



UNIVERSIDADE DE RIBEIRÃO PRETO

**Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental**

EDUARDO DE PIERI PRANDO

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA CÁLCULO
AUTOMÁTICO DO COEFICIENTE DE CULTURA (KC) EM VIDEIRAS
UTILIZANDO PLATAFORMA DE PROTOTIPAGEM ARDUINO**

**RIBEIRÃO PRETO/SP
2019**

EDUARDO DE PIERI PRANDO

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA CÁLCULO
AUTOMÁTICO DO COEFICIENTE DE CULTURA (KC) EM VIDEIRAS
UTILIZANDO PLATAFORMA DE PROTOTIPAGEM ARDUINO**

Tese apresentada à Universidade de
Ribeirão Preto – UNAERP, como
requisito parcial para obtenção do título
de Doutor em Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Farias de
Novaes

**Ribeirão Preto/SP
2019**

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento
Técnico da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto -

P899d Prando, Eduardo De Pieri, 1982-
Desenvolvimento de protótipo para cálculo automático do
coeficiente de cultura (Kc) em videiras utilizando a plataforma
de prototipagem Arduino / Eduardo De Pieri Prando. – Ribeirão
Preto, 2019.
121 f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes.

Tese (doutorado) - Universidade de Ribeirão Preto, UNAERP,
Tecnologia Ambiental. Ribeirão Preto, 2019.

1. Recursos hídricos. 2. Plataforma de prototipagem arduino.
3. Irrigação. 4. Coeficiente da cultura. I. Título.

CDD 628

EDUARDO DE PIERI PRANDO

“Desenvolvimento De Protótipo Para Cálculo Automático Do Coeficiente
De Cultura (KC) Em Videiras Utilizando Plataforma De Prototipagem
Arduino”.

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora pelo programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Farias De Novaes.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Data de defesa: 12 de dezembro de 2019

Resultado: APROVADO

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luciano Farias De Novaes
Presidente/UNAERP

Profa. Dra. Luciana Rezende Alves de
Oliveira
UNAERP

Prof. Dr. Gustavo Almeida Frata
UNAERP

Prof. Dr. Celso Luiz Franzotti
FATEC

Prof. Dr. Marcelo Luiz Murari
IFSP

RIBEIRÃO PRETO
2019

Dedico este trabalho a meus pais Edson Prando e Elimar Aparecida de Pieri Prando (em memória), meu irmão Fernando De Pieri Prando, minha namorada Karla Nascimento Sena, minha família, meus amigos, a todos os professores que participaram da minha formação.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente gostaria de agradecer à Deus.

Ao meu orientador e amigo, professor Dr. Luciano Farias de Novaes pela incansável dedicação que me foi compreendida.

À minha família e amigos pelo apoio que me foi dado.

À minha namorada Karla Nascimento Sena, pela paciência, e ajuda.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo por incentivar essa realização.

À Coordenadora do Programa de Doutorado em Tecnologia Ambiental, professora Luciana Rezende Alves de Oliveira.

Aos profissionais (Docentes e Técnicos) da Universidade de Ribeirão Preto, pelo comprometimento com os alunos.

Aos meus amigos de curso, Marcelo Luis Murari, Duílio Júlio Oliveira Santos, Michel da Silva Fernandes pela companhia.

À André Luis Gobbi Primo no apoio ao desenvolvimento do protótipo.

Aos amigos, Juan Paulo Robles Balestero e Claudiner Mendes de Seixas pelas aulas de elétrica aplicada.

RESUMO

A irrigação é responsável por grande parte do consumo dos recursos hídricos e o Brasil figura entre os 10 países com mais área irrigada. Na viticultura, a frequência no uso da irrigação está associada a índices de produtividade, enfatizando assim a necessidade do desenvolvimento de técnicas para otimizar seu uso. Assim o coeficiente da cultura (K_c) torna-se essencial para determinar o volume adequado para a irrigação tornando o processo com melhor eficiência hídrica. Para tanto, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um protótipo baseado em componentes eletrônicos e dispositivos da plataforma de prototipagem Arduino que realiza o cálculo de forma automática do coeficiente da cultura (K_c) em videiras cultivadas em sistema de sustentação vertical do tipo espaldeira, indispensável para determinar a necessidade de irrigação na cultura. O protótipo desenvolvido possui um peso igual a 4,9 kg, sendo composto de uma placa solar fotovoltaica flexível, montada em uma estrutura que realiza automaticamente o cálculo do coeficiente da cultura (K_c) e disponibiliza aos usuários as informações calculadas via cartão de memória. O protótipo conta com um sistema *web* que possibilita a importação e o armazenamento em nuvem das informações calculadas. O protótipo é capaz de realizar o cálculo do coeficiente da cultura (K_c) de forma rápida, eficiente e confiável, fomentando a sua utilização em culturas comerciais. Foram realizados testes em campo em culturas de videiras em um instituto de pesquisa no interior do Estado de São Paulo visando validar o protótipo desenvolvido. Os testes comparativos entre a metodologia tradicional e o protótipo desenvolvido apresentam alta correlação, sendo observado erro médio em torno de 5%. O protótipo possui uma estrutura complexa de componentes eletrônicos dispostos em um único ambiente, agregando funcionalidades para seu funcionamento durante a aplicação como baterias recarregáveis que permitem uma utilização intensa em carga completa de até 4 horas de trabalho. Assim conclui-se que para a obtenção do coeficiente da cultura (K_c) em videiras, o protótipo desenvolvido apresenta vantagens de aplicação em campo, tais como a agilidade e eficiência no processo, bem como aprimorar os métodos para se chegar à de agricultura de precisão.

Palavras-chave: Recursos Hídricos. Agricultura de Precisão. Irrigação. Plataforma de Prototipagem Arduino. Coeficiente da Cultura.

ABSTRACT

Irrigation is responsible for a large part of the consumption of water resources and Brazil is among the 10 countries with the most irrigated area. In viticulture, the frequency of use of irrigation is associated with productivity indexes, thus emphasizing the need to develop techniques to optimize its use. Thus, the crop coefficient (K_c) becomes essential to determine the adequate volume for irrigation, making the process with better water efficiency. To this end, the present work aimed to develop a prototype based on electronic components and devices from the Arduino prototyping platform that automatically calculates the crop coefficient (K_c) in vines grown in a vertical spreader support system, indispensable to determine the need for irrigation in the crop. The developed prototype has a weight equal to 4.9 kg, being composed of a flexible photovoltaic solar plate, mounted on a structure that automatically calculates the crop coefficient (K_c) and makes the information calculated via memory card available to users. The prototype has a web system that makes it possible to import and store the calculated information in the cloud. The prototype is capable of calculating the crop coefficient (K_c) quickly, efficiently and reliably, encouraging its use in commercial crops. Field tests were carried out on grapevine cultures at a research institute in the interior of the State of São Paulo aiming to validate the developed prototype. The comparative tests between the traditional methodology and the developed prototype have a high correlation, with an average error of around 5%. The prototype has a complex structure of electronic components arranged in a single environment, adding functionalities for its operation during application, such as rechargeable batteries that allow an intense use in full charge of up to 4 hours of work. Thus, it is concluded that to obtain the crop coefficient (K_c) in vines, the developed prototype presents advantages of application in the field, such as agility and efficiency in the process, as well as improving the methods to arrive at precision agriculture.

Keywords: Water Resources. Precision Agriculture Irrigation. Arduino Prototyping Platform. Crop Coefficient.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: A disponibilidade da água no mundo	22
Figura 2: Determinação do percentual de utilização da água na irrigação no Brasil .	24
Figura 3: Detalhe esquemático dos componentes de um lisímetro	29
Figura 4: Painel solar para medir a área sombreada da copa das plantas	33
Figura 5: Multímetro digital utilizado para a medição da tensão da placa solar fotovoltaica	34
Figura 6: Versão final do dispositivo de medição do sombreamento de videiras apelidado de “Paso Panel”	35
Figura 7: Dispositivo de medição da largura da projeção da copa das videiras	36
Figura 8: Funcionamento plataforma Arduino	38
Figura 9: Arduino Mega 2560 R3	41
Figura 10: Ambiente de desenvolvimento integrado (IDE)	42
Figura 11: Módulo sensor de tensão de corrente contínua ACS712 utilizado pelo Arduino.....	43
Figura 12: Módulo GPS Mini NEO-7N.....	44
Figura 13: Antena GPS padrão SMA	45
Figura 14: Módulo de cartão de memória.....	45
Figura 15: Módulo <i>Display</i> LCD 20x4 com tecnologia I2C utilizado para visualização das informações do projeto	46
Figura 16: <i>Jumpers</i> diversos	47
Figura 17: <i>Protoboard</i> utilizada na ligação dos componentes do projeto	48
Figura 18: Fluxograma das etapas para o desenvolvimento do protótipo	55
Figura 19: Placas solares flexíveis adquiridas de fabricante chinês para o desenvolvimento do protótipo	56
Figura 20: Projeto esquemático da estrutura do suporte da placa fotovoltaica flexível	58
Figura 21: Arduino Mega 2560 R3 utilizado no presente trabalho para o desenvolvimento do protótipo	59
Figura 22: Ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) utilizado no presente trabalho para o desenvolvimento do protótipo	60
Figura 23: Módulo sensor de tensão de corrente contínua para Arduino utilizado no presente trabalho para o desenvolvimento do protótipo	62

Figura 24: Módulo GPS Mini NEO-7N utilizado no desenvolvimento do presente trabalho	63
Figura 25 - Antena GPS padrão SMA utilizado no trabalho	64
Figura 26: Módulo <i>Display</i> LCD 20x4com tecnologia I2C utilizado para visualização das informações do projeto	65
Figura 27: Caixa hermética. A- Parte superior e B- Interior da caixa hermética.....	66
Figura 28: Fluxograma da lógica de funcionamento do sistema de cálculo do coeficiente da cultura	67
Figura 29: Projeto esquemático do arranjo dos componentes eletrônicos do protótipo	68
Figura 30: A- Modularização do projeto para facilitar o transporte e B- Arranjo final da placa solar flexível.....	74
Figura 31: Definição do ator principal que utilizará o protótipo de cálculo do coeficiente da cultura (Kc).....	75
Figura 32: Diagrama de Caso de Uso pertinente à ação de calcular o coeficiente da cultura (Kc) com o protótipo	76
Figura 33: Diagrama de Caso de Uso para o sistema <i>web</i>	77
Figura 34: Diagrama de classe do protótipo para cálculo do coeficiente da cultura (Kc)	78
Figura 35: Diagrama de classe do sistema <i>web</i> para a importação das informações processadas pelo protótipo	79
Figura 36: Diagrama de sequência do ator “Usuário” para o caso de uso Calcular Coeficiente da Cultura (Kc)	80
Figura 37: Diagrama de sequência para o cadastro de novo usuário para acesso ao sistema <i>web</i> para importação das informações processadas no protótipo	80
Figura 38: Diagrama de sequência para realizar a importação no sistema <i>web</i> das informações processadas no protótipo.....	81
Figura 39: Diagrama de sequência do ator “Usuário” para caso de uso Geração de Relatório.....	82
Figura 40: Módulo <i>Display</i> LCD 20x4com tecnologia I2C utilizado para visualização das informações do projeto	83
Figura 41: Teclado alfanumérico e o Módulo <i>Display</i> LCD 20x4 com tecnologia I2C utilizado para visualização das informações do projeto	84

Figura 42: Versão inicial do sistema utilizado para os cálculos do coeficiente da cultura	85
Figura 43: Caixa hermética. A- Organização dos componentes na parte frontal e B- Ilustração da disposição dos componentes no interior da caixa hermética.....	86
Figura 44: Relação entre porcentagem de luminosidade e tensão produzida na placa solar fotovoltaica	88
Figura 45: Tela de acesso, cadastro e gerenciamento de usuários do sistema <i>web</i>	89
Figura 46: Cadastro de novos usuários do sistema <i>web</i> responsável pela importação das informações processadas no protótipo.....	90
Figura 47: Opção de recuperação de senha do usuário do sistema <i>web</i> na página de acesso.....	91
Figura 48: Mensagem de recuperação de senha enviado ao e-mail de cadastro	92
Figura 49: Página de acesso primário ao sistema <i>web</i> para a importação das informações processadas pelo protótipo.....	92
Figura 50: Página principal do sistema <i>web</i> que possibilita ao usuário importar os cálculos realizados	93
Figura 51: Página do sistema <i>web</i> responsável pela importação das informações do arquivo texto no cartão de memória.....	94
Figura 52: Mensagem de confirmação da importação do arquivo texto armazenada no cartão de memória	95
Figura 53: Página de seleção de das informações que foram importadas previamente	96
Figura 54: Validação da importação das informações do cartão de memória	97
Figura 55: Arquivo no formato de planilhas eletrônicas gerado com base nas informações do relatório solicitado.....	98
Figura 56: Tela de relatório com base nas informações fornecidas	99
Figura 57: Resultado do cálculo do coeficiente da cultura (Kc) armazenado no cartão de memória	100
Figura 58: Importação do arquivo texto em planilhas eletrônicas Excel.....	101
Figura 59: Testes utilizando a metodologia tradicional que utiliza uma régua escalonada em um determinado ponto	102
Figura 60: Teste em ponto aleatório utilizando a metodologia de obtenção do coeficiente da cultura (Kc) com a sistema da placa solar fotovoltaica	103

Figura 61: Dispersão de dados dos testes comparativos para a obtenção do coeficiente da cultura (K_c) entre a placa solar fotovoltaica e metodologia tradicional campo	105
Figura 62: Relação entre coeficiente da cultura (K_c) Placa Fotovoltaica X Metodologia Tradicional.....	106
Figura 63: Dispersão de dados dos testes comparativos para a obtenção do coeficiente da cultura (K_c) entre a placa solar fotovoltaica e metodologia tradicional de campo após ajuste da equação dos dados.....	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição dos recursos hídricos no país em relação à densidade populacional para cada região do Brasil	23
Tabela 2 - Coeficientes variáveis de acordo com o mês do ano	30
Tabela 3: Tabela de Coeficiente da Cultura (Kc) das principais culturas comerciais .	32
Tabela 4: Tabela informativa do painel solar fotovoltaico utilizado no presente trabalho	57
Tabela 5: Custo dos componentes utilizados no desenvolvimento do protótipo	87
Tabela 6: Resultado dos testes comparativos para a obtenção do coeficiente da cultura (Kc) entre a placa solar fotovoltaica e a metodologia tradicional obtidos em condição de campo	104
Tabela 7: Resultado dos testes comparativos para a obtenção do coeficiente da cultura (Kc) entre a placa solar fotovoltaica e a metodologia tradicional obtidos em condição de campo após ajuste da equação dos dados.....	107
Tabela 8: Comparativo entre as principais características do “Paso Panel” e o protótipo desenvolvido para o cálculo do coeficiente da cultura (Kc).....	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Terceira Dimensão
CS	<i>Chip Select</i>
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>
FAT16	<i>File Allocation Table</i>
FAT32	<i>File Allocation Table</i>
Fc	Fração média de cobertura do solo pelo dossel da planta
GPS	Sistema de Posicionamento Global
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
I2C	Circuito Inter-Integrado
IDE	Interface de Desenvolvimento Integrada
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPEX	Padronização em modelo de antena
Kc	Coeficiente da Cultura
LCD	Monitor de Cristal Líquido
LED	Diodo Emissor de Luz
PHP	<i>Personal Home Page</i>
MIE	Monitoramento da Integridade Estrutural
MISO	<i>Master IN Slave OUT</i>
MOSI	<i>Master OUT Slave IN</i>
SCK	<i>Serial Clock</i>
SCL	<i>Serial Clock Logical</i>
SD	<i>Secure Digital</i>
SGBD	Sistema gerenciador de banco de dados
SQL	Linguagem de Consulta Estruturada
SDA	<i>Serial Data</i>
SMA	Padronização em modelo de antena
SPI	Interface Seria Periférica
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
UML	<i>Unified Medeling Language</i>
UTC	Coordenada de Tempo Universal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	20
	2.1 OBJETIVO GERAL.....	20
	2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3	REVISÃO DE LITERATURA	21
	3.1 USO DA ÁGUA NO BRASIL E NO MUNDO	21
	3.2 CONSUMO DA ÁGUA NA IRRIGAÇÃO.....	23
	3.3 BALANÇO HÍDRICO	25
	3.4 MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ÁGUA DE CULTURAS	26
	3.5 COEFICIENTE DA CULTURA (KC)	31
	3.6 PAINEL SOLAR PARA MEDIR A ÁREA SOMBREADA DA COPA DAS PLANTAS 33	
	3.7 FRAÇÃO MÉDIA DE COBERTURA DO SOLO (FC)	36
	3.8 TECNOLOGIA E PROTOTIPAGEM ARDUINO	37
	3.8.1 Módulo Arduino Mega 2560 R3	41
	3.8.2 Módulo Sensor de Tensão de Corrente Contínua.....	43
	3.8.3 Módulo GPS Mini NEO-7N.....	44
	3.8.4 Módulo de Cartão de Memória.....	45
	3.8.5 Módulo Display LCD 20x4 com Tecnologia I2C.....	46
	3.8.6 Kit Jumpers Diversos	47
	3.8.7 Protoboard	47
	3.9 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO	48
	3.10 LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO	49
	3.11 LINGUAGEM HTML (HYPER TEXT MARKUP LANGUAGE)	50
	3.12 BANCO DE DADOS POSTGRESQL	51
	3.13 CASCADING STYLE SHEETS (CSS).....	51
	3.14 JAVASCRIPT	52
	3.15 LINGUAGEM PHP (PERSONAL HOME PAGE)	53
4	MATERIAL E MÉTODOS	54

4.1	DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA CALCULAR O COEFICIENTE DE CULTURA (Kc) EM CULTIVARES DE VIDEIRAS EM SISTEMA DE SUSTENTAÇÃO VERTICAL	55
4.1.1	Placa Física	55
4.2	APLICAÇÃO DO PROTÓTIPO DESENVOLVIDO EM UMA CULTURA DE VIDEIRAS SITUADA NO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO PAULO	70
4.2.1	Determinação da Porcentagem Sombreada do Painel Solar	71
4.2.2	Cálculo da Fração Média de Cobertura do Solo (Fc)	71
4.2.3	Cálculo do Coeficiente da Cultura (Kc)	72
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
5.1	DESENVOLVER UM PROTÓTIPO PARA CALCULAR O COEFICIENTE DE CULTURA (Kc) EM CULTIVARES DE VIDEIRAS EM SISTEMA DE SUSTENTAÇÃO VERTICAL	73
5.1.1	Diagramas de Caso de Uso	75
5.1.2	Diagramas de Classes	77
5.1.3	Diagramas de Sequência	79
5.2	APLICAÇÃO DO PROTÓTIPO DESENVOLVIDO EM UMA CULTURA DE VIDEIRAS SITUADA NO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO PAULO	98
6	CONCLUSÕES.....	111
7	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	112
	REFERÊNCIAS.....	113

1 INTRODUÇÃO

A população mundial está em constante crescimento, com expectativas de atingir 9,8 bilhões de habitantes até 2050 (ONU, 2019). Diante deste cenário, ocorrerá o aumento do consumo dos recursos naturais e energéticos sendo necessário o desenvolvimento de tecnologias em todas as áreas do conhecimento para atender a esta demanda.

A água é um dos recursos mais importantes para o desenvolvimento da vida, suprimindo não somente à necessidade humana, mas também todas as atividades nos mais diversos setores, como em processos industriais, na produção de energia elétrica, navegação, irrigação, uso doméstico e agrícola, entre outros (SILVA et al. 2015).

Entre as atividades que mais consomem água no mundo, a agricultura se destaca com 70% do consumo dos recursos hídricos (TUNDISI, 2014), de modo que a maior parte deste montante é devido a irrigação de aproximadamente 300 milhões de hectares, sendo 38% deste volume suprido por águas subterrâneas (FAO, 2017).

O Brasil ocupa a 9ª colocação nos países com maior área irrigada, aproximadamente 5,8 milhões de hectares (FAO, 2017), atividade esta, que consome 54% do total do uso dos recursos hídricos no Brasil (ANA, 2012). Com a crescente demanda e os seus inerentes conflitos entre os usos dos recursos hídricos, é exigido que exista um planejamento para que a utilização destes recursos ocorra de forma racional e otimizada (SILVA et al., 2015), evidenciando a importância da execução de um manejo adequado da irrigação.

Este manejo deve ter início com a determinação da necessidade hídrica da cultura a ser irrigada, para tanto é necessário conhecer, entre outros parâmetros, a evapotranspiração de referência (ET_o) local e coeficiente da cultura (K_c) (BACK, 2007 e MOREIRA et al., 2010). A evapotranspiração resume-se em um processo combinado de transferência de água do solo para a atmosfera, através da somatória da perda de água pela evaporação do solo e da transpiração das plantas (FEITOSA et al., 2012).

O coeficiente da cultura (K_c) é uma grandeza que está diretamente ligada às fases fenológicas e fisiológicas da cultura e suas respectivas demandas hídricas (ALVES et al., 2017).

O conhecimento do coeficiente de cultura (K_c) resulta na estimativa das necessidades hídricas, o que permite a realização do manejo da irrigação eficiente, resultando no uso otimizado da água. O coeficiente da cultura (K_c) é influenciado pela junção de efeitos de quatro características primárias que diferencia a cultura em estudo da referencial, a saber: altura, albedo, propriedades aerodinâmicas da folha e evaporação do solo (ALLEN et. al., 1998).

O coeficiente da cultura (K_c) pode ser visto como um parâmetro que propõe a racionalização do uso da irrigação, como forma de diminuição de custos e impacto ambiental, podendo ser um fator determinante do volume e tempo de irrigação (TESTEZLAF, 2017), é uma grandeza que varia conforme a cultura e com o seu período de desenvolvimento (CONCEIÇÃO, 2005).

Segundo Mendonça et al. (2007), o coeficiente da cultura (K_c) é uma variável que depende das condições ambientais e fisiológicas da planta, sendo determinado para as condições locais que será utilizado, sofrendo influência de indicadores biológicos como a área foliar, estrutura da planta (parte aérea e sistema radicular), cobertura vegetal do solo e a transpiração (VILA NOVA, 2001), também por fatores físicos, dos tipo do solo (BERGAMASCHI, 1999), método de irrigação utilizado, estágio de desenvolvimento em que se encontra a cultura, arranjo das plantas e fatores climáticos predominantes (MAIA; MORAIS, 2008).

Constantes alterações climáticas têm ocorrido nos últimos 50 anos, marcadas pelo aumento da temperatura média e na quantidade e frequência da precipitação anual (CARVALHO, 2015), tornando ainda mais difícil a obtenção de altas produtividades aliadas à qualidade.

Na viticultura, produtores têm adotado sistemas de irrigação como forma de melhoria na produção, o que corrobora com a adoção de técnicas para o uso consciente dos recursos hídrico (CAMARGO et al., 2011). Dentre os setores da agricultura, a viticultura é um dos mais promissores para implementação de novas tecnologias como alternativa para aumentar a produção, a qualidade do fruto/vinho e diminuir os custos de manutenção (MATESE et al., 2013).

O K_c varia conforme a cultura e com o seu período de desenvolvimento. Para a cultura da videira, conduzida no sistema de latada, pode-se utilizar os seguintes valores de K_c (esses valores podem ser reduzidos em até 20% quando a parreira utiliza cobertura com tela plástica): K_{cini} (da poda ao florescimento) = 0,4 a 0,6; K_{cmed}

(do florescimento à maturação) = 0,8 a 1,0; $K_{c_{fim}}$ (da maturação à colheita) = 0,6 a 0,8 (CONCEIÇÃO, 2005).

Essa variação apresentada nos valores de K_c deve-se a diferentes fatores como cobertura vegetal do solo, intervalo entre chuvas ou irrigações, morfologia da planta, condições atmosféricas, área foliar da cultura, etc. Por isso, recomenda-se ajustar os valores de K_c de acordo com o manejo da planta adotado, entretanto, este representa um processo oneroso e pouco preciso.

Diante do exposto torna-se cada vez mais evidente a necessidade de ferramentas e técnicas baseadas em tecnologia para aperfeiçoar o uso da água, otimizando o uso desses recursos (PRANDO, 2014). Assim a plataforma de prototipagem Arduino apresenta-se como um sistema interativo de *hardware* e *software* livres, de baixo custo, que possibilita o desenvolvimento de ferramentas que abordam sensores dos mais variados tipos e controles de dispositivos, e permite ainda o envio e recebimento das informações geradas para outros dispositivos (APOSTOLO, 2015), ressaltando o seu uso nos mais variados projetos e aplicações, desde questões do cotidiano até mesmo a instrumentos científicos altamente complexos (ARDUINO, 2019).

Com o desenvolvimento de um protótipo com Arduino obteve-se o cálculo do coeficiente da cultura (K_c) em videiras de forma automática, com rapidez, confiabilidade e eficiência para os cálculos, e ainda possibilita disponibilizar ao usuário funcionalidades como o armazenamento das informações no próprio dispositivo ou em um servidor com seu banco de dados em nuvem, podendo propiciar a manipulação dos dados em computador, produzindo relatórios, gráficos, mapas da área e planilhas com histórico.

2 OBJETIVOS

Este capítulo apresenta o objetivo geral e os objetivos específicos propostos no desenvolvimento do projeto.

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um protótipo para calcular o coeficiente de cultura (K_c) em cultivares de videiras em sistema de sustentação vertical do tipo espaldeira, de forma automática, utilizando componentes eletrônicos e dispositivos de prototipagem baseados na plataforma Arduino.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver um protótipo para calcular o coeficiente de cultura (K_c) em cultivares de videiras em sistema de sustentação vertical;
- Aplicar o protótipo desenvolvido em uma cultura de videiras situada no interior do Estado de São Paulo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo é apresentado uma pesquisa a respeito do estado da arte relativo ao coeficiente da cultura (K_c), bem como as questões relacionadas a utilização da plataforma de prototipagem Arduino.

