identificar as restrições de operação e de desenvolvimento do sistema”.

Sommerville (2011) defende que, independente do processo de desenvolvimento adotado, “existem quatro atividades fundamentais para construção do software, são elas: Especificação do software, Projeto e implementação de software, Validação de software e Evolução de software”.

Pressman (2006) diz que: “O processo de ER é realizado por meio da execução de sete funções distintas: concepção, levantamento, elaboração, negociação, especificação, validação e gestão”. Sommerville (2011) elenca apenas quatro fases do processo de ER: “estudo de viabilidade, elicitação e análise de requisitos, especificação de requisitos e validação de requisitos”.

Para a especificação do software, Sommerville (2011) explica que “as definições de requisitos de sistema especificam o que o sistema deve fazer (suas funções) e suas propriedades essenciais e desejáveis”.

Essencialmente, os autores definem a engenharia de requisitos de forma semelhante e o processo, apesar de definidos de forma diferente, seguem basicamente os mesmos passos. Um software comumente nasce a partir de uma necessidade de resolução de um problema. Este problema deverá ser “quebrado” em problemas menores para que cada parte do software com algumas funções, resolva aquele problema. E o software completo, solucione o problema original.

Conforme Sommerville (2011), o estudo de viabilidade consiste em avaliar se as necessidades identificadas dos usuários podem ser satisfeitas por meio das tecnologias atuais de software e hardware. A elicitação e análise de requisitos é um levantamento dos requisitos de sistema através da observação de sistemas existentes, entrevistas com usuários potenciais, compradores e análise de tarefas. A especificação gera um documento de requisitos a partir das informações coletadas durante a fase de elicitação e análise. Neste documento deve conter os requisitos de usuário como declarações abstratas das funções do sistema e os requisitos de sistema que é uma descrição mais detalhada da funcionalidade a ser oferecida. E a

validação é a fase em que se verifica os requisitos em relação a consistência, abrangência e possibilidade de execução.

No início do processo de ER, os interessados (*stakeholders*) deverão ser identificados onde cada um destes participantes contribuirá com informações para o processo. À medida que as informações de vários pontos de vista são coletadas, os requisitos que surgem podem conflitar uns com os outros. É trabalho do engenheiro de requisitos juntamente aos tomadores de decisão resolverem estas inconsistências e escolherem os requisitos de forma consistente (PRESSMAN, 2006).

Requisitos funcionais são declarações de serviços que o sistema deve fornecer, como o sistema deve reagir a como deve se comportar. É possível até descrever o que o sistema não deve fazer (SOMMERVILLE, 2011).

Os requisitos funcionais representam as restrições sobre os serviços oferecidos pelo sistema. Geralmente aplicam-se ao sistema como um todo e não a características ou serviços individuais de sistema (SOMMERVILLE, 2011).

De forma geral, os requisitos funcionais descrevem as necessidades do cliente e as “necessidades do software”, ou seja, como o software vai fazer para atender as necessidades do cliente, se vai salvar informações em banco de dados, se vai precisar consultar a internet e etc. Os requisitos não funcionais estão ligados a estrutura do software, em qual sistema operacional o software vai rodar, qual o consumo de memória, banco de dados utilizado, eficiência, confiabilidade entre outros.

Quando os requisitos vão sendo definidos, estes podem ser classificados em dois grandes grupos, requisitos funcionais e requisitos não-funcionais. Os requisitos funcionais representam as funcionalidades do sistema, como o sistema deve se comportar, o que deve e o que não deve fazer. Os requisitos não-funcionais são restrições sobre o sistema ou funções oferecidas pelo sistema. São propriedades aplicadas ao sistema como um todo como processo de desenvolvimento, disponibilidade, segurança, performance, tempo de resposta entre outros (SOMMERVILLE, 2011).

A especificação descreve a função e o desempenho de um sistema baseado em computador e as restrições que governarão seu desenvolvimento. Uma especificação pode ser um documento escrito, um modelo gráfico, um modelo matemático, uma coleção de cenários de uso, um protótipo ou qualquer combinação entre eles (Pressman, 2006). A especificação de requisitos é a formalização em

documento das funções que o software possuirá elencadas no levantamento e análise de requisitos.

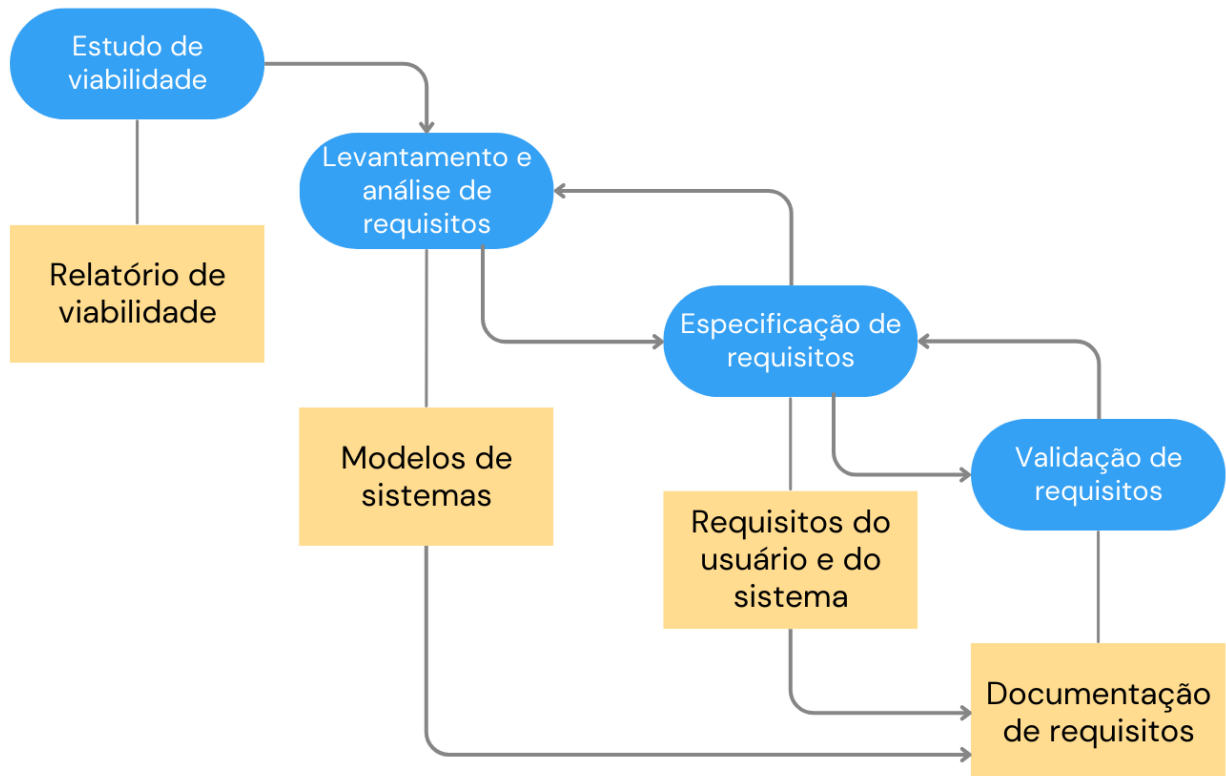
Um dos documentos gerados na ER é o diagrama de casos de uso. Este diagrama mostra exatamente quais são as funções do software, quem poderá acessar qual função, se houverem diferentes perfis e quais módulos do sistema estarão disponíveis para cada *stakeholder*.

O processo de ER deve passar através de um mecanismo chamado revisão técnica formal, para garantir que todos os requisitos do software tenham sido declarados de forma clara, de modo não ambíguo e que as inconsistências, omissões e erros tenham sido detectados e corrigidos. A equipe de trabalho envolve engenheiros de software, clientes, usuários e outros interessados que examinam as especificações a procura de erros e inconsistências, todos envolvidos para garantir que os produtos de trabalho estejam de acordo com as normas estabelecidas para o processo, o projeto e o produto (PRESSMAN, 2006).

A Figura 2.1 mostra a estrutura da ER, segundo Sommerville (2011), e mostra também os documentos gerados em cada fase culminando no Documento de Requisitos corrigido e refinado ao final do processo.

Ainda observando a Figura 2.1, é possível perceber uma relação cíclica entre as fases, onde a equipe de engenharia de requisitos pode, conforme necessidade do processo, navegar livremente entre as fases melhorando os documentos gerados. Metodologias de desenvolvimentos mais antigas, como o modelo cascata, eram mais rígidas quanto a mudanças de requisitos durante o processo de desenvolvimento, pois a metodologia consistia no primeiro momento em definir os requisitos (as funcionalidades do sistema) e em seguida codificar o sistema todo e apresentar ao cliente apenas na fase de testes ou mesmo para produção.

Figura 2.1 Estrutura da Engenharia de Requisitos



Fonte: Sommerville (2011)

Mudanças nos requisitos em meio ao desenvolvimento trariam grandes custos ao projeto ou mesmo inviabilizá-los. Com o advento de novas tecnologias, linguagens mais modernas e a própria necessidade do mercado mais dinâmico, novas metodologias foram surgindo, possibilitando maior interação entre cliente-desenvolvedor e onde mudanças no projeto, não trariam grandes consequências ao ritmo de trabalho.

A documentação de requisitos após validada e finalizada contém todas as funcionalidades que o software contemplará após finalizado. Após a finalização do documento de requisitos, os desenvolvedores iniciam de fato o processo de codificação do software com base neste documento.

Na etapa de projeto e implementação de software utiliza-se do documento de requisitos para gerar uma descrição de todos os componentes que o sistema vai possuir e como estruturá-los em forma de código. Esta fase pode ser dividida em três etapas. A primeira, chamada de projeto arquitetural, define um modelo conceitual para o sistema modularizando, de forma praticamente independente, suas funcionalidades.

A próxima etapa, é a concepção de interfaces, onde as funcionalidades serão estudadas e definidas e transformadas em interfaces de comunicação, embora ainda conceituais. Esta fase se encerra com o detalhamento do projeto, onde todos os módulos que comporão o sistema serão definidos (PRESSMAN, 2006; SOMMERVILLE, 2011).

Em seguida acontece a codificação do software. É nesta fase em que todos os documentos produzidos anteriormente são traduzidos em linguagem de computador. Esta codificação é feita em uma linguagem de programação que possibilite atender as lógicas e funcionalidades listadas, ou seja, todos os requisitos documentados anteriormente. E por fim, inicia-se a fase de validação, integração e testes. Nesta fase, o sistema todo é testado, a integração dos módulos é verificada e todos os requisitos propostos inicialmente serão validados (PRESSMAN, 2006; SOMMERVILLE, 2011).

É importante destacar que todas estas fases são cíclicas onde, se houver necessidade de uma nova funcionalidade, após a fase de validação, nada impede do projeto voltar a fase de especificação de requisitos, ou se na fase de validação, em meio aos testes, for detectado algum erro ou mal funcionamento, o projeto pode voltar para a fase de codificação e até mesmo ao projeto, caso o mal funcionamento interfira em outras partes do software. E assim, seguir novamente seu caminho. Esse desenvolvimento cíclico pode ser observado na Figura 2.2.

Figura 2.2 Ciclo de desenvolvimento



Fonte: Elaboração do autor.

Este desenvolvimento cíclico é benéfico tanto para os desenvolvedores quanto para os clientes, pois a cada novo ciclo, o cliente pode visualizar que parte do problema está sendo resolvido e para os desenvolvedores também é vantajoso, pois permite quebrar o “sistema maior” em sistemas menores.

O teste de software revela defeitos durante o desenvolvimento, manutenção e evolução de um sistema. Assim, o uso dos testes traz grande impacto não somente na boa estruturação de código, mas na qualidade do software como um todo (DELAMARO *et al.*, 2017).

Testes de software podem ser definidos como uma série de atividades que expõem a existência de defeitos. Para que os testes sejam eficazes não basta apenas que eles sejam executados, é necessário que sejam utilizadas estratégias para que eles sejam efetivos e gerem métricas para avaliação (PRESSMAN, 2006; DELAMARO *et al.*, 2017; OLIVEIRA, 2022).

A performance é uma qualidade do software que afeta todo o software, desde suas camadas inferiores até a interface com o usuário. Um sistema possui bom desempenho quando apresenta um tempo de resposta adequado e aceitável, mesmo se submetido a um volume de processamento próximo de situações reais ou de pico. Os testes de performance necessitam de determinados requisitos não funcionais previamente definidos que servirão de baliza para analisar os resultados obtidos nos testes (SOUSA; SANTANA, 2020).

O teste de uma unidade deve testar se um algoritmo faz o que deveria ser feito e garantir que o código deve produzir o efeito esperado. O teste de unidade é focado em um trecho específico do código, desta forma os erros encontrados são facilmente localizados, diminuindo o tempo gasto com depuração (BERNARDO; KON, 2008).

Após os erros encontrados através dos testes e posteriormente corrigidos, o software passa por uma validação do cliente. Essa validação é uma pequena avaliação se o software está se comportando como deveria e atendendo as necessidades do usuário final.

2.4.1. Paradigma e metodologia de desenvolvimento de software

As metodologias ágeis de desenvolvimento de software são caracterizadas por ciclos de desenvolvimento curtos, alta interação com o cliente, entregas constantes e

incrementais, além de replanejamento e redefinição de funções, tornando o desenvolvimento mais dinâmico e assimilando melhor as mudanças do projeto ocorridas durante o tempo de desenvolvimento, atendendo melhor as necessidades dos usuários (MATHARU *et al.*, 2015).

Seguindo o Scrum, para cada sprint, eram definidas as atividades e objetivos a serem atingidos (*product backlog*), mantendo assim, um ritmo e histórico de desenvolvimento (BISSI, 2007).

O principal mecanismo envolvendo programação orientada a objetos, é a abstração do código em objetos do cotidiano. Cada objeto tem seu comportamento e suas características dentro do software e a interação entre estes objetos é o que faz o software funcionar (OBERLEITNER, MASIERO, 2021).

A orientação a objetos surgiu como conceito na década de 70, e tem sua principal característica na transformação de objetos do cotidiano em atributos (características) e métodos (comportamentos) dentro do sistema. Outras características importantes da programação orientada a objetos são: herança, polimorfismo e encapsulamento. Estas características do paradigma facilitam o reaproveitamento do código, atribuem novas funções a trechos de código e melhoram a segurança da aplicação (OBERLEITNER, MASIERO, 2021; SOMMERVILLE, 2011).

A herança permite que uma classe herde características (métodos e atributos) de outra classe, conhecida como classe base ou superclasse, permitindo assim, a reutilização de código, economizando tempo e esforço na programação. A classe derivada pode adicionar novos comportamentos ou modificar os existentes, além de herdar os comportamentos da classe base (PRESSMAN, 2006; SOMMERVILLE, 2011).

O polimorfismo refere-se à capacidade de objetos responderem ao mesmo método de maneiras diferentes. Isso significa que um mesmo método pode ter várias formas de implementação em classes diferentes (PRESSMAN, 2006; SOMMERVILLE, 2011).

O encapsulamento ajuda a organizar o código, tornando-o mais modular e seguro. Ele também define o nível de acesso aos dados e métodos de uma classe, permitindo que sejam ocultados de outras classes e acessados apenas por meio de métodos públicos definidos na própria classe. Isso promove a segurança dos dados e

facilita a manutenção do código, uma vez que as alterações internas de uma classe não afetam outras partes do programa (SOMMERVILLE, 2011).

Em se tratando de abordagem orientada a eventos, uma aplicação reativa é capaz de detectar e reagir a interações e mudanças de estados, assim chamados de eventos. Os aplicativos *mobile* se destacam nesta área, pois são softwares naturalmente interativos e dinâmicos (LISBOA, 2021; NETTO *et al.*, 2001).

2.4.2. Framework de desenvolvimento

O Framework Flutter alinhado a linguagem de programação Dart são ferramentas modernas e com diversos recursos necessários ao bom funcionamento do sistema (ZAMMETTI, 2020).

Frameworks de desenvolvimento são um conjunto de bibliotecas e ferramentas que facilitam o trabalho do desenvolvedor. Sua utilização além de poupar tempo, trazem segurança e estabilidade para o software desenvolvido (LISBOA, 2020).

O Flutter é um framework criado pela Google, inicialmente projetado para desenvolvimento de aplicativos nativos Android e iOS. Nos dias atuais, o Flutter está em plena expansão, podendo se gerar aplicativos para a Web, desktop, *smartwatches* e dispositivos embarcados, como é utilizado em carros da Toyota (MARINHO, 2020; FLUTTER, 2022).

Esse framework possui um ecossistema bem definido e para extrair ao máximo os benefícios providos pelo framework, utiliza-se a linguagem de programação Dart (FLUTTER, 2022). Trabalhando-se com a linguagem Dart, é possível obter ciclos de desenvolvimento extremamente ágeis e dinâmicos e os softwares gerados são leves e possuem tempos de execução e inicialização rápidos (ZAMMETTI, 2020).

As características do Flutter são importantes pois o framework gera um aplicativo que se comunica diretamente com o sistema operacional de cada aparelho, tornando possível utilizar o aplicativo em alguns dispositivos mais antigos sem nenhum tipo de lentidão nas respostas e interações (FLUTTER, 2022).

2.4.3. Padrão MVC e Banco de Dados

Para organização do código, o padrão MVC (*Model, View, Controller*) se adapta muito bem com o paradigma de desenvolvimento orientado a objetos. Amplamente utilizado por desenvolvedores de diversas linguagens de programação, o padrão MVC organiza o código em camadas, onde o *Model* ou modelo, é responsável por guardar todas as representações de objetos (PRESSMAN, 2006; SOMMERVILLE, 2011).

A camada de visão é responsável por representar e exibir ao usuário as informações e fornecer meios para que o mesmo interaja com o software. As requisições feitas pelo usuário nesta camada são transmitidas para a camada de controladores. Os controladores (*Controllers*) são responsáveis por conectar os modelos, as visões e os dados armazenados no banco de dados, ou seja, os controladores são responsáveis por gerir as ações do objeto e interações do usuário, salvar em banco e retornar as informações às visões para serem exibidas ao usuário (PRESSMAN, 2006; SOMMERVILLE, 2011).

Tratando-se de banco de dados locais para aplicativos mobile, existem poucas opções para se trabalhar. Bancos de dados relacionais estabelecem uma relação entre suas entidades. Usualmente, uma entidade relacional, é a representação de um objeto abstraído na fase de documentação de requisitos (DATE, 2004).

Toda esta relação entre entidades é representada dentro do banco de dados por mecanismos próprios, sendo necessários para garantir a segurança e a integridade dos dados, não sendo possível apagar dados de uma tabela em que outra dependa de suas informações (DATE, 2004).

2.5. Metodologia DSR

Durante a pesquisa, utilizou-se a abordagem metodológica de DSR - *Design Science Research* (Projeto de Pesquisa Científico, em tradução livre). A metodologia DSR é aplicada para a criação e documentação de qualquer artefato, processo ou método para solucionar um problema, conforme definem Vaishnavi e Kuechler (2005).

A metodologia de pesquisa DSR ou *Design Research* (Projeto de Pesquisa) surgiu na década de 90 e tem sua fundamentação baseada em metodologias qualitativas. A DSR é uma metodologia rigorosa voltada a criação e validação de um artefato em suas diversas etapas criativas e construtivas.

Um dos conceitos da DSR divulgados por Wang e Wang (2013) é que o Projeto de Pesquisa Científico:

Refere-se a um conjunto de orientações e métodos específicos para o processo de criação, construção e validação de um artefato no contexto de inovação de Tecnologia da Informação - TI.

Para outros autores como Vaishnavi e Kuechler (2005), a DSR pode ser definida como:

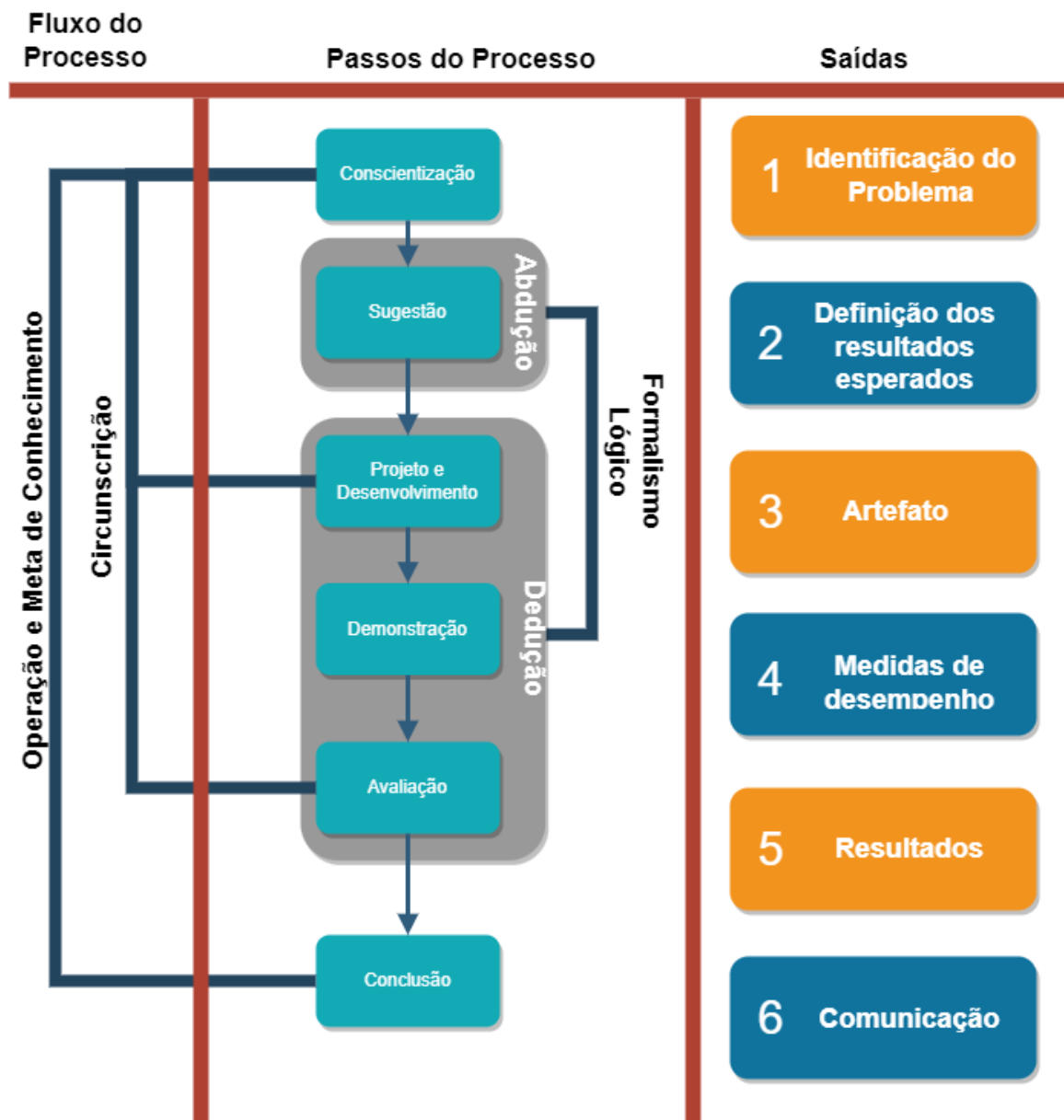
Um conjunto analítico de técnicas e de perspectivas para a realização de estudos em sistemas de informação. Envolve a análise do uso e o desempenho dos artefatos projetados para compreender, explicar e melhorar o comportamento dos aspectos em estudo.

A metodologia *Design Science Research* tem como objetivo descrever a natureza criativa, o conhecimento relativo à concepção e sugerir a utilidade de um artefato.

O processo do método *Design Research* inicia quando o pesquisador busca solucionar um problema, é a condição inicial de pesquisa. E, para isso, é necessário entender a natureza do problema, o contexto, as potencialidades e as limitações para que seja possível compreender o ambiente em que o problema está inserido (CORREIA e DUCLÓS, 2019).

O processo metodológico adotado pela *Design Science Research* está apresentado na Figura 2.3.

Figura 2.3 Processo de desenvolvimento DSR



Fonte: Manson, (2006); Vaishnavi e Kuechler, (2005); adaptado pelo autor.

Esses projetos provisórios estão intimamente ligados à proposta da etapa de conscientização. Essa etapa é essencialmente criativa e é nessa fase que diferentes pesquisadores chegarão a diferentes projetos provisórios (VAISHNAVI; KUECHLER, 2005). A saída desta etapa é a sugestão de resultados esperados e como os artefatos poderão solucionar o problema encontrado na conscientização (MANSON, 2006).

Durante a fase de projeto e desenvolvimento, o pesquisador construirá um ou mais Artefatos. As técnicas utilizadas variam muito, dependendo dos artefatos que

estão sendo construídos. Alguns exemplos de artefatos são algoritmos com uma prova formal, software e sistemas especialistas. A construção em si pode não exigir nenhuma novidade além do estado da prática, pois a novidade está principalmente no projeto (VAISHNAVI; KUECHLER, 2005). Ao final desta etapa, um ou mais produtos são gerados para a resolução do problema de pesquisa, de acordo com as propostas de soluções feitas na fase de sugestão.

Antes e durante a construção, os pesquisadores farão hipóteses sobre como o artefato se comportará. Na etapa de demonstração, os pesquisadores testam em ambiente controlado o funcionamento dos artefatos gerados. As saídas desta etapa são as métricas e formas de testar e avaliar os artefatos construídos (MANSON, 2006).

Uma vez construído, o artefato deve ser avaliado em relação aos critérios contidos implícita ou explicitamente na proposta. Quaisquer desvios das expectativas devem ser explicados provisoriamente. Em *Design Research*, no entanto, isso é apenas o começo. As hipóteses iniciais raramente são descartadas, mas os desvios do comportamento esperado do artefato forçam os pesquisadores a abduzir novas sugestões. O design do artefato também é modificado, muitas vezes após mais pesquisas nas direções sugeridas pelo comportamento inesperado (VAISHNAVI; KUECHLER, 2005).

Nesta etapa da pesquisa, pode haver uma ruptura na linearidade do processo. Novos conhecimentos são produzidos, onde a circunscrição como parte do método lógico formal pressupõe que cada fragmento de conhecimento é válido apenas em determinadas situações. Assim, o pesquisador aprende algo novo quando as coisas não funcionam conforme a teoria, forçando o pesquisador a analisar o que está acontecendo e porque as coisas não estão funcionando, levando o pesquisador de volta ao estado de conscientização. Assim a pesquisa permeia entre as sub-etapas do formalismo lógico de abdução e dedução, indicados também pelo fluxo do processo de circunscrição, e a cada ciclo, um novo fragmento de conhecimento é gerado para apoiar ou mudar os artefatos inicialmente projetados (HEVNER *et al.*, 2004, VAISHNAVI; KUECHLER, 2005).

Em algum momento da pesquisa, embora ainda possa haver desvios no comportamento do artefato em relação às hipóteses revisadas, possivelmente multiplicadas, o esforço é considerado "bom o suficiente". Chegando à etapa de

conclusão, o conhecimento produzido é classificado como firme ou como 'pontas soltas'. Conhecimento firme são fatos que foram aprendidos e podem ser aplicados repetidamente. Pontas soltas são anomalias que não podem ser explicadas e frequentemente se tornam objeto de pesquisas adicionais (VAISHNAVI; KUECHLER, 2005). Ao final desta fase, o pesquisador deve apresentar todos os resultados obtidos na pesquisa, bem como comunicar ao incitador inicial da pesquisa, aquele que trouxe o problema ao pesquisador, seja a indústria, governo, população ou a própria comunidade científica.

Hevner *et al.* (2004), propõem uma série de diretrizes para avaliar uma pesquisa com base na metodologia *Design Science Research*. Conforme pode ser observado no Quadro 2, os autores detalham cada parte da pesquisa indicando uma diretriz avaliativa para o processo. Analisam o artefato, o problema, as contribuições e a forma como a pesquisa foi conduzida, além do resultado e divulgação das contribuições.

Quadro 2 Diretrizes de avaliação de pesquisa DSR

Diretriz	Descrição
<i>Design</i> como artefato	A pesquisa em <i>Design Research</i> deve produzir um artefato viável na forma de uma construção, um modelo, um método ou uma instanciação.
Relevância do problema	O objetivo do <i>Design Research</i> para a ciência é desenvolver soluções baseadas em tecnologia para importantes e relevantes problemas de negócios.
Avaliação do <i>Design</i>	A utilidade, a qualidade e a eficácia de um artefato de <i>Design</i> devem ser rigorosamente demonstradas por intermédio de métodos de avaliação bem executados.
Contribuições da pesquisa	Uma pesquisa em <i>Design Research</i> eficaz deve fornecer contribuições claras e verificáveis nas áreas do <i>Design</i> do artefato, fundamentos de projeto e/ou metodologias de projeto.
Rigor da pesquisa	A investigação do <i>Design Research</i> baseia-se na aplicação de métodos rigorosos, tanto na construção quanto na avaliação do artefato <i>Design</i> .
<i>Design</i> como busca no processo	A busca por um artefato eficaz requer utilização de meios disponíveis para alcançar os fins desejados, satisfazendo Leis no ambiente do problema.
Comunicação da Pesquisa	A investigação <i>Design Research</i> deve ser apresentada de forma eficaz tanto para o público, orientado para a gestão, bem como orientadas para a tecnologia.

Fonte: Hevner *et al.* (2004).

Metodologias qualitativas, de certo modo, são análises de micro processos através do estudo das ações sociais individuais ou grupais, tornando intensa e estreita a relação do pesquisador com os dados analisados (MARTINS, 2004).

A tipologia DSR, fundamentada na pesquisa qualitativa, envolve a obtenção de dados descritivos, obtidos no contato direto do pesquisador com a situação estudada. Ao final da pesquisa, o pesquisador tem subsídios teóricos e práticos consistentes e bem fundamentados e não um amontoado de informações difusas e irrelevantes (ANA; LEMOS, 2018).

Nesta pesquisa, análises qualitativas apoiadas a metodologia DSR, o fluxo de condução da pesquisa e diretrizes avaliativas foram de extrema importância para entender as necessidades dos produtores e traduzi-las em um aplicativo para que possa auxiliá-los nos problemas elencados.

2.6. Correlação entre dados meteorológicos

As normas técnicas do INMET recomendam que as estações meteorológicas sejam instaladas em uma base física, numa área livre de obstruções naturais e prediais, situada em área gramada mínima de 14 m por 18 m (INMET, 2011). Para manter a confiabilidade dos dados apresentados pela estação meteorológica do INMET em Petrolina, foi verificado a correlação dos dados com dados de outras estações da região.

O coeficiente de correlação de Pearson (r) varia de -1 a 1 onde, ao se aproximar dos extremos, indica uma forte relação entre as duas variáveis. Dessa forma, alguns pesquisadores consideram uma forte correlação a partir de 0,7. Outros autores consideram uma correlação moderada ou forte, quando r acima de 0,6. De certo, quanto mais próximo de 1, maior é o grau de dependência estatística linear entre as variáveis (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JUNIOR, 2009). Para determinar o valor de r , utiliza-se a seguinte expressão:

$$r = \frac{1}{n-1} \cdot \sum \left(\frac{x_i - \bar{X}}{S_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{Y}}{S_y} \right) \quad (1)$$

Onde:

r = coeficiente de correlação de Pearson;

n = quantidade de amostras;
 x = variável independente;
 y = variável dependente;
 \bar{x} = média dos valores de x ;
 \bar{y} = média dos valores de y ;
 S_x = desvio padrão de x ;
 S_y = desvio padrão de y .

O coeficiente r é adimensional, uma medida de $r = 0,7$ não significa que existe uma correlação de 70% entre as variáveis. Nem mesmo uma proporção, onde 0,8 é uma relação que representa o dobro de uma correlação 0,4. Por isso, diversos autores estimam uma boa correlação acima de 0,6 ou 0,7. E ainda sugerem outros testes baseados no coeficiente obtido, como por exemplo regressões lineares e análise de variância (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JUNIOR, 2009).

2.7. Penman-Monteith

O método de determinação da evapotranspiração de referência definido por Penman-Monteith, pode ser calculado pela seguinte expressão (Eq. 2)

$$ET_o = \frac{0,408 s (R_n - G) + \gamma \frac{900}{t + 273} U_2 (e_s - e_a)}{s + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (2)$$

Fonte: ALLEN *et al.* (2006)

Em que:

ET_o = evapotranspiração de referência (mm d^{-1});

s = declividade da curva de pressão de vapor em relação a temperatura ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$);

R_n = radiação diária ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

G = fluxo diário de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

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

U_2 = velocidade do vento a 2 metros de altura (m s^{-1});

e_s = pressão de saturação de vapor (kPa);

e_a = pressão parcial de vapor (kPa);

t = temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$).

Para efetuar o cálculo da evapotranspiração de referência utilizando-se a equação de Penman-Monteith (Eq. 2), é necessário calcular algumas variáveis que não são fornecidas diretamente da estação meteorológica.

A pressão de saturação do vapor d'água ($e_s(t)$), pode ser calculada utilizando-se a Equação 3, onde t é a temperatura média em $^{\circ}\text{C}$. Eventualmente, na ausência da temperatura média, utiliza-se duas expressões (Eq. 3), uma para temperatura máxima e outra para temperatura mínima e faz a média entre estas equações (ALLEN *et al.*, 2006).

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

De posse da pressão de saturação do vapor d'água e conhecendo a umidade relativa média, a pressão parcial de vapor (e_a) pode ser calculada a partir da expressão (ALLEN *et al.*, 2006):

$$e_a = e_s(t) \cdot \frac{UR_{med}}{100} \quad (4)$$

Para o cálculo da declividade da curva de pressão de vapor em relação a temperatura (s), utiliza-se a expressão (ALLEN *et al.*, 2006):

$$s = \frac{4098 \cdot e_s(t)}{(t + 237,3)^2} \quad (5)$$

Em que t é a temperatura média ($^{\circ}\text{C}$), obtida diretamente nas estações meteorológicas do INMET. Eventualmente, caso a temperatura média não esteja disponível, pode ser obtida a partir da expressão: $(t_{max} + t_{min})/2$.

Para o cálculo do coeficiente psicrométrico, pode ser utilizada a equação (ALLEN *et al.*, 2006):

$$\gamma = 0,665 \cdot 10^{-3} \cdot P \quad (6)$$

Em que P é a pressão atmosférica medida em kPa, a qual, pode ser obtida através da expressão (ALLEN *et al.*, 2006):

$$P = 101,3 \cdot \left(\frac{293 - 0,0065 \cdot z}{293} \right)^{5,26} \quad (7)$$

Z é a altitude onde se encontram os instrumentos de medição em relação ao nível do mar.

A velocidade do vento, necessária para estimar a ETo obtida pelo método de Penman-Monteith (Eq. 2), deve ser obtida a dois metros de altura (U_2). Entretanto, por padrão, nas estações meteorológicas do INMET, o anemômetro é instalado a 10 metros de altura. Sendo assim, a velocidade do vento a 2 metros pode ser estimada a partir da expressão (ALLEN *et al.*, 2006):

$$U_2 = U_z \cdot \frac{4,87}{\ln(67,8 \cdot z - 5,42)} \quad (8)$$

Onde z é a altura do anemômetro ($z = 10$ metros para estações do INMET) e U_z é a velocidade do vento medida na altura z .

Neste ponto, resta-se obter a radiação líquida diária (R_n). Para se obter os dias julianos, basta calcular o dia sequencial no ano, ou seja, 1 de fevereiro é 32 em dias julianos. Evidentemente no cálculo, levou-se em consideração os anos bissextos, para os meses subsequentes a fevereiro.

Somente após o cálculo do dia juliano (J), é possível se obter a declinação solar (δ) em radianos. Nesta etapa, foi utilizada a seguinte equação (ALLEN *et al.*, 2006):

$$\delta = 0,4093 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{365} \cdot J - 1,396\right) \quad (9)$$

Após obter-se a declinação solar, foi calculado o inverso do quadrado da distância relativa entre o Sol e a Terra $[(d/D)^2]$, também em função dos dias julianos. Para tanto, utilizou-se a seguinte equação (ALLEN *et al.*, 2006):

$$(d/D)^2 = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot J\right) \quad (10)$$

De posse da declinação do Sol, calcula-se o ângulo horário (ω_s), que é função também da latitude (φ) de acordo com Allen *et al.* (2006).

$$\omega_s = \arccos(-\tan \varphi \cdot \tan \delta) \quad (11)$$

“ φ ” representa a latitude em radianos da estação meteorológica. A latitude da estação é fornecida em graus no site do INMET ou direto na API do INMET, sendo necessário fazer a conversão para utilizá-la em radianos (cada 1° é igual a $\pi/180$ em radianos). O passo seguinte, é o cálculo da radiação solar extraterrestre (R_a) medida em $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

A radiação solar extraterrestre representa a radiação que chega no topo da atmosfera da Terra. Ou seja, é a radiação emitida pelo Sol sem nenhuma interferência; baseando-se na equação sugerida por Allen *et al.*, (2006), considerando a constante solar $G_{sc} = 0,0820 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$, temos $(24 \cdot 60 / \pi) \cdot 0,082 = 37,6$ que é a constante utilizada na equação de R_a (Eq. 12). Além da constante, a radiação solar extraterrestre é calculada em função do inverso do quadrado da distância entre o Sol e a Terra, do ângulo horário, da declinação solar e da latitude:

$$R_a = 37,6 \cdot (d/D)^2 \cdot [\omega_s \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_s)] \quad (12)$$

Em posse da radiação solar extraterrestre (R_a), ou seja, a radiação solar sem interferência da atmosfera terrestre, é possível calcular a radiação solar em céu limpo (R_{so}) expressa também em $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, conforme a equação a seguir (ALLEN *et al.*, 2006):

$$R_{so} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot z) \cdot R_a \quad (13)$$

A radiação solar em céu limpo é em função da altitude da região em metros (z) e da radiação solar extraterrestre (R_a).

Quanto a radiação solar global (R_s), é obtida através de piranômetros instalados nas estações meteorológicas do INMET. Entretanto, deve-se atentar que os dados são expressos em $\text{KJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$, sendo necessário fazer a conversão para $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$.

De posse da radiação solar global (R_s), é possível calcular a radiação de ondas curtas (R_{ns}) através da seguinte expressão (ALLEN *et al.*, 2006):

$$R_{ns} = (1 - \alpha) \cdot R_s \quad (14)$$

Em que α é o coeficiente de reflexão da cultura, denominado albedo. Para o presente estudo, tendo em vista que o objetivo é determinar a evapotranspiração de referência, deve-se utilizar o albedo igual a 0,23, que corresponde ao albedo de uma cultura hipotética, semelhante a um gramado.

A radiação de ondas longas (R_{nl}) pode ser calculada através da expressão (ALLEN *et al.*, 2006):

$$R_{nl} = \sigma \cdot \left(\frac{T_{\max}^4 + T_{\min}^4}{2} \right) \cdot (0,34 - 0,14 \cdot \sqrt{e_a}) \cdot \left(1,35 \cdot \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (15)$$

Em que σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); T é a temperatura do ar expressa em Kelvin; R_s é a radiação solar medida na estação meteorológica. Determinadas as radiações de ondas curtas e ondas longas, o saldo de radiação diário (R_n) pode ser obtido através da expressão:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (16)$$

Por fim, para determinação da ETo (Eq.2), resta apenas a obtenção do fluxo diário de calor no solo (G) que, segundo Allen *et al.* (2006) o calor armazenado no solo durante o dia é perdido durante à noite, podendo o fluxo de calor ser considerado igual a zero ($G = 0$) por um período de até 10 dias.

2.8. Sistemas de irrigação

Em sistemas de irrigação por aspersão, é preciso determinar a necessidade de irrigação (NI) e em seguida determinar o tempo de irrigação (T_i).

$$NI = ET_c - P_e \quad (17)$$

$$Ti = NI / P_{asp} \quad (18)$$

Para determinar NI, precisa-se conhecer a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a precipitação no dia anterior (P_e). Estes dados, conforme discutido anteriormente, são obtidos a partir da evapotranspiração de referência e do estágio de desenvolvimento da planta. Após determinar a necessidade de irrigação, basta dividi-la pela precipitação do sistema de irrigação por aspersão (P_{asp}), medida em milímetros (PEREIRA, 2014).

Para sistemas de micro irrigação, deve-se calcular primeiro a fração de área molhada (a) e o volume de água aplicado por emissor (V) em litros/dia. Para calcular a fração de área molhada, deve-se conhecer o raio molhado (R) e o espaçamento entre linhas e entre plantas.

$$a = Am / A_{esp} \quad (19)$$

Em que:

Am = área molhada; pode ser obtida através de: TTR^2 ;

A_{esp} = espaçamento entre plantas x espaçamento entre linhas.

Calculado a fração de área molhada (a), é necessário medir em campo a área sombreada (As) com o Sol a pino. Em seguida, deve-se determinar o coeficiente de uniformidade (C_u), que para sistemas de irrigação localizada deve ser superior a 90%. Em seguida, calcula-se o volume de água necessário (V) e a ser aplicado pelos emissores (MAROUELLI *et al.*, 1996).

$$V = ET_o \cdot [a + 0,15 \cdot (1 - a)] \cdot K_c \cdot As / C_u \quad (20)$$

Em que:

ET_o = evapotranspiração de referência;

a = fração de área molhada em decimais;

As = área sombreada em m^2 ;

C_u = coeficiente de uniformidade de aplicação, em decimais;

K_c = coeficiente de cultura.

Por fim, calcula-se o tempo de irrigação (T_i) do sistema que representará de fato o tempo de funcionamento do sistema de irrigação para microirrigação ou irrigação localizada correlacionado com a cultura cultivada.

$$T_i = \frac{V}{(n \cdot q)} \quad (21)$$

Em que V é o volume de água aplicado por emissor (Eq. 20); n é o número de emissores; e q , a vazão de cada emissor.

2.9. Diagnóstico Prévio

A disponibilidade de informações precisas sobre condições climáticas e orientações adequadas para a irrigação pode ter um impacto significativo na produtividade das colheitas, na eficiência dos recursos e na sustentabilidade das práticas agrícolas. Pequenos produtores têm dificuldade em acessar essas informações de maneira acessível e de baixo custo. A criação de um aplicativo sem custos, voltado especificamente para atender às necessidades dos pequenos produtores, preenchendo essa lacuna, se torna uma justificativa válida e relevante para o trabalho.

O presente estudo se deu em duas parcelas produtivas. Na parcela produtiva de manga o sistema de irrigação utilizado é o gotejamento e na de melancias, aspersores convencionais e anteriormente foi utilizado irrigação por inundação.

Os produtores conhecem os cálculos de evapotranspiração, coeficiente de cultura e o dimensionamento de sistemas de irrigação. Porém, não possuem nenhum tipo de ferramenta para o auxílio da irrigação por ter um custo considerável no orçamento deles. Eles possuem o apoio de um técnico do SENAR - Serviço Nacional de Aprendizagem Rural, que eventualmente indica as melhores formas de proceder no cultivo dos alimentos.

Ambos adotam o turno de rega fixo, com duração média de 4 (quatro) horas e não utilizam nenhum parâmetro técnico no auxílio da irrigação. Foi observado nas

parcelas produtivas que os produtores utilizam o turno de rega diário independente do que aconteceu nos dias anteriores, de forma a não considerar chuvas e outros fatores que poderiam contribuir na economia dos recursos hídricos.

Sendo assim, é possível perceber que a agricultura desempenha um papel vital na produção de alimentos e no sustento de comunidades em todo o mundo. Com a crescente demanda por alimentos devido ao aumento da população global, a eficiência e a sustentabilidade na agricultura tornaram-se questões importantes. A tecnologia desempenha um papel cada vez mais importante neste aspecto. Os avanços na agricultura permitem o monitoramento e a gestão mais precisos das culturas, levando a uma utilização mais eficiente dos recursos, como água, fertilizantes e pesticidas.

A irrigação é um aspecto crítico da agricultura, especialmente em regiões com disponibilidade limitada de água. A evapotranspiração, que é a perda de água do solo devido à evaporação e à transpiração das plantas, desempenha um papel fundamental na determinação das necessidades hídricas da cultura.

O desenvolvimento de aplicativos de cálculo de evapotranspiração da cultura pode auxiliar os agricultores na programação e no controle adequados da irrigação, garantindo o uso eficiente da água e evitando o desperdício.

Os métodos e processos de desenvolvimento ágil, contribuem para gerar uma ferramenta que se adeque ao público-alvo resolvendo problemas do cotidiano.

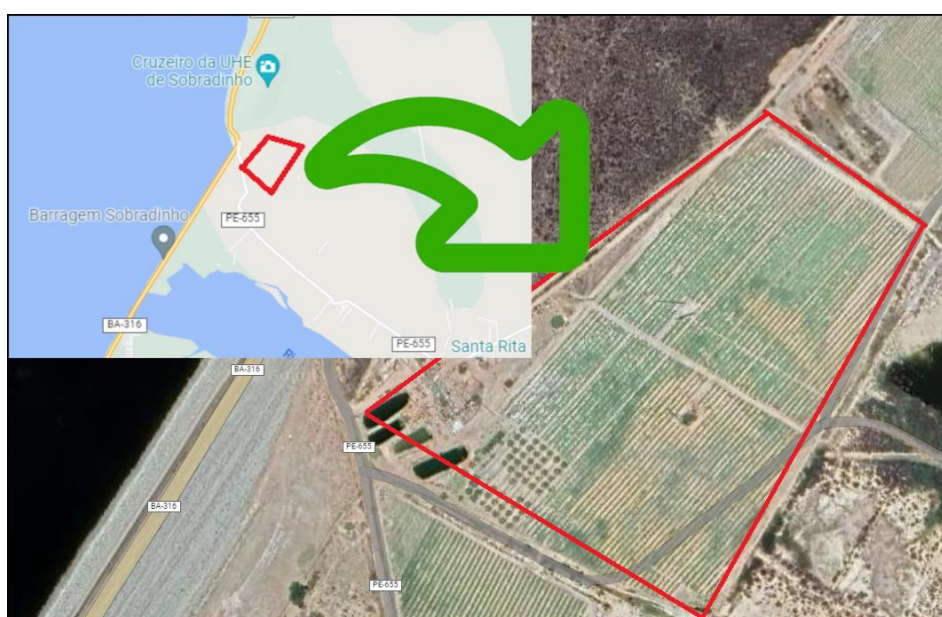
Portanto, a combinação da tecnologia móvel e da agricultura pode oferecer benefícios significativos, fornecendo aos agricultores informações precisas e em tempo real, melhorando a gestão dos recursos agrícolas e contribuindo para uma agricultura mais produtiva, sustentável e resiliente.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo

A área de estudo desta pesquisa se deu em duas pequenas parcelas produtivas no distrito de Santa Rita, Casa Nova-BA, conforme destacado na Figura 3.1, cujas coordenadas geográficas são: latitude: -9.41° e longitude: -40.81° .

Figura 3.1 Área de estudo - Santa Rita, Casa Nova-BA



Fonte: Elaboração do autor.

Considerando a área de estudo desta pesquisa, a estação meteorológica do INMET mais próxima dos produtores encontra-se na cidade de Petrolina-PE.

Conforme as cidades vão crescendo, algumas vezes, as construções urbanas vão se aproximando do local de instalação da estação meteorológica e nem sempre, é possível realocá-la para um local mais afastado da cidade. Este é o caso da estação meteorológica do INMET em Petrolina, que atualmente, encontra-se em zona urbana, fugindo um pouco das recomendações técnicas de localização da estação.

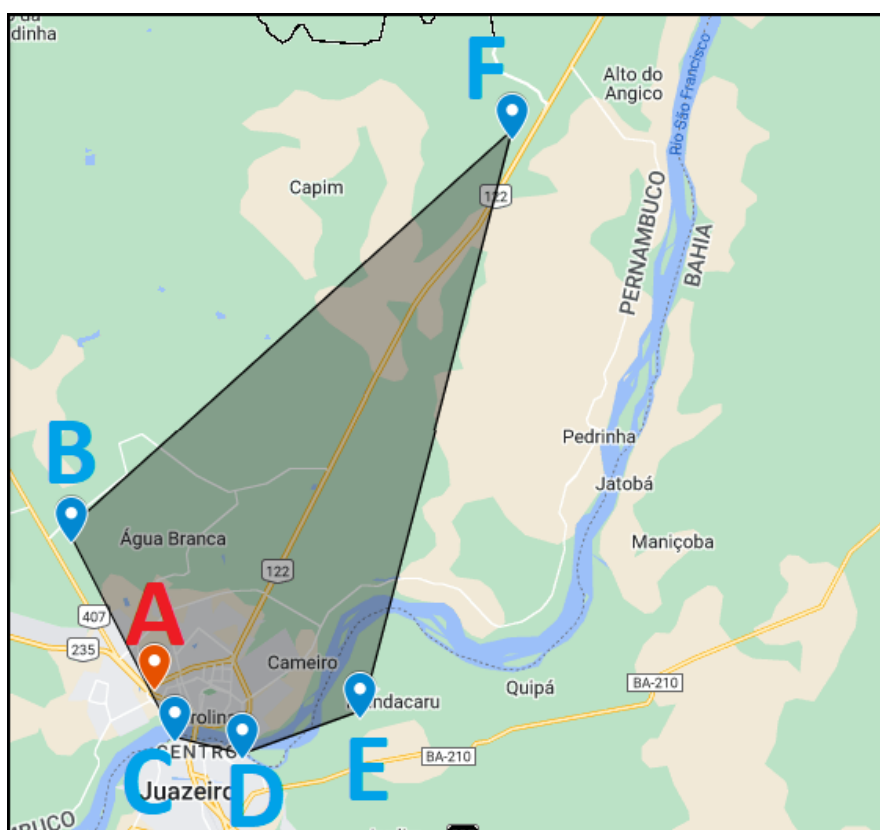
Desta forma, se faz necessário validar os dados coletados desta estação com outras estações localizadas em zonas rurais na mesma região, como também, recomenda a DSR, sendo as medidas de desempenho uma das saídas geradas. Foi

realizada a comparação entre os dados da estação do INMET com os dados de outras cinco estações meteorológicas ao redor da cidade.

Para tanto, utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson (r), que mostra a correlação entre duas variáveis. Esse coeficiente é uma medida bivariada, mensurando o grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas.

As estações meteorológicas estudadas estão localizadas conforme mostra a Figura 3.2. O ponto A, mostrado na figura, é a estação meteorológica do INMET em Petrolina-PE. Ela se encontra em uma latitude de $9^{\circ}23'S$, longitude de $40^{\circ}31'W$ e uma altura de 372 metros. No ponto B, encontra-se a estação meteorológica da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), campus Ciências Agrárias, na zona rural de Petrolina. A estação está em uma latitude de $9^{\circ}19'S$, longitude de $40^{\circ}33'W$ e uma altitude de 390 metros. A distância em linha reta entre os pontos A e B, é de aproximadamente 8 km.

Figura 3.2 Mapa da localização das estações meteorológicas próximas a estação do INMET em Petrolina-PE (A).



Fonte: Elaboração do autor.

Ainda sobre a Figura 3.2, o ponto C, mostra a estação meteorológica da UNIVASF, campus Juazeiro, onde a latitude é de 9°24'S, longitude de 40°30'W e altitude de 364 metros. A distância entre o ponto A e o ponto C é de 2,4 km. No ponto D, está a estação meteorológica da Universidade do Estado da Bahia, campus Juazeiro, localizada a uma latitude de 9°24'S, longitude de 40°29'W e altitude de 363 metros. A distância em linha reta entre o ponto A e o ponto D é de 5,3 km. O ponto E, representa a estação meteorológica de Mandacaru, projeto irrigado na zona rural de Juazeiro-BA: latitude de 9°24'S, longitude de 40°26'W e altitude de 375 metros. A distância entre a estação do INMET e a de Mandacaru é de aproximadamente 9,8 km.

Por fim, o ponto F mostra a estação meteorológica de Bebedouro, projeto irrigado na zona rural de Petrolina-PE. Esta estação está localizada em uma latitude de 9°09'S, longitude de 40°22'W e altitude de 373 metros. Em relação ao INMET, esta é a estação mais distante, ficando a aproximadamente 31,5 km de distância.

3.2. Procedimentos metodológicos

Para início e embasamento do estudo foi utilizada a pesquisa bibliográfica, a fim de compor o referencial teórico, abordando maneiras de como automatizar os cálculos da evapotranspiração através de dados de estações meteorológicas. Este procedimento possibilita ter uma visão geral do estado da arte do tema em questão.

Foi realizada uma busca nas principais lojas de aplicativos como apple store, play store, Microsoft store e no Google, a fim de encontrar ferramentas que auxiliem no manejo da irrigação. Também foi realizada uma pesquisa nas bases de dados científicas, ResearchGate, SCieLO, Google Acadêmico, IEEE e Periódicos da CAPES para encontrar trabalhos similares e correlatos.

Para este trabalho, o posicionamento filosófico adotado foi o pragmatismo onde buscou-se construir um conhecimento a partir da resolução de um problema real. Neste sentido, tentando elucidar a hipótese de ser possível criar um aplicativo sem custos, voltado ao pequeno produtor, que possa buscar dados de estações meteorológicas e informar ao produtor o quanto deve ser irrigado através de cálculos. Após o aplicativo pronto, como estudo de caso, testou-se em duas parcelas produtivas no interior da Bahia, cidade de Casa Nova, distrito Santa Rita (IZU *et al*, 2020; VENTURA, 2007). Os procedimentos metodológicos podem ser vistos no Quadro 3.