3.1 USO DA ÁGUA NO BRASIL E NO MUNDO

Segundo a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97), a água é considerada bem de domínio público, é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico e a sua gestão deve sempre proporcionar o uso múltiplos das águas (BRASIL, 1997).

Mundialmente, o uso da água tem aumentado de forma alarmante nas últimas décadas, seja para o consumo humano, industrial ou para o uso agrícola, por conta do crescimento da população que quadruplicou no século passado, LIMA (2009).

Segundo a ANA (2019), é estimado que 97,5% da água existente no mundo é salgada, portanto inadequada para que seja consumida diretamente. Dos 2,5% restante, que são de água doce, estima-se que 69% esteja em geleiras, ou seja, de difícil acesso, 30% de águas subterrâneas (aquíferos) e 0,9% nos rios, conforme ilustrado na Figura 1.

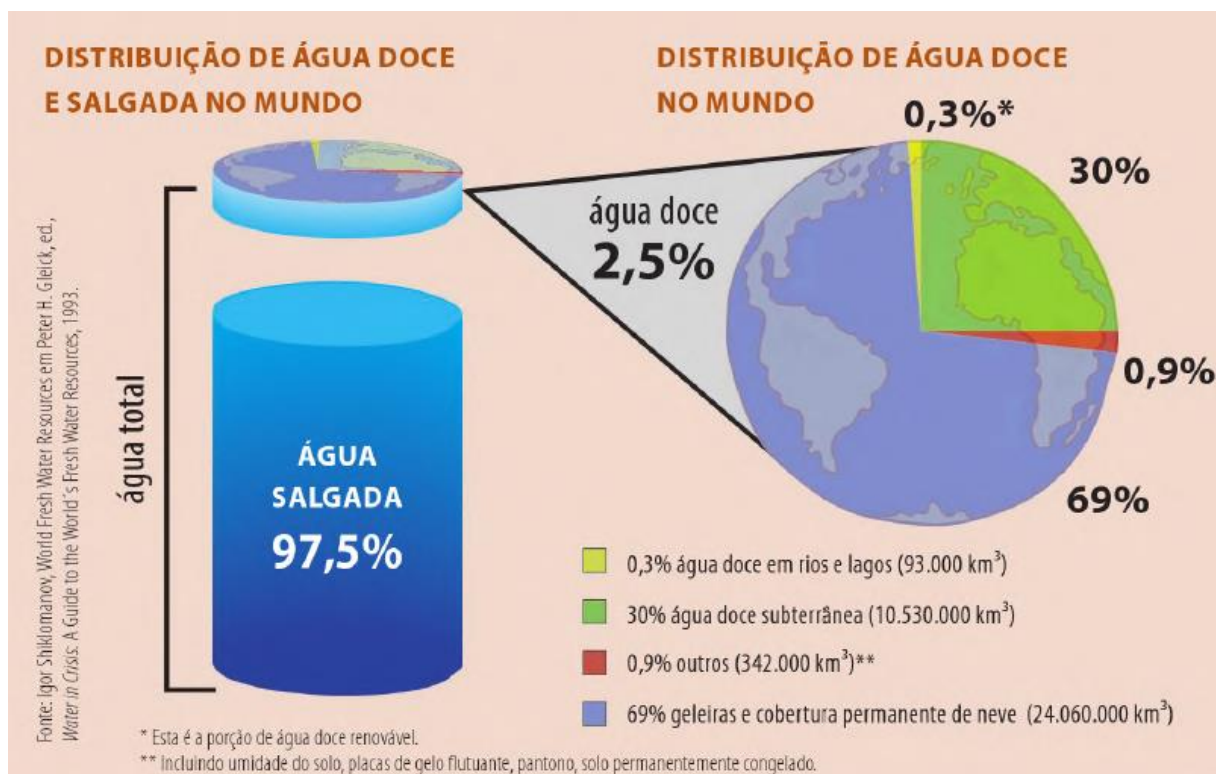
A água disponível em diversas fontes naturais como, aquíferos, lençóis freáticos e rios é essencial para a sobrevivência dos seres vivos do planeta, tem gerado extrema preocupação com a escassez desse recurso fundamental (ZARDINI, 2014).

Muitas regiões têm apresentado alterações no seu ciclo climático, observado não somente com relação aos processos naturais, mas também naqueles realizados pelo ser humano, que são os antrópicos. Um dos exemplos é o desmatamento, responsável pelo escoamento da água precipitada, alterando o ciclo de percolação, determinando uma diminuição no estoque de água (LEITE et al., 2019).

Com as projeções de crescimento da população humana no mundo estimadas em 2 bilhões de habitantes até o ano de 2050, segundo a ONU (2019), em face a estes índices ocorrerá o aumento de consumo dos recursos naturais e energéticos,

exigindo a necessidade do desenvolvimento de tecnologias nas mais diversas áreas do conhecimento para maximizar o uso destes recursos (PRANDO, 2014).

Figura 1: A disponibilidade da água no mundo



Fonte: Suporte Geográfico, 2019.

O Brasil é um dos países que possuem a maior disponibilidade de água doce do mundo, de acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2010), a água no solo brasileiro é mais abundante na região Norte com 68,5%, porém com densidade populacional de 4,12%, enquanto na região Sudeste conta com apenas 6% do recurso e com densidade populacional de 86,92% da população.

Segundo a ANA (2017), os principais usos da água no Brasil são para irrigação, abastecimento humano e animal, industrial, geração de energia, mineração, aquicultura, navegação, turismo e lazer e estima-se ainda que a demanda por uso de água no Brasil é crescente, com aumento estimado de aproximadamente 80% no total retirado de água nas últimas duas décadas. A previsão é de que, até 2030, a retirada aumente 30%. O histórico da evolução dos usos da água está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do país (ANA, 2017).

Na Tabela 1 observa-se a distribuição dos recursos hídricos no país em relação à densidade populacional para cada região do Brasil.

Tabela 1: Distribuição dos recursos hídricos no país em relação à densidade populacional para cada região do Brasil

Região	Densidade Demográfica (hab/km²)	Concentração dos recursos hídricos do país
Norte	4,12	68,5%
Nordeste	34,15	3,3%
Centro-Oeste	8,75	15,7%
Sudeste	86,92	6,0%
Sul	48,58	6,5%

Fonte: Mudo Educação, 2019.

3.2 CONSUMO DA ÁGUA NA IRRIGAÇÃO

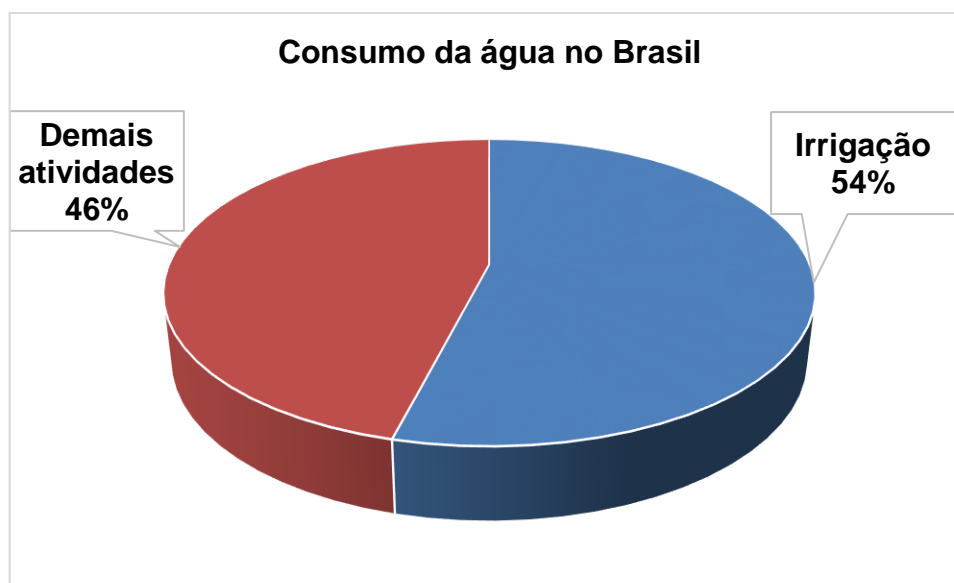
Atualmente, o principal uso de água no Brasil, em termos de quantidade utilizada, é a irrigação. Esse uso corresponde à prática agrícola que utiliza um conjunto de equipamentos e técnicas para suprir a deficiência total ou parcial de água para as culturas, e varia de acordo com a necessidade de cada cultura, tipo de solo, relevo, clima e outras variáveis. Normalmente, a irrigação permite uma suplementação do regime de chuvas, viabilizando o cultivo em regiões com escassez mais acentuada de água, como o semiárido, ou em locais com períodos específicos de seca, como a região central do Brasil (ANA, 2012).

O aumento da irrigação resulta, em geral, em aumento do uso da água. Por outro lado, os investimentos neste setor resultam, também, em aumento substancial da produtividade e do valor da produção, diminuindo a pressão pela incorporação de novas áreas para cultivo.

Dentre os setores econômicos que mais consomem água no mundo, a agricultura se destaca com 70% do consumo dos recursos hídricos (TUNDISI, 2014), sendo deste montante a maior parte pela irrigação de aproximadamente 310 milhões de hectares sendo 38% das demandas, originadas de águas subterrâneas (FAO, 2017). O Brasil ocupa a 9ª colocação nos países com maior área irrigada com aproximadamente 5,8 milhões de hectares (FAO, 2017), atividade esta, que consome

54% do total do uso dos recursos hídricos no Brasil (ANA, 2012). Na Figura 2 pode ser observado o percentual de utilização da água na irrigação no Brasil.

Figura 2: Determinação do percentual de utilização da água na irrigação no Brasil



Fonte: Adaptado de ANA, 2012.

A irrigação é o setor que mais consome água mundialmente e o menos eficiente, com perdas estimadas em média entre 50 e 70% (CARDOSO et al., 1998).

Neste contexto e sabendo que o montante irrigado no Brasil ainda representa apenas 18,4% de seu potencial (FAO, 2015), se entende que o alto crescimento da demanda de recursos hídricos para essa finalidade é inevitável. Com isso, considerando a necessidade do uso sustentável dos recursos hídricos, novas alternativas de controle da quantidade de água aplicada devem ser criadas a fim de maximizar a eficiência da atividade.

Com a variação sazonal na precipitação em várias partes do mundo e mesmo dentro de uma mesma região, é necessária a suplementação hídrica por meio da irrigação para prover a alimentação humana e animal. Com o uso da irrigação, o ser humano deixou de ser nômade, produziu seus alimentos e gerou riquezas inicialmente na Mesopotâmia, Pérsia e Egito e até os dias atuais, no mundo todo (HERNANDES, 2009).

Segundo a FAO (2015), existem hoje no mundo cerca de 1,5 bilhões de hectares com cultivos permanentes ou temporários, dos quais 18% de hectares são irrigados, assim produzindo 44% da produção mundial de alimentos.

Segundo FAO (2017), 5,8 milhões de hectares são irrigados no Brasil com a maior área em Minas Gerais, seguido pelos estados de Goiás, Bahia e São Paulo. Com a incorporação de novas áreas irrigadas, um dos grandes desafios é implantar programas de manejo da irrigação que aumentem a eficiência do uso da água, combatendo o possível desperdício e contaminação da água por fertilizantes e defensivos agrícolas. Mas antes de instalar o sistema, é preciso ter em mente aquele mais adequado à cultura e condições locais, como disponibilidade e demandas pela água, sendo assim fundamental ter em mãos informações agrometeorológicas e o balanço hídrico da região para que a produção de alimentos seja sustentável.

3.3 BALANÇO HÍDRICO

A produção de frutas tem assumido um papel como uma atividade cada vez mais importante ao Brasil, tanto nas regiões de clima temperado, como nas regiões tropicais do país. Para que se obtenham taxas de produtividades altas e frutas de qualidade, faz-se imprescindível a manutenção de condições hídricas adequadas nos solos (CONCEIÇÃO, 2010).

Segundo Conceição (2010), o acompanhamento contínuo dessas condições é fundamental no gerenciamento das áreas cultivadas, tanto para a previsão de safras, como para a avaliação da qualidade final dos produtos. Além disso, em áreas irrigadas, o monitoramento da água no solo é indispensável para um manejo correto e econômico dos recursos hídricos, a fim de se evitar perdas de água, energia e produção.

O balanço hídrico é considerado um dos métodos mais utilizados para o acompanhamento da umidade no solo, calculando-se a entrada e a saída periódica de água na camada em que se concentra a maior parte das raízes das plantas, obtendo-se a variação no armazenamento hídrico do solo (CONCEIÇÃO, 2010).

O planejamento é o elemento norteador para se dimensionar e estimar qualquer forma de manejo integrado dos recursos hídricos, bem como, o balanço hídrico possibilita o conhecimento da necessidade e disponibilidade de água no solo. Por sua

vez, o balanço hídrico do ponto de vista do gerenciamento, permite que se estabeleça a classificação do clima de determinada região, o zoneamento agroclimático e ambiental, disponibilidade e necessidade hídrica no solo, possibilitando dessa forma o gerenciamento dos recursos hídricos (LIMA e SANTOS, 2009).

O balanço hídrico é utilizado inicialmente para se observar em determinada camada do solo a contabilização de água definindo a deficiência hídrica (períodos secos) e excedente hídrico (período úmido) no local identificando áreas para plena exploração de culturas (REICHARDT, 1990).

Assim, os fatores que normalmente compõem o balanço hídrico são: a precipitação pluvial (chuva) e a irrigação (quando utilizada), como entrada de água no sistema; como saída, a drenagem (ou percolação profunda) e a evapotranspiração, que representa a soma da evaporação da água do solo e da transpiração das plantas (CONCEIÇÃO, 2010).

3.4 MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ÁGUA DE CULTURAS

As técnicas de uso sustentável da água para a irrigação devem permitir a maior produção possível por unidade de água utilizada. Atualmente a principal técnica empregada para isso é o manejo da irrigação, que permite obter o tempo e a frequência com que as irrigações devem ser realizadas. No entanto, essas técnicas demandam conhecimento aprofundado e/ou equipamentos, gerando muitas vezes custos que os usuários consideram desnecessários em função do baixo custo da água de irrigação (CAMARGO, 2016).

O processo produtivo depende extremamente da determinação da demanda hídrica das culturas, tornando a disponibilidade de água um fator determinante para o sucesso de um empreendimento. Sendo assim, é primordial o conhecimento da lâmina total necessária para atender suas necessidades hídricas (SILVA, 2015).

O consumo de água pelas culturas é estimado em função do clima local, das características morfológicas e fisiológicas das plantas, e do ambiente, fatores estes que, em conjunto, determinam a evapotranspiração das culturas. Todavia esta é baseada na evapotranspiração de referência, que por sua vez representa a integração de elementos climáticos da região, como por exemplo, características de evaporação da localidade (SILVA, 2015).

Conforme Hoekstra e Hung (2002), a quantidade de água necessária para a produção de um quilograma de grão em função das condições climáticas é variável, pois, em suma, para cada região uma quantidade de água será consumida para alcançar o objetivo de produção.

Segundo a Unesco (2001), a origem da água utilizada na agricultura é oriunda das chuvas ou é obtida artificialmente, por meio da irrigação. Estima-se que um pouco mais de 60% da produção global de alimentos é atribuído à chuva, e quase 40% à agricultura irrigada.

Mesmo com o grande consumo de água, a irrigação ainda representa a maneira mais eficiente de aumento da produção de alimentos (PAZ et al., 2000), haja vista que as áreas irrigadas estimadas em 40% da produção de alimentos representando por apenas 17% das terras cultivadas (ONU, 1997), dados estes que são corroborados por Christofidis et al. (2002), citado por Coelho et al. (2005), onde o autor afirma que apesar de corresponder a uma pequena parcela do total cultivado, a área irrigada mundial contribui com 42% da produção total, sendo que no Brasil, em particular, a área irrigada corresponde a 18% da área cultivada.

De acordo com Paz et al. (2000) a alta representação da produção total se justifica especialmente pela possibilidade de aumento da intensidade de exploração do solo que, sob irrigação, pode produzir até três cultivos por ano.

Graças aos benefícios que a irrigação pode proporcionar, esta ganhou dimensão em localidades e culturas onde nunca se havia feito ou ao menos pensado no uso da irrigação. Dessa forma, a prática do manejo da irrigação corretamente torna-se um fator determinante para que a irrigação proporcione condições ideais para as culturas manifestarem o seu potencial máximo (ALBUQUERQUE & GUIMARÃES, 2004).

Entretanto, devido ao manejo inadequado da irrigação, percebe-se problemas como o rebaixamento nos lençóis freáticos, danificação do solo e redução da qualidade da água (LIMA, 2012). Esses são os efeitos de mau uso e desperdício, sendo a agricultura responsável em média por 70% das provisões de água, que passa para 80 a 90% nos países subdesenvolvidos.

Como forma de se programar métodos de irrigação com eficiência é necessário aperfeiçoar o uso da água que será aplicada no solo para a cultura, evitando perdas por excesso, vazamentos, má regulagem, entre outros fatores, pois apenas visando

uma agricultura autossustentável é possível reduzir e mitigar os impactos causados ao meio-ambiente (PRANDO, 2014).

O manejo da irrigação faz uso basicamente de variáveis relacionadas ao clima (evapotranspiração e precipitação), ao solo (capacidade de água disponível no solo) e ao sistema de irrigação (taxa de aplicação da água).

A evapotranspiração pode ser definida como um processo onde ocorre a transferência de água para a atmosfera pela evaporação da água do solo e da vegetação úmida e também pela transpiração das plantas (Pereira et al., 2002), ou seja, representa a necessidade hídrica da cultura, em determinada fase de desenvolvimento e em determinada região. Essa é informação fundamental para ao cálculo da frequência de irrigação (ou turno de rega).

Em relação a capacidade de água disponível no solo, de acordo com Silva et al. (2014), pode ser definida como o limite máximo de água disponível para as plantas, que é o conteúdo de água entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente na planta, sendo de extrema importância no uso da água para a irrigação. É informação primordial para a determinação da frequência e o tempo de irrigação.

Conhecer as necessidades hídricas de uma cultura é muito importante para se determinar de forma correta a aplicação da irrigação. Alguns parâmetros podem ser determinados para auxiliar no planejamento da atividade, como o coeficiente da cultura (MAIA; MORAIS, 2008).

Em função do déficit hídrico que ocorre em determinados períodos do ano, coincidindo também com o ciclo produtivo da cultura, produtores e técnicos tem adotado critérios para o manejo racional da irrigação (CONCEIÇÃO, 2013), o que se diferencia nos tipos de sistemas de sustentação adotados para o cultivo de videiras. A demanda hídrica ou evapotranspiração da cultura (ET_c) é estimada diariamente multiplicando-se a evapotranspiração de referência (ET_o) pelo coeficiente da cultura (Kc), e pode ser melhor explanado na Equação 1:

$$ET_c = ET_o \cdot Kc \quad (1)$$

em que,

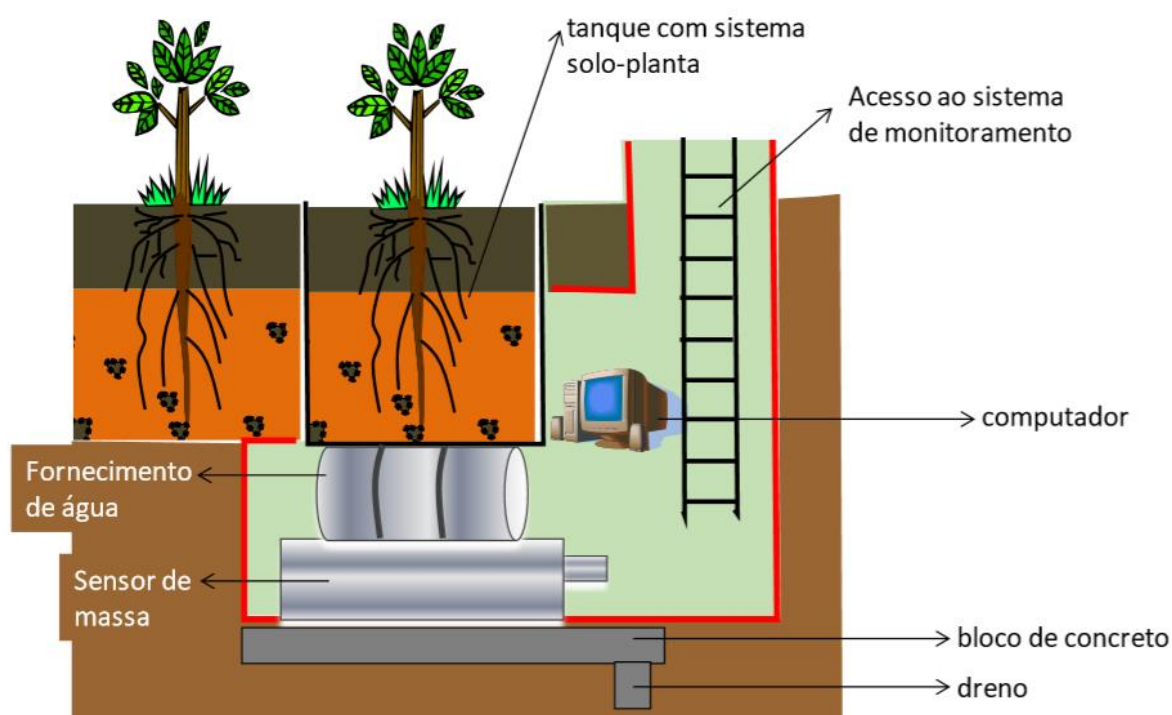
ET_c : evapotranspiração da cultura ($mm\ d^{-1}$);

ET_o : evapotranspiração de referência ($mm\ d^{-1}$);

Kc : coeficiente da cultura (adimensional) (varia de 0 a 1).

Conforme Santos (2018), a evapotranspiração de referência pode ser estimada por métodos diretos ou indiretos. Nos métodos diretos é estimada pela diferença de massa em um sistema solo-planta sem restrição hídrica, em equipamentos denominados lisímetros (Figura 3).

Figura 3: Detalhe esquemático dos componentes de um lisímetro



Fonte: Santos, 2018.

Devido a infraestrutura desse tipo de equipamento ser caro e complexa, normalmente o uso do lisímetro limita-se a pesquisa, visando estabelecer o coeficiente da cultura (variável que será tratada posteriormente).

Para os métodos indiretos, a evapotranspiração de referência é determinada por meio de modelos matemáticos que se baseiam no fato de que a evapotranspiração varia em função de outras variáveis climáticas (radiação, temperatura, evaporação, velocidade do vento, umidade do ar). Tais métodos indiretos, na maioria dos trabalhos práticos, são utilizados para monitorar somente a evapotranspiração de referência (SANTOS, 2018).

Os métodos indiretos clássicos de determinação da evapotranspiração de referência podem ser classificados como sendo um de fácil determinação, porém de menor precisão (Hargreaves-Samani) e o outro de maior precisão, considerado padrão (Penman-Monteith-FAO). Conforme o método utilizado, pode-se subestimar

ou superestimar a ET_o se os ambientes forem mais secos ou mais úmidos, sendo necessário análises localizadas para melhor precisão do modelo (SANTOS, 2018).

A metodologia de Hargreaves-Samani pode ser descrita conforme a Equação 2:

$$ET_o = 0,0023 \cdot Q_o \cdot (T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}})^{0,5} \cdot (T_{\text{méd}} + 17,8) \quad (2)$$

em que,

ET_o - evapotranspiração de referência, (mmd^{-1});

Q_o - irradiância solar extraterrestre, (mmd^{-1});

$T_{\text{máx}}$ - temperatura máxima diária, ($^{\circ}\text{C}$);

$T_{\text{mín}}$ - temperatura mínima diária, ($^{\circ}\text{C}$);

$T_{\text{méd}}$ - temperatura média diária, ($^{\circ}\text{C}$).

$$Q_o = a \Phi^2 + b \Phi + c \Phi \quad (3)$$

em que,

Φ - latitude do local (graus decimais);

a, b, c - coeficientes variáveis de acordo com o mês do ano (Tabela 2):

Tabela 2 - Coeficientes variáveis de acordo com o mês do ano

Coeficientes	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
a	-0,0023	-0,0025	-0,0020	-0,0017	-0,0015	-0,0010
b	0,1565	0,099	0,004	-0,079	-0,135	-0,170
c	14,515	14,99	15,19	14,72	13,90	13,40
Coeficientes	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
a	-0,0015	-0,0018	-0,0020	-0,0025	-0,0015	-0,0015
b	-0,145	-0,101	-0,030	0,069	0,113	0,155
c	13,50	14,20	14,90	14,89	14,63	14,30

Fonte: Santos, 2018.

O método de Penman-Monteith-FAO é descrito conforme a Equação 4.

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34u_2)} \quad (4)$$

em que,

ET_o - evapotranspiração de referência, $mm\ d^{-1}$;

R_n - radiação líquida na superfície das culturas, $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$;

G - densidade do fluxo de calor do solo, $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$;

T - temperatura média a 2 metros do solo, $^{\circ}C$;

u_2 - velocidade do vento a 2 metros do solo, $m\ s^{-1}$;

e_s - pressão de saturação de vapor, kPa ;

e_a - pressão atual de vapor, kPa ;

$(e_s - e_a)$ - déficit de pressão de saturação de vapor, kPa ;

Δ - declive da curva de pressão de vapor, $kPa\ ^{\circ}C^{-1}$;

γ - constante psicrométrica, $kPa\ ^{\circ}C^{-1}$.