Quadro 3: Quadro Metodológico

Questão de Pesquisa	de	Como desenvolver um aplicativo sem custos que utilize dados de estações meteorológicas para informar ao pequeno produtor a quantidade de irrigação necessária por meio de cálculos precisos?
Objetivos do Estudo	do	Identificar as necessidades e demandas dos pequenos produtores em relação à gestão da irrigação. Desenvolver um aplicativo intuitivo e de fácil utilização para auxiliar o produtor na tomada de decisões sobre a irrigação. Avaliar a efetividade e a aceitação do aplicativo pelos usuários.
Posicionamento Filosófico		O estudo busca criar uma solução prática e útil para os pequenos produtores, utilizando dados reais e focando nos resultados observáveis e na utilidade do aplicativo.
Abordagem Metodológica		Estudo de Caso: Será realizado um estudo de caso no distrito de Santa Rita, envolvendo pequenos produtores agrícolas, para entender suas necessidades e testar a aplicabilidade do software desenvolvido.
Coleta de Dados		Observação: Serão realizadas observações em campo para compreender o processo atual de tomada de decisão em relação à irrigação e identificar oportunidades de melhoria. Dados Meteorológicos: Serão coletados dados de estações meteorológicas locais para fornecer informações precisas sobre os dados de tempo necessários para irrigação.
Desenvolvimento do Aplicativo		Design Iterativo: O aplicativo será desenvolvido de forma iterativa, com base nas necessidades e feedback dos pequenos produtores, garantindo que seja intuitivo e fácil de usar. Programação: Serão utilizadas linguagens de programação e ferramentas adequadas para desenvolver a interface do aplicativo e integrá-lo aos dados meteorológicos.
Avaliação e Validação	e	Testes de Usabilidade: Serão realizados testes com pequenos produtores para avaliar a usabilidade e identificar possíveis melhorias no aplicativo. Feedback dos Usuários: Serão coletados feedbacks dos usuários para verificar a eficácia do aplicativo na tomada de decisões sobre irrigação. Análise de Dados: Serão realizadas análises qualitativas dos dados coletados para avaliar a aceitação e a utilidade do aplicativo.
Divulgação conclusões	e	Uma tese que descreva o processo de desenvolvimento do aplicativo, os resultados obtidos e as recomendações para a implementação em outras regiões. O trabalho também será apresentado em conferências e eventos relacionados à agroecologia e tecnologia, visando compartilhar conhecimentos e promover a disseminação da solução desenvolvida.

Fonte: Elaboração do autor.

3.3. Concepção e desenvolvimento do aplicativo

Seguindo a metodologia DSR, foi realizado um levantamento das reais necessidades dos agricultores em campo para o Submédio Vale do São Francisco - etapa de conscientização do problema., sugerido o desenvolvimento de um aplicativo

georreferenciado, baseado em parâmetros técnicos, com um nível de simplicidade tal que, o público-alvo possa utilizá-lo sem maiores dificuldades.

Desta forma, as duas primeiras saídas (de acordo com DSR) foram definidas: realizada a identificação do problema – dificuldade no manejo da água e na obtenção de dados técnicos e ferramentas no auxílio da irrigação; e resultados esperados – desenvolver um aplicativo que, a partir de dados de estações meteorológicas próximas, sejam obtidas informações simples e diretas referentes ao manejo da água de irrigação e exibidas aos produtores. A etapa seguinte, conforme a DSR, trata-se da elaboração do projeto e desenvolvimento do artefato sugerido.

O projeto e desenvolvimento do aplicativo *mobile* seguiu com base nas melhores práticas de engenharia de software, utilizando-se de um paradigma de programação orientado a objetos e por vezes uma abordagem orientada a eventos, sempre levando em consideração as informações passadas pelos produtores e observadas pelo pesquisador.

Na identificação das características a serem contempladas no software, apontou-se como primordial, determinar a evapotranspiração de referência (ET_o). Desta forma, escolheu-se o método de Penman-Monteith por ser o método de determinação da ET_o mais completo e referência na FAO. O passo seguinte foi pesquisar alternativas de se obter os dados necessários para que o aplicativo funcionasse.

A solução foi consultar as estações meteorológicas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), por estas possuírem uma API (Interface de Programação de Aplicação) que facilita e automatiza a comunicação entre estações meteorológicas e a aplicação *mobile*. Esta API permite acessar os dados direto das estações meteorológicas automáticas, enquanto estiverem ativas, sem depender da interferência dos controladores das estações. É importante frisar que a EMBRAPA também possui uma API própria, a AgroAPI, que fornece dados das estações meteorológicas vinculadas a instituição, porém, esta solução possui limite gratuito de 1000 requisições ou um mês de uso (EMBRAPA, 2021).

Como o objetivo principal da pesquisa é trazer uma solução de sem custos para o pequeno produtor e abrangência nacional, a AgroAPI foi descartada.

Com a base de dados externa ao aplicativo estabelecida, definiu-se quais informações seriam inseridas no banco de dados do aplicativo (Apêndice A - documento de requisitos).

Existem vários padrões de desenvolvimento de software. Para a presente pesquisa, foi escolhida a metodologia ágil de desenvolvimento SCRUM, o paradigma orientado a objetos e, também, uma abordagem orientada a eventos, pois em se tratando de uma aplicação *mobile*, esta abordagem torna o aplicativo mais reativo, respondendo melhor a interações do usuário e atualizando dados em tempo real.

Utilizou-se grande parte da metodologia de desenvolvimento Scrum, pois como todo o aplicativo foi desenvolvido pelo pesquisador, recomendações do Scrum como reuniões diárias e explícitas definições de papéis para cada membro da equipe não foram necessárias. No entanto, todo o arcabouço de gerenciamento do projeto foi seguido. Em cada entrega (*sprint*) de funcionalidades do aplicativo, os produtores eram consultados sobre a nova funcionalidade desenvolvida; recomendações e mudanças poderiam ocorrer conforme os produtores utilizavam e reportavam erros ou dificuldades.

Nessa pesquisa, os seguintes objetos foram definidos: a estação meteorológica, a fazenda, o sistema de irrigação e a cultura. Todos estes objetos foram abstraídos e transformados em código para a composição do aplicativo. Uma estação meteorológica tem características como cidade em que está localizada, latitude, longitude, código da estação, tipo de estação (automática ou convencional) e situação da estação (ativa ou inativa). Um comportamento atribuído a essa estação é buscar os dados meteorológicos de determinada data. De forma análoga a estação, todos os outros objetos que compõem o aplicativo possuem características (atributos) e comportamentos (métodos).

No aplicativo Fazenda Fácil, existe a classe para irrigação que em dado momento pode representar uma irrigação por aspersão e em outro momento uma irrigação localizada, conforme a propriedade de herança da orientação a objetos. Quando se aciona o método de cálculo da irrigação da classe irrigação do aplicativo, o valor, a forma de calcular e o tempo a ser exibido depende se a irrigação é localizada ou não, referindo-se ao encapsulamento gerado no método.

Para o aplicativo Fazenda Fácil desenvolvido nesta pesquisa, algumas interações reativas foram implementadas, tais como: coletar dados meteorológicos

em tempo real e a escolha do K_c da cultura, fazendo assim com que o software responda imediatamente a cada interação apresentando os devidos resultados.

Devido a tratar-se de um aplicativo *mobile*, optou-se por escolher o framework Flutter. E visando a melhor compatibilidade com dispositivos mais antigos, optou-se por escolher bibliotecas nativas e quando necessário, utilizar apenas bibliotecas desenvolvidas pela comunidade que sejam aprovadas pela equipe de criadores e mantenedores do framework.

Foram definidos os modelos para as estações meteorológicas, a fazenda, a cultura, o sistema de irrigação, os dados meteorológicos, as cidades e estados do país. Cada modelo são objetos que possuem características e comportamentos, ou seja, atributos e métodos. Na sequência, a *View* ou camada de visão, é responsável por exibir ao usuário os dados que representam o objeto ou um conjunto de objetos. Neste estudo, as seguintes visões foram definidas: *home*, sobre, inserir cultura, calcular evapotranspiração, ajuda, visualizar consumo de água e visualizar dados do clima.

A camada de visão é responsável por representar e exibir ao usuário os cálculos de evapotranspiração, tempo necessário para irrigação, dados climatológicos, botões para escolha do coeficiente de cultura (K_c) e etc.

Cada objeto do aplicativo deve ter seu próprio controlador, como a fazenda, a estação meteorológica, o sistema de irrigação, etc. No entanto, algumas telas são tão complexas que elas também necessitam de um controlador, como por exemplo a tela principal do aplicativo, a *home*. Esta tela possui um controlador específico, pois ela precisa lidar com vários outros controladores ao mesmo tempo, o controlador da fazenda, da estação e do sistema de irrigação. Todos estes controladores transitam informações entre si e o controlador da *home* faz essa gerência para que o comportamento de cada um seja responsivo e adequado.

O banco de dados utilizado no aplicativo Fazenda Fácil foi o SQLite, um banco de dados relacional no formato SQL (*Structured Query Language*). Para cada objeto, fazenda, cultura, estação, existirá uma ou mais tabelas para representá-los no banco de dados. E a relação entre estas entidades também é importante. Por exemplo, uma fazenda possui uma ou mais culturas, está localizada em uma cidade. A cidade pertence a um estado e assim, sucessivamente.

3.3.1. Planejamento e codificação

Utilizando-se do framework Flutter e da linguagem Dart, o aplicativo foi sendo codificado, passo-a-passo, seguindo as orientações da engenharia de software e baseando-se no documento de requisitos, cada necessidade do documento foi sendo atendida a cada nova iteração no ciclo de desenvolvimento.

Na primeira fase de concepção do aplicativo, a especificação de requisitos, estabeleceu-se uma solução mais refinada para o problema, neste caso: o auxílio na irrigação através de uma ferramenta tecnológica e a possível preservação de recursos hídricos através de uma maior precisão no manejo da água.

Em sequência, a análise de requisitos tratou de elencar todas as funcionalidades do sistema extraída das requisições dos produtores em conversas, reuniões e necessidades em geral percebida pelo analista do projeto. Tudo isto é convertido em um documento (Apêndice A – documento de requisitos) contemplando as funções que o sistema terá no futuro e as especificidades técnicas do mesmo conforme orienta Pressman (2006) e Sommerville (2011).

A partir deste documento, chegou-se a um modelo de software e o projeto do aplicativo pôde ser iniciado de forma a tentar-se obter a evapotranspiração de referência automaticamente.

As estações meteorológicas do INMET não fornecem a evapotranspiração de referência da região, no entanto, fornecem variáveis suficientes para executar o seu cálculo, utilizando-se a equação mais complexa e completa, a equação de Penman-Monteith. As principais variáveis obtidas nas estações são: latitude, longitude, umidade relativa média, temperatura média, temperatura máxima, temperatura mínima, quantidade de chuva, velocidade média do vento, radiação solar global, além da data e da cidade em que a estação se encontra.

Neste ponto, se determinará qual estação meteorológica o produtor consultará os dados. Foi desenvolvido duas formas simples: a primeira, basta que o produtor permita que o aplicativo utilize a localização atual, sendo assim, o software buscará a estação mais próxima em funcionamento. Uma segunda forma, é selecionar a estação manualmente através da escolha cidade-estado.

Para desenvolver qualquer sistema, se faz necessário primeiramente entender o problema que será solucionado através do software. Muitas vezes, é possível

quebrar o “problema principal” em problemas menores, sendo possível codificar por etapas e, assim resolvendo cada um destes probleminhas até que o conjunto todo do software resolverá o problema maior.

Com a evapotranspiração de referência definida, basta que o produtor selecione o Kc (coeficiente de cultura) atual da sua plantação, para obter em tempo real a evapotranspiração da cultura.

Ao iniciar o aplicativo, é apresentado em tela, as culturas pré-cadastradas e seus respectivos coeficientes, conforme Quadro 4, reduzida e adaptada do boletim FAO 56. A tabela completa consta no Anexo I.

Caso o produtor não queira utilizar nenhuma das culturas apresentadas no aplicativo, ele pode inserir uma nova cultura e seus coeficientes, conforme a sua necessidade. O produtor ainda pode cadastrar uma mesma cultura que esteja pré-cadastrada, utilizando coeficientes de cultura diferentes, adequando-se mais ainda a sua realidade. Esta é uma forma de tornar o aplicativo mais versátil, podendo ser utilizado em qualquer parte do país, com qualquer cultura.

Quadro 4 Coeficientes de cultura propostos pela FAO

Cultura	Kc inicial	Kc maturid.	Kc final
a. Pequenos Vegetais	0.15	0.95	0.85
Brócolis		0.95	0.85
Cenoura		0.95	0.85
Cebola		0.95	0.65
Cebolinha		0.90	0.90
Cebola semente		1.05	0.70
b. Vegetais (Solanaceae)	0.15	1.10	0.70
Berinjela		1.00	0.80
Pimentão		1.00	0.80
Tomate		1.10	0.60-0.80
c. Vegetais (Cucurbitaceae)	0.15	0.95	0.70
Abóbora, Moranga		0.95	0.70
Cucurbita, Abobrinha italiana		0.90	0.70
Melão		1.00	0.70
Melancia		0.95	0.70
d. Raízes e tubérculos	0.15	1.00	0.85
Beterraba		0.95	0.85
Chirívia		0.95	0.85

Cultura	Kc inicial	Kc maturid.	Kc final
Batata		1.10	0.65
e. Legumes (Leguminosae)	0.15	1.10	0.50
Feijão verde		1.00	0.80
Feijão		1.10	0.25
Grão-de-bico		0.95	0.25
Lentilha		1.05	0.20
I. Frutas tropicais e árvores			
Banana – primeiro ano	0.15	1.05	0.90
Banana – segundo ano	0.60	1.10	1.05
Cacau	0.90	1.00	1.00
Café	0.80	0.90	0.90
Café – com cobertura no solo	1.00	1.05	1.05
Palmeira	0.85	0.90	0.90
Abacaxi	0.15	0.25	0.25
Abacaxi – com cobertura de grama	0.30	0.45	0.45
m. Uvas e Bagas			
Arbustos	0.20	1.00	0.40
Uvas de mesa	0.15	0.80	0.40
Uvas para vinho	0.15	0.65	0.40

Fonte: ALLEN et al. (2006), adaptado pelo autor.

Nesta etapa do desenvolvimento, o aplicativo possui os dados meteorológicos, a evapotranspiração de referência, o coeficiente de cultura no estágio atual da planta e a evapotranspiração da cultura, restando apenas os dados e cálculos da irrigação.

O desenvolvimento do módulo de irrigação seguiu-se semelhante ao módulo de evapotranspiração, baseando-se nos cálculos de fórmulas, conforme apresentado nas Eq. 17 e Eq. 18 para sistemas de irrigação por aspersão, ou conforme as Eq. 19, Eq. 20 e Eq. 21, quando o sistema for por irrigação localizada. Assim, ao utilizar o aplicativo, o produtor deve informar qual o tipo de irrigação que utiliza, seja aspersão ou irrigação localizada. Em seguida deve inserir os dados pertinentes ao sistema de irrigação. Ao finalizar esta etapa, o software estará apto a indicar o tempo necessário de irrigação e o quanto de água será aplicado, permitindo ao produtor comparar o consumo de água antes e depois de utilizar o aplicativo. Obtendo-se assim, a terceira saída recomendada pela DSR, o artefato.

Com o aplicativo desenvolvido, foi possível realizar os primeiros testes unitários, testes de performance, testes funcionais e testes de usabilidade validando o código, as funções desenvolvidas e a praticidade de uso do software.

Para o teste de usabilidade, foram considerados os seguintes aspectos: facilidade de uso, eficiência, satisfação do usuário e identificação de possíveis problemas. Os testes foram realizados por pequenos produtores em suas próprias fazendas buscando através do aplicativo os dados: meteorológicos, inserindo informações sobre o sistema de irrigação e visualizando recomendações de irrigação.

Os testes foram realizados individualmente e observando a interação do produtor com o aplicativo, após fornecimento de algumas instruções básicas. Foram registrados comentários e percepções gerais sobre o aplicativo, pontos fortes e fracos, sugestões de melhoria e qualquer outra observação relevante.

Os resultados dos testes foram organizados de forma a identificar problemas comuns e oportunidades de aprimoramento. Com base nos dados coletados, algumas modificações foram feitas no aplicativo melhorando a experiência do usuário. Desta forma, os testes de software satisfazem a saída de medidas de desempenho da DSR.

Com o aplicativo gerado, seguiu-se as recomendações da metodologia DSR, foi realizada uma demonstração do artefato aos produtores onde eles puderam avaliar a versão final do produto. Neste ponto, como a metodologia ágil Scrum recomenda, entregas anteriores haviam sido feitas e os produtores conheciam boa parte do aplicativo, sendo apresentada nesta versão final o módulo de irrigação e gráficos. Ou seja, os produtores tinham familiaridade com a parte de cadastro ou escolha da cultura e cálculos de evapotranspiração, tornando mais fácil a verificação e validação das novas funções. Com o retorno positivo dos usuários, o aplicativo foi finalizado e dado início a fase de publicação.

3.4. Artefatos auxiliares

A presente pesquisa gerou um conjunto de ferramentas, tais como: um aplicativo e um manual de uso, que trouxeram informações simples e eficazes no manejo da água, pois como pode ser constatado ao longo deste trabalho, muitos produtores não têm acesso a uma informação técnica de qualidade ao conduzir a irrigação em suas propriedades. O manual, refere-se ao uso do aplicativo Fazenda

Fácil, também desenvolvido durante a pesquisa. Este manual é um guia ilustrado que orienta o produtor a baixar e utilizar o aplicativo da melhor forma possível.

3.5. Percurso da pesquisa

A metodologia DSR guiou durante todo o processo de pesquisa, onde cada passo dado gera-se uma nova saída, conforme foi explicado ao longo deste capítulo. Para um melhor entendimento, a figura abaixo exemplifica as interações feitas ao longo do projeto.

Figura 3.3 Mapa da DSR.



Fonte: Elaboração do autor.

Conforme visto, a pesquisa se iniciou com a conscientização do problema onde foi possível perceber que alguns produtores locais procediam com a irrigação de suas culturas sem auxílio de nenhuma ferramenta tecnológica e sem base em parâmetros técnicos.

Na etapa de projeto e desenvolvimento, após uma revisão bibliográfica sobre o assunto, foi sugerido o desenvolvimento de um aplicativo para auxílio no manejo da irrigação.

Com as primeiras funcionalidades do aplicativo já prontas, foi demonstrado aos produtores o produto e feitos testes de usabilidade e verificação de erros no aplicativo, conforme indica a DSR na etapa de demonstração e saídas de medidas de desempenho.

Após ajustes efetuados no aplicativo, ele foi disponibilizado aos produtores que puderam utilizar durante o início de 2022 e assim, foi coletado dados da safra, da irrigação e do uso do aplicativo. Estes dados coletados foram necessários para concluir a pesquisa, conforme etapa de avaliação e resultados da DSR.

Com os dados das estações meteorológicas automáticas, determina-se a evapotranspiração de referência e, esta, ao ser multiplicada por um coeficiente específico para a cultura que o produtor cultiva, sabe-se a necessidade de água requerida pela cultura. Desta forma, o aplicativo apresenta informações sobre por quanto tempo o produtor deverá permanecer com seu sistema de irrigação ligado e assim o agricultor resolverá diversos questionamentos, fazendo com que aumente a precisão do manejo de água e conseqüentemente, a redução no consumo.

Por fim, conforme mostra a Figura 3.3, a conclusão do projeto se dará com a defesa da tese, divulgação do aplicativo e apresentações em seminários e conferências relacionados aos assuntos aqui tratados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Fluxo de atividades do aplicativo

Com a realização desta pesquisa, utilizando de recursos tecnológicos envolvendo aplicativos e dados provenientes da internet, foi possível extrair dados relevantes ao uso eficiente da água, captar dados meteorológicos e compilá-los em informações úteis ao produtor, sendo estes atualizados periodicamente e disponibilizados imediatamente ao utilizador da ferramenta.

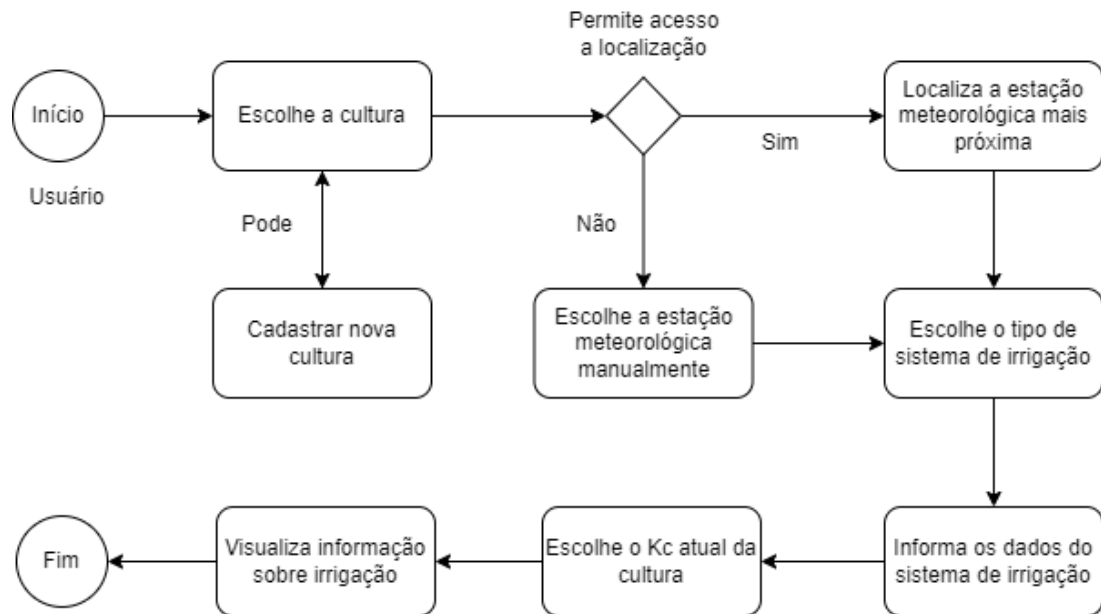
O aplicativo Fazenda Fácil, desenvolvido durante esta pesquisa está disponível de forma gratuita para *smartphones* Android e iOS em suas respectivas lojas. Ele é compatível com o Android 8 ou superior, para celulares lançados em 2017 ou celulares mais antigos que receberam atualização para o Android 8. Para o iOS, a compatibilidade foi ligeiramente maior, abarcando celulares lançados em 2016 até os dias atuais, como o iPhone 5 lançado com o sistema operacional iOS 10.

É possível destacar que o aplicativo não se limita a aparelhos celulares, qualquer dispositivo que possuam estes sistemas operacionais ou posteriores e acesso à internet, poderão utilizar o aplicativo. Entre os dispositivos em questão, pode-se destacar tablets, iPads, iPods, câmeras, *smartwatches*, TVs e até mesmo computadores de bordo de carros, como citado nos carros da Toyota.

Ao baixar o aplicativo nas lojas oficiais do seu *smartphone*, após algumas entradas de informações da fazenda, o aplicativo estará apto a buscar dados das estações meteorológicas próximas e gerar as informações necessárias a rega.

Para um bom entendimento do funcionamento do aplicativo, se faz necessário apresentar o fluxo de atividades dele, onde será possível verificar a sequência das informações solicitadas e em seguida, o uso das informações aplicadas ao sistema de irrigação (Figura 4.1).

Figura 4.1 Diagrama do fluxo de atividades



Fonte: Elaboração do autor.

A primeira etapa do aplicativo, o produtor deve escolher o tipo de cultura, se é uma cultura perene ou se é uma cultura de ciclo anual. Em seguida, o produtor deve escolher uma das culturas pré-cadastradas. Porém, caso a cultura desejada não esteja listada, o produtor pode clicar em adicionar nova cultura e preencher os dados requisitados. Esta opção é uma ação importante, pois mesmo que a cultura esteja cadastrada, possibilita ao produtor utilizar coeficientes de cultura diferentes daqueles propostos no Quadro 4.

Na próxima etapa, o produtor deverá escolher a estação meteorológica mais próxima de sua fazenda. Ele poderá fazer isso de duas maneiras: primeiro, clicando no botão “Buscar pela localização atual”, neste caso, o produtor deverá permitir o uso do GPS do seu dispositivo. O aplicativo buscará automaticamente a estação mais próxima do produtor através da geolocalização. A segunda maneira é clicando na caixa de seleção e escolhendo o estado e a cidade mais próxima de sua fazenda, desta forma, o aplicativo não terá acesso a localização do produtor.

Em seguida, o produtor deverá informar os dados do seu sistema de irrigação (Figura 4.2). Ao salvar, o produtor verá a tela principal do aplicativo (Figura 4.3), bastando escolher o Kc desejado e visualizar as informações trazidas pelo app sobre irrigação.

Figura 4.2 Dados do sistema de irrigação.

Irrigação por Gotejamento

Qual o emissor com raio molhado em metros?

Raio molhado em m

Qual o espaçamento entre plantas em metros?

Espaçamento entre plantas em m

Qual o espaçamento entre linhas em metros?

Espaçamento entre linhas em m

Qual a projeção individual da copa da planta com sol à pino em m²?

Área sombreada em m²

Qual o número de emissores por planta?

Número de emissores por planta

Qual a vazão de cada emissor em litros por hora?

Vazão do emissor em litros por hora

Qual o tempo médio que você costuma irrigar por dia em horas?

Salvar

Fonte: Elaboração do autor.

Figura 4.3 Tela principal do aplicativo.

Fazenda Fácil

Fazenda

Fazenda teste
Cidade da estação meteorológica: PETROLINA

Cultura

Tomate
Kc atual: 0.6

Escolha o coeficiente de cultura (Kc) atual

Kc inicial Kc maturidade Kc final

Irrigação por Aspersão

Data da medição: 23/05/2022
Evapotranspiração de referência: 4.0489 mm/dia
Evapotranspiração Tomate: 2.4294 mm/dia
Não choveu ontem!

Portanto, você deve irrigar por 3 horas e 24 minutos.

Baixar dados climatológicos

Fonte: Elaboração do autor.

Como é possível perceber, apenas algumas informações pertinentes a fazenda e ao sistema de irrigação do produtor foram necessárias para que o aplicativo entrasse em pleno funcionamento. Desta forma, reduz-se drasticamente o erro humano na inserção de múltiplos dados.

A Figura 4.3 mostra também qual o coeficiente atual da cultura, é com base neste coeficiente que o aplicativo faz os cálculos de evapotranspiração da cultura. Em seguida, apresenta três botões para escolher o Kc atual da cultura. O Kc inicial representa os estágios iniciais da cultura que vai desde o plantio até a cobertura total do solo. O Kc maturidade, representa o coeficiente a partir da cobertura total efetiva até o início da maturação e envelhecimento da cultura. O Kc final, representa a fase final da maturidade até a colheita ou senescência completa da cultura.

O último quadro da Figura 4.3, mostra os dados pertinentes a evapotranspiração de referência, evapotranspiração da cultura, data de medição, dados da irrigação e o resultado do cálculo de quanto deve ser irrigado. Nessa tela, o produtor pode clicar no botão do Kc que desejar e o aplicativo fará todo o recálculo para o sistema de irrigação e exibindo a nova indicação do tempo de irrigação em tempo real.

Na Figura 4.3, o aplicativo mostra ao produtor que está buscando dados da estação meteorológica de Petrolina. A cultura plantada pelo produtor é o tomate e o coeficiente de cultura atual da plantação é de 0,6. Exibe ainda três botões para que o produtor possa alterar entre os coeficientes de cultura e em seguida mostra a evapotranspiração de referência e da cultura para a data de 23/05/2022, mostrando também o quanto o sistema de irrigação do produtor deve permanecer ligado para que supra a necessidade hídrica do tomate naquele dia, que seria o tempo de 3 horas e 24 minutos conforme figura.

Na Figura 4.4 observa-se como ficou a implementação da equação de Penman-Monteith na linguagem Dart. Da linha 1 (um) até a linha 13 (treze), são comentários no código (cor verde). Esses comentários não são lidos pelo compilador do software, mas são trechos de linhas importantes para facilitar a manutenção e atualização do aplicativo no futuro, seja por parte de terceiros, ou pelo próprio desenvolvedor.