3.5 COEFICIENTE DA CULTURA (K_c)

O cálculo do coeficiente da cultura (K_c) para videiras podem ser estabelecidos por diversas metodologias e modelos.

Segundo Conceição (2013), a fração média de cobertura do solo pelo dossel (folhagem da planta que estão acima do chão – parte superior composta por folhas) da planta afeta o coeficiente da cultura (K_c) das videiras. Quanto maior essa porcentagem, maior tende a ser a transpiração das plantas, devido à maior interceptação solar pelo dossel.

Com base nesse princípio alguns modelos empíricos foram desenvolvidos com base nesse princípio. Williams e Ayars (2005), encontraram a relação linear entre a área sombreada pela copa e o uso da água pela cultura, a Equação 5 estabelece essa relação entre o coeficiente da cultura e a estimativa da fração média de cobertura do solo pelo dossel da planta (F_c):

$$K_c = -0,008 + 0,017 * F_c \quad (5)$$

em que,

F_c : estimativa da fração média de cobertura do solo pelo dossel da planta (adimensional).

O Coeficiente de Cultura (Kc) das principais culturas comerciais podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3: Tabela de Coeficiente da Cultura (Kc) das principais culturas comerciais

Cultura	Fases de desenvolvimento da cultura					Período vegetativo total
	Inicial	Desenvolvimento da cultura	Período intermediário	Final do ciclo	Na colheita	
Alfafa	0,3-0,4				1,05-1,2	0,85-1,05
Algodão	0,4-0,5	0,7-0,8	1,05-1,25	0,8-0,9	0,65-0,7	0,8-0,9
Amendoim	0,4-0,5	0,7-0,8	0,95-1,1	0,75-0,85	0,55-0,6	0,75-0,8
Arroz	1,1-1,15	1,1-1,5	1,1-1,3	0,85-1,05	0,95-1,05	1,05-1,2
Banana Tropical	0,4-0,5	0,7-0,85	1,0-1,1	0,9-1,0	0,75-0,85	0,7-0,8
Banana Subtropical	0,4-0,65	0,8-0,9	1,0-1,2	1,0-1,15	1,0-1,15	0,85-0,95
Batata	0,4-0,5	0,7-0,8	1,05-1,2	0,85-0,95	0,7-0,75	0,75-0,9
Beterraba açucareira	0,4-0,5	0,75-0,85	1,05-1,2	0,9-1,0	0,6-0,7	0,8-0,9
Cana-de-açúcar	0,4-0,5	0,7-1,0	1,0-1,3	0,75-0,8	0,5-0,6	0,85-1,05
Cártamo	0,3-0,4	0,7-0,8	1,05-1,2	0,65-0,7	0,2-0,25	0,65-0,7
Cebola Seca	0,4-0,6	0,7-0,8	0,95-1,1	0,85-0,9	0,75-0,85	0,8-0,9
Cebola Verde	0,4-0,6	0,6-0,75	0,95-1,05	0,95-1,05	0,95-1,05	0,7-0,8
Citros (trato cultural)						0,65-0,75
Citros (sem trato cultural)						0,85-0,9
Ervilha, verde	0,4-0,5	0,7-0,85	1,05-1,2	1,0-1,15	0,95-1,1	0,8-0,95
Feijão Verde	0,3-0,4	0,65-0,75	0,95-1,05	0,9-0,95	0,85-0,95	0,85-0,9
Feijão Seco	0,3-0,4	0,7-0,8	1,05-1,2	0,65-0,75	0,25-0,3	0,7-0,8
Girassol	0,3-0,4	0,7-0,8	1,05-1,2	0,7-0,8	0,65-0,75	0,75-0,85
Melancia	0,4-0,5	0,7-0,8	0,95-1,05	0,8-0,9		0,75-0,85
Milho Doce	0,3-0,5	0,7-0,9	1,05-1,2	1,0-1,15	0,95-1,1	0,8-0,95
Milho Grão	0,3-0,5	0,7-0,85	1,05-1,2	0,8-0,95	0,55-0,6	0,75-0,9
Oliveira						0,4-0,6
Pimentão verde	0,3-0,4	0,6-0,75	0,95-1,1	0,85-1,0	0,8-0,9	0,7-0,8
Repolho	0,4-0,5	0,7-0,8	0,95-1,1	0,9-1,0	0,8-0,95	0,7-0,8
Soja	0,3-0,4	0,7-0,8	1,0-1,15	0,7-0,8	0,4-0,5	0,75-0,9
Sorgo	0,3-0,4	0,7-0,75	1,0-1,15	0,75-0,8	0,5-0,55	0,75-0,85
Tabaco	0,3-0,4	0,7-0,8	1,0-1,2	0,9-1,0	0,75-0,85	0,85-0,95
Tomate	0,4-0,5	0,7-0,8	1,05-1,25	0,8-0,95	0,6-0,65	0,75-0,9
Trigo	0,3-0,4	0,7-0,8	1,05-1,2	0,65-0,75	0,2-0,25	0,8-0,9
Uva	0,35-0,55	0,6-0,8	0,7-0,9	0,6-0,8	0,55-0,7	0,55-0,75

Fonte: Folegatti, 2019.

3.6 PAINEL SOLAR PARA MEDIR A ÁREA SOMBREADA DA COPA DAS PLANTAS

A partir da necessidade do cálculo do coeficiente da cultura (K_c) buscou-se trabalhos voltados para esta problemática. Battany (2006) propõe uma metodologia para mensurar a estimativa da fração média de cobertura do solo pela copa da planta (F_c) por meio de um painel solar para medir a área sombreada da copa das plantas.

Este consiste em uma placa solar fotovoltaica flexível, conectada a um multímetro digital. Conforme descrição do autor, a medição precisa ocorrer próximo ao meio-dia solar, período ao qual o sol encontra-se perpendicular à superfície da terra e conseqüentemente ao dossel da planta. Inicialmente para calibração da medição, o autor relata que se posicionou o equipamento livre no sol, sem interferência da planta, e verificou-se a tensão de “sol cheio”. Em seguida, abaixo do dossel da planta, verificou a tensão de cada ponto, transmitindo a grandeza a um *Data Logger* (sistema de gravação de dados e informações), que ao final da rotina de trabalho é ouvido e anotado em uma planilha para alimentar as equações e efetuar o cálculo do coeficiente da cultura (K_c). A Figura 4 ilustra o painel solar para medir a área sombreada da copa das plantas.

Figura 4: Painel solar para medir a área sombreada da copa das plantas



Fonte: Battany, 2006.

Na metodologia de leitura utilizando o “Paso Panel”, o operador executa a medição de grandezas como a tensão elétrica, tanto para medir condições de sombra zero (quando o painel é posicionado inteiramente ao sol) quanto de porcentagem de área sombreada (quando o painel é posicionado abaixo da copa das videiras) utilizando um multímetro digital como forma de observar a tensão momentânea, ditando cada valor observado em cada medição a um gravador de voz e posteriormente tais valores alimentam uma planilha para o cálculo do coeficiente da cultura (K_c). A Figura 5 representa o multímetro digital utilizado para a medição da tensão da placa solar fotovoltaica:

Figura 5: Multímetro digital utilizado para a medição da tensão da placa solar fotovoltaica



Fonte: Battany, 2006.

Battany (2006) testou a viabilidade do uso de painéis solares com a finalidade tornar prática a medição da sombra em videiras comerciais. O conceito básico é simples: a quantidade de tensão elétrica produzida por um painel solar está relacionada à quantidade de luz solar direta que atinge o painel, assim, quanto mais o painel estiver sombreado, menos tensão elétrica será produzida. Um painel solar tem o potencial de

integrar as características de luz solar e sombra de uma área de superfície grande e complexa em um único valor de corrente elétrica facilmente medido.

Seu projeto final baseou-se em um painel solar flexível com dimensões de 1,75m x 0,3m, montado em uma estrutura rígida de alumínio, e um multímetro eletrônico configurado para leituras da tensão elétrica a cada segundo. Este dispositivo é transportado horizontalmente à mão, ao caminhar pela linha da videira, com o painel orientado de forma a interceptar toda a largura da área sombreada. A Figura 6 ilustra a versão final do dispositivo de medição do sombreamento de videiras apelidado de “Paso Panel”.

Figura 6: Versão final do dispositivo de medição do sombreamento de videiras apelidado de “Paso Panel”



Fonte: Battany, 2006.

Embora apresente melhorias no procedimento tradicional, que utiliza réguas e obtenção visual da porcentagem sombreada, os painéis solares possibilitam a medição da área sombreada da copa das plantas de forma mais precisa e rápida,

evidencia a importância da adoção de tecnologias capazes de adquirir os dados em tempo real e armazenamento destes (BATTANY, 2006).

3.7 FRAÇÃO MÉDIA DE COBERTURA DO SOLO (FC)

A metodologia tradicional que realiza a estimativa da fração média de cobertura do solo pelo dossel da planta (F_c) faz uso de métodos onerosos em relação à mão-de-obra, o que limitava sua aplicação prática, pois o método é baseado em um dispositivo de madeira, no formato de régua, para medir a largura da projeção da sombra da copa das videiras, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7: Dispositivo de medição da largura da projeção da copa das videiras



Fonte: Conceição et al., 2017.

O cálculo da estimativa da fração média de cobertura do solo pelo dossel da planta (F_c) se dá de acordo com a equação:

$$F_c = 100 * LS/EF \quad (6)$$

em que,

LS: largura média da projeção da sombra da copa ao meio-dia em metros (m)

EF: espaçamento entre fileiras em metros (m)

O método tradicional de obtenção do coeficiente da cultura (K_c), assim como outros, demanda uma grande quantidade de tempo para a realização de medições precisas, tornando-se inviável em vinhedos comerciais.

3.8 TECNOLOGIA E PROTOTIPAGEM ARDUINO

O Arduino é uma plataforma microcontroladora de desenvolvimento associada com uma linguagem de programação intuitiva que pode ser implementada utilizando o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) Arduino (BLUM, 2018).

Esta plataforma de *hardware* com código aberto usada para construir projetos de eletrônica, consiste de uma placa de circuito físico programável (microcontrolador) e um *software*, ou IDE (*Integrated Development Environment*) que é instalado no computador, utilizado para escrever e fazer upload de códigos do computador para a placa física (SPARKFUN, 2019).

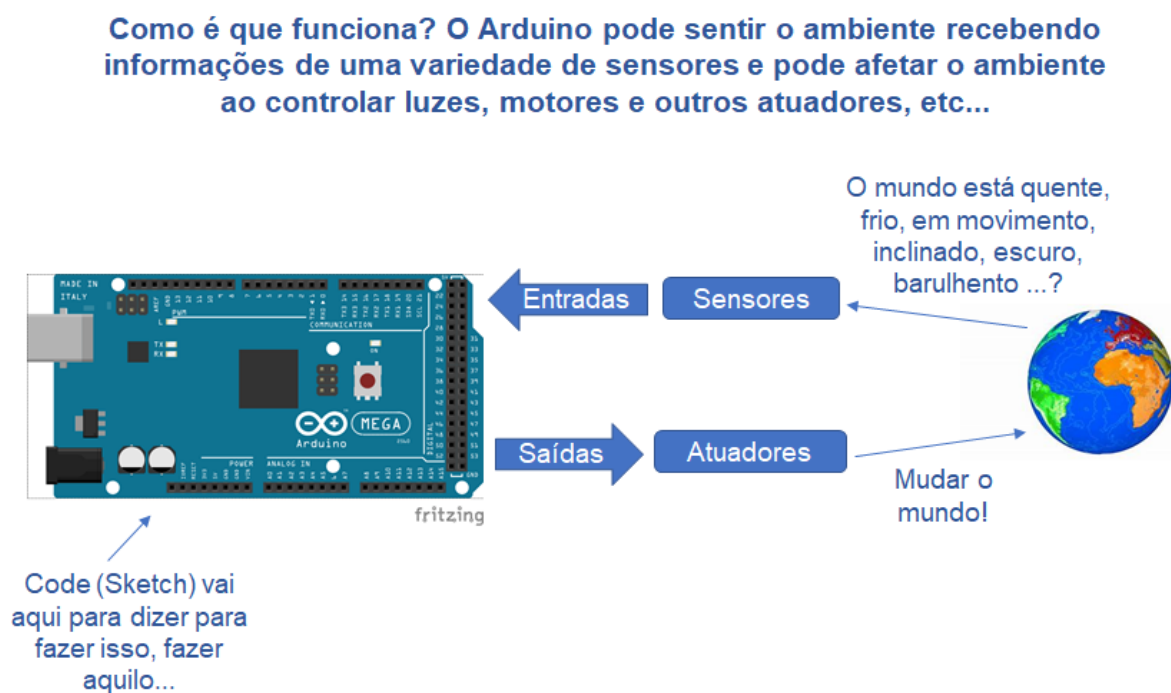
A plataforma Arduino é bastante popular pela sua facilidade de programação e custo relativamente baixo. Esta não necessita de um *hardware* separado (chamado programador) para carregar um novo código na placa, bastando somente utilizar o cabo USB. O Arduino IDE usa uma versão simplificada da linguagem “C++”, tornando mais prático explorar as funções do microcontrolador (SPARKFUN, 2019). A Figura 8 é uma ilustração simples do funcionamento da plataforma Arduino.

Atzingen (2017) desenvolveu um projeto para controle e automação de um forno em escala piloto com informações de sensores e simulação em tempo real para processamento de alimentos, utilizando a tecnologia embarcada. Utilizou-se o modelo Arduino Mini e implementou uma interface composta de *hardware* e *software* capaz de estabelecer o controle e automação e simulações em tempo real possibilitando o acesso e controle de forma remota ou local. Concluiu-se que é viável utilizar tais componentes de computação de baixo custo (Arduino) para a automação de fornos e atender às necessidades técnicas objetivadas no projeto.

Segundo Kawano (2015), propõe o desenvolvimento de um sistema de geração de energia elétrica, para uso em locais remotos, tendo como fonte primária a energia proveniente de ondas marinhas. Fez uso no projeto de microcontroladores Arduino,

dentre vários outros sensores para observar as condições esperadas como: Sensores de pressão, vazão, amplitude das ondas, sentido do vento, temperatura e vários medidores (de tensão e corrente em AC e DC) foram usados para obter valores numéricos para análises de rendimentos de conversão em energia elétrica, vazão e outros parâmetros importantes para o desenvolvimento do projeto. No projeto foi apresentado um método proposto para integrar diferentes fontes de energia renovável para um sistema de gerenciamento inédito no Brasil e não necessita de nenhuma sustentação da energia externa como a do motor diesel.

Figura 8: Funcionamento plataforma Arduino



Fonte: Adaptado de Riachi, 2019.

Dentre os mais diversos projetos envolvendo a tecnologia Arduino, Voltan (2016), utilizou microcontroladores Arduino para obter em tempo real, informações de sensoriamento dos parâmetros físico-químicos do ar e da água, bem como a definição de técnicas computacionais para a medição da vazão de gotejadores por duas técnicas: registro de massa e a contagem de gotas por sistema óptico. O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma interface gráfica intuitiva para automação do monitoramento de variáveis físico-químicas, controle de aeração e determinação da vazão em gotejadores de irrigação com ênfase em um sistema óptico para avaliação em gotejadores. O resultado final mostrou que o *software* integrado de aquisição de

dados proposto utilizando como plataforma de aquisição de dados a placa do Arduino é um sistema viável economicamente, devido a utilização de hardwares de licença aberta e sensores de baixo custo que apresentam boa precisão nos dados coletados. O *software* pode ser utilizado de forma contínua e sem a exigência de recursos adicionais, como computadores de alto desempenho ou ambiente especialmente protegido.

Silva (2018), desenvolveu um sistema de monitoramento de estruturas com utilização da plataforma Arduino para o Monitoramento da Integridade Estrutural (MIE) que buscou acompanhar o comportamento da estrutura, para avaliar suas condições, inclusive para verificar a ocorrência de danos e das eventuais necessidades de intervenções, visando a reabilitação estrutural. Objetivou o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de estruturas, baseado em coleta de dados provenientes de sensores de deformação, deslocamento e força, em estruturas de concreto armado, para aquisição e transmissão remota de dados, para processamento e análise das informações.

Silva desenvolveu um sistema de aquisição de dados, com a plataforma Arduino. Desenvolveu-se um *software* do tipo aplicativo *mobile*, compatível com o sistema operacional Android, para que por meio de um *smartphone* ou *tablet*, possibilitasse o controle do Arduino, mediante comunicação sem fio via *Bluetooth*. O aplicativo envia e recebe dados, que são processados e analisados analítica e graficamente, decorrentes das informações dos sensores instalados nas estruturas, possibilitando a transmissão dos dados em tempo real via internet. O sistema foi testado com dois sistemas distintos, sendo o primeiro um *Data Logger* comercial de referência e o segundo o sistema desenvolvido, para comparação dos dados das leituras obtidas entre ambos equipamentos e valores analíticos, tendo sido obtidos resultados satisfatórios.

Oliveira (2018), desenvolveu uma estação meteorológica para medição de variáveis ambientais utilizando sensores de baixo custo, tendo seus dados gravados por um *Data Logger* desenvolvido com a utilização da plataforma de prototipagem eletrônica Arduino. No seu trabalho obteve as variáveis ambientais como a temperatura, a umidade relativa do ar, a pressão atmosférica, a velocidade e direção do vento. No trabalho realizou-se uma comparação entre os dados adquiridos com os dados de uma estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e

observou-se que há uma correlação forte entre em resultados, o qual viabiliza a adoção desta estrutura nas mais variadas necessidades e demandas.

Em outro trabalho, Filho (2017) desenvolveu um sistema de monitoramento inteligente de uma horta escolar baseado na plataforma Arduino com o intuito de informar, em tempo real, o contexto deste ambiente, bem como apoiar a prática de Educação Ambiental dos alunos tendo em vista que as preocupações acerca de situações que envolvem o meio ambiente têm impulsionado a realização de ações que visam sensibilizar, conscientizar e indicar o papel da sociedade no desenvolvimento de hábitos sustentáveis e ecologicamente corretos. Segundo o autor, o projeto apresentou resultados satisfatórios tanto do ponto de vista tecnológico quanto do pessoal e social.

De acordo com Costa (2019), que desenvolveu um sistema de investigação da segurança hídrica através de análises dos parâmetros de qualidade da água subterrânea no município de Humaitá. O projeto faz uso em tempo real de sensores acoplados a um microcontrolador Arduino utilizado como ferramenta tecnológica para realizar o monitoramento do pH, temperatura e nível estático de um poço. O sistema apresenta-se para a sociedade como uma importante ferramenta de investigação e monitoramento da qualidade da água que a população está consumindo. Os testes concluíram que é possível realizar monitoramento utilizando material de baixo custo e com boa precisão.

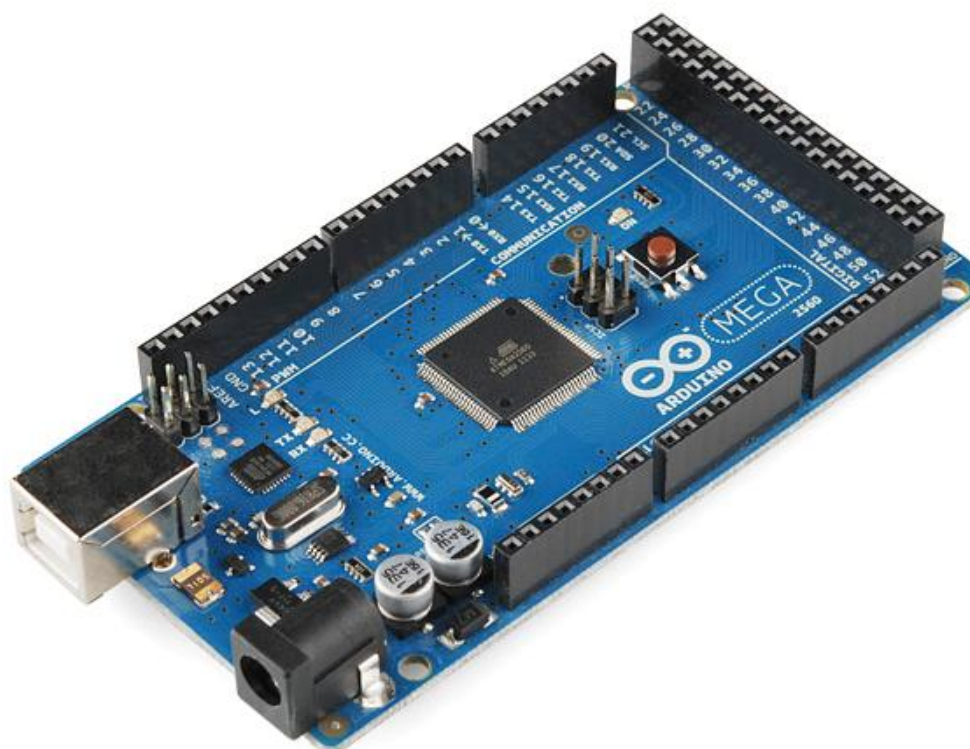
Anschau (2016), desenvolveu um protótipo de alimentador automático para a larvicultura da tilápia. O objetivo foi o desenvolvimento de um equipamento automático de baixo custo, por meio de uma plataforma microcontrolada Arduino como forma de fornecer a alimentação de forma parcelada. O projeto consistiu no desenvolvimento de um sistema de tratamento automatizado, utilizando de sensores e componentes eletrônicos que proporcionaram aos usuários a possibilidade de automatizar o tratamento dos peixes. Os sensores e a estrutura desenvolvida no projeto proporcionaram precisão na frequência alimentar observando questões como tempo e quantidade de alimento para os peixes apresentando resultados satisfatórios.

3.8.1 Módulo Arduino Mega 2560 R3

O Arduino tem diversas versões de placas, distintas umas das outras por conta de sua capacidade, além do fato do *hardware* ser de código aberto, o que permitiu surgir diversas outras versões modificadas e produzidas, que são derivadas das placas Arduino originais, aumentando a gama de opções para uso e suas funcionalidades. Dentre as diversas opções de placas disponíveis no mercado, a que mais se destaca é a versão Mega 2560 R3 (ARDUINO, 2020).

O Arduino Mega 2560 R3 é a versão mais avançada e próxima oriunda da versão UNO R3, diferindo pela pinagem de entrada e/ou saída, entradas analógicas e digitais. O grande número de pinos torna esta placa muito útil para projetos que exigem várias entradas e/ou saídas digitais. A Figura 9 ilustra a versão do Arduino Mega 2560 R3.

Figura 9: Arduino Mega 2560 R3



Fonte: Arduino, 2019.

3.8.1.1 Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE)

O Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) é um sistema utilizado para a edição, programação, compilação e envio para o Arduino de todos os códigos-fontes que serão utilizados para acessar a todas as suas funções. Este permite que seja inserida a programação na placa por meio de comunicação serial (conexão USB) do computador instalado independente do sistema operacional utilizado, (FRIZZARIN, 2016).

A Figura 10 representa a interface IDE para o desenvolvimento de programação e carregamento do Arduino.

Figura 10: Ambiente de desenvolvimento integrado (IDE)



Fonte: Autor, 2019.

3.8.2 Módulo Sensor de Tensão de Corrente Contínua.

O módulo sensor de tensão ACS712 é um componente eletrônico desenvolvido para aplicação em diversos circuitos elétricos e que pode ser utilizado tanto pelo Arduino, como também por outras plataformas de prototipagem que necessitem medir a tensão em corrente contínua para alguma finalidade de sistema (USINAINFO, 2019).

Este componente tem por características mais marcantes, o seu desenvolvimento de forma simplificada, com pequenas dimensões e com baixo custo, mostra-se extremamente útil, detectando toda e qualquer tensão inferior a 25v através de seu potencial de redução de fator 5, o qual realiza a análise de níveis de tensão de forma rápida e eficaz através de uma porta analógica. Com conexão extremamente simples, potencializa as suas vantagens na utilização em uma infinidade de aplicações e projetos, fornecendo informações precisas e em tempo real sobre o que acontece com seus componentes elétricos. A ilustração do módulo é representada de acordo com a Figura 11.

Figura 11: Módulo sensor de tensão de corrente contínua ACS712 utilizado pelo Arduino



Fonte: Vida de Silício, 2019.

3.8.3 Módulo GPS Mini NEO-7N

O módulo GPS empregado no projeto para a obtenção dos valores das variáveis como a latitude, longitude, altitude, data e hora, de acordo com o padrão mundial UTC (*Universal Coordinated Time*) é o modelo GPS Mini NEO-7N que utiliza o microcontrolador U-BLOX série NEO-7. É um módulo simplificado, que beneficia com desempenho excepcional qualquer aplicação, oferecendo alta sensibilidade, tempo de aquisição dos dados mínimos. A sofisticada arquitetura de rádio frequência e a supressão de interferências garantem sua otimização para obter o melhor desempenho mesmo em ambientes hostis, perfeitamente indicados para as mais diversas aplicações, inclusive industriais (U-BLOX, 2019).

O GPS Mini NEO-7N é um módulo de tamanho reduzido e que conta com conectores para antena padrões SMA e IPEX, comunicando-se com o microcontrolador através de interface serial. A interface serial do módulo GPS Mini NEO-7N realiza a conexão com a maioria das placas e microcontroladores existentes no mercado. A Figura 12 ilustra o módulo GPS Mini NEO-7N.

Figura 12: Módulo GPS Mini NEO-7N



Fonte: Filipeflop, 2019.

Dentre os diversos modelos de antena, a que mais se destaca pela qualidade e facilidade de uso é a padrão SMA, com montagem magnética, comumente utilizada em centrais multimídias e sistemas de rastreadores veiculares. A Figura 13 apresenta a antena GPS padrão SMA:

Figura 13: Antena GPS padrão SMA

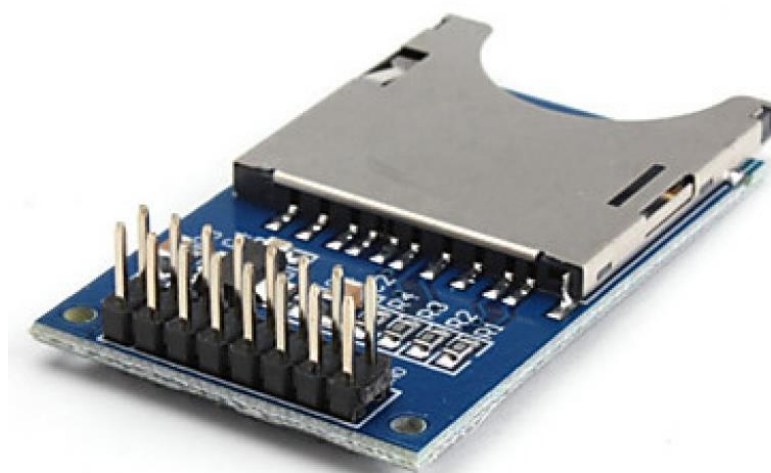


Fonte: Arcadian Incorporated, 2019.

3.8.4 Módulo de Cartão de Memória

O módulo de cartão de memória permite a leitura e escrita em cartão SD, com fácil ligação ao Arduino e outros microcontroladores. Todos os pinos de ligação estão identificados no módulo, que suporta formatos de arquivo FAT16 e FAT32, e alimentação de 3.3V ou 5V. A comunicação é feita pela interface SPI (pinos MOSI, SCK, MISO e CS), e o nível de sinal é de 3.3V, exige um divisor de tensão para ligá-lo à microcontroladores que trabalhem com 5V, como o Arduino conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14: Módulo de cartão de memória



Fonte: Potential Labs, 2019.

3.8.5 Módulo Display LCD 20x4 com Tecnologia I2C

O projeto utiliza um módulo *Display* LCD 20x4 com tecnologia I2C que possui capacidade de suportar a exibição de até 20 caracteres por linha em uma tela de 4 linhas, sendo especialmente indicado para aqueles que desenvolvem projetos com Arduino e também compatível com um grande número de sistemas microcontroladores. *Display* LCD conta com uma luz de fundo em LED que facilita a visualização de dados junto à tela (USINAINFO, 2019).

O módulo LCD com tecnologia I²C ou I2C é ideal para ser utilizado em projetos envolvendo LCD's, podendo estar presente em projetos com Arduino ou outros microcontroladores que tenham suporte ao protocolo I2C onde há diversos dispositivos (não necessariamente LCD's) que comunicarão entre si com apenas duas linhas de dados.

O protocolo I2C foi desenvolvido pela Philips visando conectar diversos dispositivos (periféricos) utilizando apenas as duas linhas de dados citados acima (SDA e SCL) *Serial Data* e *Serial Clock*. A ideia principal é definir um endereço hexadecimal para cada dispositivo e no momento de comunicação somente o dispositivo solicitado responderá (ROBOCORE, 2019). A Figura 15 ilustra o Módulo *Display* LCD 20x4 com tecnologia I2C.

Figura 15: Módulo *Display* LCD 20x4 com tecnologia I2C utilizado para visualização das informações do projeto

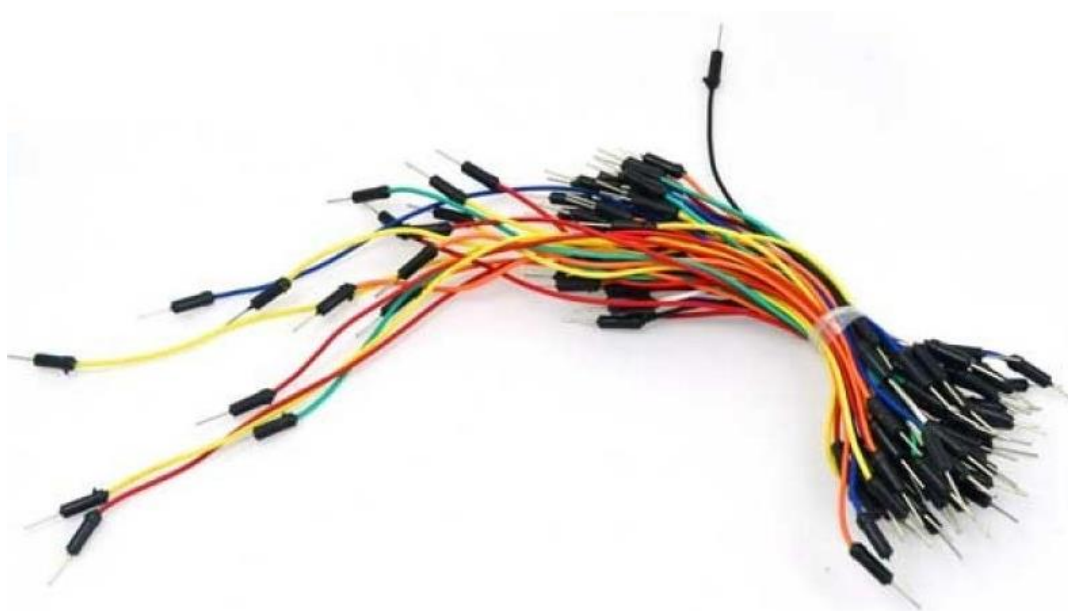


Fonte: Usinainfo, 2019.

3.8.6 Kit Jumpers Diversos

Os *jumpers* possuem a responsabilidade de desviar, ligar ou desligar o fluxo elétrico, cumprindo as configurações específicas do seu projeto podem apresentar as características de ligação com macho-macho, macho-fêmea e fêmea-fêmea, por apresentar uma quantidade e diversidade de *jumpers* ideais para montagem de projetos em *protoboard* com rapidez, agilidade e limpeza (CAMPOS, 2019). Na Figura 16 é apresentada uma ilustração do kit *jumper*.

Figura 16: *Jumpers* diversos



Fonte: Proesi, 2019.

3.8.7 Protoboard

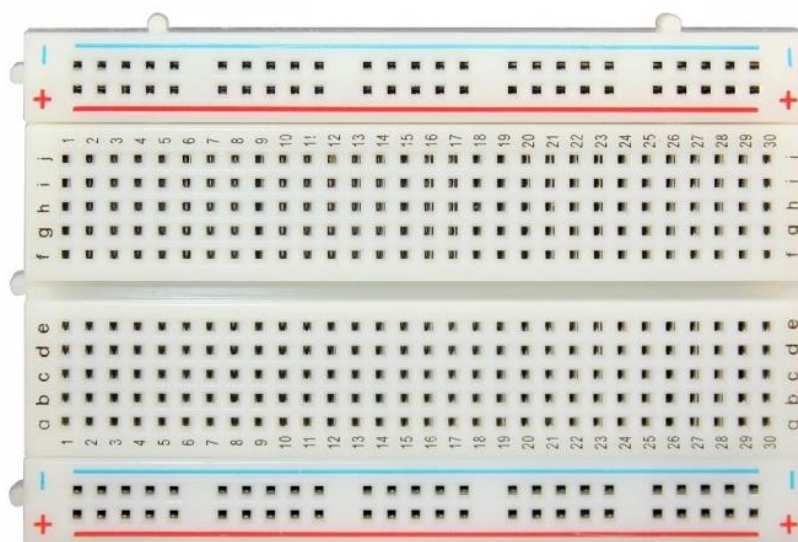
As placas *protoboards* possibilitam a montagem de uma infinidade de circuitos sem a necessidade de soldar qualquer componente. A grande contribuição das *protoboards* está relacionada com a possibilidade de montar, desenvolver e testar diversos circuitos eletrônicos, sem ter que soldar os componentes. Uma outra utilização muito comum é interligação de sensores e circuitos integrados (CI's) aos diversos microcontroladores disponíveis como, por exemplo, o Arduino (ROBOCORE, 2019).

A partir das áreas disponíveis na *protoboard* e tendo conhecimento de como elas funcionam, há três áreas disponíveis para montagem de CI's (parte central da

proto-board) que podem ser observadas conforme ilustrado na Figura 17: a área para distribuição da alimentação elétrica (duas linhas superiores e inferiores) e a área para montagem dos componentes (colunas). As linhas azuis representam as ligações internas da *proto-board*, ou seja, internamente elas já estão interligadas (ROBOCORE, 2019).

A Figura 17 representa a ilustração de uma *proto-board* utilizada na ligação dos componentes do projeto:

Figura 17: *Proto-board* utilizada na ligação dos componentes do projeto



Fonte: Nova Electronics, 2019.

A integração entre microcontroladores contribui para o desenvolvimento de aplicações nas mais diversas áreas, inclusive aplicações relacionadas à agricultura, que muitas vezes os dispositivos de *hardware* são expostos a ambientes com climas em condições severas, altas temperaturas e umidade (VOLTAN, 2016).

3.9 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Toda atividade que manipula dados transformando-o em informação, não necessariamente utilizando-se de recursos computacionais é considerado como sendo um sistema de informação (O'BRIEN, 2004).

Um sistema de informação pode ser entendido como um conjunto de componentes realizando funções como a coleta, processamento, recuperação,

armazenamento e a distribuição de informações nas organizações (LAUDON e LAUDON, 2014).

Segundo Resende e Abreu (2000), as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) são as responsáveis por atribuir o sucesso das organizações à velocidade com que elas assimilam as informações, beneficiando a tomada de decisões.

A fundamentação da Tecnologia da Informação apoiada na união dos componentes de hardware e seus dispositivos periféricos, software e seus recursos, sistemas de telecomunicações e gestão de dados e informações é um fator de melhorar a atuação das empresas com base no valor de mercado e a forma com que gere suas informações de forma eficiente (RESENDE E ABREU, 2000).

A revolução da informação associada à tecnologia desencadeou um processo conhecido como a automação, que por sua vez, pode ser implantada nos mais diversos níveis como promotora do desenvolvimento do processo produtivo (BATISTA, 2012).

3.10 LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO

Os produtos de softwares não utilizados de forma ampla pelos mais diversos setores, dentre eles, segurança, militar, sistemas de controle aéreo, sistemas e controle financeiro, a qualidade do software é uma questão fundamental, sendo assim, faz-se necessário o desenvolvimento utilizando-se de técnicas eficazes para que não ocorram riscos (GIMENES, 1995).

Uma linguagem de programação é uma padronização para expressar instruções de um programa para um equipamento, uma máquina, obedecendo a um conjunto de regras para se definir um programa de computador (GOTARDO, 2015).

Ao se utilizar uma linguagem de programação cria-se um código fonte e especifica-se os dados que o computador vai processar e as ações que o computador deverá desempenhar (GOTARDO, 2015).

Segundo Teles (1993), a linguagem de programação utilizada por algum ambiente de programação influencia na produtividade e eficiência do processo de desenvolvimento e o ambiente e a linguagem adotados na programação devem

apresentar características modulares, versáteis, flexíveis, portáteis, confiáveis e de prototipagem.

Conhecer uma linguagem de programação é conhecer uma sintaxe e um conjunto de palavras reservados a ela, diferente de conhecer a lógica de programação que não prende a nenhuma doutrina de desenvolvimento (MANSO et al., 2009).

3.11 LINGUAGEM HTML (HYPER TEXT MARKUP LANGUAGE)

Hyper Text Markup Language (HTML) é um conjunto de instruções que instrui o browser na publicação na página *web* agrupando as instruções em pastas (CALDEIRA, 2015).

Segundo Rodrigues (2014), HTML é uma linguagem de marcação que é interpretada por navegadores *web* para que os mesmos representem a informação, estando presente em praticamente todos os navegadores da atualidade sendo que seu propósito é interpretar o documento HTML recebido do servidor e representar as informações contidas.

O HTML é a linguagem mais popular e utilizada para disponibilizar informações em sites da internet, desenvolvida em 1990 por Tim Berners-Lee com o objetivo inicial de tornar possível que diferentes universidades e pesquisadores pudessem ter acesso, trocar informações e documentação (ASTRUP et al., 2016).

Segundo Neto et al. (2013), HTML é uma das mais populares linguagens e tem por características sua composição por marcadores de formatação e diagramação de informações como imagens, textos e hipertextos fazendo referências para si mesmo ou para outros documentos, fazendo disso o seu diferencial e o motivo da popularização da sua utilização.

A Visualização de um documento HTML segue alguns passos, como por exemplo inicial como primeiro passo o computador com acesso à internet tenha o *browser* instalado, como segundo passo o navegador é direcionado a um servidor de *web*, solicitando a página, terceiro passo, o servidor da internet responde à solicitação do *browser* e retorna a página a ele e como último passo, a página HTML é visualizada no browser do computador (NETO et al., 2013).

3.12 BANCO DE DADOS POSTGRESQL

Bancos de dados são o suporte ininterrupto para tomada de decisão e operações nas empresas, sendo vitais para que as corporações se mantenham competitivas no mercado em face a um cenário de extrema competitividade, e o PostgreSQL é um poderoso sistema gerenciador de banco de dados objeto-relacional com código aberto, e que tem atraído usuários de outros sistemas de banco de dados pagos por conta da confiabilidade e conformidade (CARVALHO, 2015).

O PostgreSQL é um Sistema Gerenciador de Banco de Dados utilizado para o armazenamento de informações de sistemas de informática das mais diferentes áreas de negócio, desde a própria tecnologia da informação, como também do setor bancário, governamental, aéreo, etc (MILANI, 2008).

Segundo Milani (2008), o PostgreSQL teve início com o nome de Postgres na Universidade de Berkeley, na Califórnia (EUA) em 1986, é um banco de dados gratuito, apresenta recursos existentes nos demais sistemas gerenciadores de banco de dados pagos disponíveis no mercado, não possui limitação de tamanho para seus bancos de dados, sendo marcado pela estabilidade garantida pelo seu projeto no modelo 24/7 (24 horas por dia, sete dias na semana), compatível com as principais plataformas e linguagens de programação, o que faz dele um dos sistemas mais utilizados.

3.13 CASCADING STYLE SHEETS (CSS)

CSS (Cascading Style Sheet) do termo em inglês que significa Folhas de Estilo Encadeadas, é uma linguagem de estilo, simples e bastante útil, que tem por finalidade definir a apresentação de documentos escritos em uma linguagem de marcação, a sua capacidade de prover a separação entre o formato e o conteúdo de um documento, é uma de suas principais características, ajudando na confecção de documentos mais bem estruturados (JÚNIOR, 2015).

Segundo Júnior (2015), na construção de *websites*, quando se utiliza CSS, é possível que se defina a aparência dos elementos visuais, deixando o código responsável pela formatação livre desse tipo de tarefa, obtendo-se uma aparência

diferente e com características visuais sem depender da estrutura do documento de marcação.

De acordo com Mozilla (2019), CSS é uma linguagem para especificar a forma com que os documentos são apresentados aos usuários, sendo uma coleção de informações estruturadas que utilizam uma linguagem de marcação.

3.14 JAVASCRIPT

JavaScript foi criada pela Netscape em parceria com a Sun Microsystems, com a proposta de se adicionar interatividade a uma página *web*, a primeira versão foi lançada em 1995 (SILVA, 2010).

Segundo Duarte (2015), o JavaScript é uma linguagem de programação cuja principal característica é permitir a criação de aplicações que proporcionam uma maior interatividade com o utilizador. E algumas das suas principais características são:

- Linguagem interpretada: Necessidade de algumas linguagens serem compiladas, antes que possam ser executadas. No entanto com o JavaScript não necessita ser compilada por se tratar de uma linguagem interpretada, cabendo ao navegador de internet executar.
- Baseada em protótipos: é um estilo de linguagem de programação orientada a objetos.
- Funções em primeiro lugar: permite ao desenvolvedor passar como argumento de funções a outras funções e guardar em variáveis essas funções.
- Tipagem fraca: As variáveis não têm que ser declaradas e não ficam restritas a um tipo (int ou string) e podem mudar durante a execução.

De acordo com Flanagan (2013), JavaScript é uma linguagem de programação de alto nível, dinâmica, que é utilizada amplamente como forma de especificar o comportamento delas das páginas. Para que uma linguagem de programação seja considerada útil deve ter ou uma plataforma ou biblioteca padrão, ou API de funções para as definições de entrada e saída.

3.15 LINGUAGEM PHP (PERSONAL HOME PAGE)

O PHP é uma das linguagens mais utilizadas na *web* devido ao seu diferencial com relação às demais linguagens, já que consegue transformar os *websites* com páginas estáticas (NIEDERAUER, 2011).

A linguagem de programação PHP, no início significava Personal Home Page Tools e foi criada em 1994, formada por um conjunto de scripts escritos na linguagem C, e era voltado para a criação de páginas dinâmicas pessoais de seu criador. Com a popularização, em 1995 o código-fonte foi liberado, permitindo que desenvolvedores pudessem contribuir com o projeto (DALL'OGGIO, 2018).

O PHP é uma linguagem de *script open source*, de uso geral, muito utilizada, e especialmente adequada para o desenvolvimento *web* e que pode ser embutida dentro do HTML (PHP, 2019).

De acordo com PHP (2019), o que o distingue do JavaScript do ponto de vista do cliente, é que o código é executado no servidor, gerando o HTML que é então enviado para o navegador, que recebe os resultados da execução desse script, mas não sabe qual era o código fonte, podendo configurar o seu servidor *web* para processar todos os seus arquivos HTML com o PHP.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo descreve os aspectos utilizados para o desenvolvimento do projeto, bem como toda a metodologia de trabalho tanto para as questões envolvendo *hardware*, *software* e tecnologias. A proposta do projeto foi desenvolver um equipamento capaz de auxiliar viticultores no cálculo do coeficiente da cultura (K_c) por meio da metodologia de estimativa da fração média de cobertura do solo pelo dossel da planta (F_c).

Foram utilizadas tecnologias de prototipação Arduino para a integração de sensores e realização de cálculos, assim como também para o envio dos dados a um servidor *web* utilizando a importação de arquivo texto que armazena o que foi calculado. O sistema utiliza-se de uma placa fotovoltaica flexível que funciona como uma espécie de sensor para a obtenção da estimativa da fração média de cobertura do solo (F_c).

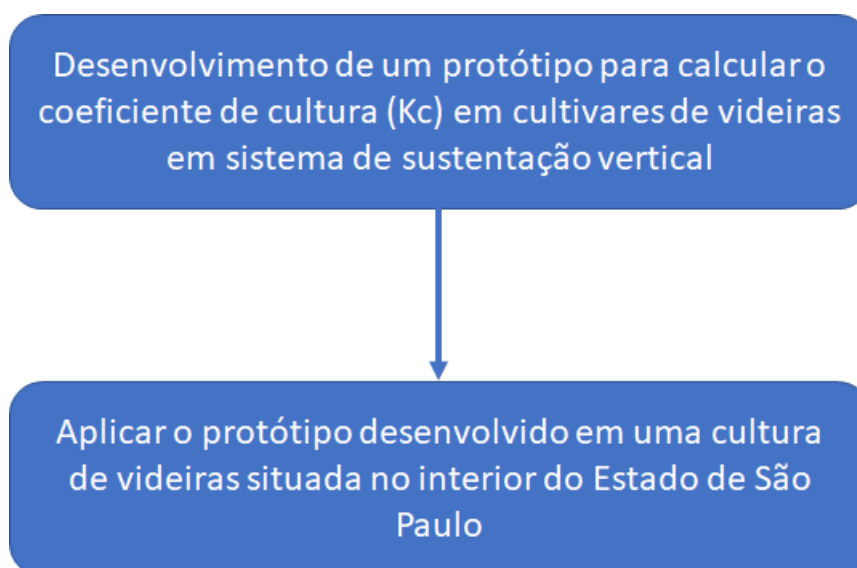
O protótipo foi desenvolvido com base em uma necessidade da unidade descentralizada da Embrapa Uva e Vinho na cidade de Jales/SP, para calcular de forma automática o coeficiente da cultura (K_c) por meio da estimativa da fração média de cobertura do solo pelo dossel da planta (F_c), o que atualmente são realizadas manualmente nas metodologias tradicionais para este tipo de estimativa.

Para este trabalho foi viabilizado a utilização de painel solar como um dispositivo mais práticos de medição da sombra em vinhedos comerciais. O conceito básico pode ser descrito da seguinte forma: a quantidade de tensão elétrica produzida por um painel solar está relacionada à quantidade de luz solar direta que o atinge; assim, quanto mais o painel estiver sombreado, menos tensão elétrica será produzida. Um painel solar tem o potencial de integrar as características de luz solar e sombra de uma área de superfície grande e complexa em um único valor de tensão elétrica facilmente medido.

O trabalho inicial de desenvolvimento do protótipo começou em janeiro de 2018 usando um painel solar como forma de entender as variáveis e a dinâmica do projeto.

Na Figura 18 é representado um fluxograma com as etapas de desenvolvimento do projeto.

Figura 18: Fluxograma das etapas para o desenvolvimento do protótipo



Fonte: Autor, 2019.

4.1 DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA CALCULAR O COEFICIENTE DE CULTURA (KC) EM CULTIVARES DE VIDEIRAS EM SISTEMA DE SUSTENTAÇÃO VERTICAL

Nesta etapa foi realizado o desenvolvimento da estrutura do projeto, bem como toda a metodologia de trabalho tanto para as questões envolvendo *hardware*, *software* e tecnologias.

4.1.1 Placa Física

Para o desenvolvimento do protótipo foi utilizado como base o sistema de placa fotovoltaica e a sua estrutura de suporte semelhante aos utilizado por Battany (2006) que o intitulou de “Paso Panel”. Devido à diferença dos materiais utilizados no projeto original de Battany, foi necessário identificar materiais disponíveis no mercado brasileiro ou que apresentasse facilidade de aquisição, mantendo todas as características e resultados do projeto.

O primeiro desafio foi encontrar algum modelo de placa semelhante à utilizada no “Paso Panel” e que concentrasse todas as características técnicas necessárias para o desenvolvimento do protótipo, ou seja, uma placa fotovoltaica flexível que tivesse o mesmo potencial de medição da fração de tensão elétrica. Não foi

encontrado no mercado brasileiro nenhum produto que obedecesse às características técnicas, físicas e que fosse viável economicamente.

A solução foi encomendar a fabricação de dois exemplares de uma placa fotovoltaica flexível, com dimensões de 1,64 m x 0,44 m, confeccionadas com as características técnicas exigidas pelo projeto, pela empresa chinesa Xunlight Kunshan Company[®]. A Figura 19 ilustra as placas solares flexíveis adquiridas para o desenvolvimento do protótipo.

Figura 19: Placas solares flexíveis adquiridas de fabricante chinês para o desenvolvimento do protótipo



Fonte: Autor, 2019.

A ficha técnica da placa solar fotovoltaica presente neste trabalho contendo tanto as características gerais como também as características técnicas são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4: Tabela informativa do painel solar fotovoltaico utilizado no presente trabalho

Fabricante	Xunlight Kunshan Company
Modelo	XRS6-50
Potência Máxima (Pmax)	50W
Voltagem de circuito aberto (Voc)	13.5V
Corrente de curto-circuito (Isc)	6.35A
Tensão em potência máxima (Vmp)	10V
Corrente em potência máxima (Imp)	5.0A
Voltagem máxima do sistema	600V
Fusível em série	10 ^a
Diodo	12 ^a
Classificação de fogo	Classe A
Dimensões (comprimento x largura x espessura)	167 cm x 44 cm x 0,3 cm

Fonte: Autor, 2019.

Assim como no modelo da placa utilizada pelo projeto do “Paso Panel” as características flexíveis dos materiais não garantem a sua própria sustentação, sendo necessário o desenvolvimento de uma estrutura que comporte a acomodação da placa fotovoltaica.

Novamente o desenvolvimento do projeto encontrou um novo desafio, pois, além da diferença dos materiais existentes no mercado brasileiro, a placa adquirida é aproximadamente 25% maior que a do projeto “Paso Panel”.