Trata-se de uma boa prática de programação, tendo em vista que ajuda a quem for alterar o código, identificar o que a função faz, qual o objetivo e quais parâmetros recebem.

Figura 4.4 Equação da evapotranspiração de referência em Dart

```
1  /**
2  * Função para calcular a Evapotranspiração de Referência Eto
3  * retorno double
4  * parâmetros:
5  * delta => inclinação da curva de pressão de vapor
6  * rn => saldo diário de radiação líquida
7  * g => fluxo diário de calor no solo, considerar 0 pra um dia
8  * y => coeficiente psicrometrico
9  * tmed => temperatura media
10 * u2 => velocidade do vento a 2m
11 * es => pressão de saturação do vapor d'água
12 * ea => pressão do vapor d'água média diária
13 */
14 double evapotranspiracaoReferencia(double delta, double rn, double y,
15 double tmed, double u2, double es, double ea) {
16     double num_p1, num_p2, num_p3, denominador;
17     num_p1 = 0.408 * delta * (rn - 0); //g = 0 pra um dia
18     num_p2 = y * (900 / (tmed + 273));
19     num_p3 = u2 * (es - ea);
20     denominador = delta + (y * (1 + 0.34 * u2));
21     double eto;
22     eto = (num_p1 + (num_p2 * num_p3)) / denominador;
23     return eto;
24 }
```

Fonte: Elaboração do autor.

As linhas 14 (quatorze) e 15 (quinze) da Figura 4.4, são a chamada da função, ou seja, quando em determinado momento do software, ele executará a função de cálculo da evapotranspiração. Além do nome da função (evapotranspiracaoReferencia), essas linhas guardam outras informações importantes como os parâmetros necessários para que a função em si execute sem nenhum problema.

Ainda observado a Figura 4.4, as principais variáveis da equação de Penman-Monteith são representadas por parâmetros entre parêntesis. Estes parâmetros “chegam” nesta função calculados em um momento prévio, por funções de estruturas semelhantes a função apresentada na Figura 4.4, porém, cada uma com seu objetivo específico. O corpo da função é representado pelas linhas 16 (dezesesseis) até a 23 (vinte e três). É nessa parte que o cálculo é processado pelo aplicativo. Para simplificar, o numerador da equação de Penman-Monteith (Eq. 2) foi dividido em três variáveis: num_p1, num_p2 e num_p3. O denominador da equação também foi calculado separadamente. Em seguida, o código cria uma variável do tipo *double* de nome eto. Esse tipo quer dizer que a variável eto será obrigatoriamente numérica,

podendo ser um número inteiro ou um número racional. Esta função sempre retornará um valor numérico, conforme visto na linha 23 (vinte e três). E a função se encerra na linha seguinte.

Ao solicitar os dados meteorológicos, o aplicativo vai, imediatamente, buscar na estação meteorológica mais próxima da fazenda, os últimos dados climatológicos disponíveis, geralmente, dados do dia anterior. Assim que o aplicativo obtém estes dados, ele atualiza sua própria base de dados e efetua todos os cálculos de evapotranspiração. Quando o produtor efetua a transição entre um K_c e outro, o aplicativo refaz todo o cálculo de irrigação com base na última evapotranspiração disponível, não sendo necessário acesso à internet para este procedimento.

Existe também o menu lateral esquerdo com algumas outras opções do aplicativo. Uma destas opções, é uma página de ajuda para que o produtor possa entender como o aplicativo funciona, inclusive contém uma breve explicação do que significa o K_c inicial, K_c maturidade e o K_c final, padrões adotados pela FAO, com tradução livre.

Através do menu lateral, o usuário também terá acesso aos últimos dados do clima que mostra em detalhes todas as informações fornecidas pela estação meteorológica mais próxima do produtor. O produtor também tem a opção de visualizar detalhadamente todas as variáveis utilizadas no cálculo de evapotranspiração.

Uma outra tela de suma importância que pode ser acessada através do menu lateral é a tela de “Consumo de água”.

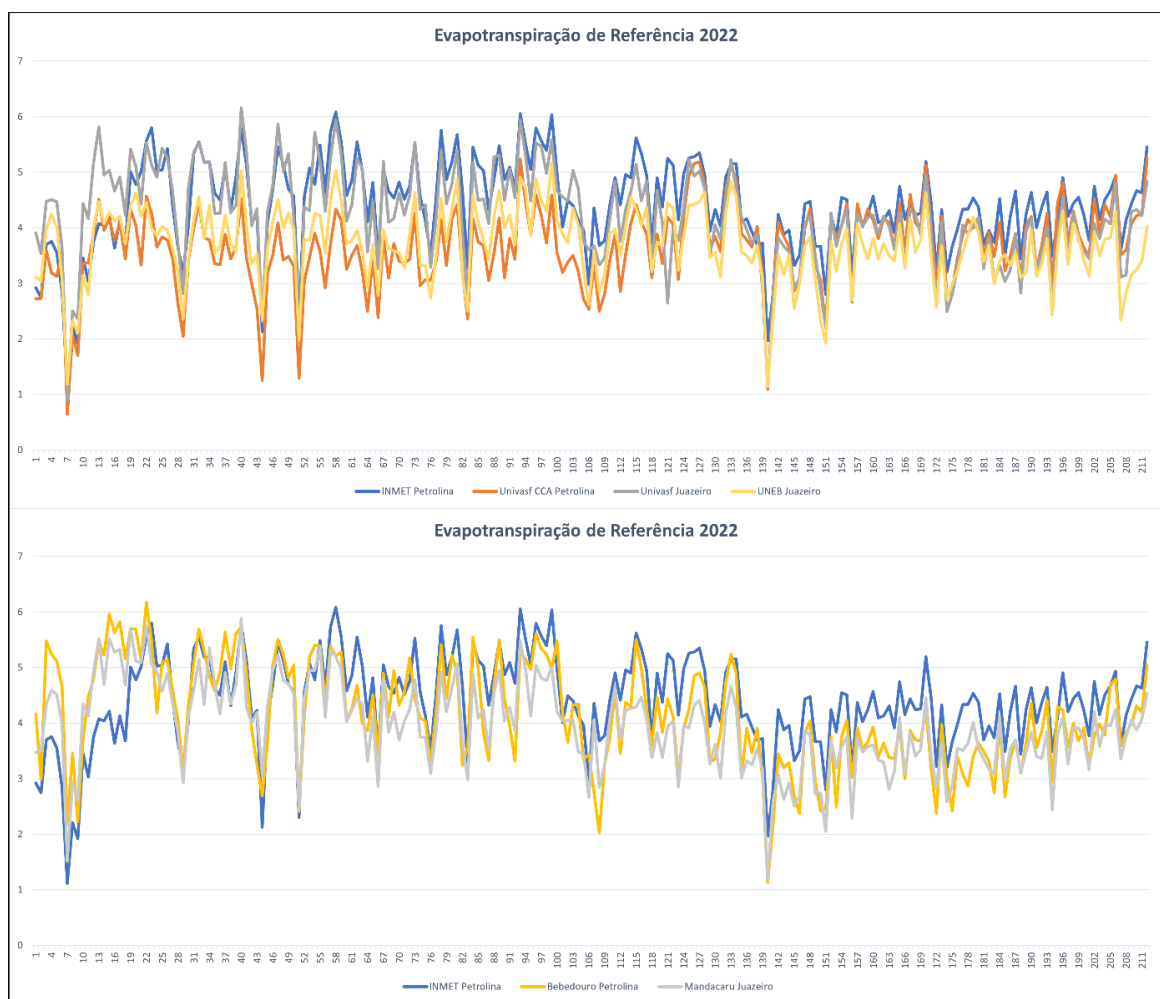
Esta tela mostra um gráfico dos últimos 30 dias em que o produtor poderá visualizar o consumo de água e o quanto ele consegue economizar utilizando o aplicativo. No gráfico desta tela, o aplicativo mostra o consumo de água na linha azul. E na linha laranja, mostra a diferença de consumo de água entre o modelo de irrigação anterior que o produtor utilizava e o consumo atual após a adoção do aplicativo.

4.2. Dados das estações

Foram coletados dados diários entre 01 de janeiro e 31 de julho de 2022 das estações meteorológicas instaladas na região do Submédio do Vale do São Francisco (Figura 3.2), totalizando 212 amostras para cada uma das seis estações meteorológicas estudadas (Apêndice B).

Na Figura 4.5 observa-se o comportamento da evapotranspiração obtida a partir da estação do INMET e de outras cinco estações meteorológicas da região (Univasf CCA Petrolina; Univasf Juazeiro; UNEB Juazeiro; Bebedouro Petrolina; e Mandacaru Juazeiro). Verifica-se na figura que os dados de ETo obtidos na estação do INMET (linha azul), exceto em alguns dias isolados, superam os dados das demais estações meteorológicas. Esse comportamento era esperado, considerando que, conforme foi mencionado anteriormente, a estação meteorológica do INMET, com o crescimento horizontal da cidade de Petrolina, a mesma já não obedece, às normas estabelecidas pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), quanto à localização da estação ser fora da cidade, sofrendo, portanto, influência da cidade sobre os dados meteorológicos.

Figura 4.5 Comparação de de evapotranspiração de referência obtida a partir de diferentes estações meteorológicas da região do Submédio do Vale do São Francisco.



Fonte: Elaboração do autor.

Nesta pesquisa, a comparação entre as médias das evapotranspirações mensuradas nas cinco estações confrontadas com o INMET Petrolina, obtidas pelo coeficiente de Pearson (r), dá ao pesquisador uma ideia de como estão os dados obtidos pelo aplicativo e o quão próximo será o cálculo gerado pelo mesmo com a realidade da região.

Para calcular a correlação (1) os dados das diferentes estações meteorológicas, utilizou-se o software Excel. Nas tabelas 1 e 2 são apresentados os coeficientes de correlação entre os dados de ETo obtidos nas diferentes estações meteorológicas comparados com os dados da estação do INMET.

Conforme pode ser verificado na Tabela 1, constata-se uma forte correlação, ao comparar os dados da estação meteorológica do INMET com os dados obtidos nas demais estações, tendo em vista que todos os coeficientes ficaram acima de 0,7 (LIRA; CHAVES NETO, 2006).

Tabela 1 Coeficiente de correlação (r) entre dados das estações meteorológicas

<i>Correlação</i>	<i>INMET Petrolina</i>
Univasf CCA Petrolina	0,734434671
Univasf Juazeiro	0,829660841
Bebedouro Petrolina	0,703230787
Mandacaru Juazeiro	0,754038028
UNEB Juazeiro	0,857273544

Fonte: Elaboração do autor.

O coeficiente de Pearson obtido (Tabela 2), ao se comparar todas as estações, foi de aproximadamente 0,88, indicando também uma forte relação entre as estações meteorológicas estudadas (LIRA; CHAVES NETO, 2006).

Tabela 2 Coeficiente múltiplo de Pearson (r)

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,878249761
R-Quadrado	0,771322642
R-quadrado ajustado	0,765772221
Erro padrão	0,396141063
Observações	212

Fonte: Elaboração do autor.

Conforme Figura 4.5, Tabela 1 e Tabela 2, a estação meteorológica do INMET em Petrolina-PE, estação na qual o aplicativo coleta os dados para a região estudada, apresenta dados concisos e com variação dentro do esperado.

4.3. Irrigação e safras

A parcela produtiva possuiu área de um hectare (50 x 200 m), com 100 aspersores espalhados uniformemente na área. As plantas possuem espaçamento 2 x 2 m entre si. Considerando-se uma pressão d'água constante, o aspersor trabalha a uma pressão de 2,3 bar, diâmetro de até 15m e uma taxa de fluxo de 300 litros por hora. O sistema consegue entregar, para um hectare, 3,0 mm/h de precipitação bruta ou 2,1 mm/h de irrigação efetiva. Seguindo a irrigação tradicional, este sistema é ligado todos os dias por duas horas e quarenta minutos, entregando aproximadamente 5,5 mm de irrigação efetiva por dia, considerando as perdas do sistema.

Considerando-se um valor médio para o m³ de água na região de R\$0,42 (valor praticado nas parcelas produtivas estudadas em 2022 para volume de água consumido e bombeamento), mensalmente este produtor gasta apenas com água, aproximadamente R\$960,00.

Por meio da utilização do aplicativo Fazenda Fácil (2022), observou-se que a adoção de níveis reduzidos de irrigação ao longo de todo o período resultou em colheitas de frutos e produção equivalentes às safras anteriores.

Conforme Quadro 5, a irrigação da safra de 2022 foi realizada utilizando-se pouco mais de 70% de água do que se utilizaria pela irrigação tradicional. É importante observar que o período apresentou 11 dias de chuva e o manuseio correto do aplicativo Fazenda Fácil foi adicionado ao manejo da irrigação.

Quadro 5 Simulação de irrigação para a safra 2022 (88 dias)

Irrigação	Total h.	Qtd mm	Qtd R\$
Irrigação Real Etc	161,67	485,01	R\$2.037,03
Sim. Tradicional	233,20	699,60	R\$2.938,32
Sim. Trad. - prec.	206,70	620,10	R\$2.604,42
Sim. kc final	174,75	524,26	R\$2.201,89
Sim. kc maturid.	240,66	721,99	R\$3.032,36

Fonte: Elaboração do autor.

Para efeitos de comparação, foi simulada a irrigação tradicional na segunda linha do Quadro 5, conforme os produtores agiram durante todo o ano de 2021. Caso os produtores continuassem a utilizar a irrigação tradicional, adotando turno de rega diário de 4 horas, mas desconsiderassem os dias de chuva (Trad. – prec.), é possível perceber uma redução no valor gasto com água, pois houve registro de 10 dias de chuva no período do ciclo de 2022.

Caso os produtores utilizassem o aplicativo, porém sem alterar o Kc da cultura durante todo o ciclo, simulando com os coeficientes mais altos da cultura, é possível perceber uma redução no consumo de água na simulação Kc final (Kc 0,75), e um ligeiro aumento no consumo de água na simulação Kc maturidade (Kc 0,90).

Esta simulação com maior Kc indica que em algum momento da irrigação tradicional, quando a cultura necessitava de mais água, esta não estava sendo completamente suprida e a planta sofreria de um leve estresse hídrico. Desta forma, o aplicativo Fazenda Fácil não veio apenas para economizar recursos hídricos, mas também, para garantir que pequenos erros não aconteçam e a planta cresça saudável e com qualidade.

4.4. Publicação do App

Uma última validação do aplicativo foi realizada comparando-se as funcionalidades testadas pelos produtores e o Documento de Requisitos (Apêndice A), verificando conforme itens apresentados no documento e no aplicativo. Todos os sete Requisitos de Usuário (RU) e os dez Requisitos Funcionais (RF) propostos no documento estão presentes no aplicativo e foram validados pelos usuários.

Com um retorno positivo da validação do software por parte do pequeno produtor e cumprindo as tarefas elencadas no documento de requisitos, o aplicativo seguiu para registro de software no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) e publicação nas principais lojas de aplicativos para celular.

No dia 30 de maio de 2022, foi aberto o processo de registro do aplicativo junto ao INPI (Instituto Nacional de Propriedade Industrial) sob o número do pedido BR5120220021951, através da agência UNEB (Universidade do Estado da Bahia),

setor responsável pelo registro de propriedade intelectual e patentes da universidade. No dia 15 de agosto de 2022, foi gerado o protocolo no INPI 870220072860 e posterior registro de software na data de 23/08/2022.

Até o momento, não houve novas alterações no software. Caso alguma atualização aconteça futuramente, o número de registro do software deverá permanecer o mesmo, sendo alterado no INPI apenas a referência ao aplicativo (hash do código).

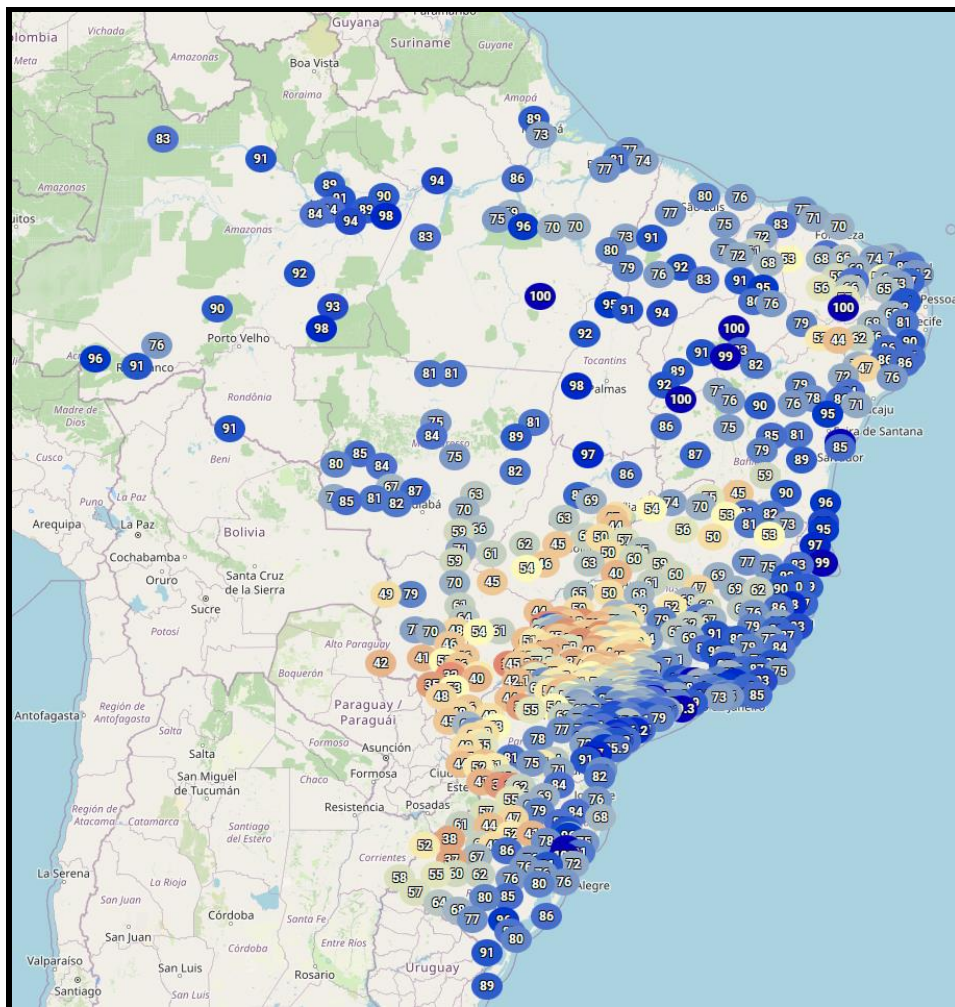
O aplicativo foi publicado nas lojas oficiais de smartphones e encontra-se disponível para os dispositivos Android e iOS. Para dispositivos Android, o link do app é: <<https://bit.ly/FazendaFacilAndroid>>. E para dispositivos iOS, o aplicativo está disponível em: <<https://bit.ly/iOSFazendaFacil>>.

A presente pesquisa possibilitou entregar aos agricultores (as), técnicos (as), Engenheiros (as) agrônomos (as) e demais entes da comunidade civil que apresentem interesse, uma ferramenta que, com um mínimo de manuseio e inserção de dados, seja possível obter com precisão, por quanto tempo deve-se manter o sistema de irrigação funcionando durante a rega, customizado para a plantação de sua fazenda e para o tamanho do seu sistema de irrigação. Gerando assim, o uso eficiência da irrigação e a economia dos recursos hídricos.

As informações geradas pelo aplicativo são de fácil entendimento, pois o objetivo da pesquisa é ser um facilitador de informações e boas práticas na agricultura de pequeno porte, trazendo informações claras e objetivas para o bom entendimento do pequeno produtor, mesmo para àqueles que não possuem estudo ou conhecimento técnico.

A abrangência do aplicativo é em nível nacional, como exposto da Figura 4.6. Cada círculo numerado representa ao menos uma estação meteorológica onde o aplicativo poderá buscar os dados. Como é possível ver na imagem, a menor incidência de estações fica na região Norte do país. Os números dentro dos círculos representam a umidade relativa no momento da captura da imagem, reafirmando que todas as estações meteorológicas vistas estão em pleno funcionamento.

Figura 4.6 Estações Meteorológicas automáticas do INMET



Fonte: INMET (2022)

Através do menu lateral do aplicativo, o produtor pode escolher a opção “Consumo de água” e visualizar uma tela de consumo de água. Nesta tela, o produtor observará o quanto de água foi possível economizar seguindo as instruções do aplicativo no último mês. Estes dados mostram a economia de água por cada planta que o produtor possui. No gráfico apresentado, o produtor ainda poderá clicar em seu interior e visualizar dia a dia a economia de água. Esta informação é de grande relevância para que o produtor possa reconhecer os benefícios em utilizar o aplicativo. Mais abaixo do gráfico, o aplicativo exibe uma legenda e em seguida exibe em litros por planta, o quanto o produtor economizou de água nos últimos 30 dias.

O aplicativo apresentou resultado satisfatório, sendo de fácil manuseio, possibilitou aos produtores configurar e acessar as informações geradas de forma

intuitiva. Nas fazendas estudadas em Santa Rita, após o uso do aplicativo, foi possível observar uma economia de água e valores gastos com irrigação. Não é mérito deste estudo, mensurar a economia energética ou de insumos que poderiam ser perdidos durante a irrigação em excesso, ainda assim, foi possível observar a manutenção da qualidade do cultivo.

A economia encontrada também vem a corroborar com os cálculos de Yoshimaga, trazidos por BAIA *et al.* (2017), citado anteriormente, onde 1% de melhora na eficiência do uso da água de irrigação, pode representar uma economia de 20 mil litros de água por agricultor, hectares/ano, o que vem a ser bastante significativo quanto a preservação dos recursos hídricos.

Conforme pode ser visto no Quadro 1, o aplicativo Fazenda Fácil possui algumas vantagens em relação aos outros softwares correlatos encontrados durante essa pesquisa. Apenas o Agrosmart se destaca por possuir outras funcionalidades como gerenciamento financeiro e controle de produção que fogem ao escopo deste trabalho (AGROSMART, 2021).

Espera-se obter alguns benefícios com o uso do aplicativo Fazenda Fácil.

Acesso a informações precisas: o aplicativo permite que os pequenos produtores tivessem acesso a dados meteorológicos confiáveis e atualizados, fornecendo informações precisas sobre as condições climáticas em sua região. Isso permitiria que eles tomassem decisões baseadas em parâmetros técnicos em relação à irrigação de suas culturas.

Otimização do uso de recursos: ao fornecer cálculos personalizados sobre a quantidade de irrigação necessária com base nas condições meteorológicas, o aplicativo ajuda os produtores a otimizar o uso de recursos, como água e energia. Isso resulta em economia de custos e redução do desperdício de recursos naturais.

Tomada eficiente de decisões: com os dados fornecidos pelo aplicativo, os pequenos produtores têm informações valiosas para apoiar a tomada de decisões relacionadas à irrigação de suas culturas. Eles podem ajustar seus planos de irrigação de acordo com as condições meteorológicas, garantindo uma irrigação adequada e evitando problemas como o estresse hídrico das plantas ou o excesso de irrigação.

Melhoria na produtividade e qualidade das colheitas: ao utilizar o aplicativo, os produtores podem monitorar e controlar melhor a irrigação de suas culturas. Isso poderia levar a um aumento na produtividade das colheitas, pois as plantas

receberiam a quantidade ideal de água para seu desenvolvimento saudável. Além disso, uma irrigação adequada poderia contribuir para a melhoria da qualidade dos produtos agrícolas.

Acesso facilitado à tecnologia: ao disponibilizar um aplicativo sem custos, o estudo de caso pode promover o acesso à tecnologia para os pequenos produtores, que muitas vezes enfrentam restrições financeiras. Isso pode nivelar o campo de jogo e proporcionar oportunidades de uso de ferramentas tecnológicas avançadas para melhorar a gestão agrícola.

Por fim, para efeitos de comunicação como última saída da metodologia *Design Science Research*, o aplicativo será divulgado em comunidades e associações de produtores da região, bem como em fóruns e simpósios tanto de tecnologia quanto de agricultura ou agroecologia a nível nacional. Além de se encontrar listado no INPI e nas lojas oficiais da Google e Apple, o aplicativo também será divulgado através da publicação desta pesquisa.

Algumas limitações encontradas durante a pesquisa foram:

- Alguns softwares correlatos não puderam ser testados;
- Devido às restrições sanitárias durante a pandemia e ao tempo restrito da pesquisa, não foi possível testar o aplicativo desenvolvido em um número maior de parcelas e/ou culturas diferentes;
- Encontrou-se dificuldade em coletar os dados meteorológicos de outras estações meteorológicas da região que não sejam do INMET.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do aplicativo Fazenda Fácil voltado para os pequenos produtores demonstrou ser uma solução eficaz e promissora para economizar recursos hídricos e energéticos na agricultura.

O aplicativo auxilia pequenos produtores na tomada de decisões baseadas em dados meteorológicos e relacionado aos coeficientes de cultivo.

A pesquisa gerou um artefato técnico, gratuito, e disponível nas lojas digitais por tempo indeterminado.

O aplicativo apresenta avanço de conhecimento, disponibiliza dados que podem ser úteis para o manejo de irrigação em propriedades rurais e pesquisas acadêmicas e/ou de extensão, como facilitador na extração de dados das estações do INMET.

Uma outra sugestão de trabalho futuro, é a construção de um aplicativo similar, com um banco de dados bem maior, para trabalhar com graus-dia ao invés de coeficiente de cultura, usando então a data de plantio ou poda para se efetuar os cálculos da evapotranspiração da cultura e da irrigação.

Existe também a possibilidade de integrar o aplicativo com outros dados que auxiliam no manejo da irrigação, como por exemplo, dados locais de umidade do solo e o balanço hídrico do solo, em trabalhos futuros.

6. REFERÊNCIAS

- AGROSMART (Brasil). In: **Agrosmart – Cultivo inteligente**, 2021. Disponível em: <<https://site.agrosmart.com.br/cadastre-se-para-otimizar-sua-irrigacao>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2022.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, Irrigation and Drainage Paper, 56, 1998.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, Irrigation and Drainage Paper, 56, 2006.
- ALVES JÚNIOR, J.; SALES, D. L. A.; PEREIRA, R. M.; RODRIGUES, W. D. M.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P. Viabilidade econômica da irrigação por pivô central nas culturas de soja, milho e tomate, em diferentes demandas hídricas. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, 2017.
- ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas da irrigação: uso de água na agricultura irrigada**. 2 edição, 2020a. Disponível em: <<https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/storymaps/stories/a874e62f27544c6a986da1702a911c6b>>. Acesso em 21 de abril de 2021.
- ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: relatório pleno. Informe anual**, 2020b. Disponível em: <<https://conjuntura.ana.gov.br/>>. Acesso em 18 de maio de 2022.
- ANA, W. P. S.; LEMOS, G. C. Metodologia Científica: a pesquisa qualitativa nas visões de Lüdke e André. **Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar**, v. 4, n. 12, p. 531-541, 2018.
- AQUINO, J. R. de; GAZOLLA, M.; SCHNEIDER, S. **Dualismo no campo e desigualdades internas na agricultura familiar brasileira**. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 56, n. 1, p. 123-142, 2018.
- AVILEZ, A. M. A.; GALVÃO, I. M.; MEDAUAR, C. C.; GIOVANELLI, L. B.; ZOCOLER, J. L. Necessidade hídrica e de irrigação do milho em função da data de semeadura no município de Irecê-Bahia, In: **XXIX Congresso nacional de irrigação e drenagem**, 2020.
- AVILEZ, A. M. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; BISPO, R. de C.; GIOVANELLI, L. B. Necessidade hídrica da cana-de-açúcar no Noroeste Paulista. **IRRIGA**, v. 1, n. 1, p. 171-188, 2018.
- BAIA, B.; ANTÔNIO, W.; SANTOS, A.; SOARES, R. Manejo eficiente da água em sistema de irrigação de arroz (ORYZA SATIVA L). In: **XI Encontro Nacional de Engenharia e Desenvolvimento Social**. 2017.