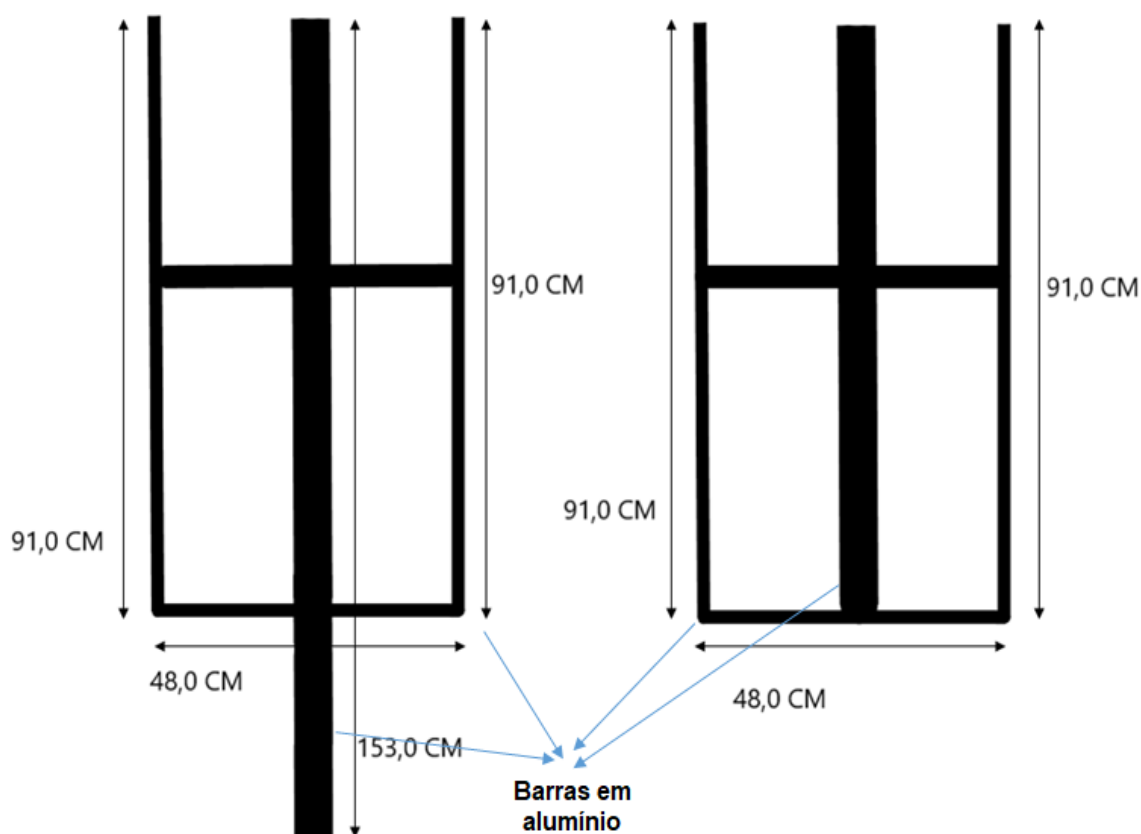
A escolha da placa fotovoltaica para o projeto, com dimensões diferentes da placa fotovoltaica utilizada projeto “Paso Panel”, foi motivada pela falta de opção de produtos no mercado brasileiro e internacional, com as mesmas dimensões, o que não inviabilizou o desenvolvimento do mesmo já que as características técnicas são as mesmas. A placa fotovoltaica pode apresentar tamanho menor desde que não seja menor que a largura da copa das videiras.

Foi desenvolvido uma estrutura extremamente leve e forte, composta de peças em alumínio, que são utilizados na fabricação de esquadrias. Todo o material da estrutura para acomodar a placa fotovoltaica flexível foi adquirido no mercado brasileiro em lojas especializadas do ramo de serralheria, podendo estar disponível a aquisição a qualquer pessoa e em qualquer quantidade de material, o que garantiu a viabilidade econômica da construção da estrutura.

As junções foram fixadas utilizando parafusos, porcas, arruelas ou arrebites, os suportes para o transporte e utilização do equipamento são cabos de painéis, adquiridos em lojas de utilidades domésticas.

A Figura 20 ilustra o projeto esquemático da estrutura do suporte da placa fotovoltaica flexível.

Figura 20: Projeto esquemático da estrutura do suporte da placa fotovoltaica flexível



Fonte: Autor, 2019.

Outra característica importante do protótipo e que não foi abordado no projeto do "Paso Panel", e é importante ressaltar por ser uma característica diferenciadora do ponto de vista da sua plena utilização, foi a necessidade de se criar uma estrutura que seja modular, que possa ser desmontada e transportada facilmente em qualquer tipo de veículo, não necessitando assim de nenhuma forma exclusiva de transportes como, veículos utilitários, etc. A possibilidade de transporte do protótipo para qualquer local motivada pela modularização da estrutura foi concebida para proporcionar extensão da sua utilização em áreas situadas nas mais diferentes localidades.

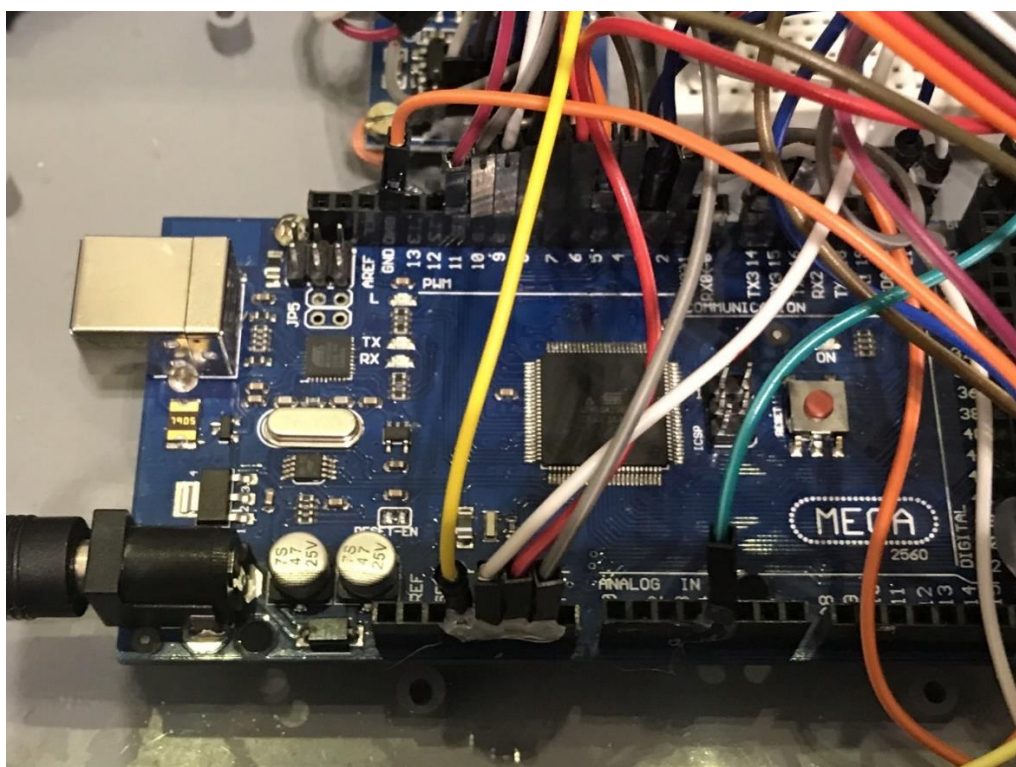
4.1.2 Desenvolvimento do Sistema Arduino

Após a aquisição da placa fotovoltaica foi necessário realizar a separação, montagem e programação dos componentes eletrônicos necessários para a realização dos cálculos das variáveis e equações do projeto. Na sequência de subtítulos a seguir são apresentados os componentes eletrônicos utilizados para o desenvolvimento do protótipo do presente trabalho.

4.1.2.1 Módulo Arduino Mega 2560 R3

Dentre as opções de placas disponíveis no mercado foi escolhido para o desenvolvimento do projeto a versão Mega 2560 R3. A decisão de utilizá-lo foi motivada por conta do grande número de pinos conectores que torna esta placa muito útil para projetos que exigem várias entradas e/ou saídas digitais. A Figura 21 ilustra a versão do Arduino Mega 2560 R3 utilizado no presente trabalho para o desenvolvimento do protótipo.

Figura 21: Arduino Mega 2560 R3 utilizado no presente trabalho para o desenvolvimento do protótipo



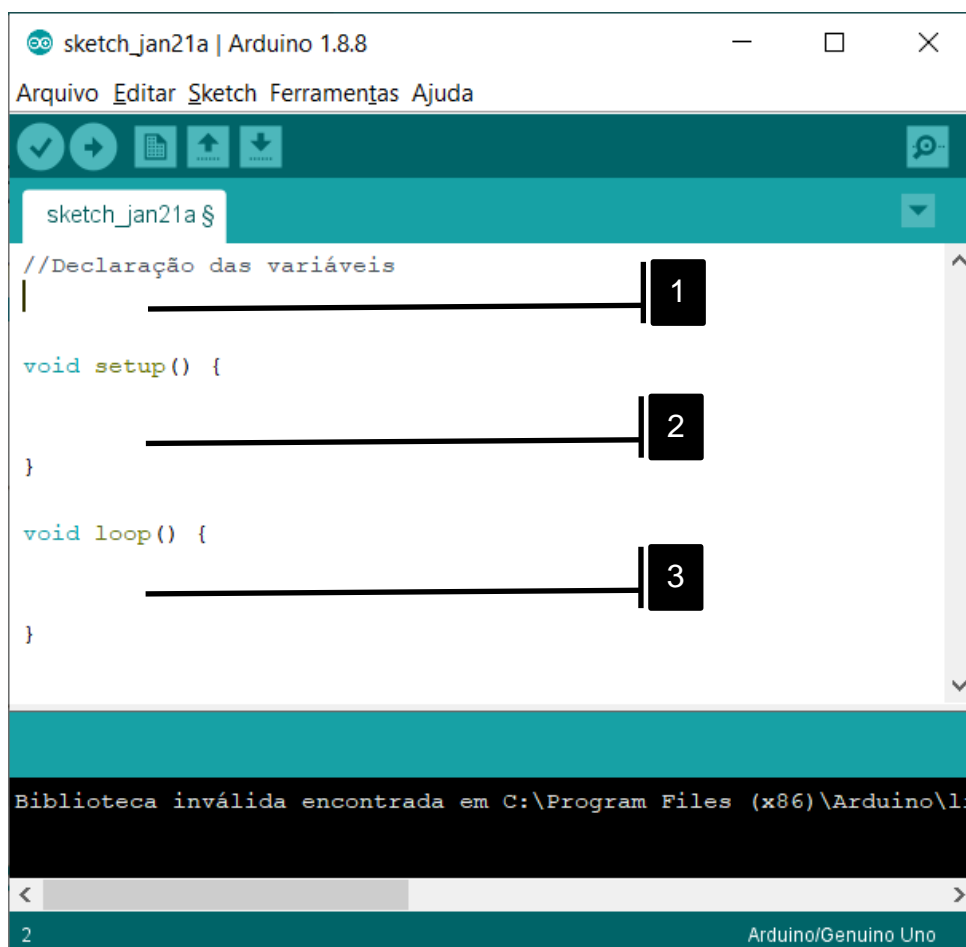
Fonte: Autor, 2019.

4.1.2.2 Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE)

No projeto foi utilizado o Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) que representa um sistema utilizado para a edição, programação, compilação e envio para o Arduino de todos os códigos-fontes que serão utilizados para acessar a todas as funções do projeto. Esta permite que seja inserida a programação na placa por meio de comunicação serial (conexão USB) do computador instalado independente do sistema operacional utilizado. A IDE está disponível gratuitamente no site www.arduino.cc, é compatível com praticamente todos os sistemas operacionais e é uma plataforma de fácil interação e manuseio.

A Figura 22 representa a interface IDE para o desenvolvimento de programação e carregamento do Arduino.

Figura 22: Ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) utilizado no presente trabalho para o desenvolvimento do protótipo



Fonte: Autor, 2019.

Utilizando-se do Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) como sistema responsável pela parametrização de todas as pertinências e funcionalidades que o protótipo pretende atender foram implementadas as equações necessárias para a obtenção do coeficiente da cultura (K_c).

Foi implementado na plataforma um algoritmo na linguagem de programação C, que é a linguagem de programação nativa do Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE), como forma de agrupar as instruções de funcionamento dos sensores Arduino e demais componentes necessários para o projeto.

Assim como todas as funcionalidades abordadas pelo sistema como, data, horas, coordenadas geográficas, as equações fundamentais para o cálculo do coeficiente da cultura foram introduzidas na programação características e informações referentes a cada um dos sensores, bem como também para os demais componentes. Foram inseridas as equações responsáveis pela atribuição e cálculo das variáveis necessária para se obter o coeficiente da cultura (K_c).

Na Figura 22 que ilustra o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), basicamente pode-se dizer que suas rotinas de implementação são divididas em três etapas: a primeira etapa, na parte superior da tela da IDE (seta 1), consiste na declaração das variáveis, das constantes e atribuições dos pinos de cada sensor ou componente integrante do projeto. Na parte central da tela da IDE (seta 2), é reservado uma área conhecida como SETUP, responsável por iniciar o processamento da IDE. É nesta parte que são implementadas as chamadas para todas as funções que serão programadas na IDE. Na parte inferior da tela da IDE (seta 3) é o local determinado para as rotinas de *loop* do sistema, ou seja, é neste local que serão implementadas todas as funções, todas as operações, no caso do protótipo, todas as equações de cálculo de variáveis que sejam necessárias para que se processe alguma informação, é onde que efetivamente o programa será executado.

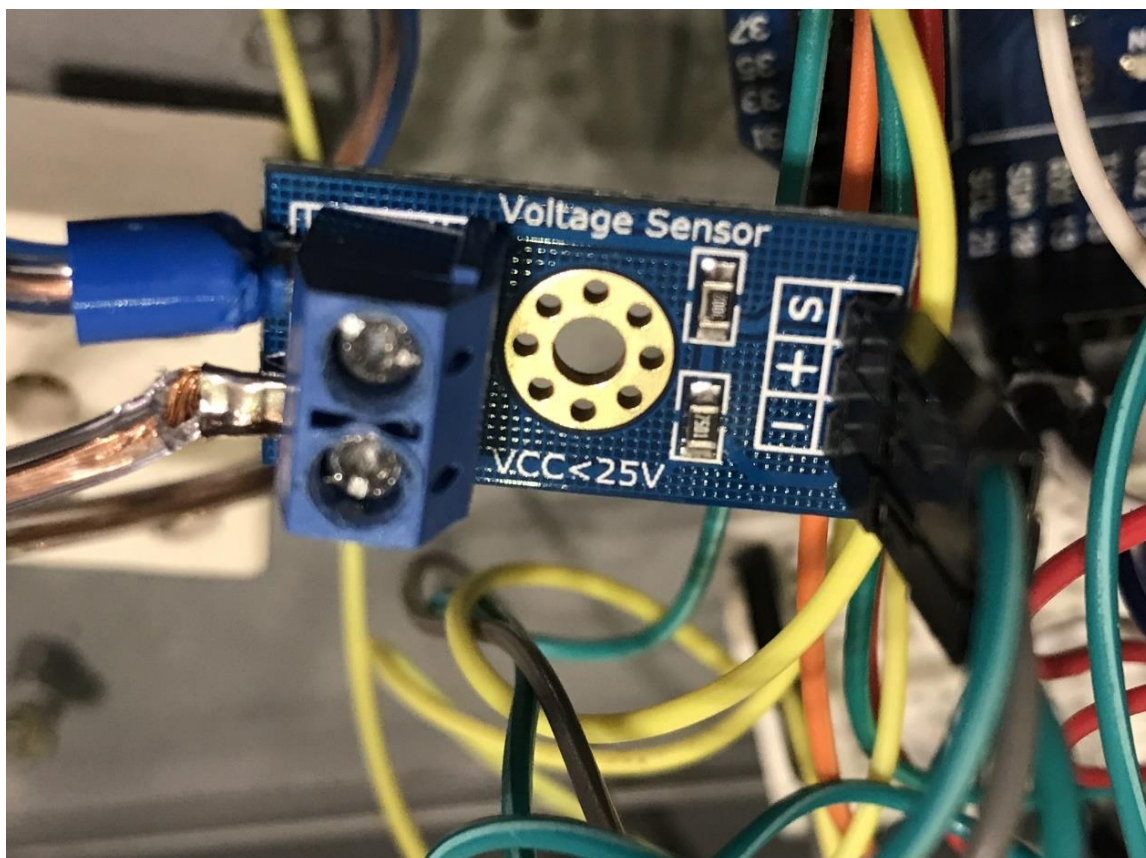
4.1.2.3 Módulo sensor de tensão de corrente contínua para Arduino utilizado no presente trabalho para o desenvolvimento do protótipo

O módulo sensor de tensão modelo ACS712 é o componente eletrônico utilizado no desenvolvimento do projeto.

Desenvolvido de forma simplificada, com pequenas dimensões e com baixo custo, tem por finalidade detectar toda e qualquer tensão inferior a 25V. Com conexão

extremamente simples, potencializou as suas vantagens na utilização no projeto, pois recebe da placa fotovoltaica a tensão utilizada para a determinação das variáveis do projeto. A ilustração do módulo é melhor representada de acordo com a Figura 23.

Figura 23: Módulo sensor de tensão de corrente contínua para Arduino utilizado no presente trabalho para o desenvolvimento do protótipo



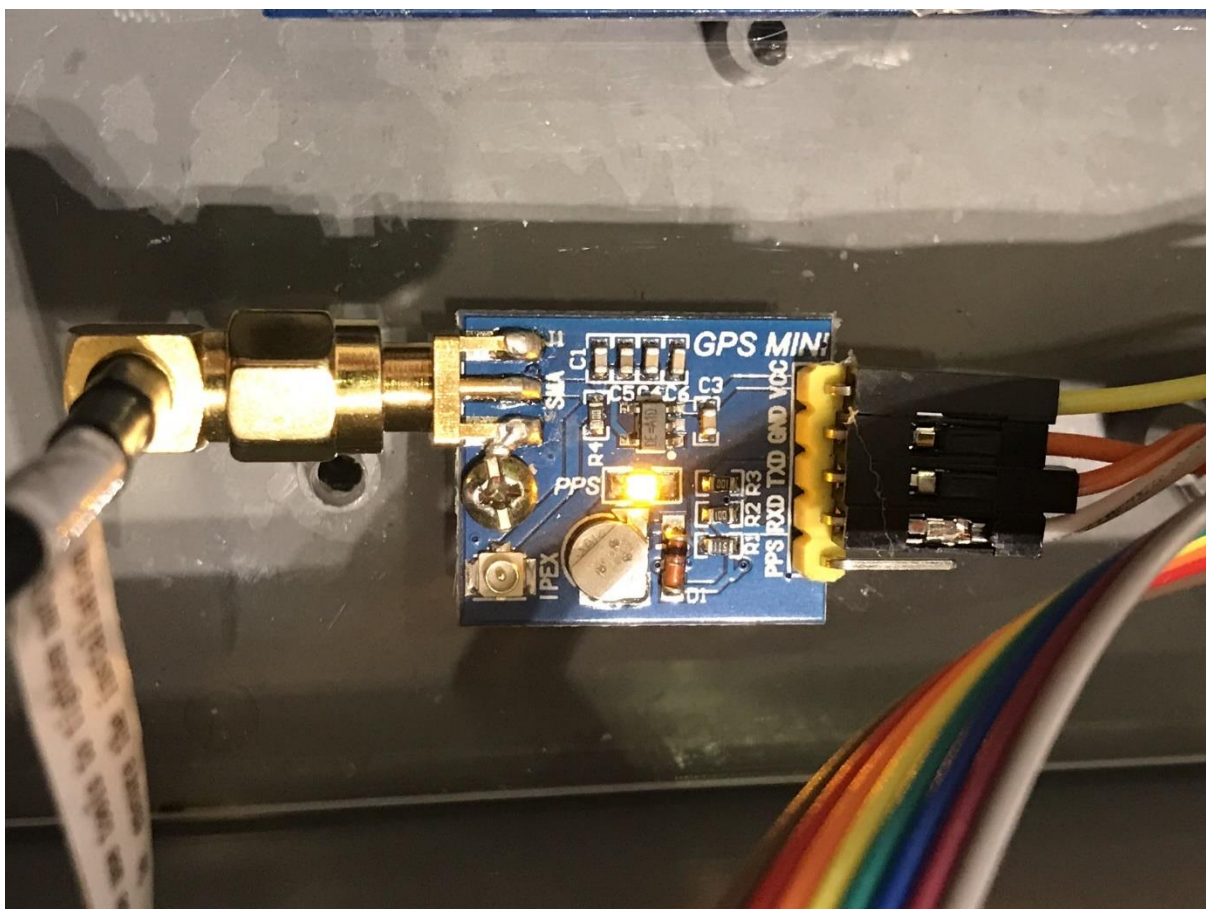
Fonte: Autor, 2019.

4.1.2.4 Módulo GPS mini NEO-7N

O módulo GPS empregado no projeto para a obtenção dos valores das variáveis como a latitude, longitude, altitude, data e hora, de acordo com o padrão mundial UTC (*Universal Coordinated Time*) é o modelo GPS Mini NEO-7N.

O GPS Mini NEO-7N é um módulo de tamanho reduzido e que conta com conectores para antena padrões SMA e IPEX, comunicando-se com o microcontrolador através de interface serial do Arduino. A Figura 24 ilustra o módulo GPS utilizado no desenvolvimento do presente trabalho.

Figura 24: Módulo GPS Mini NEO-7N utilizado no desenvolvimento do presente trabalho



Fonte: Autor, 2019.

A antena utilizada no projeto é a padrão de conexão SMA, com montagem magnética, comumente utilizada em centrais multimídias, sistemas de rastreadores veiculares.

A instalação deste componente garante o perfeito funcionamento do módulo GPS, garantindo a precisão das informações georreferenciadas, aproximadamente em 2 metros, diminuindo a possibilidade de interferência causadas por edificações, árvores ou demais obstáculos físicos. Este componente foi projetado para ser facilmente instalado sem necessidade de furos ou parafusos, simplesmente sendo fixado com fita dupla face.

O componente funciona como uma base receptora, foi instalado na parte da tampa da caixa hermética, acima de todos os componentes eletrônicos, como forma de garantir melhor recepção dos sinais. A Figura 25 apresenta a antena GPS padrão SMA utilizada no presente trabalho.

Figura 25 - Antena GPS padrão SMA utilizado no trabalho



Fonte: Autor, 2019.

4.1.2.5 Módulo *display* LCD 20x4 com tecnologia I2C

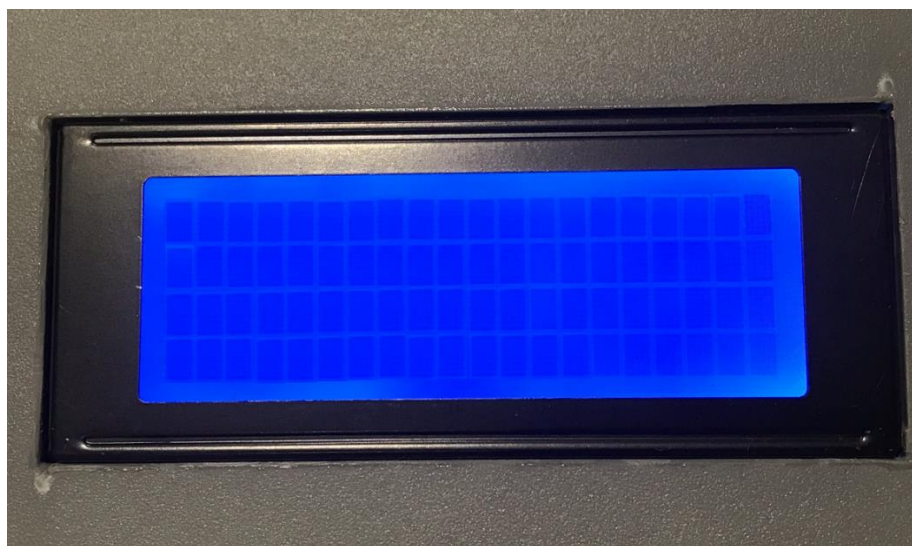
O projeto utilizou um módulo *Display* LCD 20x4 com tecnologia I2C que possui capacidade de suportar a exibição de até 20 caracteres por linha em uma tela de 4 linhas.

O display alfanumérico tem como característica principal sua luz de fundo na cor azul e as letras na cor branca, para facilitar a visualização das informações na utilização durante o dia, exposto ao sol em condições de alta luminosidade, algo que é impraticável com a maioria das demais telas de LCD disponíveis no mercado.

A tecnologia I2C presente neste módulo tem a função de realizar a comunicação, ser a interface entre o *Display* LCD 20x4 e o Arduino, simplificando a ligação, já que se usou somente 4 fios, o que ao contrário utilizaria 20 fios.

A Figura 26 ilustra o Módulo *Display* LCD 20x4 com tecnologia I2C utilizado para visualização das informações do projeto.

Figura 26: Módulo *Display* LCD 20x4 com tecnologia I2C utilizado para visualização das informações do projeto



Fonte: Autor, 2019.

4.1.2.6 Montagem do protótipo

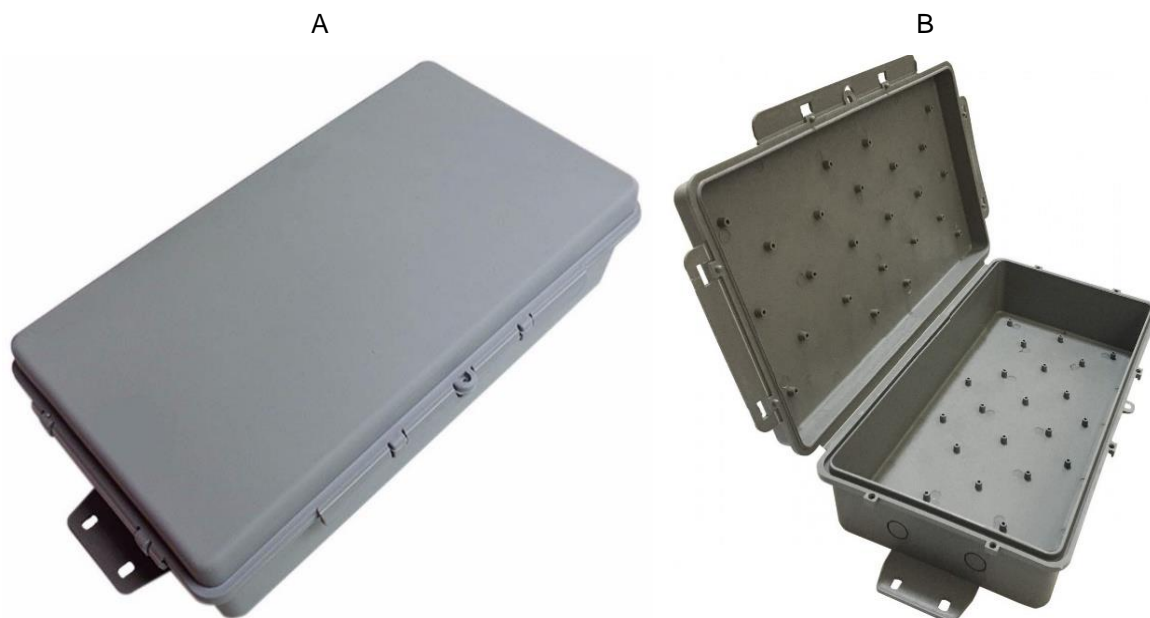
O protótipo foi desenvolvido para calcular diretamente o coeficiente da cultura (K_c) sem necessitar de nenhuma outra interação para a obtenção do mesmo.

Na versão inicial de testes do sistema de cálculo, os dispositivos eletrônicos utilizados no projeto foram simplesmente conectados e ligados para que se iniciasse a programação e se observasse a melhor disposição que poderia alocar os componentes.

Após a validação de toda a programação da plataforma deu-se início na montagem e organização dos componentes no que viria a se tornar a versão final do sistema. Os componentes foram fixados sobre uma placa retangular de acrílico para facilitar a sua organização e disposição, contribuindo para que qualquer interação no sistema seja de forma rápida e fácil. O arranjo dos componentes eletrônicos foi armazenado em uma caixa hermética para mais tarde se juntar à estrutura de sustentação da placa solar. A caixa hermética é no formato retangular e possui as seguintes dimensões: 32 cm de largura, 16 cm de comprimento e 8 cm de altura.

A Figura 27 ilustra a caixa hermética com a imagem A demonstrando a parte superior e a imagem B ilustrando o interior da caixa hermética.

Figura 27: Caixa hermética. A- Parte superior e B- Interior da caixa hermética



Fonte: Autor, 2019.

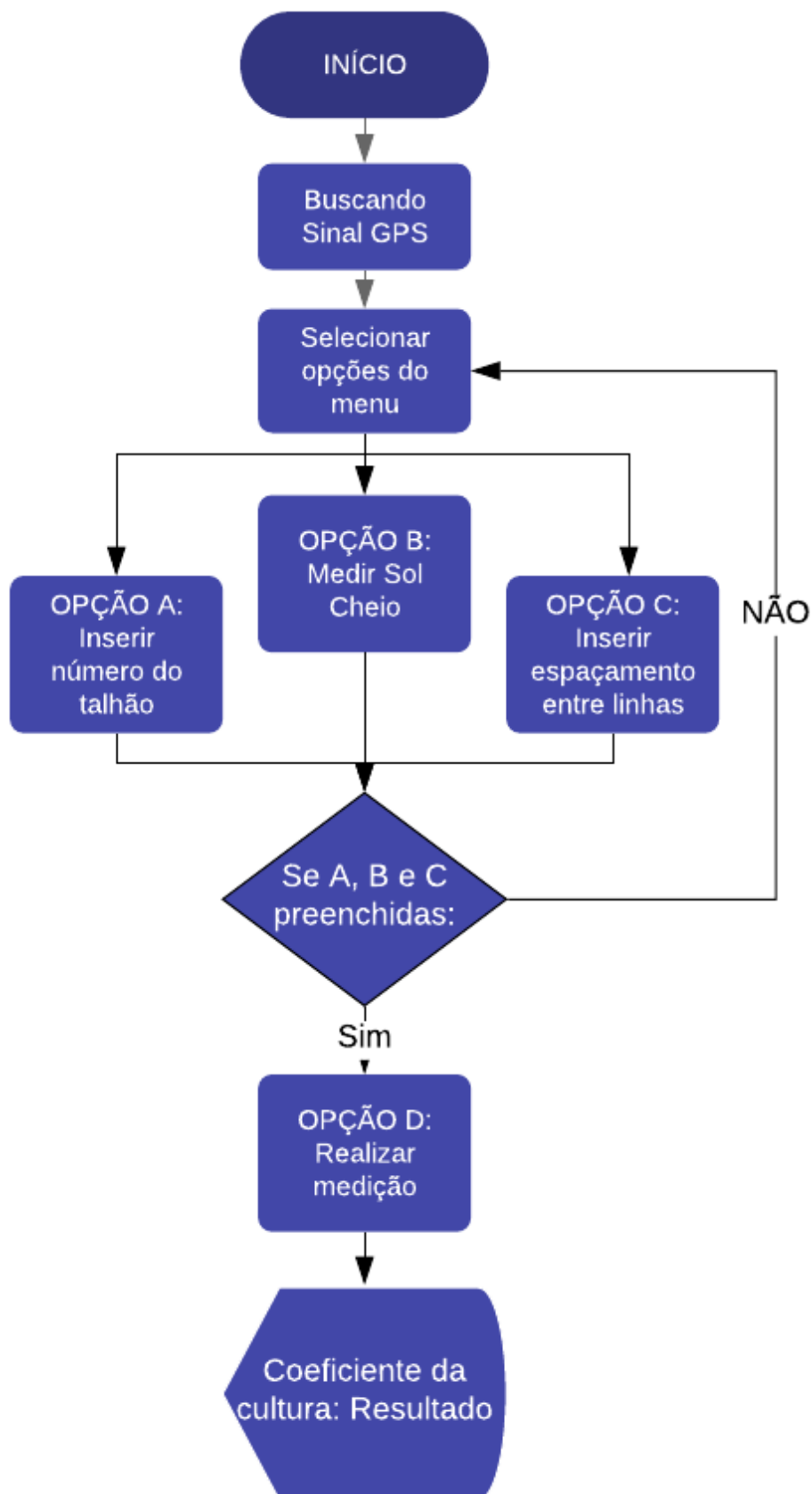
4.1.2.7 Programação dos componentes eletrônicos e sistema *web*

A programação dos componentes Arduino foi implementada na linguagem C, na própria interface de desenvolvimento fornecida pelo fabricante e que já foi citada no capítulo anterior.

1. O usuário aciona o botão liga/desliga;
2. No *display* do sistema aparece a instrução “Aguardando sinal GPS”;
3. Com o sinal GPS estabelecido é apresentado o menu com as seguintes opções: A–N. talhão (Cadastrar número do talhão); B–Sol Full (sistema coleta da placa a tensão livre no sol); C–Esp. Linha (inserido o espaçamento entre linhas) e D–Rel. Medição (realiza o cálculo do coeficiente da cultura).

A lógica de funcionamento e que definiu para a programação do projeto pode ser melhor evidenciada de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 28:

Figura 28: Fluxograma da lógica de funcionamento do sistema de cálculo do coeficiente da cultura



Fonte: Autor, 2019.

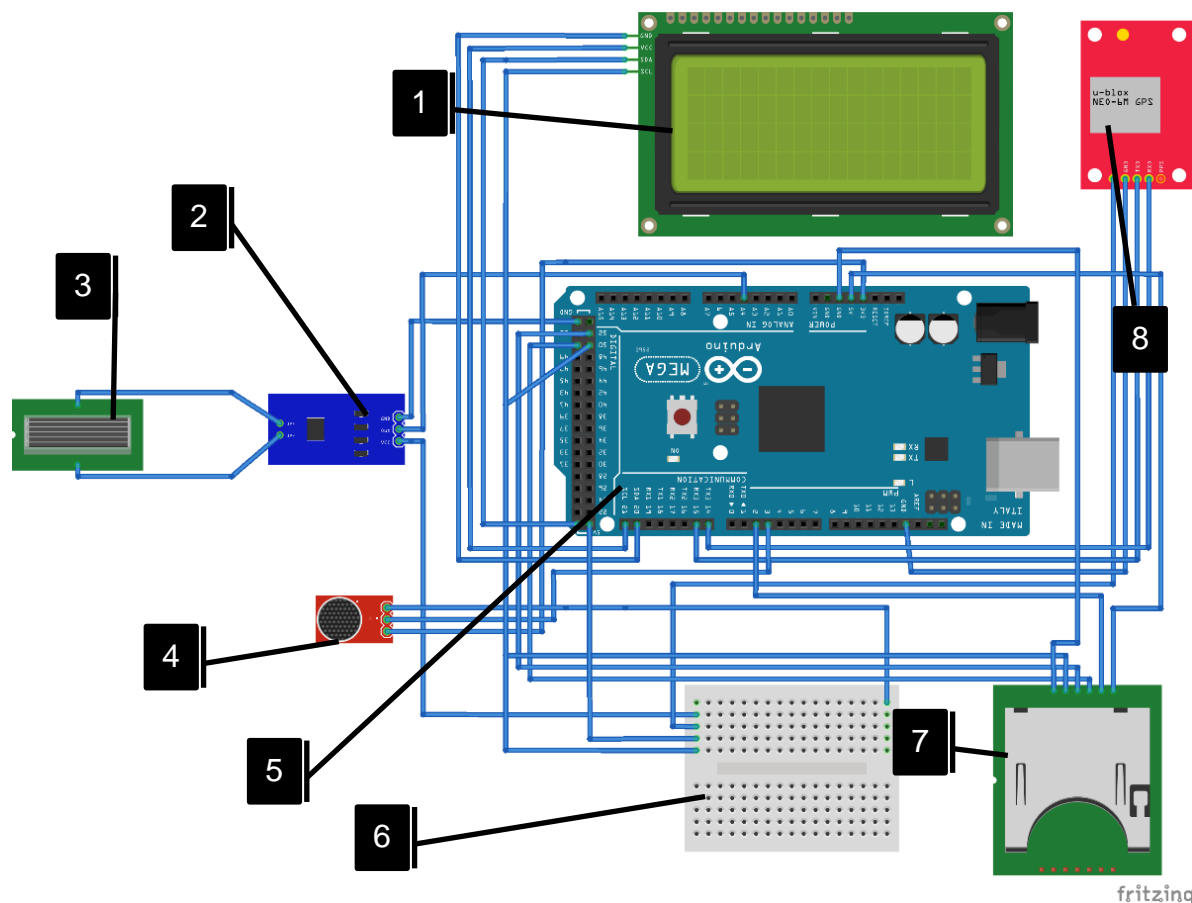
O resultado do coeficiente da cultura será apresentado no display e armazenado em um arquivo texto no cartão de memória.

Na implementação do sistema encontra-se parametrizado regras de integridade de dados que não permite que a medição seja realizada sem que as variáveis constantes nos passos A, B e C estejam preenchidas.

Devido à complexidade das ligações dos componentes no interior da caixa hermética foi desenvolvido o projeto esquemático em uma ferramenta de desenvolvimento como forma de simplificar o entendimento da dinâmica de ligação dos componentes. O projeto esquemático pode vir a facilitar não somente o entendimento das ligações dos componentes eletrônicos mas também a futura reposição ou manutenção no sistema.

A Figura 43 ilustra o projeto esquemático do arranjo dos componentes eletrônicos do protótipo.

Figura 29: Projeto esquemático do arranjo dos componentes eletrônicos do protótipo



Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 43, ilustra a ligação dos componentes eletrônicos e sensores Arduino utilizados no projeto. Foi utilizado um módulo *display* LCD 20x4 com tecnologia I2C por conta do tamanho da sua tela, dispondo de 20 caracteres por linha e 4 linhas (seta 1) para externar as informações do protótipo.

Foi utilizado o módulo sensor de tensão ACS712 (seta 2), por se tratar de um módulo capaz de reproduzir fielmente a tensão produzida na placa solar e alimentar o módulo Arduino com tais informações.

A placa solar (seta 3) é o sensor que disponibilizará as informações de tensão observados nas condições de medição.

O módulo *buzzer* (seta 4) é utilizado no sistema para disparar um aviso sonoro sempre que o sistema iniciar e estiver pronto e quando realizar a gravação da medição no cartão de memória.

No projeto a escolha do módulo Arduino Mega 2560 R3 (seta 5) se deveu devido à sua robustez, já que conta com o microcontrolador ATmega2560, e 54 pinos para as entradas e saídas dos dispositivos a serem plugados.

A *protoboard* (seta 6) é um elemento importante para a junção de alguns componentes no protótipo. O módulo de cartão de memória utilizado no projeto (seta 7) é um elemento importante no contexto do projeto, já que com ele, armazena-se o resultado de todo o processamento realizado no protótipo.

Para gerar as informações georreferenciadas foi utilizado o módulo GPS Mini NEO-7N (seta 8) devido ao seu custo baixo, seu pequeno tamanho, facilitando a acomodação em um pequeno espaço e o baixo consumo de energia, não exigindo grandes fontes de bateria, o que deixaria o projeto com peso elevado e aumentaria seu custo.

Não somente foi necessário o desenvolvimento do protótipo que calcularia o coeficiente da cultura (Kc) de forma rápida e eficiente disponibilizando o seu resultado no visor do equipamento, ou armazenado no cartão de memória, mas também o desenvolvimento e implementação de um sistema *web* para ampliar as possibilidades de importação das informações obtidas com o protótipo e agregar novas possibilidades como o armazenamento em nuvem, o que possibilita que todas as informações sejam armazenadas de forma segura e esteja disponível a qualquer momento e em qualquer lugar do mundo, possibilidade de se gerar gráficos para visualização dos resultados, administração das informações obtidas, bem como muitas outras possibilidade de exploração.

O banco de dados que integra o sistema *web* foi constituído pela Linguagem de Consulta Estruturada (*Structured Query Language*–SQL). Esta linguagem é a padrão universal para se programar um banco de dados e foi empregada por meio do sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) PostgreSQL, a interface do sistema *web* foi desenvolvida em *Hyper Text Markup Language*–Linguagem de Marcação de Hipertexto (HTML), *Cascading Style Sheets* (CSS) e *JavaScript*, compatíveis com os navegadores comerciais (Internet Explorer®, Google Chrome®, dentre outros); estas são as três das principais tecnologias para a construção de páginas da *web*.

O sistema *web* possui também programação baseada em *Personal Home Page* (PHP), que é uma linguagem de *script open source* de uso geral, muito empregada para desenvolvimento de aplicações *web*, embutida no HTML, usada originalmente apenas para o desenvolvimento de aplicações presentes e atuantes no lado do servidor, capazes de gerar conteúdo dinâmico na Internet.

4.2 APLICAÇÃO DO PROTÓTIPO DESENVOLVIDO EM UMA CULTURA DE VIDEIRAS SITUADA NO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO PAULO

Neste capítulo será apresentado com foi determinado a implementação das equações do protótipo desenvolvido. Tanto na metodologia utilizada com o “Paso Panel”, quanto no protótipo desenvolvido, as placas solares por si só, não são capazes de gerar qualquer valor diferente de grandezas como a tensão ou corrente elétrica, muito menos variáveis agrônômicas como o coeficiente da cultura (K_c).

Para que se obtenha o cálculo da cultura (K_c), se faz necessário obedecer a seguinte ordem para a obtenção das variáveis e aplicação das equações:

1. Determinar a porcentagem sombreada do painel solar;
2. Determinar a porcentagem sombreada do campo;
3. Calcular o coeficiente da cultura (K_c).

4.2.1 Determinação da Porcentagem Sombreada do Painel Solar

A porcentagem sombreada do painel pode ser melhor compreendida pela observação da proporção entre a tensão produzida na placa solar ao ser posicionada sob a copa da videira e a tensão da placa solar livre de obstáculo (sol cheio). A porcentagem sombreada do painel é obtida conforme a Equação 7.

$$PSP = [1 - (TS / SC)] * 100 \quad (7)$$

em que,

PSP: porcentagem sombreada do painel

TS: tensão sombra painel solar

SC: tensão sol cheio no painel solar

4.2.2 Cálculo da Fração Média de Cobertura do Solo (F_c)

Para o projeto foi utilizado a metodologia de obtenção da fração média de cobertura do solo baseado no painel solar para medir a área sombreada da copa das plantas (BATTANY, 2006), modificado. Neste caso, o cálculo das equações foi realizado no próprio equipamento a fim de tornar manuseio mais simples, e com resultados imediatos de K_c , disponíveis diretamente no cartão de memória.

Para isso, foi confeccionado com painel com dimensões de 1,67 metros de comprimento, por 0,44 metros de largura e 3 mm de espessura, resultante em área de 0,73 m², com placa fotovoltaica flexível da marca Xunlight, montado em uma estrutura utilizando-se de peças de alumínio leves e resistentes, as mesmas utilizadas na montagem de esquadrias.

A placa solar fotovoltaica funciona como um sensor que afere o “sol cheio” ou seja, a porção da placa solar totalmente exposta ao sol, sem nenhuma interferência de sombra, bem como a obtenção da grandeza de área sombreada, que é uma variável referente à proporção de sombra ao se posicionar o painel na sob a copa das videiras.

A equação para se aferir a proporção de sombreamento pode ser conferida na Equação 8:

$$F_c = \text{PSP} * \text{CP} / \text{EF} \quad (8)$$

em que,

F_c: estimativa da fração média de cobertura do solo pelo dossel da planta

PSP: porcentagem sombreada do painel

CP: comprimento do painel (m)

EF: espaçamento em linhas da cultura (m)

4.2.3 Cálculo do Coeficiente da Cultura (K_c)

O cálculo do coeficiente da cultura (K_c) para videiras podem ser estabelecidos por diversas metodologias e modelos, no projeto foi adotado o Modelo de Williams e Ayars (2005), para videiras conduzidas em espaldeiras, de acordo com a Equação 9:

$$K_c = - 0,008 + 0,017 * F_c \quad (9)$$

em que,

K_c: coeficiente da cultura

F_c: estimativa da fração média de cobertura do solo pelo dossel da planta

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo descreve os resultados do projeto, abordando aspectos relacionados questões envolvendo *hardware*, *software* e tecnologias.

5.1 DESENVOLVER UM PROTÓTIPO PARA CALCULAR O COEFICIENTE DE CULTURA (Kc) EM CULTIVARES DE VIDEIRAS EM SISTEMA DE SUSTENTAÇÃO VERTICAL

O desenvolvimento do protótipo foi dividido em quatro etapas principais (análise de requisitos do usuário, modelagem de dados, o desenvolvimento do protótipo que possibilita o cálculo do coeficiente da cultura (Kc) e, por fim a implementação do sistema *web* que é utilizado para importar os dados obtidos).

Na fase de requisitos foram identificadas todas as funcionalidades que o protótipo e sistema *web* deveria possuir para atender às necessidades do usuário.

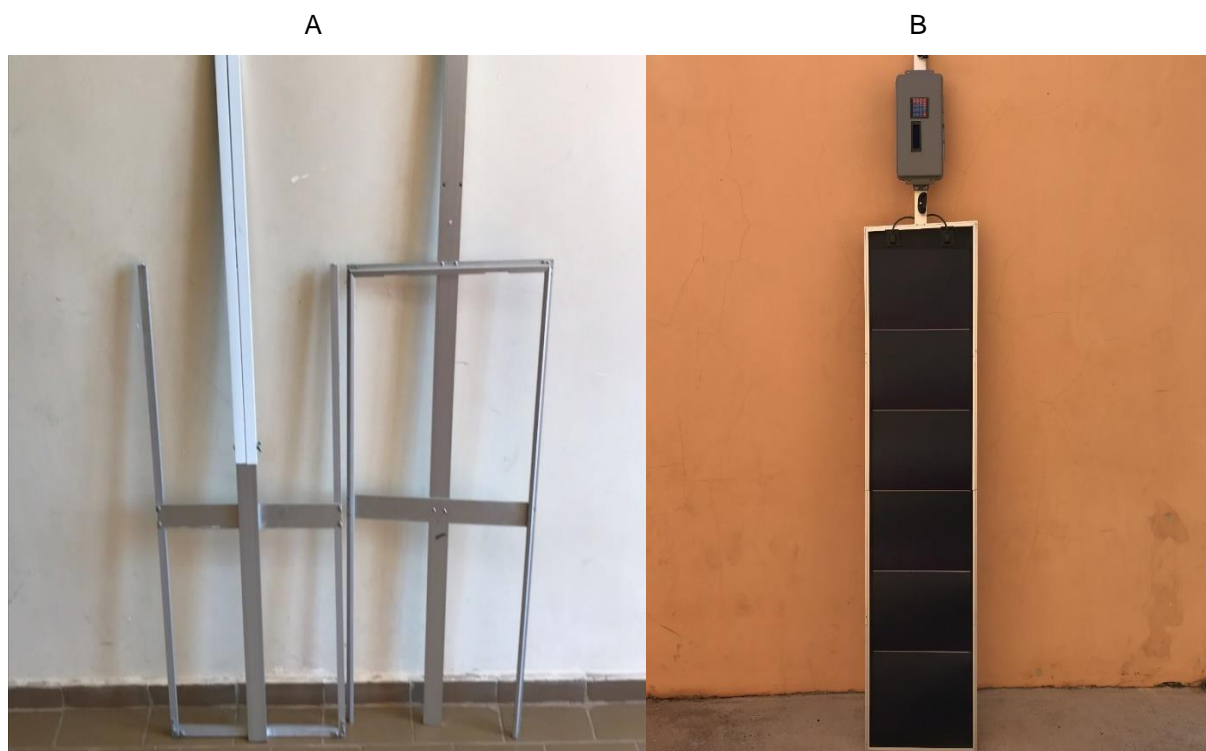
Para a fase de modelagem foi utilizada a metodologia UML (*Unified Modeling Language*), que é uma metodologia de modelagem baseada no desenvolvimento orientado a objetos, a qual foi desenvolvido modelos de diagramas de Caso de Uso, Diagramas de Sequência e Diagramas de Classes.

Na fase de desenvolvimento do protótipo foi realizada a acomodação dos componentes do projeto para dar forma na estrutura que ajustasse todos os equipamentos necessários. A estrutura física foi organizada com base em sobras de perfis de alumínio, os mesmos utilizados na fabricação de portas, janelas e box de banheiro, sem custo, por se tratar de materiais reaproveitados. Do ponto de vista técnico este tipo de material é extremamente versátil, adequando-se aos mais variados tipos de projetos, com conceito modular, perfil de alumínio é comumente utilizado para facilitar a montagem de estruturas diversas. Com rapidez, o processo de montagem pode ser realizado dispensando o uso de soldas, pintura, dobragem ou assim como outras formas de acabamento, fazendo uso somente de conexões e acessórios simples que garante a união entre as peças com segurança e rigidez.

O projeto da estrutura foi criado com a finalidade de acomodar a placa solar e a caixa com os componentes eletrônicos do protótipo com dimensões de aproximadamente 2,10 metros de comprimento por 0,46 metros de largura, divididos

em partes menores para facilitar a montagem e desmontagem utilizando junções e conexões para as peças de perfil de alumínio. A estrutura pode ser observada na conforme apresentado na Figura 29:

Figura 30: A- Modularização do projeto para facilitar o transporte e B- Arranjo final da placa solar flexível



Fonte: Autor, 2019.

Na fase de implementação do sistema web foi utilizado a linguagem PHP para a manipulação das classes identificadas no projeto como chaves para a manipulação das informações e também a linguagem HTML para o *layout* do site. O armazenamento das informações processadas pelo protótipo foi utilizado o Sistema Gerenciador de Banco de Dados PostgreSQL.

Com a análise dos requisitos do sistema foi identificado que o mesmo possui um único ator principal denominado como sendo o “Usuário” que irá fazer uso do protótipo para o cálculo do coeficiente da cultura (K_c) e a importação das informações processadas pelo dispositivo e as suas demais funcionalidades no sistema web.

A Figura 30 ilustra a definição do ator principal que utilizará o protótipo de cálculo do coeficiente da cultura (K_c).

Figura 31: Definição do ator principal que utilizará o protótipo de cálculo do coeficiente da cultura (Kc)



Fonte: Autor, 2019.

5.1.1 Diagramas de Caso de Uso

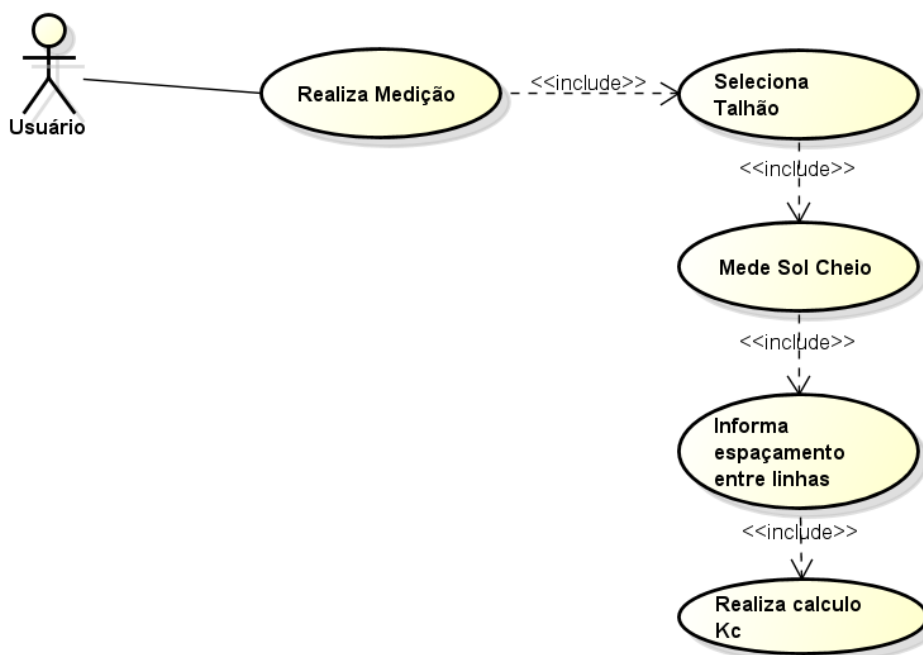
Neste capítulo é apresentado o diagrama de caso de uso modelado para as funcionalidades do protótipo para o ator definido como “Usuário”, responsável pela interação com o mesmo.

Por meio de uma linguagem simples, o diagrama de caso de uso permite demonstrar o comportamento externo do sistema pela perspectiva do usuário, demonstrando os serviços e as funcionalidades que cada um poderá utilizar (GUEDES, 2014).