BANDEIRA, G. R. L.; PINTO, H. C. S.; MAGALHÃES, P. S.; ARAGÃO, C. A.; QUEIROZ, S. O. P.; SOUZA, E. R.; SEIDO, S. L. **Manejo de irrigação para cultivo de alface em ambiente protegido.** Horticultura Brasileira, v.29, p. 237-241, 2011.

BERNARDO, P. C.; KON, F. A importância dos testes automatizados. **Engenharia de Software Magazine**, v. 1, n. 3, p. 54-57, 2008.

BISSI, W. Metodologia de desenvolvimento ágil. **Revista Campo Digital**, v. 2, n. 1, 2007.

BLANEY, H. F.; CRIDDLE, W. D. **Determining consumptive use and irrigation water requirements.** US Department of Agriculture, 1962.

BITTENCOURT, D de C. Agricultura familiar, desafios e oportunidades rumo à inovação. **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2020.

CAMARGO, A. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 21, p. 163-213, 1962.

CAVALCANTE JÚNIOR, J. A.; AZEVEDO, B. M.; SOUSA, G. G.; VASCONCELOS, D. V.; VIANA, T. V. A.; REBOUÇAS NETO, M. O. **Manejo da irrigação na cultura da roseira em ambiente protegido.** Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v.7, nº. 4, p. 269 - 276, 2013.

CORREIA, A. M. M.; DUCLÓS, L. C. Enterprise Architecture: um modelo de gestão para parques científicos e tecnológicos. PUCPR, 2019.

CORREIA, G. R.; ROCHA, H. R. de O.; RISSINO, S. das D. Automação de sistema de irrigação com monitoramento via aplicativo Web. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 24, n. 4, p. 314-325, 2016.

DALLACORT, R.; FREITAS, P. S. L.; FARIA, R. T.; GONÇALVES, A. C. A.; REZENDE, R.; GUIMARÃES, R. M. L. **Simulation of bean crop growth, evapotranspiration and yield in Paraná State by the CROPGRO-Drybean model.** Revista Acta Scientiarum Agronomy, Maringá, v. 33, n. 3, p. 429-436, 2011.

DA SILVA, L. É. P.; BRACHT, E. C. Uma nova abordagem para o Cálculo de Balanço Hídrico Climatológico. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 2, n. 1, p. 2-16, 2010.

DATE, C. J. Introdução a sistemas de bancos de dados. **Elsevier Brasil**, 2004.

DE FREITAS, J. J. R. SIMULAÇÃO DA NECESSIDADE HÍDRICA E PLANEJAMENTO DA IRRIGAÇÃO PARA A CULTURA DO MILHO NA CHAPADA DO APODI, **UFERSA**, 2020.

DELAMARO, M.; JINO, M.; MALDONADO, J. Introdução ao teste de software (2ª

Edição). **Elsevier Brasil**, 2017.

DE MIRANDA, E. E. Áreas cultivadas no Brasil e no mundo. **AgroANALYSIS**, v. 38, n. 2, p. 25-27, 2018.

DE MORAIS, J. E. F. de; SILVA, T. G. F. da; SOUZA, L. S. B. de; MOURA, M. S. B. de; DINIZ, W. J. da 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, **Embrapa (ALICE)**, 2015.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Agricultura e preservação ambiental**: uma análise do cadastro ambiental rural. Campinas, 2020. Disponível em: <www.embrapa.br/car>. Acesso em: 21 de janeiro de 2023

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. In: **A plataforma de APIs da EMBRAPA**, 2021. Disponível em: <<https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/>>. Acesso em: 08 de julho de 2021.

ERTHAL, E. S.; BERTICILLI, R. Sustentabilidade: Agricultura irrigada e seus impactos ambientais. **Ciência & Tecnologia**, v. 2, n. 1, p. 64-74, 2018.

FERREIRA, B. O.; OKABE, A. M. dos S.; SILVA, A. J. C. da; ALMEIDA, J. F. S. de; CHASE, O. A. Irrigação automatizada com plataforma Arduino em casa de vegetação na Universidade Federal Rural da Amazônia. In: **CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA (CONTECC)**. 2016.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.

FLUTTER. **Learn Flutter any way you want**, 2022. Disponível em: <<https://flutter.dev/learn>>. Acesso em 06 de junho de 2022.

FREIRE, C.; GOVEA, K.; ARGUELLO, J. Importancia de la agricultura en una economía dolarizada. **Revista Espacios**, v. 39, n. 16, p. 1-11, 2018.

GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F. Balanço de energia na cultura de pepineiro em ambiente natural e protegido. **Bragantia**, v. 60, n. 2, p. 127-137, 2001.

HARGREAVES, G. H.; ALLEN, R. G. History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. **Journal of irrigation and drainage engineering**, v. 129, n. 1, p. 53-63, 2003.

HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; RAM, S. Design science in information systems research. **MIS quarterly**, p. 75-105, 2004.

HOLLIDAY, R. Plant population and crop yield. **Revista Nature**, 186:22–24, 1960.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. In: **Censo Agro 2017**, 2018a. Disponível em: <<https://censoagro2017.ibge.gov.br/2012-agencia-de-noticias/noticias/25786-em-11-anos-agricultura-familiar-perde-9-5-dos-estabelecimentos-e-2-2-milhoes-de-postos-de-trabalho.html>>. Acesso em: 07 de outubro de 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. In: **Censo Agro 2017 – Casa Nova-BA**, 2018b. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/casa-nova/pesquisa/24/76693>>. Acesso em: 07 de outubro de 2021.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. NOTA TÉCNICA No. 001/2011/SEGER/LAIME/CSC/INMET, 2011. In: **Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET**. Disponível em: <http://www.cemtec.ms.gov.br/wp-content/uploads/2019/02/Nota_Tecnica-Rede_estacoes_INMET.pdf>. Acesso em: 18 de julho de 2022.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Rede de estações automáticas, 2022. Disponível em: <<https://mapas.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 13 de abril de 2022.

JENSEN, Marvin E.; HAISE, Howard Ross. Estimating evapotranspiration from solar radiation. **Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v. 89, p. 15-41, 1963.

IZU, M.; SILVINO, Z. R.; SOUZA, C. J. de; FERREIRA, A. de O. M. Pragmatismo e o método misto. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 6, p. e151963516-e151963516, 2020.

LIMA, A. F.; DE ASSIS SILVA, E. G.; DE FREITAS IWATA, B. Agriculturas e agricultura familiar no Brasil: uma revisão de literatura. **Retratos de Assentamentos**, v. 22, n. 1, p. 50-68, 2019.

LIRA, S. A.; CHAVES NETO, A. Coeficientes de correlação para variáveis ordinais e dicotômicas derivados do coeficiente linear de Pearson. **Ciência & Engenharia**, v. 15, n. 1/2, p. 45-53, 2006.

LISBOA, F. **Programação Web avançada com PHP: Construindo software com componentes**. Brasil, Casa do Código, ISBN 9786586110234, 2020.

LISBOA, F. **Arquitetura de software distribuído: Boas práticas para um mundo de microsserviços**. Brasil, Casa do Código, ISBN 9786586110876, 2021.

MANSON, N. J. Is operations research really research?. **Operations Research Society of South Africa**. v. 22, n. 2, p. 155–180, 2006.

MARIANO, J. C. Q.; HERNANDEZ, F.B.T.; SANTOS, G.O.; TEIXEIRA, A.H.C. Software para cálculo da evapotranspiração de referência diária pelo método de Penman-Monteith. In: **Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 21., 2011, Petrolina.

As oportunidades de empreendedorismo na agricultura irrigada: anais. Petrolina: ABID, 2011.

MARINHO, L. H. **Iniciando com Flutter Framework: Desenvolva aplicações móveis no Dart Side!**. Casa do Código, 2020.

MARQUELLI, W. A.; E SILVA, WL de C.; DA SILVA, H. R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996.

MARTINS, H. H. T. Metodologia qualitativa de pesquisa. **Educação e pesquisa**, v. 30, n. 2, p. 289-300, 2004.

MATHARU, G. S.; MISHRA, A.; SINGH, H.; UPADHYAY, P. Empirical Study of Agile Software Development Methodologies. **Acm Sigsoft Software Engineering Notes**, Association for Computing Machinery (ACM), v. 40, n. 1, p.1-6, 6 fev, 2015.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea. Brasília; São Paulo: **Nead/MDA**; Ed. Unesp, 2010.

MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. **Relações entre o coeficiente de cultura e cobertura vegetal do feijoeiro: erros envolvidos e análises para diferentes intervalos de tempo**. Revista Acta Scientiarum, Maringá, v. 26, n. 4, p. 513-519, 2004.

MELO, D. P.; VIEIRA, G. H. S.; MIRANDA, L. Q.; REDIGHIERI, T. Aplicativo web para cálculo de balanço hídrico no manejo da irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 2, p. 1302-1309, 2017.

MELO, R. F. de.; VOLTOLINI, T. V. Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido. **Embrapa**, Brasília-DF, 2019.

MONTENEGRO, A. A. T.; BEZERRA, F. M. L.; LIMA, R. N. **Evapotranspiração e coeficientes de cultura do mamoeiro para a região litorânea do Ceará**. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 464-472, 2004.

NASCIMENTO, P. dos S.; BASSOI, L. H.; PAZ, V. P. da S. Planilha eletrônica para auxílio à tomada de decisão em manejo de irrigação. **Irriga**, v. 17, n. 1, p. 01-15, 2012.

NETTO, J. L. M. R.; ENDLER, M.; RODRIGUEZ, N.R.; IERUSALIMSCHY, R.; BASTOS, L. C.; GUEDES, L. C.; BIGONHA, R. da S.; LIMA, M. J. D. **Orfeo: programação distribuída orientada a eventos com funções e continuações como valores de primeira classe**. Brasil, MAXWELL, 2001.

NESMITH, D.S. Plant spacing influences watermelon yield and yield components. **HortScience**, 1993.

OBERLEITNER, A.; MASIERO, A. A. **Programação orientada a objetos**. Brasil: Editora Senac São Paulo, ISBN 9786555364774, 2021.

OLIVEIRA, G. dos S. Critérios de aceitação: uma comparação entre testes manuais e automatizados, 2022.

ONGARATTO, J. M.; BORTOLIN, T. A. Comparação entre métodos de estimativa de evapotranspiração de referência no município de São José dos Ausentes (RS), Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, p. 979-987, 2021.

PASSOS, M. L. V.; ZAMBRZYCKI, G. C.; PEREIRA, R. S. Balanço hídrico e classificação climática para uma determinada região de Chapadinha-MA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 4, p. 758-766, 2016.

PATTON, E. W.; TISSENBAUM, M.; HARUNANI, F. MIT app inventor: Objectives, design, and development. **Computational thinking education**, p. 31-49, 2019.

PEREIRA, J. B. A. **Manual prático de irrigação**. Disponível em: <<https://www.espacodoagricultor.rj.gov.br/pdf/irrigacao/manualpraticodeirrigacao.Pdf>>. Acessado em 22 de maio de 2021, v. 6, n. 05, 2014.

PRESSMAN, R. S. **Engenharia de Software: Uma abordagem Profissional**. 6. ed. Porto Alegre: AMGH/Bookman, 2006.

REIS, L. S.; SOUZA, J. L.; AZEVEDO, C. A.V. **Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do tomate caqui cultivado em ambiente protegido**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, n.3, p.289–296, 2009.

RODRIGUES, L. N. Quantidade de água utilizada na agricultura irrigada: certezas e incertezas nas estimativas. **Embrapa Cerrados-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2020.

SANTOS, F. X.; RODRIGUES, J. J. V.; MONTENEGRO, A. A. A.; MOURA, R. F. **Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no semi-árido nordestino**. Revista de Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 115-124, 2008.

SOMMERVILLE, I. **Software engineering 9th Edition**. ISBN-10, v. 137035152, 2011.

SOUSA, J. V. M. de; SANTANA, L. N. PROCESSO MÍNIMO DE TESTE DE PERFORMANCE PARA FÁBRICAS DE SOFTWARE, 2020.

TEIXEIRA, G. C. S.; BELTRÃO, D. S.; EVANGELISTA A. W. P. **Estudos de evapotranspiração em casa de vegetação**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, n.13, p.520-530, 2011.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical review**, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

VAISHNAVI, V.; KUECHLER, W. Design Research in Information Systems. 2005. Disponível em: < <http://www.isworld.org/Researchdesign/drisIsworld.htm> >. Acesso em: 08 de agosto de 2022.

VENTURA, M. M. O estudo de caso como modalidade de pesquisa. **Revista SoCERJ**, v. 20, n. 5, p. 383-386, 2007.

VOSS, H. G. J.; SCHOVEIGERT, I. D. Cálculo de Variáveis Climáticas para Irrigação de Culturas com Base no Método de Penman-Monteith. Anais **SULCOMP**, v. 9, 2018.

WANG, S.; WANG, H. A General Structure of Applied Design Research Studies. In: **Northeast Decision Sciences Institute**, 2013.

ZAMMETTI, F. Flutter na prática; 1. **São Paulo: Novatec**, 2020.

APÊNDICE A – DOCUMENTO DE REQUISITOS

Requisitos de usuário

Quais são as necessidades definidas pelo usuário? O que o software precisa ter para atender a estas necessidades?

RU 01	Usuário seleciona a cultura que planta
RU 02	Usuário define a estação meteorológica
RU 03	Usuário cadastra o sistema de irrigação
RU 04	Usuário baixa dados climatológicos
RU 05	Usuário escolhe o coeficiente da cultura
RU 06	Usuário visualiza a indicação do tempo de irrigação
RU 07	Usuário visualiza o consumo de água

A partir do quadro do levantamento de necessidades do usuário (requisitos de usuário), o analista de software pode definir os requisitos funcionais e não funcionais do sistema.

RF 01	Nome: Pré-cadastro das culturas
Descrição	O sistema deve possuir em seu banco de dados as principais culturas e suas respectivas informações para que, no primeiro uso, o produtor encontre a sua cultura e a selecione para utilizar no aplicativo.
Validação	Os coeficientes de cultura devem ser extraídos de recomendações da FAO ou de pesquisas validadas mais recentes.
Dependências	Nenhuma
Referência	RU 01

RF 02	Nome: Definindo a estação mais próxima
Descrição	O aplicativo deve buscar a estação meteorológica do INMET mais próxima baseando-se pela localização atual do aparelho.
Validação	Permissão de acesso a localização do smartphone
Dependências	Nenhuma

Referência	RU 02
-------------------	-------

RF 03	Nome: Selecionando manualmente a estação
Descrição	O sistema deve importar do INMET todas as estações ativas com a cidade e o estado onde se localizam para que o usuário possa escolher manualmente a estação meteorológica desejada sem ser necessário permitir a localização.
Validação	Verificar a atualização do combo de seleção quando se muda o estado escolhido.
Dependências	Nenhuma
Referência	RU 02

RF 04	Nome: Cadastrar fazenda
Descrição	O aplicativo deve salvar os dados da fazenda, sua localização, a espécie cultivada e a estação mais próxima. O usuário também poderá definir um nome para a fazenda.
Validação	Verificar se a estação meteorológica foi escolhida.
Dependências	RF 01, RF 02, RF 03
Referência	RU 02

RF 05	Nome: Cadastrar o sistema de irrigação
Descrição	O software deve solicitar ao usuário as informações pertinentes ao sistema de irrigação de acordo com o tipo de sistema escolhido. Após o usuário inserir estas informações, o software deverá salvá-las em seu banco de dados.
Validação	Verificar se o usuário escolheu o tipo de sistema de irrigação.
Dependências	RF 04
Referência	RU 03

RF 06	Nome: Acessar dados da estação meteorológica
Descrição	O aplicativo deve acessar a internet e baixar os dados climatológicos mais recentes da estação meteorológica mais próxima do usuário previamente cadastrada no sistema.
Validação	Verificar se há alguma estação meteorológica cadastrada. Verificar se o

	aparelho possui conexão com a internet no momento.
Dependências	RF 04
Referência	RU 04

RF 07	Nome: Alternar entre coeficientes de cultura
Descrição	O aplicativo deve fornecer um mecanismo para que o usuário possa escolher o coeficiente de cultura de acordo com o estágio atual da plantação.
Validação	Verificar se há cultura cadastrada para a fazenda do usuário. Verificar se há estação meteorológica salva no banco de dados.
Dependências	RF 01, RF 04
Referência	RU 05

RF 08	Nome: Calcular evapotranspiração de referência e da cultura
Descrição	O sistema deve calcular a evapotranspiração de referência com base nos últimos dados climatológicos obtidos. O sistema deve calcular a evapotranspiração da cultura de acordo com o Kc pré-selecionado.
Validação	Verificar se existem dados climatológicos e da cultura disponíveis.
Dependências	RF 07
Referência	RU 05

RF 09	Nome: Calcular o tempo de irrigação
Descrição	O sistema deve calcular o tempo de irrigação levando em consideração o tipo de sistema, as informações do sistema previamente inseridas e os cálculos de evapotranspiração efetuados.
Validação	Verificar se o sistema de irrigação está cadastrado. Verificar se os cálculos de evapotranspiração foram efetuados.
Dependências	RF 05, RF 08
Referência	RU 06

RF 10	Nome: Gerar gráfico indicativo da irrigação
Descrição	O aplicativo deve exibir ao usuário um gráfico indicativo de quanto se está utilizando de água por unidade de planta. Deverá mostrar ainda um comparativo com o tipo de irrigação anterior, mostrando o quanto de água pôde ser economizado.
Validação	Verificar se o sistema de irrigação está cadastrado. Verificar se o usuário

	informou o tempo usual de irrigação antes de começar a utilizar o aplicativo.
Dependências	RF 09
Referência	RU 07

Ao projetar um aplicativo para auxiliar pequenos produtores e agricultores familiares na irrigação de suas culturas, alguns requisitos não funcionais devem ser considerados. Estes requisitos não estão ligados diretamente a programação, mas são intimamente conectados com o desenvolvimento do aplicativo como um todo. Para este projeto, foram considerados os seguintes requisitos não funcionais:

RNF 01	Nome: Usabilidade
Descrição	O aplicativo deve ser intuitivo, de fácil utilização e ter uma interface amigável, especialmente levando em conta que o público-alvo é composto por pequenos produtores e agricultores familiares.
Validação	Através de testes rápidos de usabilidade com o público-alvo.

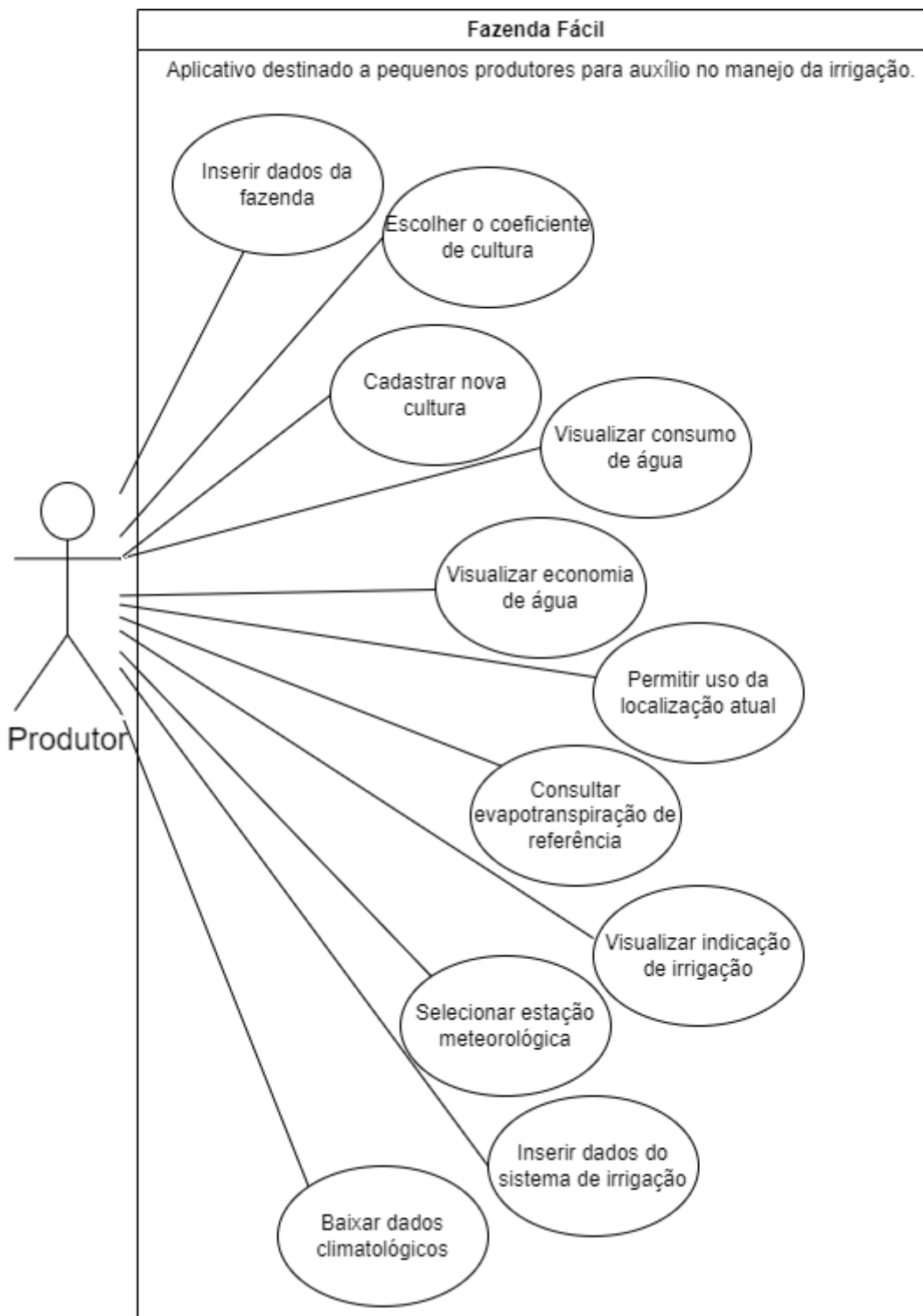
RNF 02	Nome: Confiabilidade
Descrição	O aplicativo deve ser confiável, garantindo que os cálculos e orientações relacionados à irrigação sejam precisos e consistentes. Erros ou falhas na aplicação podem ter um impacto negativo nas culturas dos produtores.
Validação	Fazer testes de dados utilizando diferentes estações meteorológicas em períodos diferentes e verificar o comportamento do aplicativo.

RNF 03	Nome: Portabilidade
Descrição	O aplicativo deve ser desenvolvido levando em consideração a diversidade de dispositivos móveis existentes, garantindo sua compatibilidade e funcionamento em diferentes plataformas (Android, iOS, etc.).
Validação	Este requisito foi atendido utilizando-se bibliotecas nativas do framework utilizado, garantindo o máximo de compatibilidade possível com dispositivos mais antigos.

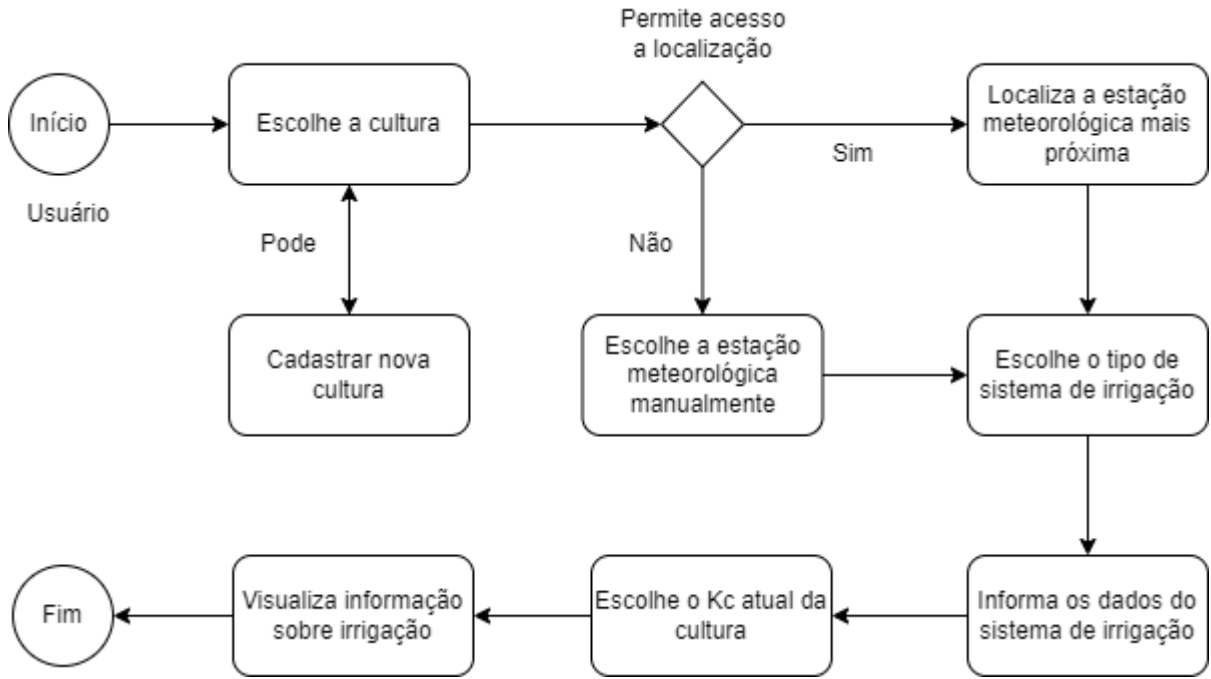
RNF 04	Nome: Flexibilidade
Descrição	O aplicativo deve ser flexível o suficiente para se adaptar a diferentes configurações e necessidades de irrigação dos produtores. Pode ser interessante permitir a personalização de parâmetros e configurações de acordo com as características de cada cultura.
Validação	Os produtores estão aptos a cadastrar uma nova cultura informando diferentes coeficientes, mesmo para uma cultura cadastrada no aplicativo.

Baseado nos requisitos funcionais, pode-se construir o diagrama de casos de uso.

Normalmente, cada caso de uso refere-se a um Requisito Funcional, porém, para fins de pesquisa e para tornar o aplicativo mais completo, algumas funcionalidades adicionais foram inseridas.



De acordo com o funcionamento do sistema, o fluxo de atividades pode ser definido conforme diagrama abaixo:



O fluxo de atividades acima mostra o caminho básico pelo qual o produtor pode percorrer para ter o sistema funcionando plenamente.