No diagrama de caso de uso, ilustrado na Figura 31 são representadas as responsabilidades pertinentes ao ator “Usuário” para realizar o cálculo do coeficiente da cultura (Kc) com o protótipo.

No primeiro caso de uso chamado “Realiza medição”, o “Usuário” irá iniciar o sistema para o início das medições. No segundo caso de uso chamado de “Seleciona talhão” deverá introduzir o número do talhão correspondente à medição que ele irá realizar. No terceiro caso de uso intitulado “Mede sol cheio” o “Usuário” do protótipo irá realizar a medição do sol cheio do painel posicionado fora da copa das videiras. No quarto caso de uso chamado de “Informa espaçamento entre linhas” o “Usuário” irá informar ao dispositivo qual o espaçamento em metros entre as fileiras das videiras. No quinto caso de uso “Realiza cálculo Kc” o “Usuário” determina ao sistema que calcule o coeficiente da cultura (Kc).

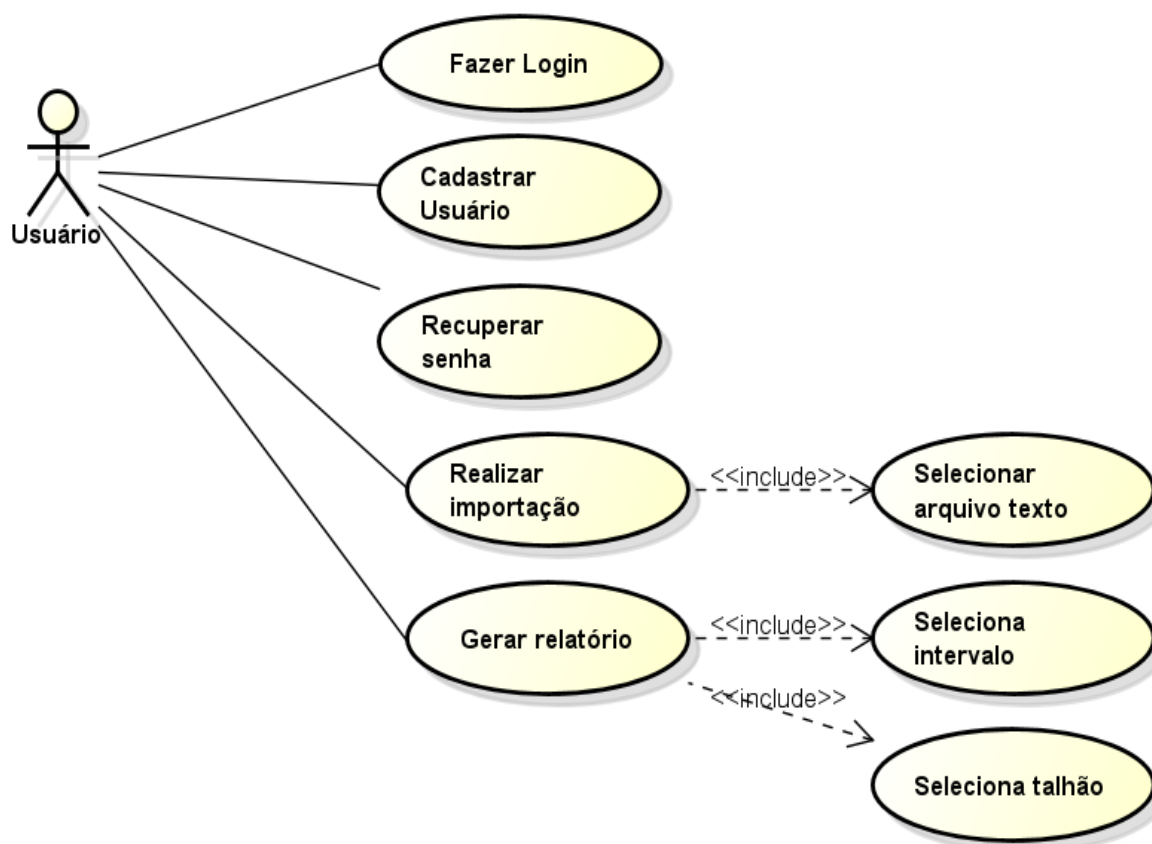
Figura 32: Diagrama de Caso de Uso pertinente à ação de calcular o coeficiente da cultura (Kc) com o protótipo



Fonte: Autor, 2019.

No diagrama de caso de uso ilustrado na Figura 32 estão representadas as responsabilidades pertinentes ao ator “Usuário” para realizar a importação das informações processadas no protótipo por meio do cartão de memória no sistema *web*. No primeiro caso de uso chamado “Fazer login”, o “Usuário” já cadastrado no sistema irá inserir as suas informações de usuário para ter acesso ao portal. No segundo caso de uso chamado de “Cadastrar usuário” caso seja seu primeiro acesso e não possua cadastro deverá inserir suas informações para se cadastrar e ter acesso às funcionalidades do sistema. No terceiro caso de uso intitulado “Recuperar senha” o “Usuário” do sistema *web* poderá realizar a alteração de sua senha do sistema. No quarto caso de uso chamado de “Realizar importação” o “Usuário” irá realizar a importação das informações processadas no protótipo e que estão armazenadas no cartão de memória. No quinto caso de uso “Selecionar arquivo texto” o “Usuário” selecionará no cartão de memória o arquivo texto que ele deseja importar para o sistema *web*. O sexto caso de uso é responsável pela geração de relatórios gerenciais do sistema *web*, podendo o “Usuário” optar por selecionar um determinado período, como um intervalo de data e hora (sétimo caso de uso), ou também gerar o relatório informando o talhão desejado.

Figura 33: Diagrama de Caso de Uso para o sistema web



Fonte: Autor, 2019.

5.1.2 Diagramas de Classes

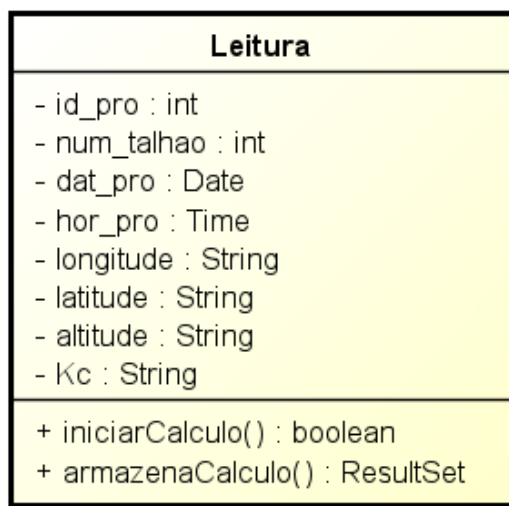
O Diagrama de classes permite a visualização das classes que compõem o sistema com os seus atributos, métodos, demonstrando como as classes do diagrama estão não somente se relacionando, se complementando e transmitindo informações entre si, Guedes (2014).

No diagrama de classe ilustrado na Figura 33, é apresentado as interações entre a entidade que compõe o protótipo para o cálculo do coeficiente da cultura (Kc) como forma de garantir que as informações serão manipuladas da forma correta.

A entidade é representada por um retângulo, dividido em três partes, obedecendo a seguinte classificação: na parte superior tem-se o nome da entidade, no retângulo do meio, se necessário tem-se os atributos e os tipos de informações os mesmos irão armazenar, e no retângulo na parte inferior estão as funcionalidades que

serão desempenhadas, ou seja, as ações que serão executadas pela entidade “Leitura”.

Figura 34: Diagrama de classe do protótipo para cálculo do coeficiente da cultura (Kc)



Fonte: Autor, 2019.

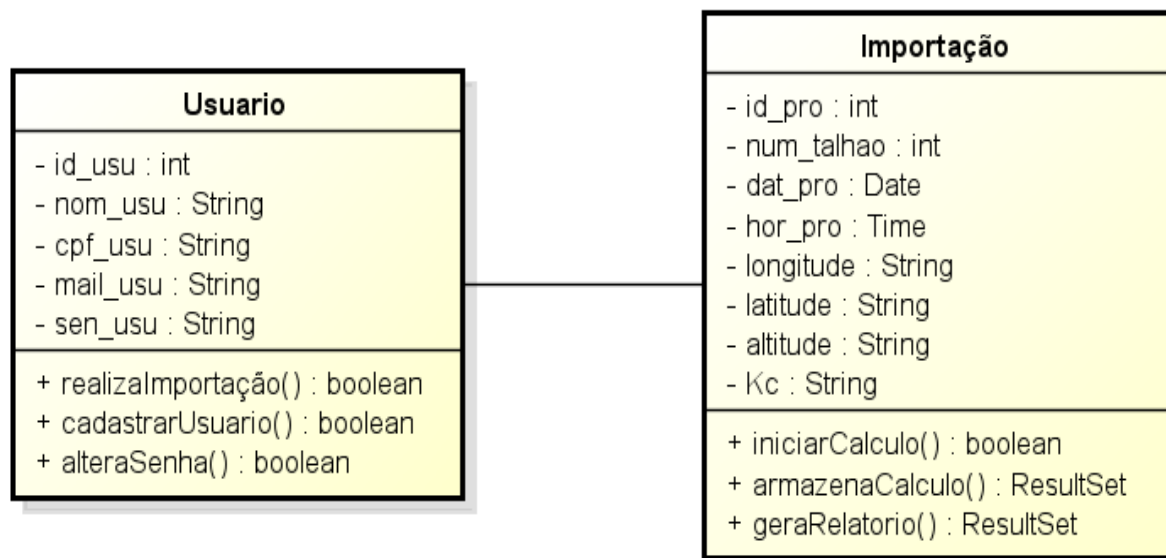
No diagrama de classe representado pela Figura 34, é apresentado as interações entre as entidades que compõem o sistema *web* que irá realizar a importação do cálculo do coeficiente da cultura (Kc) que foi processado pelo protótipo, como forma de garantir que as informações serão manipuladas da forma correta.

Pode ser observado que as entidades são representadas por um retângulo, dividido em três partes, obedecendo a seguinte classificação: na parte superior tem-se o nome da entidade, no retângulo do meio, se necessário tem-se os atributos e os tipos de informações os mesmos irão armazenar, e no retângulo na parte inferior estão as funcionalidades que serão desempenhadas.

O traço realizando a ligação entre as duas entidades demonstra que existe uma relação entre elas (a entidade “Usuário” ligada com a entidade “Importação”).

As ações que serão executadas pela entidade “Usuário” serão armazenadas na entidade “Importação”.

Figura 35: Diagrama de classe do sistema *web* para a importação das informações processadas pelo protótipo



Fonte: Autor, 2019.

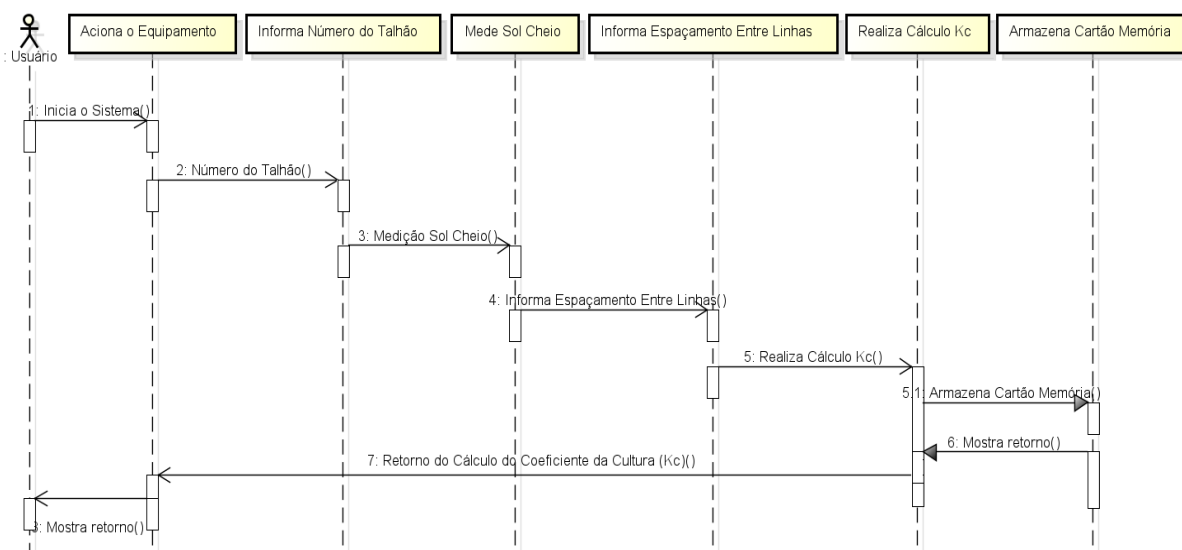
5.1.3 Diagramas de Sequência

O Diagrama de sequência consiste em um diagrama que tem como principal objetivo demonstrar a sequência de eventos que ocorrem em determinados processos, demonstrando a sequência, ordem e os métodos que serão disparados entre atores e objetos (GUEDES, 2014).

No diagrama de sequência evidenciado na Figura 35 é apresentado as sequências de comandos do ator “Usuário” para iniciar a utilização do protótipo até finalizar o cálculo do coeficiente da cultura (Kc) armazenando-o no cartão de memória.

No diagrama de sequência na Figura 35, para iniciar um novo cálculo do coeficiente da cultura (Kc) é necessário que o ator usuário “Acione o Equipamento”, em seguida “Informe Número do Talhão”, logo em seguida escolha a opção “Mede Sol Cheio”, prossiga com a utilização escolhendo a opção “Informar o Espaçamento Entre Linhas” e por final, acionar a opção “Realiza Calculo Kc” para que o dispositivo realize o cálculo do coeficiente da cultura (Kc) e em seguida automaticamente “Armazena Cartão de Memória” as informações processadas.

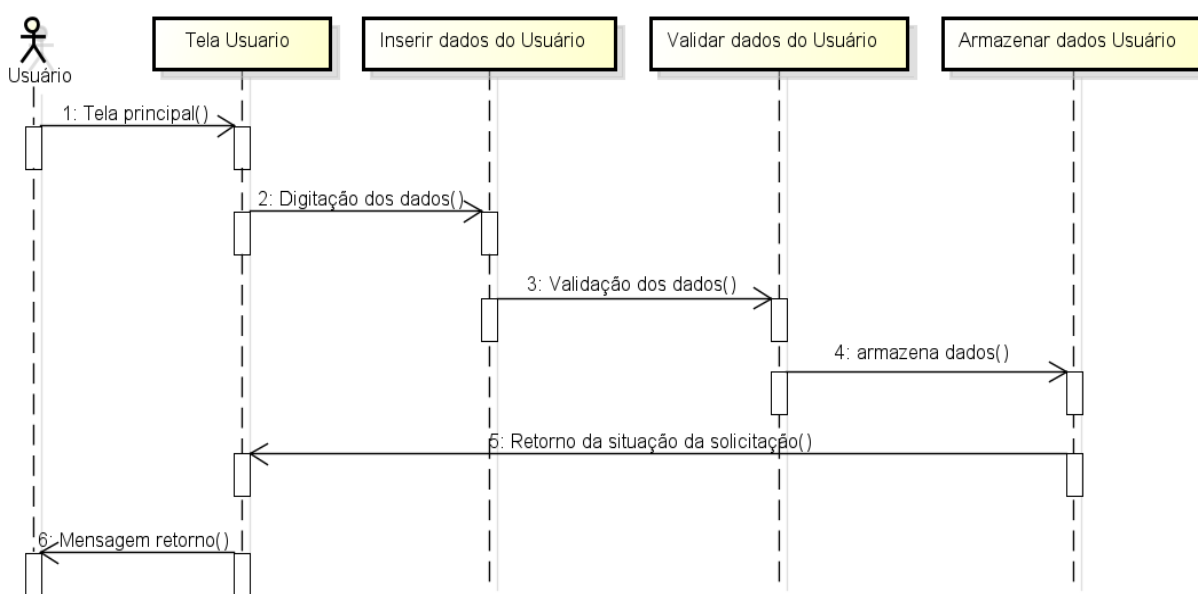
Figura 36: Diagrama de sequência do ator “Usuário” para o caso de uso Calcular Coeficiente da Cultura (Kc)



Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 36, são ilustrados a sequência para o cadastro de um novo usuário no sistema web pelo ator “Usuário” demonstrando todos os passos desde o acesso inicial ao portal até a efetivação do cadastro.

Figura 37: Diagrama de sequência para o cadastro de novo usuário para acesso ao sistema web para importação das informações processadas no protótipo

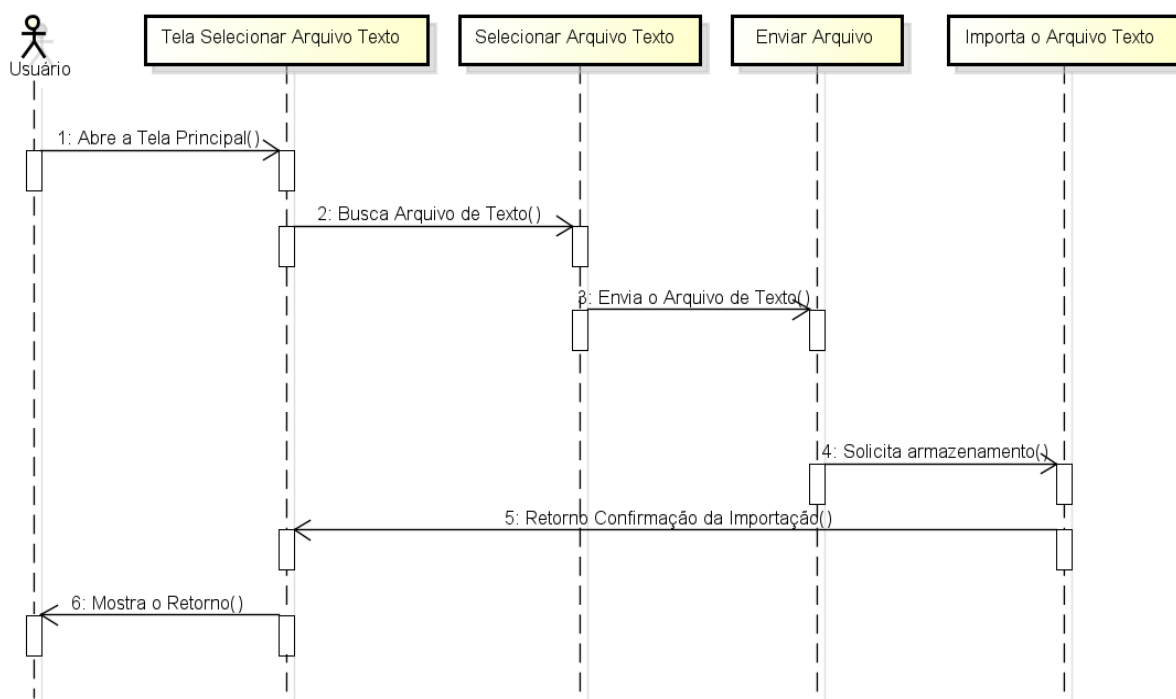


Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 36, para o cadastro de um novo usuário no sistema *web* para que o mesmo realize a importação das informações processadas no protótipo é necessário que o “Usuário” acesse a tela de cadastro de usuário, preencha os campos com suas informações e introduza no sistema para que ocorra a validação das mesmas, retornando a mensagem e posteriormente permitindo que o “Usuário” realize a validação e acesso ao sistema.

Na Figura 37 são ilustradas as sequências de interação do ator “Usuário” para realizar a sequência de ações para a importação no sistema *web* das informações que foram processadas no protótipo. Este diagrama mostra os passos seguidos pelo ator “Usuário” no sistema *web* de a seleção do arquivo texto no cartão de memória até a sua efetiva importação.

Figura 38: Diagrama de sequência para realizar a importação no sistema *web* das informações processadas no protótipo



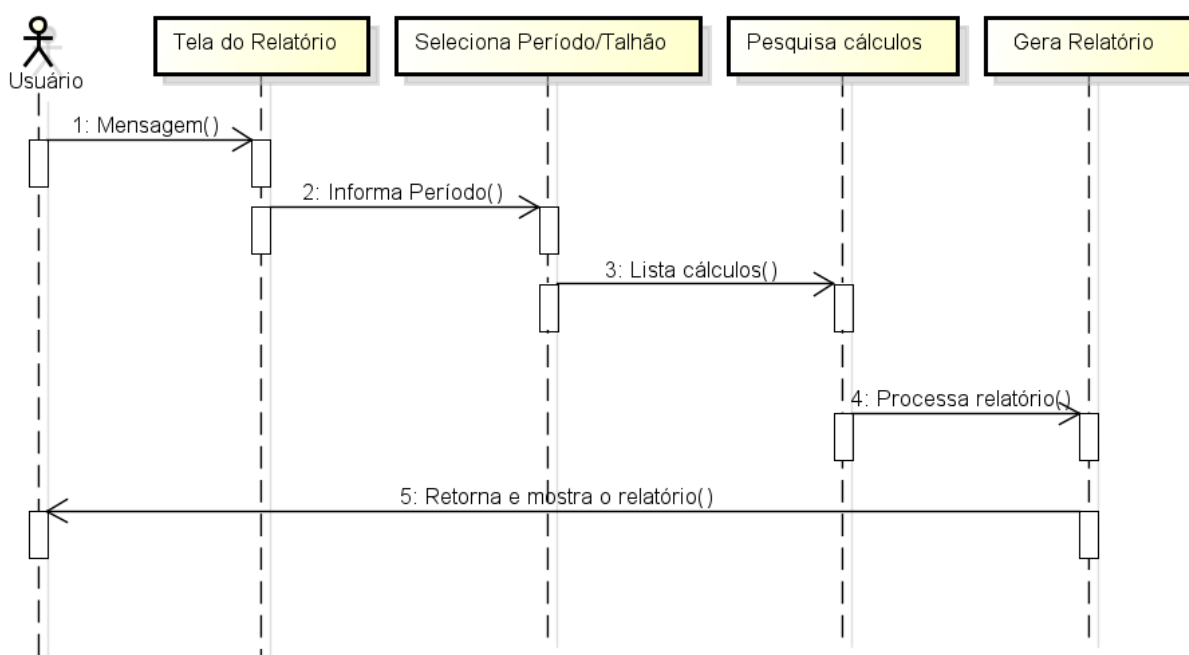
Fonte: Autor, 2019.

Conforme o diagrama de sequência (Figura 37), para o ator “Usuário” realizar a importação de algum cálculo do coeficiente da cultura (K_c) armazenado no cartão de memória, é necessário que o mesmo selecione o arquivo e envie-o para que ocorra a importação. O sistema *web* realizará a importação e armazenará as informações em

banco de dados, retornando ao usuário uma mensagem informando que a importação ocorreu.

No diagrama de sequência da Figura 38 são representadas as sequências de interação pertinentes ao ator “Usuário” para solicitar a geração dos relatórios gerenciais do sistema *web*.

Figura 39: Diagrama de sequência do ator “Usuário” para caso de uso Geração de Relatório



Fonte: Autor, 2019.

Conforme observado na Figura 38, para se solicitar um relatório gerencial no sistema *web*, é necessário que o ator “Usuário” acesse a tela do relatório e selecione um período compreendido ou entre a data ou a hora das medições ou pelo número do talhão que foi cadastrado na medição. Após processado o relatório o sistema retornará com as informações que foram selecionadas previamente em determinado talhão ou intervalo escolhidos.

Para se realizar a interação com o sistema para o cálculo do coeficiente da cultura (K_c) o usuário necessita parametrizar o dispositivo por meio do teclado alfanumérico na parte superior da caixa hermética conforme ilustrado na Figura 39.

Figura 40: Módulo *Display* LCD 20x4 com tecnologia I2C utilizado para visualização das informações do projeto



Fonte: Autor, 2019.

As informações como a quantidade de satélites GPS que foi captada pelo módulo GPS e as opções referentes às fases para obtenção do cálculo do coeficiente da cultura (K_c) são visualizadas no *display*, exigindo interações com o usuário nas fases de: informar o número do talhão, como opção A; na opção B, efetuar a medição do sol cheio (placa solar posicionada sem interferência de sombra pelas folhas da cultura); na opção C, o espaçamento entre linhas da cultura (medida em metros); opção D realização do cálculo do coeficiente da cultura (K_c).

A Figura 40 ilustra na parte superior da caixa hermética contendo o teclado alfanumérico e o Módulo *Display* LCD 20x4 com tecnologia I2C utilizado para a interação do usuário e a visualização das informações do projeto.

Na Figura 40, pode-se observar que ao acionar o dispositivo, o usuário necessita antes de realizar o cálculo do coeficiente da cultura (K_c) parametrizar o equipamento com informações necessárias para a realização de tal procedimento, o que pode ser observado na descrição a seguir: Ao pressionar o botão A do teclado alfanumérico (seta 1), o usuário informará por meio do teclado numérico o número do talhão correspondente à medição a ser realizada. Após esta etapa o usuário deverá acionar o botão B (seta 2) para que seja coletado o valor de “Sol Cheio”, ou seja, a tensão do painel posicionado livremente ao sol, fora da copa da videira. Em seguida necessita pressionar o botão C (seta 3) para que seja inserido via teclado numérico o

espaçamento em metros obedecendo o formato XX*XX (o asterisco representa a vírgula na separação entre os números inteiros e decimais). Por fim, para realizar o cálculo do coeficiente da cultura (K_c) o usuário pressiona o botão D (seta 4) no teclado alfanumérico. É indispensável salientar que, como forma de garantir a integridade das informações processadas, o sistema foi parametrizado para que as o cálculo do coeficiente da cultura (K_c) acionado pelo botão D só seja possível a partir de que todas as opções anteriores (botões A, B e C) tenham sido informados anteriormente, seguindo a sua respectiva ordem alfabética.