**APÊNDICE B – TABELA COM TODOS OS DADOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO
DE REFERÊNCIA EXTRAÍDOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS
ESTUDADAS A PARTIR DE 01 DE JANEIRO DE 2022**

Dia	INMET Petrolina	Univasf CCA Petrolina	Univasf Juazeiro	Bebedouro Petrolina	Mandacaru Juazeiro	UNEB Juazeiro
1	2,9219	2,726	3,91	4,16797314	3,465804035	3,105774
2	2,7478	2,73	3,537	2,98740711	3,510493596	3,048473
3	3,6973	3,595	4,474	5,47959456	4,33498952	3,976792
4	3,7556	3,188	4,508	5,24102951	4,594420849	4,249318
5	3,5586	3,128	4,471	5,11601413	4,515412623	4,009863
6	2,8493	3,548	3,644	4,65757477	3,993216243	3,064476
7	1,1132	0,642	0,899	2,18348331	1,511726934	1,183572
8	2,2088	2,069	2,503	3,46191693	2,941996564	2,336556
9	1,9175	1,706	2,361	2,22221106	2,599503319	2,108621
10	3,4511	3,363	4,435	3,70395795	4,340633936	3,146275
11	3,0299	3,372	4,162	4,47745283	4,127689338	2,797989
12	3,7498	3,888	5,171	4,79039988	4,94544209	4,003065
13	4,0771	4,512	5,816	5,47098231	5,50968419	4,469494
14	4,0374	3,956	4,954	5,22718329	4,694276039	4,073454
15	4,2152	4,161	5,039	5,96267704	5,517581901	4,276842
16	3,6392	3,764	4,664	5,62564247	5,277895686	4,120681
17	4,1289	4,086	4,916	5,82410622	5,328742953	4,211968
18	3,6806	3,445	4,227	5,15322077	4,681543746	3,706991
19	5,0089	4,335	5,415	5,7021498	5,685819247	4,403739
20	4,7766	4,042	5,102	5,69164594	5,119216001	4,6248
21	5,0126	3,329	4,427	5,13074565	5,086095022	4,207285
22	5,5669	4,569	5,531	6,17300369	5,756649255	4,456442
23	5,8005	4,255	5,134	5,49263958	5,061294884	3,99193
24	5,0292	3,652	4,91	4,1873512	4,923507833	3,86168
25	5,0415	3,837	5,432	5,09658163	4,575623923	4,029661
26	5,4281	3,777	5,257	5,13376258	4,899105913	3,96072
27	4,4018	3,444	4,654	4,59915858	4,354640952	3,636552
28	3,6488	2,642	3,728	4,06463427	3,828272206	3,21084
29	3,196	2,049	2,812	3,16155634	2,926406233	2,356637
30	4,0322	3,413	4,714	4,32482212	4,115284009	3,448985
31	5,3385	3,991	5,359	5,05489732	4,586441109	4,143481
32	5,5471	4,444	5,54	5,69330198	5,146223435	4,559261
33	5,1851	3,816	5,174	5,30094742	4,336651847	3,808406
34	5,1901	3,782	5,181	4,84218191	5,354904055	4,404162



35	4,6242	3,359	4,262	4,58173039	4,69341342	3,538701
36	4,5016	3,335	4,257	4,91298277	4,166561316	3,661117
37	5,1024	3,885	5,175	5,63832702	4,908256383	4,222537
38	4,3123	3,438	4,273	4,97684675	4,343574511	3,718057
39	4,9151	3,65	4,406	5,61564173	4,692719851	3,560913
40	5,7822	4,521	6,158	5,73200967	5,886949454	5,029114
41	5,1302	3,454	5,377	4,92234544	4,279440751	4,037412
42	4,0953	2,988	4,04	3,88151334	4,002007396	3,346768
43	4,2275	2,543	4,341	3,24489303	4,197713259	3,529146
44	2,1285	1,254	2,305	2,69011058	3,058828663	2,348705
45	4,0874	3,182	4,288	3,66834932	4,296837435	3,614874
46	4,6883	3,508	4,765	5,04459304	4,953240188	4,108209
47	5,4614	4,092	5,873	5,50454906	5,220775404	4,513238
48	5,1362	3,42	5,014	5,23944132	4,7783263	4,004683
49	4,6976	3,486	5,338	4,81498189	4,703377793	4,267377
50	4,5659	3,3	4,158	5,04616667	4,537065953	3,958307
51	2,3033	1,292	1,991	2,40452165	2,424007087	1,981785
52	4,5561	3,029	4,372	4,11457951	4,455201764	3,794199
53	5,0736	3,469	4,309	5,18976716	4,946456198	3,774258
54	4,7829	3,901	5,719	5,40020741	4,95475682	4,261675
55	5,4894	3,57	5,189	5,38713521	5,370068923	4,226306
56	4,6247	2,922	4,296	4,38924296	4,102194591	3,541986
57	5,732	3,712	5,254	5,38340406	5,31353147	4,501566
58	6,0864	4,338	5,943	5,20683455	5,193249097	5,036365
59	5,5384	4,134	5,309	5,27880058	4,969424115	4,477481
60	4,5811	3,252	4,121	4,0543486	4,030630442	3,709301
61	4,8558	3,505	4,413	4,25634931	4,221719404	3,768953
62	5,5491	3,679	5,252	4,6852552	4,448516073	3,954185
63	5,0245	3,205	5,06	3,99942609	4,345676049	3,57129
64	4,1097	2,496	3,57	3,8664694	3,314448343	2,928806
65	4,8144	3,458	4,474	4,50849969	4,13153073	3,698161
66	3,4511	2,383	3,265	3,43055076	2,863269261	2,787296
67	5,0476	3,832	5,2	4,89771549	4,797499386	3,959059
68	4,6581	3,095	4,103	4,10567566	3,83490768	3,622947
69	4,5342	3,716	4,168	4,94284083	4,19555976	3,585949
70	4,8186	3,399	4,628	4,32321957	3,696498276	3,55396
71	4,5182	3,359	4,23	4,55698435	4,039919771	3,282115
72	4,7511	3,433	4,578	5,17659139	4,245089048	3,886646
73	5,5262	4,261	5,54	4,44508632	4,777509291	4,628761
74	4,5699	2,958	4,33	4,09721551	3,744895039	3,324012
75	4,1292	3,07	4,414	4,03709208	3,742694107	3,321387
76	3,5035	3,053	3,285	3,25836453	3,092254952	2,733027
77	4,497	3,375	4,133	4,1790352	3,820015539	3,462908



78	5,7528	4,146	5,395	5,41083836	4,90938334	4,532993
79	4,8681	3,318	4,431	4,43971144	4,204319877	3,746545
80	5,1909	4,163	4,794	5,21392478	4,634073308	4,344657
81	5,6771	4,422	5,395	4,94013371	5,059988017	4,876458
82	4,667	3,185	3,898	3,24023045	3,637401968	3,12461
83	3,267	2,358	2,703	3,57173963	2,97727791	2,503193
84	5,448	4,165	5,173	5,54501565	4,87701656	4,588733
85	5,1298	3,748	4,495	4,99944798	4,090882636	4,109586
86	5,0287	3,681	4,519	3,8166494	4,247432313	3,789809
87	4,3229	3,052	4,076	3,32718346	3,501522113	3,431499
88	4,8687	3,537	5,273	4,68502779	4,549654341	4,20121
89	5,4788	4,179	5,308	5,4966332	4,946600408	4,673421
90	4,8675	3,103	4,497	4,44274272	4,039677977	4,000632
91	5,0878	3,808	5,058	3,9509916	4,28763639	4,23334
92	4,7158	3,433	4,542	3,31567797	3,864262608	3,702808
93	6,0547	5,238	5,942	5,29895933	5,483094142	4,911532
94	5,5141	4,469	5,314	5,15111606	4,980708814	4,714796
95	5,0525	3,864	4,485	4,96474374	4,131821619	3,857892
96	5,7975	4,591	5,526	5,60880934	5,037348712	4,884688
97	5,5701	4,224	5,467	5,34082722	4,811270092	4,492453
98	5,3947	3,728	4,977	5,24363791	4,768698482	4,296393
99	6,0383	4,59	5,583	4,97371635	5,006023426	5,169321
100	4,9829	3,551	4,662	5,4792965	4,2013792	4,13428
101	4,0126	3,196	4,556	4,18788095	4,038215863	3,885864
102	4,4931	3,383	4,489	3,65681257	4,048084326	3,733536
103	4,4014	3,504	5,033	4,32584617	4,050519555	4,353581
104	4,1315	3,218	4,708	4,34150533	3,482928048	4,042732
105	3,9585	2,715	3,749	3,34263998	3,448149509	3,251114
106	2,9857	2,534	3,607	3,43631746	2,66829297	2,619456
107	4,3588	3,332	3,677	2,74642116	4,062248287	3,583501
108	3,6798	2,497	3,334	2,027407	2,843564472	2,816297
109	3,7695	2,815	3,451	3,25099076	3,238035525	3,164966
110	4,4128	3,417	4,166	3,73015937	4,080024852	3,907191
111	4,9052	3,882	4,84	4,57246562	4,666443672	3,969902
112	4,4143	2,856	3,758	3,45192771	3,681385856	3,515973
113	4,9553	3,519	4,326	4,37776762	4,232681685	4,030161
114	4,9008	4,082	4,656	4,28899475	4,263159155	4,552645
115	5,6191	4,419	5,144	5,50448557	4,290868107	4,347639
116	5,342	4,097	4,487	4,99250725	4,464398194	4,045692
117	4,9464	3,892	4,84	4,26197008	4,072485755	4,366379
118	3,7242	3,101	3,258	3,59966011	3,378463421	3,213355
119	4,8987	3,89	4,674	4,46681823	3,826956831	3,746898
120	4,3743	3,357	4,091	3,836944	3,382397239	3,663508



121	5,2492	4,191	2,647	4,43581102	3,936567015	4,452613
122	5,1288	4,068	4,008	4,1098132	4,036595929	4,356015
123	4,1434	3,075	3,773	3,03397349	2,853551763	3,236831
124	4,977	4,211	4,353	3,90416534	3,947124144	3,854213
125	5,2582	4,944	5,239	4,2424873	3,914025817	4,402852
126	5,2793	5,157	4,927	4,84876705	4,319332846	4,416453
127	5,3519	5,191	5,025	4,90525872	4,407425053	4,471207
128	4,9434	4,797	4,701	4,63982019	4,001661566	4,639969
129	3,9421	3,602	3,502	3,29768161	3,264811178	3,467193
130	4,3344	3,843	4,055	3,35847679	3,61611485	3,562313
131	4,0311	3,571	3,8	3,82127655	3,005813479	3,117339
132	4,9099	4,692	4,492	4,7102024	4,173146314	4,258205
133	5,1452	5,118	5,226	5,2464502	4,65516327	4,838651
134	5,1545	4,875	4,726	4,89945925	4,281628278	4,570507
135	4,1089	3,903	4,196	3,04417414	3,010925541	3,568619
136	4,1608	3,783	3,965	3,90747836	3,3199703	3,50076
137	3,9279	3,655	3,719	3,46855644	3,247929151	3,367718
138	3,6947	4,026	3,896	3,90723208	3,541414308	3,679235
139	3,7203	3,188	2,917	3,02631524	3,164408051	3,084745
140	1,9664	1,091	1,124	1,13500269	1,186414542	1,147979
141	2,8109	2,766	2,742	2,14886016	2,592739702	2,364998
142	4,2428	4,101	3,821	3,44768156	3,067662146	3,512357
143	3,8788	3,85	3,666	3,20137278	2,62236111	3,161276
144	3,959	3,654	3,573	3,28563753	2,92397733	3,523511
145	3,3207	2,864	2,912	2,68717467	2,506034223	2,543236
146	3,5035	3,063	3,097	2,37233082	2,688390726	3,003009
147	4,4313	3,988	4,093	3,82585525	3,849928302	3,67229
148	4,4741	4,337	4,2	4,03913036	3,781617095	3,828037
149	3,6636	3,336	3,5	2,9510167	2,729379172	3,083019
150	3,6645	3,058	2,86	2,42083844	2,743540384	2,326992
151	2,7992	2,206	2,2	2,45891061	2,051961783	1,925986
152	4,2431	4,083	4,266	3,75217723	3,683759051	3,759779
153	3,8392	3,836	3,667	2,48506204	3,200552837	3,209027
154	4,5478	4,029	4,04	3,76067763	3,576265771	3,711552
155	4,5063	4,433	4,344	4,05043549	3,749726711	3,977968
156	3,1435	2,656	2,671	3,02590199	2,290226799	2,699757
157	4,369	4,43	4,255	3,91307192	3,729739893	4,071362
158	4,0261	4,019	4,023	3,53504164	3,47977821	3,701771
159	4,2437	4,337	4,19	3,66740922	3,578299748	3,439433
160	4,5683	4,141	4,228	3,93003511	3,608817329	3,806649
161	4,0946	3,807	3,882	3,39243418	3,33842098	3,434512
162	4,1311	4,157	4,212	3,64238766	3,29842187	3,711019
163	4,3091	4,108	4,031	3,37674091	2,808192445	3,497485



164	3,9182	3,643	3,611	3,36167185	3,136462954	3,40433
165	4,7433	4,44	4,277	3,93195373	4,101474173	4,068372
166	4,1546	3,575	3,288	3,00005554	3,075485176	3,290803
167	4,4391	4,603	4,319	3,86832232	3,828161836	4,18219
168	4,2386	4,09	4,247	3,69651685	3,404353707	3,566145
169	4,257	3,965	3,876	3,67948545	3,522251489	3,772753
170	5,1959	5,129	4,943	4,23777253	4,455034367	4,634314
171	4,4464	4,026	3,928	3,18098675	3,409722202	3,506646
172	3,2199	2,956	2,645	2,37359094	2,823094092	2,573905
173	4,3297	4,208	4,106	3,96887919	3,657716014	3,68039
174	3,2044	2,758	2,493	2,99465098	2,585960036	2,711059
175	3,6595	2,866	2,797	2,41381519	2,87781458	2,9778
176	3,9762	3,457	3,275	3,40238799	3,548277242	3,221924
177	4,3338	3,866	4,051	3,08675144	3,511646904	3,569167
178	4,3381	4,147	3,891	2,86677484	3,633392408	3,865136
179	4,5365	3,999	4,032	3,40390805	4,014483841	4,194114
180	4,3759	4,138	4,191	3,64126279	3,53812092	3,915439
181	3,6964	3,495	3,269	3,49016261	3,349844029	3,393022
182	3,9514	3,918	3,825	3,31758154	3,175591195	3,689137
183	3,7367	3,482	3,063	2,74949901	3,093515615	2,9929
184	4,5273	4,098	3,317	4,02614319	4,10262068	3,411811
185	3,4924	3,223	3,036	2,67101697	2,959182275	3,518938
186	4,1998	3,494	3,233	3,36198083	3,537884168	3,329651
187	4,662	3,897	3,872	3,67801108	3,692160845	3,550752
188	3,4433	3,049	2,825	3,09910504	3,10743179	3,106041
189	4,2397	4,051	3,937	3,63795676	3,479213937	3,192773
190	4,635	4,198	4,171	4,35502161	3,82677001	3,963674
191	4,0078	3,251	3,237	3,55624842	3,400520912	3,131506
192	4,3717	3,679	3,546	3,85856094	3,362583126	3,359481
193	4,6438	4,258	4,007	4,40988157	3,844549076	3,803655
194	3,4887	2,959	2,683	2,94775486	2,440284146	2,435682
195	4,1138	4,445	3,838	4,29467533	3,809291119	3,653133
196	4,9038	4,816	4,553	4,23159246	4,098537526	4,309118
197	4,2033	3,735	3,473	3,56783556	3,266070829	3,345231
198	4,439	4,303	4,276	3,99748055	3,9179738	4,088071
199	4,549	3,872	3,767	3,67882923	3,912555754	3,806148
200	4,2377	3,647	3,586	3,91669538	3,719734584	3,429459
201	3,7753	3,488	3,448	3,20884032	3,165836685	3,142012
202	4,7472	4,52	4,077	3,77375869	4,210655941	3,922487
203	4,1538	3,905	3,806	3,9864162	3,579225096	3,497076
204	4,5062	4,417	4,157	3,7850293	3,968742594	3,799405
205	4,6707	4,207	4,074	4,68317532	3,94799879	3,817094
206	4,9343	4,948	4,81	4,79324484	4,241911808	4,296022

207	3,6003	3,509	3,118	3,6149212	3,359321886	2,338732
208	4,1425	3,606	3,15	3,82183945	3,761795798	2,836334
209	4,4307	4,073	4,29	3,98615149	4,055144867	3,156679
210	4,6689	4,226	4,328	4,30794803	3,875544459	3,247371
211	4,6289	4,239	4,223	4,19390473	4,068285513	3,401897
212	5,4588	5,259	4,846	5,04228204	4,532857278	4,023067

APÊNDICE C – MANUAL DE USO DO APLICATIVO

MANUAL DE USUÁRIO

Aplicativo Fazenda Fácil





SUMÁRIO

MANUAL DE USUÁRIO.....	96
Objetivo do aplicativo	98
Baixando o aplicativo	99
Utilizando o aplicativo pela primeira vez	101
Escolhendo o coeficiente da cultura (Kc)	107
Um novo dia: atualizando os dados meteorológicos	108
Economia de água	109
Últimos dados do clima	110
Dados da evapotranspiração.....	111
Cadastrar outra cultura	112
Escolhendo uma estação meteorológica manualmente	114
Reiniciando as configurações do aplicativo.....	115
FAZENDA FÁCIL.....	116



Objetivo do aplicativo

Este aplicativo é destinado a pequenos produtores e agricultores familiares. O aplicativo faz cálculos de evapotranspiração e irrigação automaticamente auxiliando o produtor a fazer a irrigação de sua cultura com base em parâmetros técnicos.

O aplicativo pode ser baixado através dos seguintes links, qrcodes ou buscando pelo nome “Fazenda Fácil” na loja de aplicativos do seu celular.

Fazenda Fácil	Link da loja de aplicativo
Celulares Android	https://bit.ly/FazendaFacilAndroid
Celulares iPhone	https://bit.ly/iOSFazendaFacil





Baixando o aplicativo

Abra a loja correspondente ao seu celular.

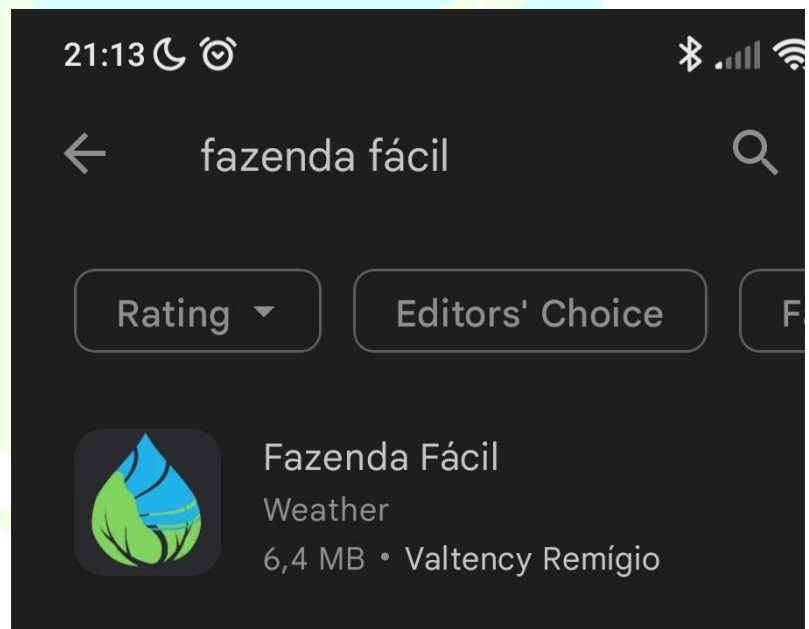
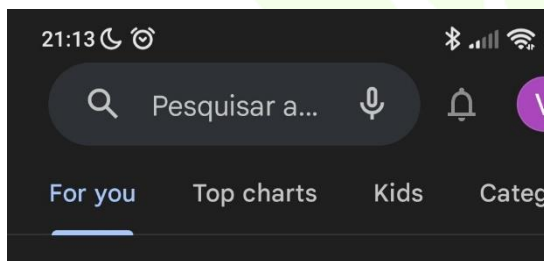


Play store para Android



Apple store para iPhones.

Na barra de pesquisa da loja, pesquise por “Fazenda Fácil”.

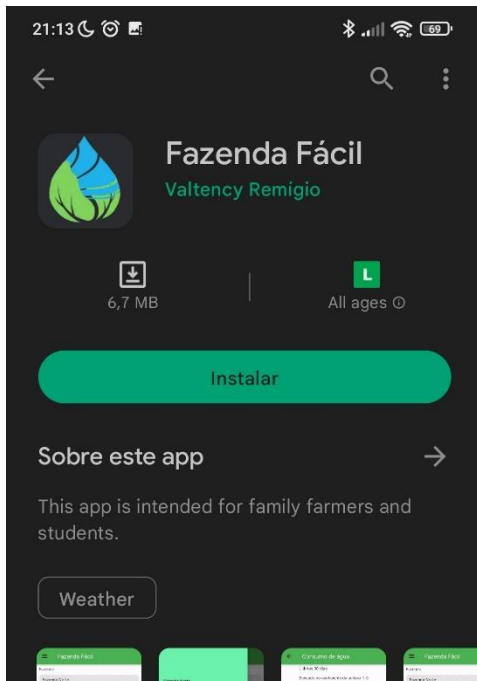


Digite Fazenda Fácil e confirme.

Escolha o aplicativo encontrado, conforme imagem.



Agora basta instalar o aplicativo.



Clique em instalar.

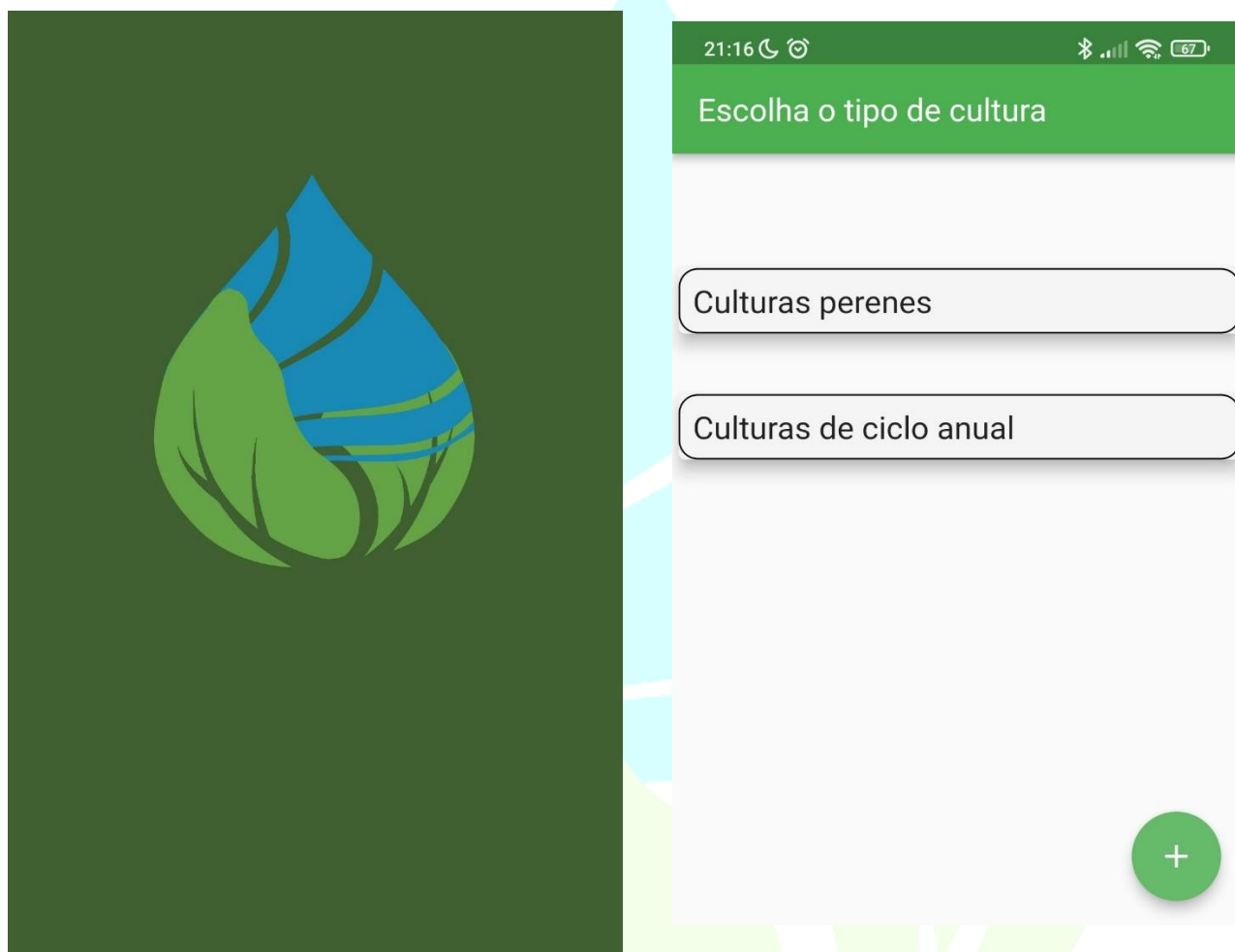


Um ícone do aplicativo aparecerá no seu celular. Clique para abrir o aplicativo.



Utilizando o aplicativo pela primeira vez

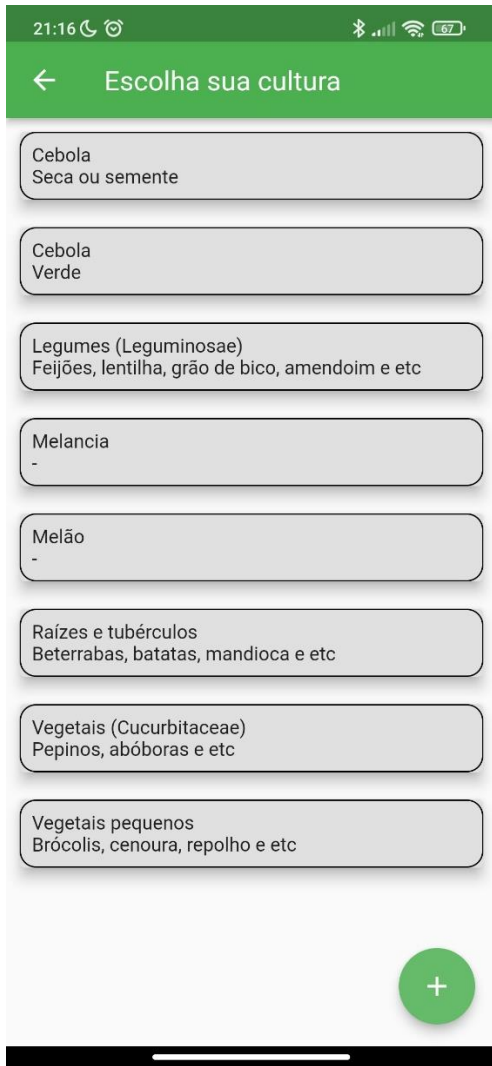
Ao abrir o aplicativo, algumas informações serão solicitadas para que o aplicativo funcione corretamente.



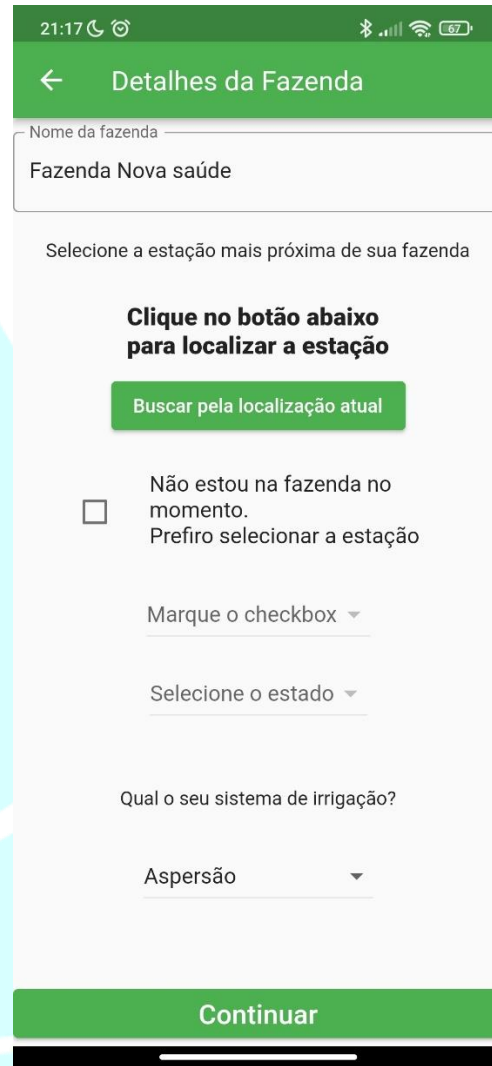
Tela de carregamento do aplicativo.

Tela de escolha do tipo de cultura.

Quando o aplicativo carregar por completo, você deve escolher o tipo de cultura desejada, se é de ciclo anual ou uma cultura perene. Basta clicar em cima da opção desejada.



Escolha da cultura desejada.



Detalhes da fazenda.

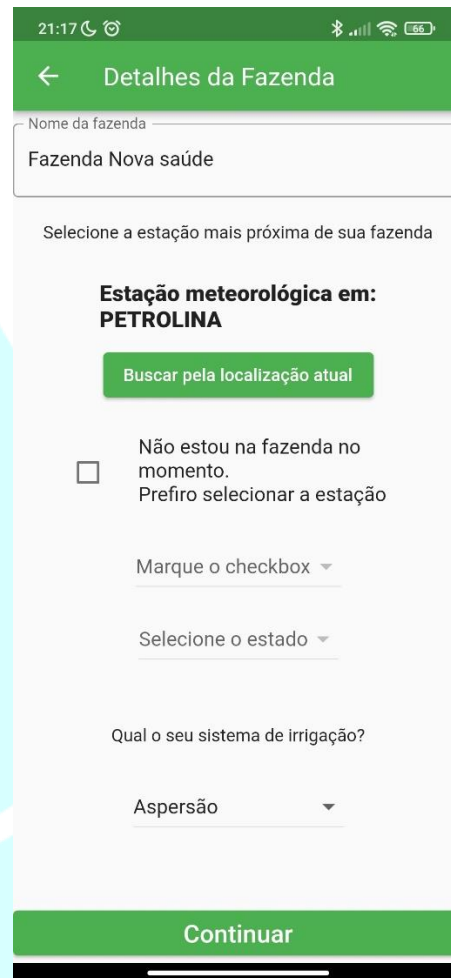
Em seguida, você deve clicar na cultura que deseja. Você também poderá cadastrar uma nova cultura, veja tópico [Cadastrar outra cultura](#).

Na tela de detalhes da fazenda, você poderá dar um nome para a fazenda, escolher a estação meteorológica e o tipo de irrigação praticado.

Para selecionar a estação, basta clicar no botão “Buscar pela localização atual” ou clicar na caixa de seleção “Prefiro selecionar a estação”. Neste último caso, você deverá escolher o Estado e depois a Cidade desejada.



Permita o acesso a localização atual.



Estação meteorológica escolhida.

Ao clicar no botão “Buscar pela localização atual”, o aplicativo poderá solicitar permissão para acessar a localização do celular. Ao permitir, o aplicativo buscará a estação meteorológica mais perto de você.

Você também pode escolher a estação meteorológica manualmente, veja tópico [Escolhendo uma estação meteorológica manualmente](#).



Em seguida, você deve escolher o tipo de irrigação da sua fazenda, aspersão ou irrigação localizada (gotejamento e micro aspersão).

Qual o seu sistema de irrigação?

Aspersão

Irrigação Localizada

Continuar

Aviso

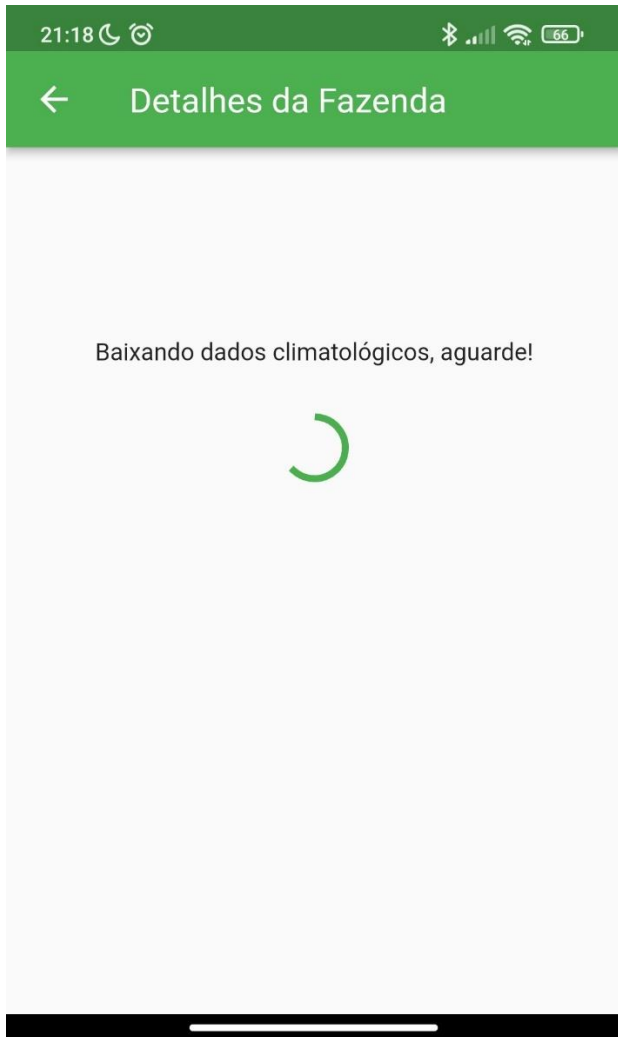
A última medição da estação selecionada foi em 09/04/2023. Deseja continuar?

Cancelar Continuar

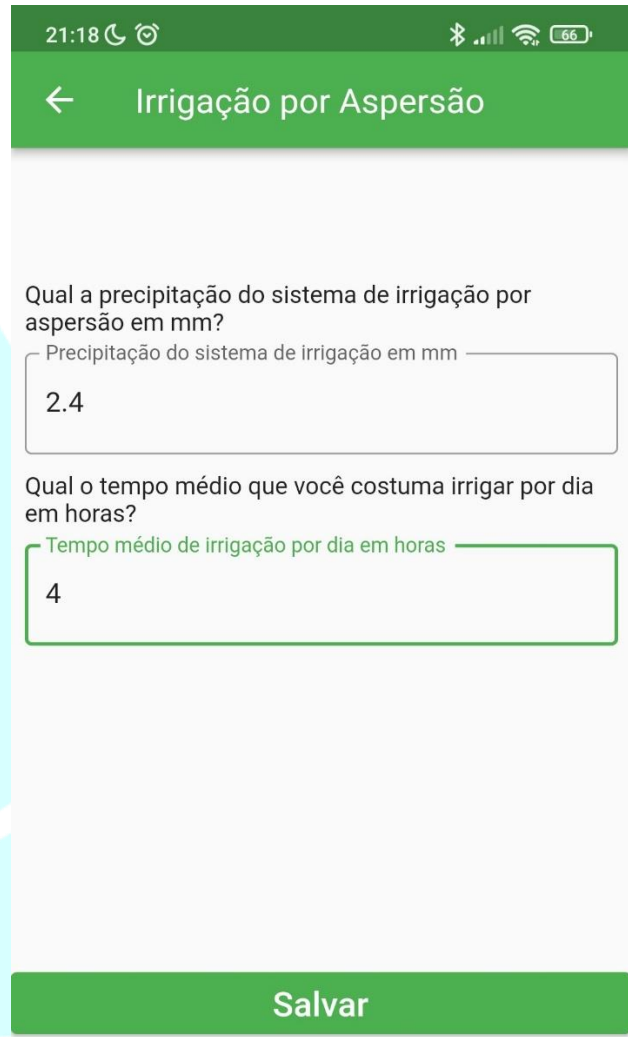
Tipo de irrigação.

Data da última medição da estação escolhida.

Após a escolha da irrigação, clique no botão “Continuar”. O aplicativo irá informar a data da última medição da estação selecionada, clique em continuar. Caso deseje uma outra estação meteorológica, você poderá cancelar e escolher outra estação manualmente. [Escolhendo uma estação meteorológica manualmente.](#)



Baixando os dados climatológicos.



Dados do sistema de irrigação.

Em seguida, o aplicativo irá baixar os dados da estação meteorológica escolhida, você deve aguardar.

O último passo é informar os dados do sistema de irrigação. Para aspersão, basta informar a precipitação do sistema em uma hora. E informar por quanto tempo você costuma deixar o sistema ligado. Pronto, apenas com estes dados o aplicativo já estará pronto para operar, basta clicar em “Salvar”.

23:14

Irrigação por Gotejamento

Qual o emissor com raio molhado em metros?

Qual o espaçamento entre plantas em metros?

Qual o espaçamento entre linhas em metros?

Qual a projeção individual da copa da planta com sol à pino em m²?

Qual o número de emissores por planta?

Qual a vazão de cada emissor em litros por hora?

Qual o tempo médio que você costuma irrigar por dia em horas?

Salvar

Dados necessários para o sistema de irrigação localizada.

21:19

Fazenda Fácil

Fazenda

Fazenda Nova saúde
Cidade da estação meteorológica: SENHOR DO BONFIM

Cultura

Melão
Kc atual: 1.05

Escolha o coeficiente de cultura (Kc) atual

Kc inicial **Kc maturidade** **Kc final**

Irrigação por Aspersão

Data da medição: 09/04/2023
Evapotranspiração de referência: 3.8204 mm/dia
Evapotranspiração Melão: 4.0114 mm/dia
Não choveu no dia anterior!

Portanto, você deve irrigar por 2 horas e 23 minutos.

Baixar dados climatológicos

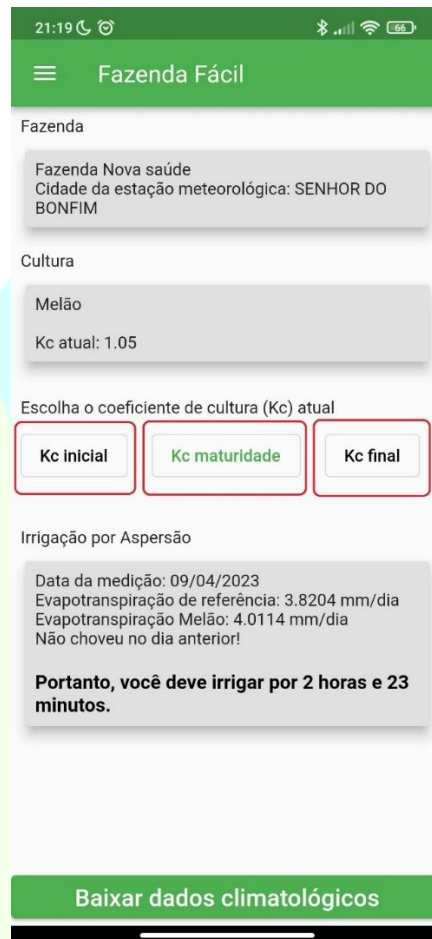
Tela principal do sistema.

Se o seu sistema de irrigação for por gotejamento ou micro aspersão, alguns dados a mais deverão ser informados, conforme imagem acima. Basta informar os dados solicitados e clicar em “Salvar”.

Pronto, seu aplicativo estará configurado e pronto para uso.

Escolhendo o coeficiente da cultura (Kc)

Após a configuração do aplicativo, ele sempre exibirá a tela abaixo.

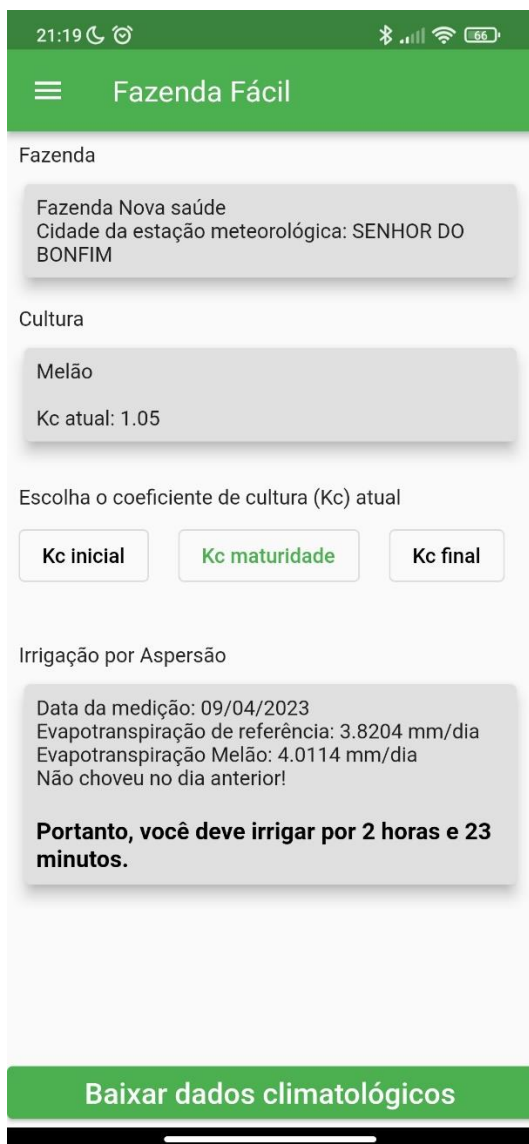


Alternando entre coeficientes de cultura.

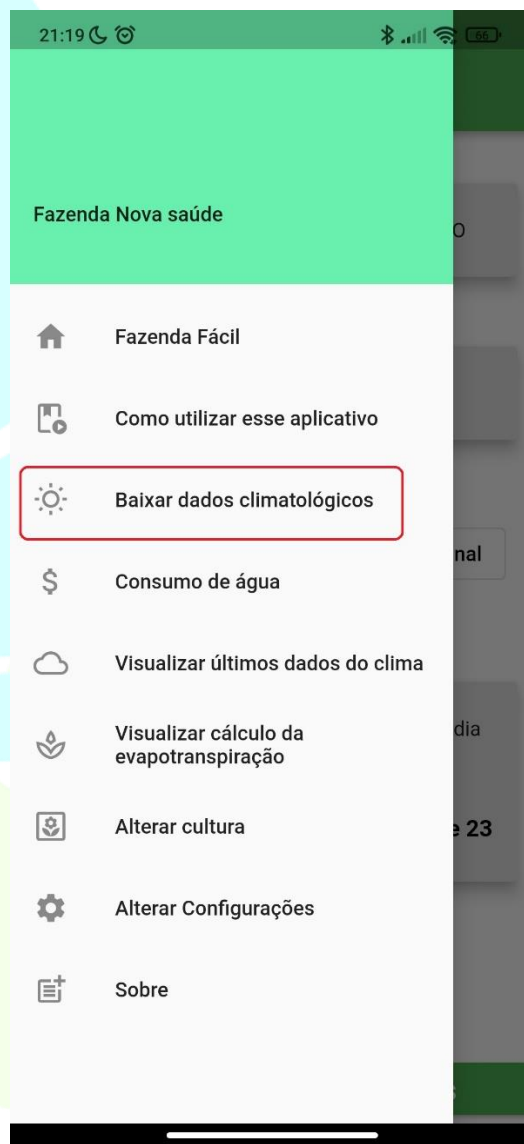
Nesta tela, você poderá alternar entre os três coeficientes de cultura sugeridos de acordo com o estágio atual da sua plantação e o aplicativo fará todos os cálculos em tempo real.

Um novo dia: atualizando os dados meteorológicos


Para atualizar os dados meteorológicos do aplicativo, é necessário que o celular esteja com conexão com a internet ativa. Neste passo, não é necessário que você esteja em sua fazenda.



Atualizando dados pela tela principal.



Atualizando dados pelo menu lateral.

Na tela principal, basta apenas clicar no botão “Baixar dados climatológicos” e aguardar o aplicativo atualizar todos os dados automaticamente. Ou você pode abrir o menu lateral  e clicar em “Baixar dados climatológicos”, o aplicativo fará o mesmo procedimento.

Economia de água

Você tem uma tela especial para avaliar o consumo de água. Clique no menu lateral e escolha “Consumo de água”.



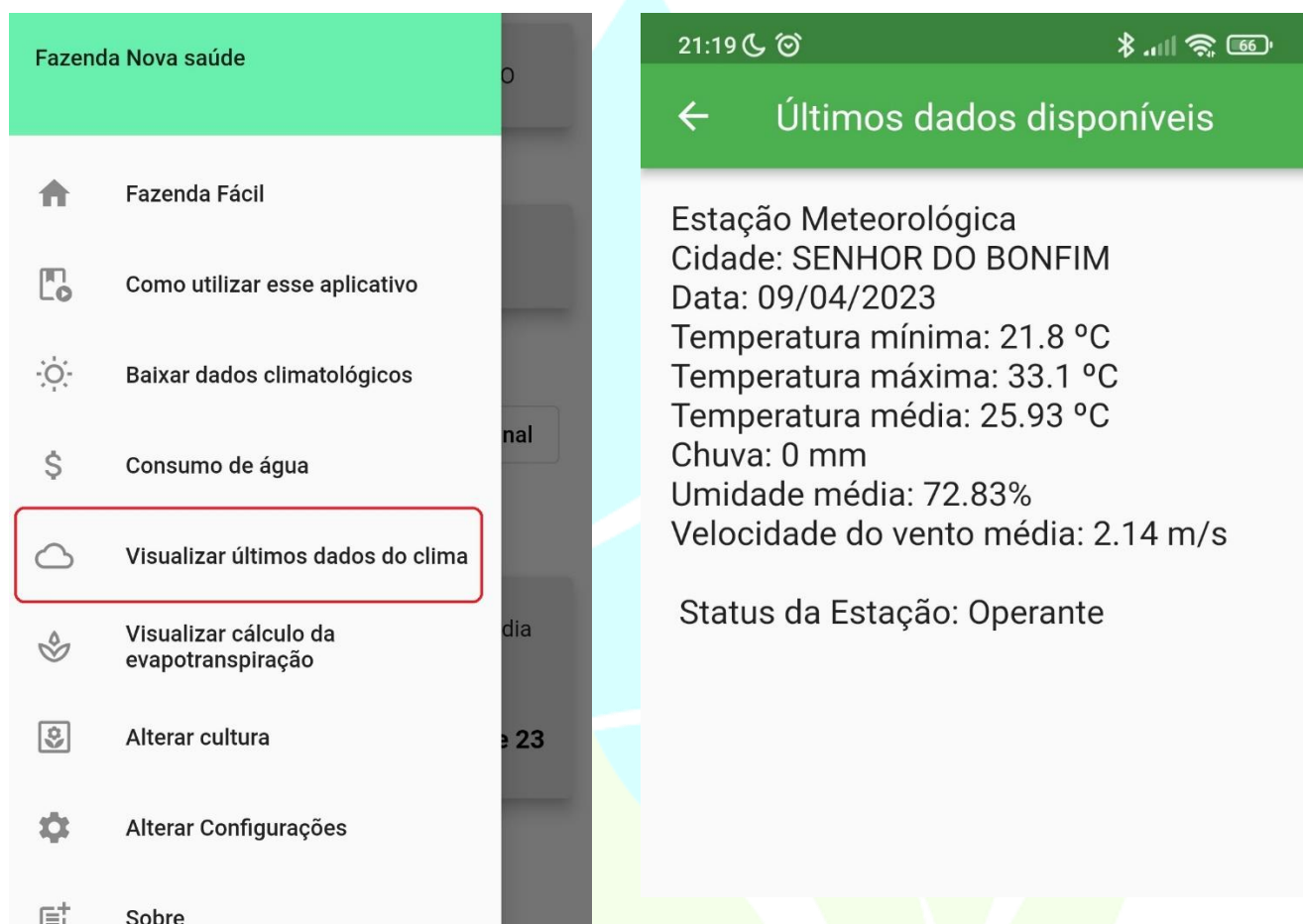
Menu lateral.

Consumo de água.

Na tela de consumo de água, você poderá passar o dedo sob o gráfico e verificar detalhadamente para cada dia qual foi o uso e a economia de água estimada. O aplicativo estimará também, uma economia geral dos últimos 30 dias para cada m² irrigado.

Últimos dados do clima

O aplicativo também dispõe de uma tela para ver um resumo dos últimos dados do clima captados na estação meteorológica mais próxima de você.



Acessando últimos dados do clima.

Tela da última medição disponível.

Para acessar esta tela, basta clicar no menu lateral e em seguida clicar em “Visualizar últimos dados do clima”. O aplicativo irá apresentar os últimos dados captados da estação meteorológica configurada. Dados como: data de medição, temperatura máxima, mínima e média, chuva, umidade e velocidade do vento.

Dados da evapotranspiração

O aplicativo também possui uma tela exclusiva para a visualização da evapotranspiração de referência.

The image shows two screenshots from an application. The left screenshot displays a side menu for 'Fazenda Nova saúde' with the following options: 'Fazenda Fácil', 'Como utilizar esse aplicativo', 'Baixar dados climatológicos', 'Consumo de água', 'Visualizar últimos dados do clima', 'Visualizar cálculo da evapotranspiração' (highlighted with a red box), 'Alterar cultura', and 'Alterar Configurações'. The right screenshot shows the 'Evapotranspiração de ...' screen with the following data:

← Evapotranspiração de ...

Cidade da estação meteorológica: SENHOR DO BONFIM
Data da medição: 09/04/2023
Dias Julianos: 99 dias
Declinação do Sol: 0.1242 radianos
Inverso da distância Sol Terra: 0.9956
Latitude Radianos: -0.1873 radianos
Angulo por do Sol: 1.5471 radianos
Radiação Solar extraterrestre: 35.1509 MJ/m² dia
Radiação Solar global: 11.4988 MJ/m² dia
Radiação em dia de Céu limpo: 26.7400 MJ/m² dia
Pressão de Saturação de Vapor d'água: 3.8352 kPa
Pressão parcial de Vapor d'água: 2.3429 kPa
Radiação ondas longas: 1.1627 MJ/m² dia
Radiação ondas curtas: 8.8541 MJ/m² dia
Radiação Líquida: 7.6913 MJ/m² dia
Inclinação da curva da pressão do vapor d'água: 0.1980 kPa/°C
Pressão atmosférica: 95.1665 kPa
Constante Psicrométrica: 0.0633 kPa/°C
Velocidade do Vento a 2m: 1.5987 m/s

Evapotranspiração de referência: 3.6386 mm/dia

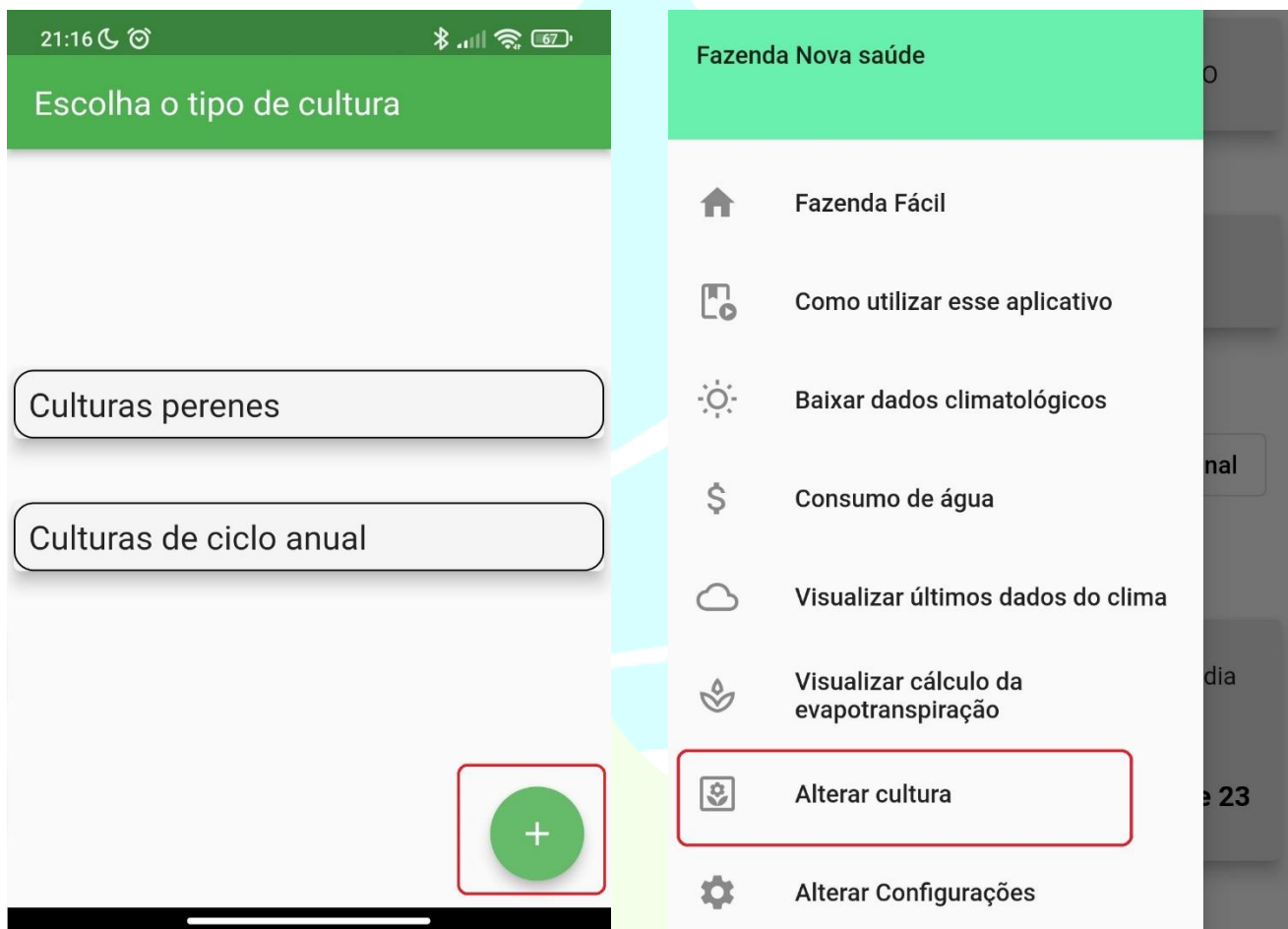
Mudar a data

Acessar dados de evapotranspiração. Tela de evapotranspiração de referência.

Através do menu lateral, clique em “Visualizar cálculo da evapotranspiração”. O aplicativo irá mostrar o cálculo de todas as variáveis que compõem a equação de Penman-Monteith utilizada para o cálculo da evapotranspiração de referência. Nesta tela, você poderá também escolher uma outra data para verificar os cálculos.

Cadastrar outra cultura

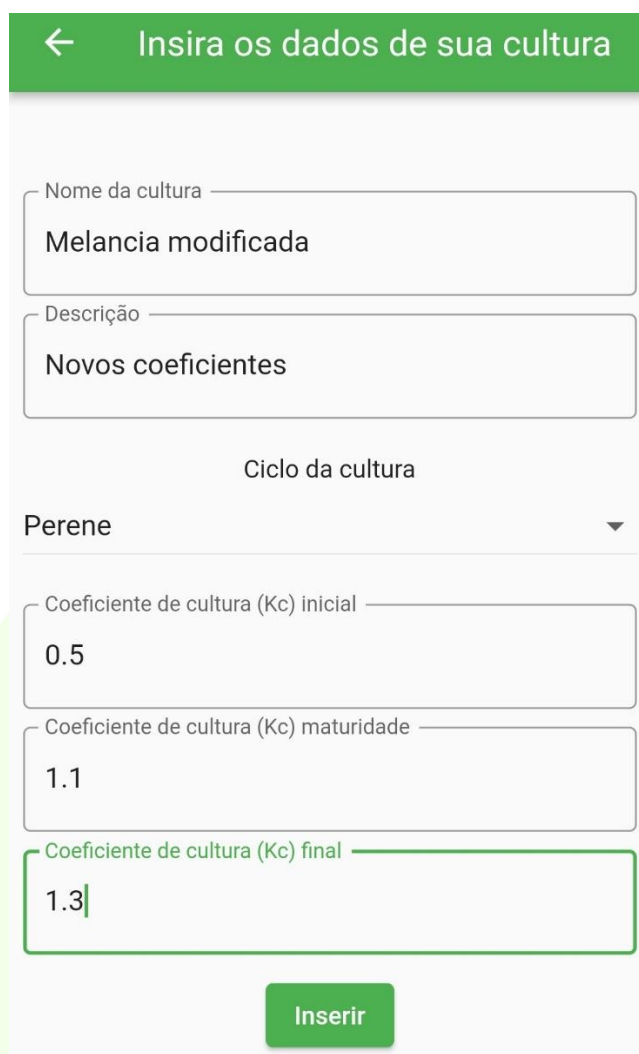
A opção de cadastrar outra cultura está disponível para que você possa cadastrar uma cultura que não esteja previamente cadastrada ou para que você utilize os coeficientes de cultura (Kcs) que desejar, mesmo em uma cultura já cadastrada.



Adicionar cultura durante a configuração. Alterar através do menu lateral.

Você pode acessar o cadastro de nova cultura durante as primeiras telas de configuração do aplicativo, clicando no (+).

Ou caso deseje, você poderá cadastrar uma nova cultura depois que configurar o aplicativo, acessando o menu lateral e clicando em “Alterar cultura”. Neste caso, o aplicativo irá considerar todas as outras informações já solicitadas da estação meteorológica e sistema de irrigação.



← Insira os dados de sua cultura

Nome da cultura
Melancia modificada

Descrição
Novos coeficientes

Ciclo da cultura
Perene

Coeficiente de cultura (Kc) inicial
0.5

Coeficiente de cultura (Kc) maturidade
1.1

Coeficiente de cultura (Kc) final
1.3

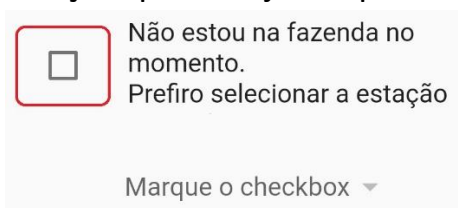
Inserir

Tela de cadastrar nova cultura.

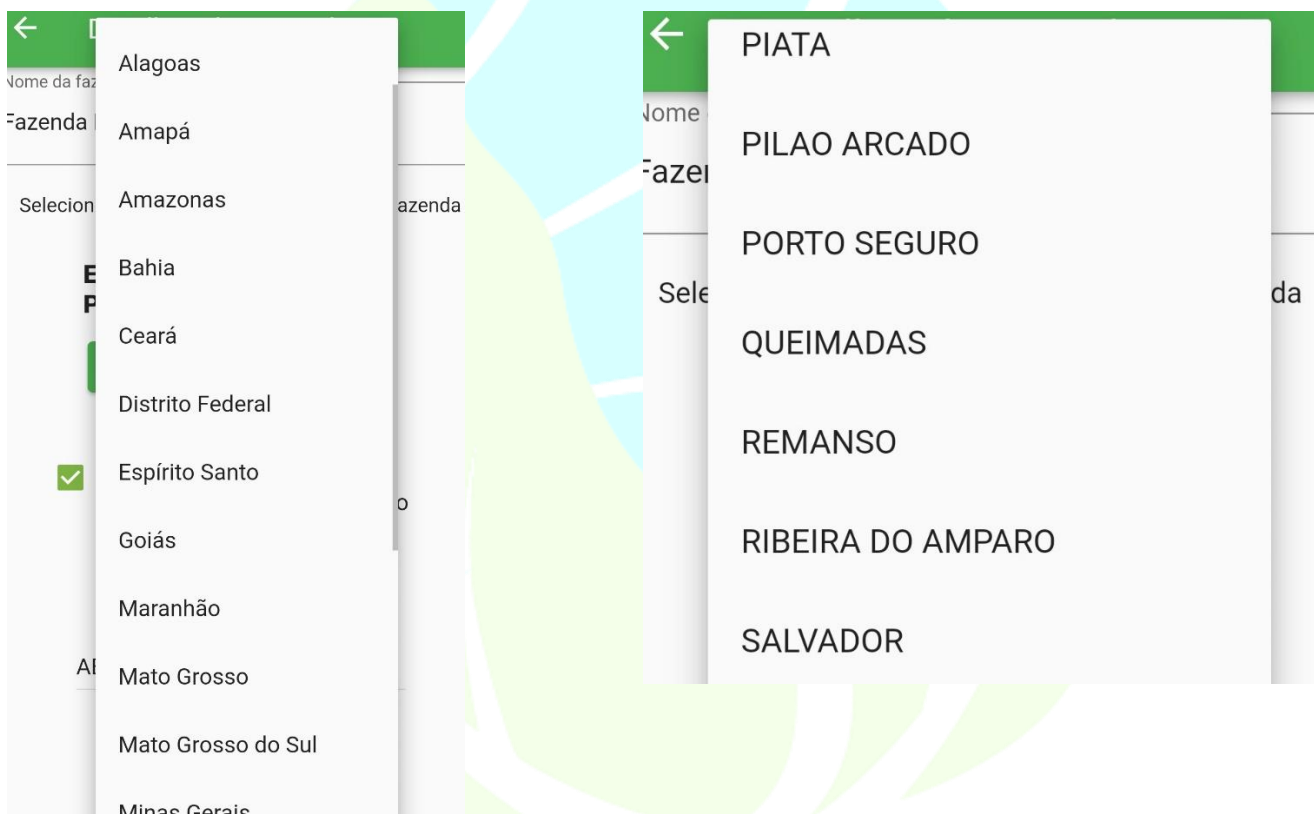
Por padrão, o aplicativo trabalha com três coeficientes de cultura. Basta informá-los juntamente com o nome da cultura e o tipo do ciclo. Para finalizar, clique em “Inserir”.

Escolhendo uma estação meteorológica manualmente

Se você não quiser utilizar a localização do celular, você poderá seguir estes passos e escolher qualquer estação que deseje. Clique na caixa de seleção (checkbox).



Em seguida, selecione o estado e a cidade onde se encontra a estação meteorológica.




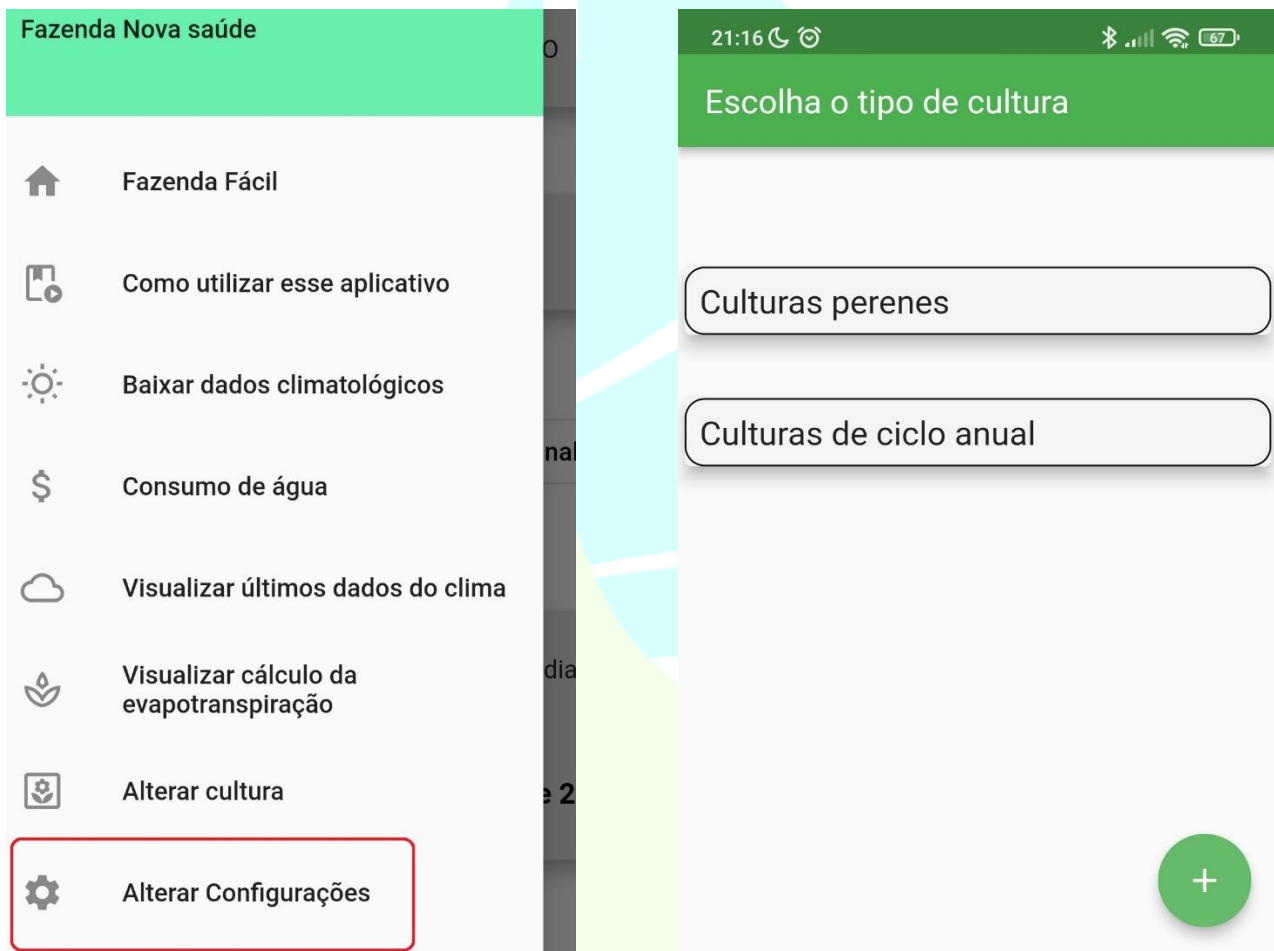
Escolha o estado.

Escolha a cidade.

Em seguida, basta clicar em “Continuar” para que o aplicativo verifique e baixe os dados mais atuais da estação escolhida.

Reiniciando as configurações do aplicativo

Para escolher outra estação meteorológica, cultura ou mudar os dados do sistema de irrigação, não será necessário reinstalar o aplicativo. Você pode abrir o menu lateral  e clicar em “Alterar configurações”.



Alterar configurações no menu lateral.

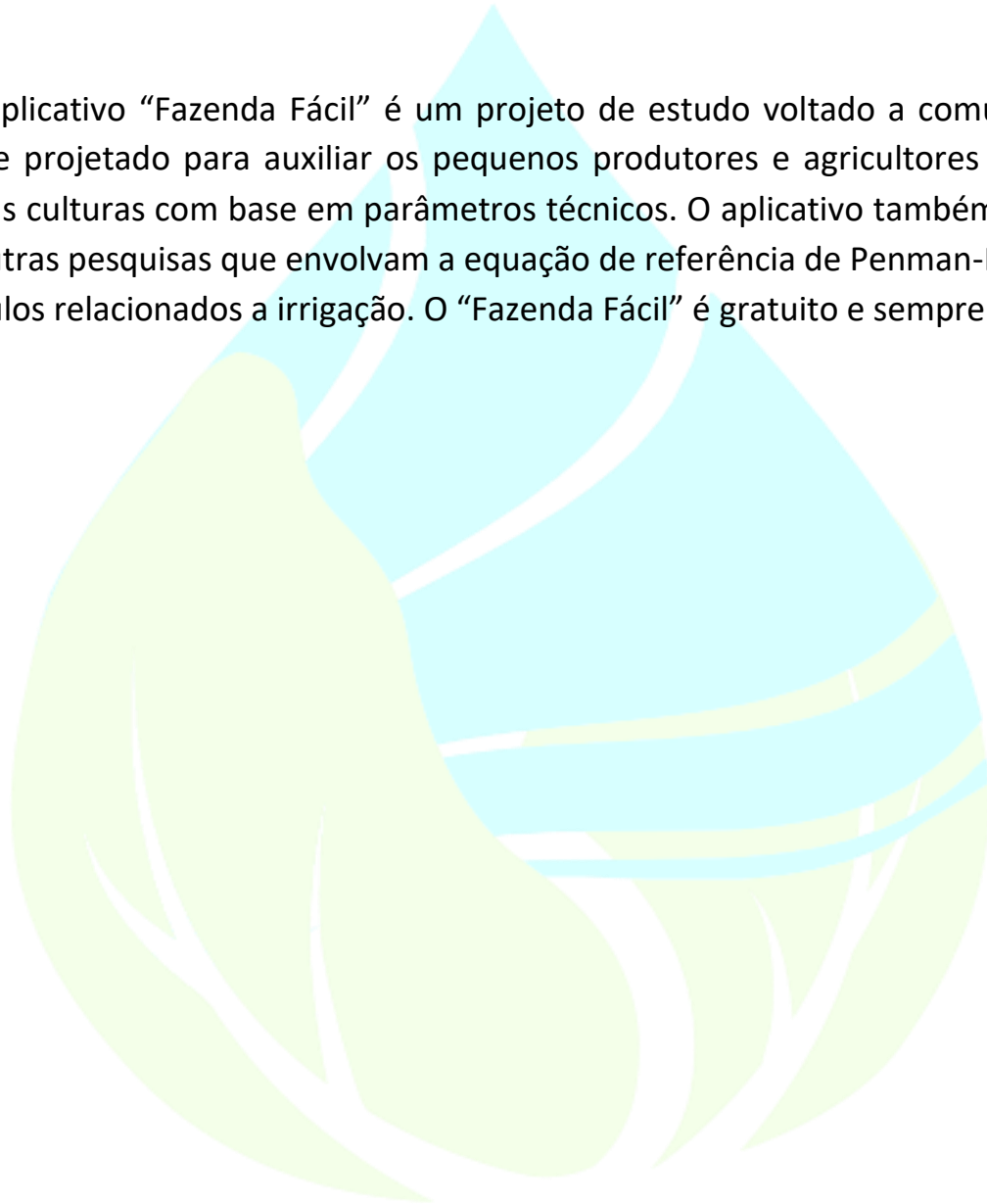
Reconfigurando o aplicativo.

Pronto, o aplicativo irá reiniciar e você poderá inserir todas as informações novas ou conforme desejar.



FAZENDA FÁCIL

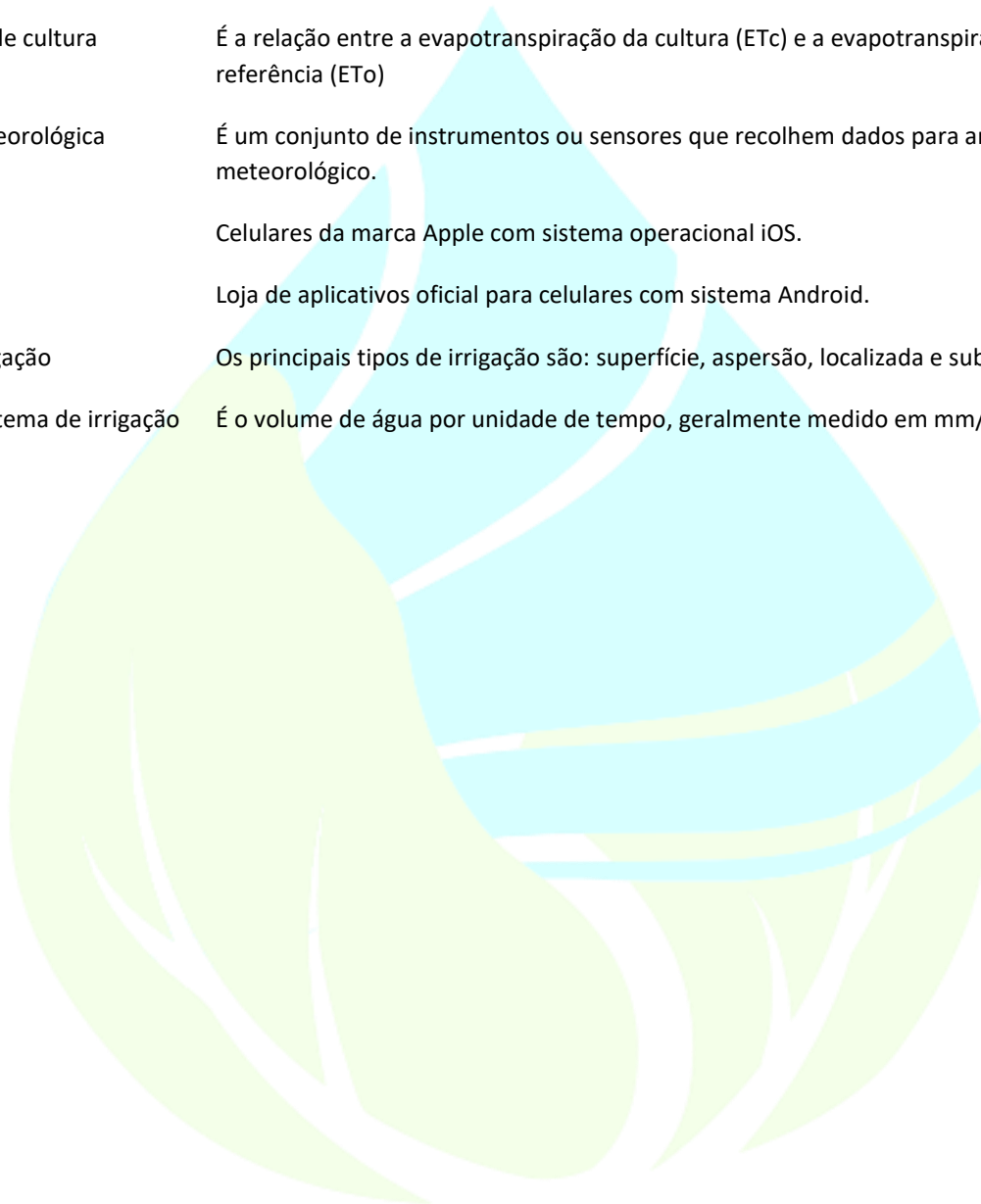
O aplicativo “Fazenda Fácil” é um projeto de estudo voltado a comunidade. Foi pensado e projetado para auxiliar os pequenos produtores e agricultores familiares a irrigar suas culturas com base em parâmetros técnicos. O aplicativo também poderá ser útil em outras pesquisas que envolvam a equação de referência de Penman-Monteith ou para cálculos relacionados a irrigação. O “Fazenda Fácil” é gratuito e sempre será.





Glossário

Android	Sistema operacional (SO) para dispositivos eletrônicos móveis (como celulares e tablets) com tela sensível ao toque.
Apple Store	Loja de aplicativos oficial para celulares da marca Apple.
Coefficiente de cultura	É a relação entre a evapotranspiração da cultura (ETc) e a evapotranspiração de referência (ETo)
Estação meteorológica	É um conjunto de instrumentos ou sensores que recolhem dados para análise do tempo meteorológico.
iPhone	Celulares da marca Apple com sistema operacional iOS.
Play store	Loja de aplicativos oficial para celulares com sistema Android.
Tipos de irrigação	Os principais tipos de irrigação são: superfície, aspersão, localizada e subirrigação
Vazão do sistema de irrigação	É o volume de água por unidade de tempo, geralmente medido em mm/h.



**ANEXO I – TABELA KC DA FAO 56, UTILIZADA COMO KC PRÉ-CADASTRADO
PARA CADA CULTURA NO APLICATIVO**

Crop	Kcb ini	Kcb mid	Kcb end
a. Small Vegetables	0.15	0.95	0.85
Broccoli		0.95	0.85
Brussel Sprouts		0.95	0.85
Cabbage		0.95	0.85
Carrots		0.95	0.85
Cauliflower		0.95	0.85
Celery		0.95	0.90
Garlic		0.90	0.60
Lettuce		0.90	0.90
Onions - dry		0.95	0.65
- green		0.90	0.90
- seed		1.05	0.70
Spinach		0.90	0.85
Radishes		0.85	0.75
b. Vegetables – Solanum Family (Solanaceae)	0.15	1.10	0.70
EggPlant		1.00	0.80
Sweet Peppers (bell)		1.002	0.80
Tomato		1.102	0.60-0.80
c. Vegetables – Cucumber Family (Cucurbitaceae)	0.15	0.95	0.70
Cantaloupe		0.75	0.50
Cucumber– Fresh Market		0.952	0.70
– Machine harvest		0.95	0.80
Pumpkin, Winter Squash		0.95	0.70
Squash, Zucchini		0.90	0.70
Sweet Melons		1.00	0.70
Watermelon		0.95	0.70
d. Roots and Tubers	0.15	1.00	0.85
Beets, table		0.95	0.85
Cassava– year 1		0.703	0.20
– year 2		1.00	0.45
Parsnip		0.95	0.85
Potato		1.10	0.654

Sweet Potato		1.10	0.55
e. Lugumes (Leguminosae)	0.15	1.10	0.50
Beans, green		1.002	0.80
Beans, dry and Pulses		1.102	0.25
Chick pea		0.95	0.25
Fababean (broad bean)– Fresh		1.102	1.05
– Dry/Seed		1.102	0.20
Grabanzo		1.05	0.25
Green Gram and Cowpeas		1.00	0.55-0.256
Groundnut (Peanut)		1.10	0.50
Lentil		1.05	0.20
Peas– Fresh		1.102	1.05
– Dry/Seed		1.10	0.20
Soybeans		1.10	0.30
f. Perennial Vegetables (with winter dormancy and initially bare or mulched soil)			
Artichokes	0.15	0.95	0.90
Asparagus	0.15	0.907	0.20
Mint	0.40	1.10	1.05
Strawberries	0.30	0.80	0.70
g. Fibre Crops	0.15		
Cotton		1.10-1.15	0.50-0.40
Flax		1.05	0.20
Sisal		0.4-0.7	0.4-0.7
h. Oil Crops	0.15	1.10	0.25
Castorbean (Ricinus)		1.10	0.45
Rapeseed, Canola		0.95-1.109	0.25
Safflower		0.95-1.109	0.20
Sesame		1.05	0.20
Sunflower		0.95-1.109	0.25
i. Cereals	0.15	1.10	0.25
Barley		1.10	0.15
Oats		1.10	0.15
Spring Wheat		1.10	0.15-0.310
Winter Wheat	0.15-0.511	1.10	0.15-0.310

Maize - Field (grain) (field corn) - Sweet (sweet corn)	0.15	1.15 1.10	0.50,0.1512 1.0013
Millet		0.95	0.20
Sorghum– grain - Sweet		0.95- 1.05 1.15	0.35 1.00
Rice	1.00	1.15	0.70-0.45
j. Forages			
Alfalfa Hay– individual cutting periods – for seed	0.3014 0.30	1.1514 0.45	1.1014 0.45
Bermuda hay– averaged cutting effects – Spring crop for seed	0.50 0.15	0.9515 0.85	0.80 0.60
Clover hay, Berseem – individual cutting periods	0.3014	1.1014	1.0514
Rye Grass hay– averaged cutting effects	0.85	1.0015	0.95
Sudan Grass hay (annual) – individual cutting periods	0.3014	1.1014	1.0514
Grazing Pasture - Rotated Grazing - Extensive Grazing	0.30 0.30	0.80- 1.00 0.70	0.80 0.70
Turf grass - cool season ¹⁶ - warm season ¹⁶	0.85 0.75	0.90 0.80	0.90 0.80
k. Sugar cane	0.15	1.20	0.70
l. Tropical Fruits and Trees			
Banana – 1st year – 2nd year	0.15 0.60	1.05 1.10	0.90 1.05
Cacao	0.90	1.00	1.00
Coffee– bare ground cover – with weeds	0.80 1.00	0.90 1.05	0.90 1.05
Date Palms	0.80	0.85	0.85
Palm Trees	0.85	0.90	0.90
Pineapple ¹⁷ (multiyear crop)– bare soil – with grass cover	0.15 0.30	0.25 0.45	0.25 0.45
Rubber Trees	0.85	0.90	0.90
Tea– nonshaded – shaded ¹⁸	0.90 1.00	0.95 1.10	0.90 1.05
m. Grapes and Berries			
Berries (bushes)	0.20	1.00	0.40
Grapes– Table or Raisin – Wine	0.15 0.15	0.80 0.65	0.40 0.40
Hops	0.15	1.00	0.80

n. Fruit Trees			
Almonds, no ground cover	0.20	0.85	0.6019
Apples, Cherries, Pears ²⁰			
no ground cover, killing frost	0.35	0.90	0.6519
no ground cover, no frosts	0.50	0.90	0.7019
active ground cover, killing frost	0.45	1.15	0.9019
active ground cover, no frosts	0.75	1.15	0.8019
Apricots, Peaches, Stone Fruit ^{20,21}			
no ground cover, killing frost	0.35	0.85	0.6019
no ground cover, no frosts	0.45	0.85	0.6019
active ground cover, killing frost	0.45	1.10	0.8519
active ground cover, no frosts	0.75	1.10	0.8019
Avocado, no ground cover	0.50	0.80	0.70
Citrus, no ground cover ²²			
70% canopy	0.65	0.60	0.65
50% canopy	0.60	0.55	0.60
20% canopy	0.45	0.40	0.50
Citrus, with active ground cover or weeds ²³			
70% canopy	0.75	0.70	0.75
50% canopy	0.75	0.75	0.75
20% canopy	0.80	0.80	0.85
Conifer Trees ²⁴	0.95	0.95	0.95
Kiwi	0.20	1.00	1.00
Olives (40 to 60% ground coverage by canopy) ²⁵	0.55	0.65	0.65
Pistachios, no ground cover	0.20	1.05	0.40
Walnut Orchard ²⁰	0.40	1.05	0.6019