Figura 41: Teclado alfanumérico e o Módulo *Display* LCD 20x4 com tecnologia I2C utilizado para visualização das informações do projeto



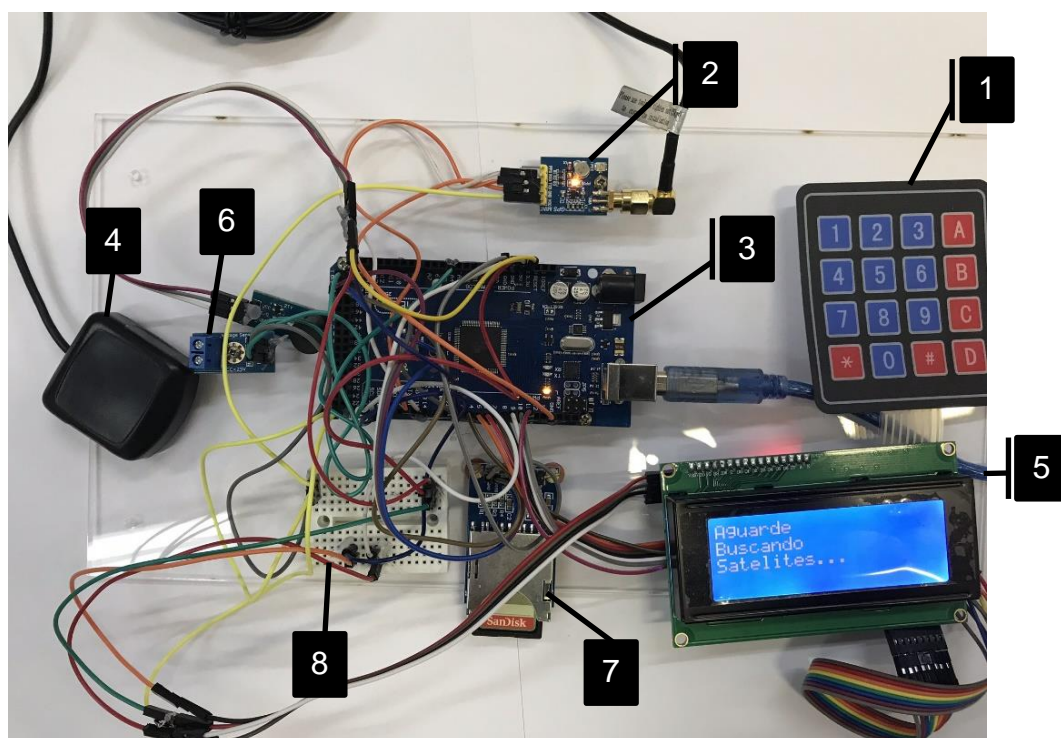
Fonte: Autor, 2019.

Dispostos sem nenhuma forma de fixação a Figura 41 ilustra a fase inicial de testes com os componentes Arduino.

Conforme ilustrado (Figura 41) a seta 1 refere-se ao teclado alfanumérico de membrana, a seta 2 ilustra o módulo GPS Mini NEO-7N, a seta 3 representa o Arduino Mega 2560 R3, a seta 4 é a Antena GPS padrão SMA, a seta 5 a ilustração do módulo *display* LCD **20x4** com tecnologia I2C utilizado para visualização das informações do projeto, a seta 6 representa módulo sensor de tensão de corrente contínua ACS712 utilizado pelo Arduino responsável por capturar a tensão da placa fotovoltaica do

projeto, a seta 7 representa o módulo de cartão de memória, e a seta 8 ilustra a placa *protoboad*.

Figura 42: Versão inicial do sistema utilizado para os cálculos do coeficiente da cultura

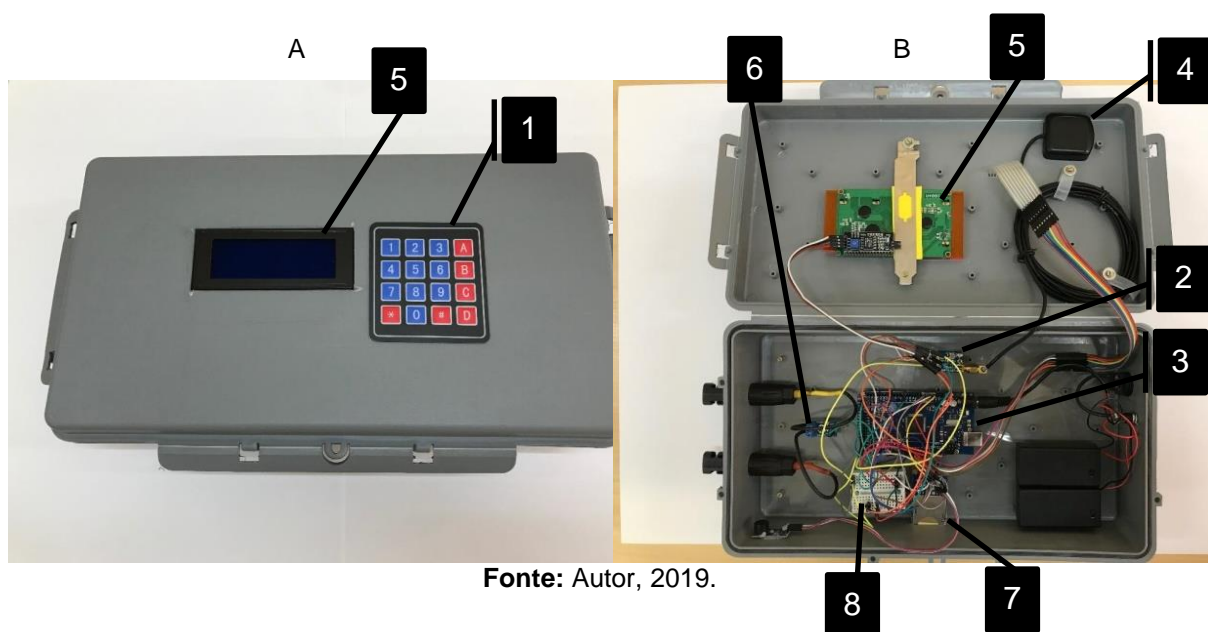


Fonte: Autor, 2019.

O próximo passo após a implementação dos códigos-fonte de todos os componentes eletrônicos foi implementar as funcionalidades de cada um e organizar a disposição de cada um na caixa hermética. O resultado foi uma estrutura complexa de componentes eletrônicos dispostos em um único ambiente, agregando funcionalidades para seu funcionamento durante a aplicação como baterias recarregáveis que permitem uma utilização intensa em carga completa de até 4 horas de trabalho. As baterias podem ser recarregadas utilizando qualquer fonte carregadora de 9V e até 2A.

A Figura 42 ilustra a caixa hermética com a imagem A demonstrando a organização dos componentes na parte frontal e a imagem B ilustrando as disposição dos componentes no interior da caixa hermética.

Figura 43: Caixa hermética. A- Organização dos componentes na parte frontal e B- Ilustração da disposição dos componentes no interior da caixa hermética



Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 42-B, a organização da caixa hermética com os componentes eletrônicos do protótipo obedeceram a seguinte disposição conforme as setas ilustrativas:

A seta 1 refere-se ao teclado alfanumérico de membrana.

A seta 2 ilustra o módulo GPS Mini NEO-7N.

Na seta 3 representa o Arduino Mega 2560 R3

A seta 4 é a Antena GPS padrão SMA.

A ilustração da seta 5, o módulo *display* LCD **20x4** com tecnologia I2C utilizado para visualização das informações do projeto.

Na seta 6 representa módulo sensor de tensão de corrente contínua ACS712 utilizado pelo Arduino responsável por capturar a tensão da placa fotovoltaica do projeto.

A seta 7 representa o módulo de cartão de memória, e a seta 8 ilustra a placa *protoboad*.

A Tabela 5 ilustra o custo dos componentes utilizados no desenvolvimento do protótipo levando-se em consideração a moeda dólar e a compra em sites especializados.

Tabela 5: Custo dos componentes utilizados no desenvolvimento do protótipo

Descrição dos itens	Custos (em dólar)
Painel solar fotovoltaico ²	\$100,00
Arduino Mega R3 ¹	\$15,00
Módulo sensor de tensão ACS712 ¹	\$8,00
Módulo GPS Mini NEO-7N ¹	\$24,00
Antena GPS padrão SMA ¹	\$10,00
Módulo de cartão de memória ¹	\$7,00
Display LCD 20x4 com tecnologia I2C ¹	\$18,00
Outros componentes eletrônicos (kit jumpers ¹ , caixa hermética ¹ , Protoboard ¹ , resistor, terminal, soldas, conector, fonte carregadora, interruptores, baterias) ³	\$55,00
Frete, taxas, impostos ³	\$139,80
Total	\$377,80
¹ Custo praticados nos valores baseados no site Ebay.com em outubro de 2018. ² Custo praticados nos valores baseados no site Amazon.com em outubro de 2018. ³ Custo Estimado; Mão-de-obra não inclusa.	

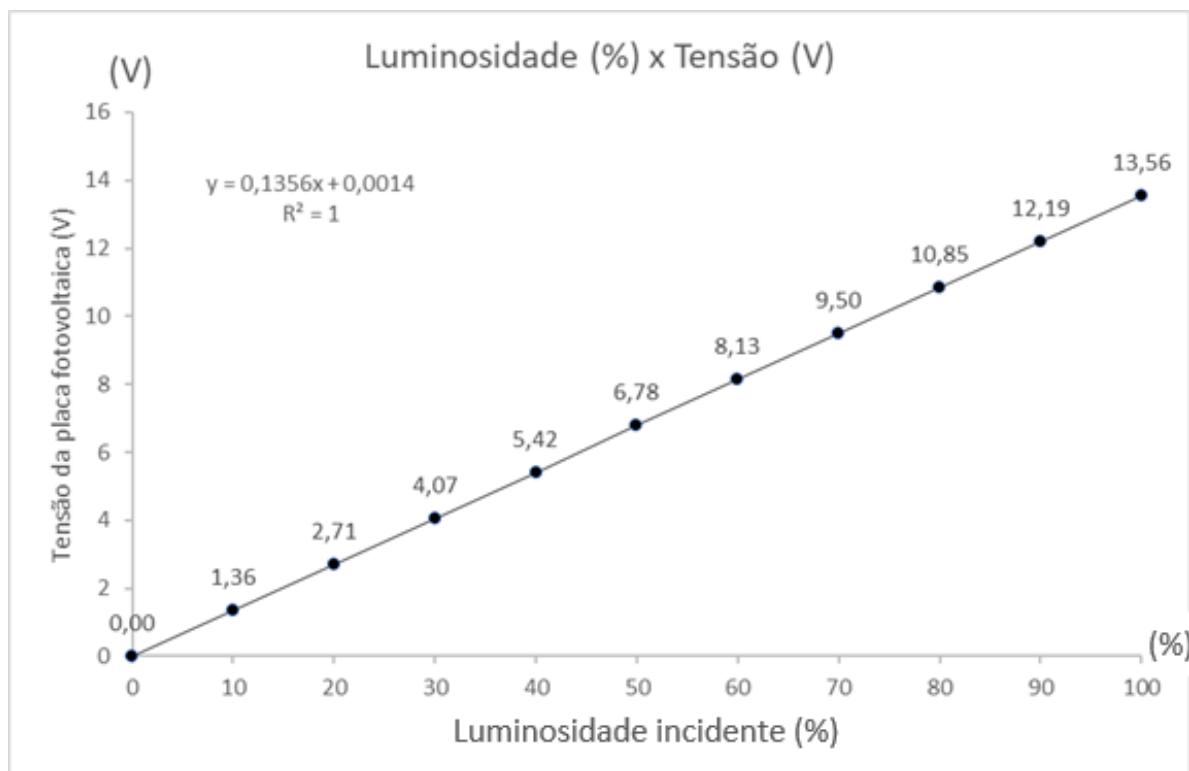
Fonte: Autor, 2019.

A placa solar fotovoltaica foi testada inicialmente em condição de sombreamento artificial, ou seja, partes da placa foram cobertas por aparatos com áreas geométricas exatas, obedecendo as porcentagens de totalmente coberta.

Observou-se que a quantidade de tensão elétrica produzida por um painel solar está diretamente relacionada à quantidade de luz solar que atinge o painel, pois quanto maior a área sombreada sobre o painel, menor tensão elétrica foi produzida, e vice-versa.

Em condição de luz plena (100% sob iluminação), atingiu-se a tensão de 13,56V, bem como, com 90% observou-se tensão 12,19V e assim sucessivamente para as outras observações, conforme é possível observar no gráfico na Figura 44, cuja equação de regressão $f(x)=0,1356x + 0,0014$ e alto coeficiente de correlação ($R^2=1$) foram observados, em condições de sombreamento artificial, o que é desejado para atributos obtidos de forma indireta.

Figura 44: Relação entre porcentagem de luminosidade e tensão produzida na placa solar fotovoltaica



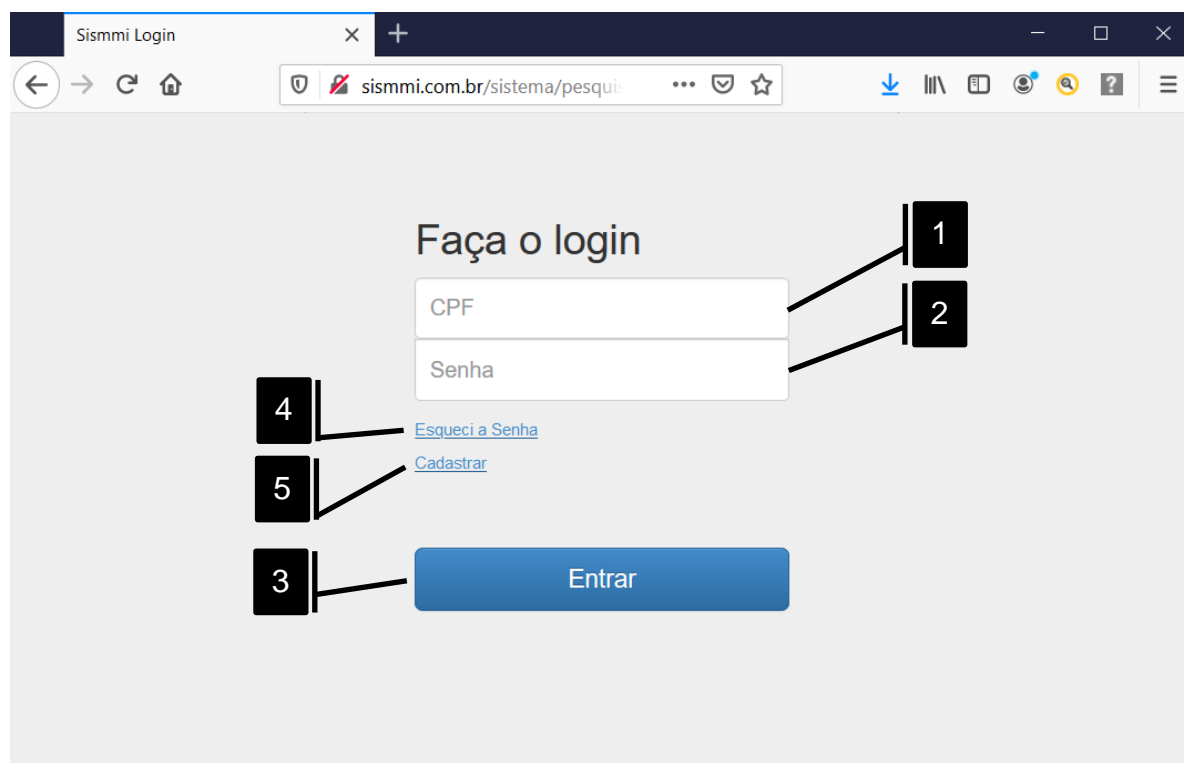
Fonte: Autor, 2019.

Em condições de campo a tensão elétrica não apresentam comportamento constante, o que torna necessário realizar medições em plantios com diferentes idades para que sejam observadas as possíveis variações.

Mesmo com as possibilidades de armazenamento em arquivo texto no cartão de memória do protótipo para futuras visualizações ou importações em planilhas eletrônicas, percebeu-se a necessidade disponibilizar uma outra forma de armazenamento e gerenciamento das informações obtidas. Foi desenvolvido um sistema *web* que armazenará em banco de dados as informações importadas pelos usuários do protótipo, disponível ininterruptamente, 24 horas por dia, durante os 7 dias da semana, o qual os usuários simplesmente poderão realizar o acesso, se cadastrar, ou se registrar no sistema caso já tenha realizado o cadastrado anteriormente, podendo escolher as opções de importar o arquivo texto produzido pelo protótipo ou realizar uma pesquisa em alguma importação realizada anteriormente, para a geração do relatórios e gráficos para apoio à tomada de decisões.

A Figura 45 ilustra tela inicial de acesso ao sistema *web* que possibilitará aos usuários do protótipo, caso seja conveniente, importar as informações que foram processadas e armazenadas no cartão de memória no formato de arquivo texto.

Figura 45: Tela de acesso, cadastro e gerenciamento de usuários do sistema *web*



Fonte: Autor, 2019.

De acordo com a ilustração (Figura 45), a tela inicial do sistema *web* é responsável tanto pela funcionalidade de acesso ao portal pelos usuários que já se cadastraram previamente, onde os mesmos inserirão seus CPF's (seta 1) e em seguida a senha cadastrada anteriormente (seta 2). Ao inserir as informações de login o usuário clica no botão "Entrar" (seta 3) para ter acesso ao sistema. Para os usuários que por algum motivo tenham esquecido a senha, o sistema conta com uma funcionalidade que proporciona a oportunidade de restaurá-la (seta 4). Novos usuários que desejam se cadastrar podem realizar a operação para ter acesso ao sistema (seta 5).

Após escolhida a opção cadastrar um novo usuário o sistema direciona o usuário para a respectiva área de cadastro ilustrada de acordo com a Figura 46. Trata-

se da página de cadastro de novos usuários para a utilização do sistema *web* para a importação das informações processadas no protótipo.

Figura 46: Cadastro de novos usuários do sistema *web* responsável pela importação das informações processadas no protótipo

A imagem mostra uma interface web de login no navegador. O endereço da página é www.sismmi.com.br/sistema/pe. O formulário, intitulado "Dados Cadastrais", possui os seguintes elementos:

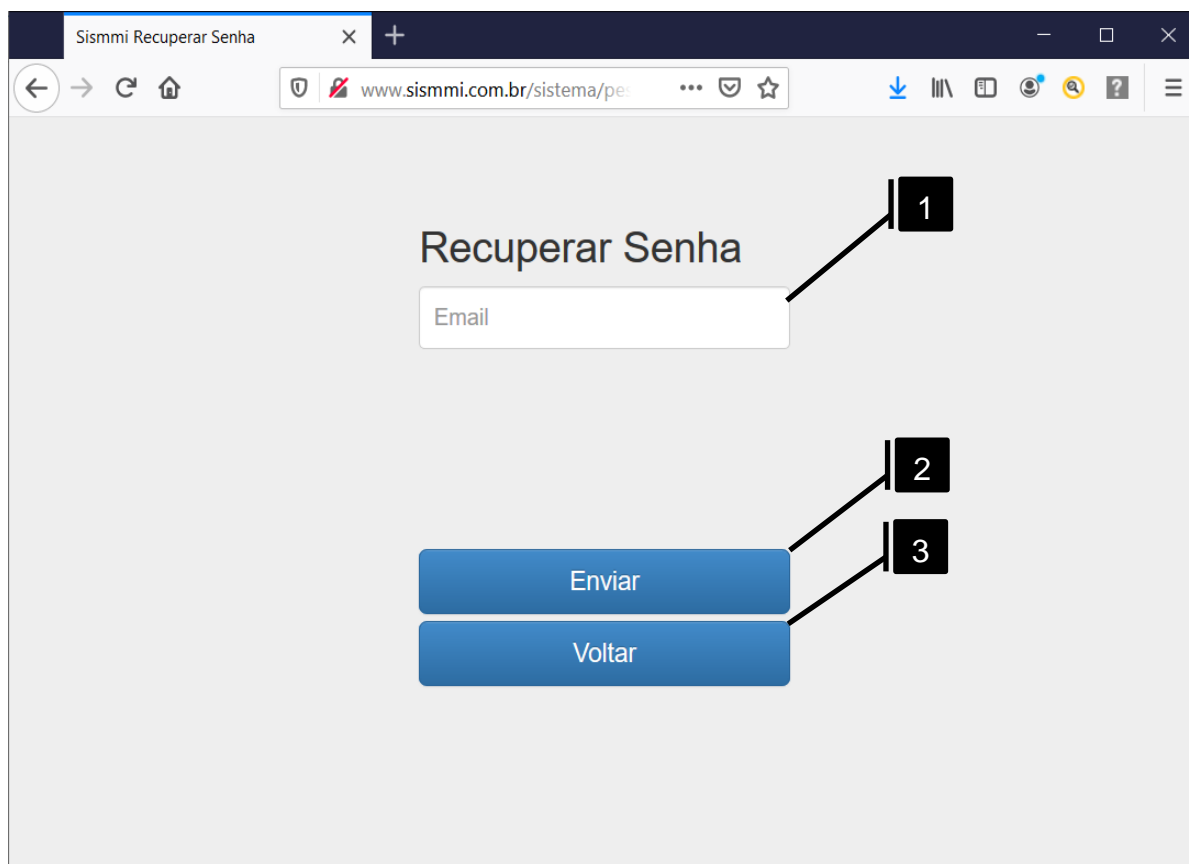
- 1: Campo de texto para "Nome".
- 2: Campo de texto para "CPF".
- 3: Campo de texto para "E-mail".
- 4: Campo de texto para "Senha".
- 5: Campo de texto para "Confirmar Senha".
- 6: Botão "Gravar" (em azul).
- 7: Botão "Voltar" (em azul).

Fonte: Autor, 2019.

Na ilustração da Figura 46, na seta 1 o usuário irá preencher o campo com o seu nome completo. No campo assinalado com a seta 2 deverá informar seu CPF, no próximo campo marcado como a seta 3 informar seu e-mail, nos próximos dois campos (seta 4 e seta 5) deverá escolher e inserir uma senha alfanumérica (no mínimo 4 e no máximo 10 caracteres) contendo pelo menos uma letra, um número e um caracter. O botão "Gravar" indicado pela seta 6 deverá ser clicado para gravar as informações informadas anteriormente. No botão "Voltar" (seta 7) o usuário volta à tela inicial de login no sistema. Na página de cadastro, os usuários deverão preencher obrigatoriamente todos os campos.

Na figura 47, os usuários do sistema *web* contam também com a funcionalidade de recuperação ou atualização da senha alfanumérica cadastrada caso necessitem.

Figura 47: Opção de recuperação de senha do usuário do sistema *web* na página de acesso



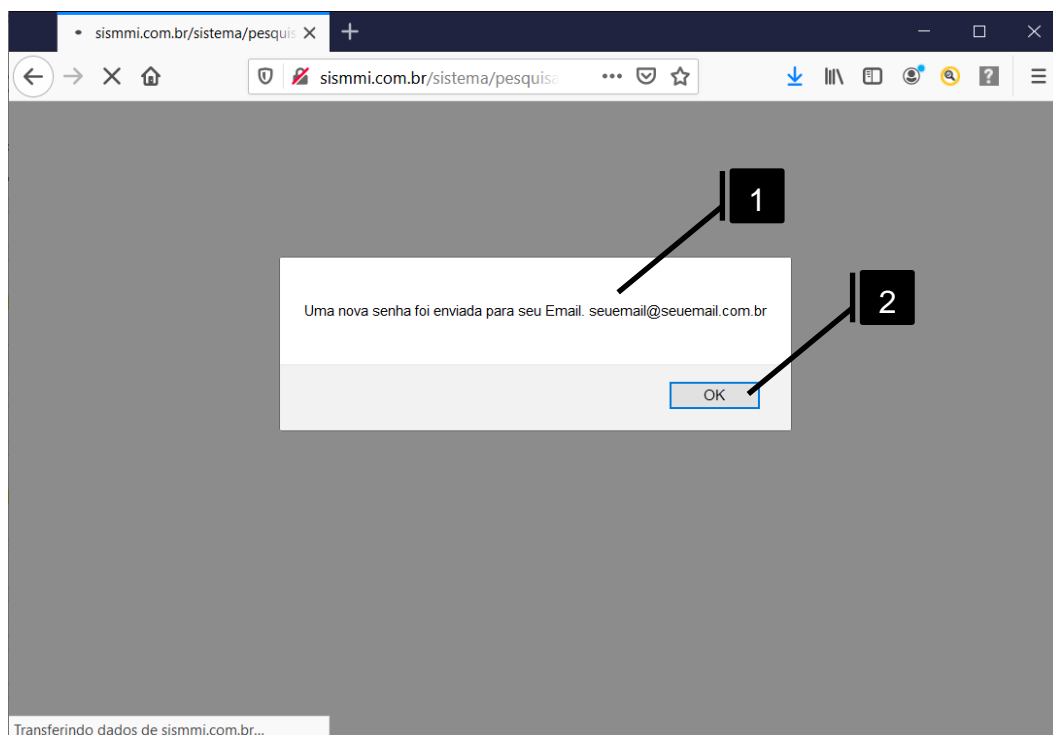
Fonte: Autor, 2019.

Ao clicar na opção “Esqueci a senha” o usuário é direcionado à página de recuperação da senha (Figura 47) e deverá preencher o campo de e-mail (seta 1), logo em seguida pressionar o botão “Enviar” (seta 2) para que uma solicitação de cadastramento de nova senha seja enviada para o e-mail conforme ilustrado na Figura 48.

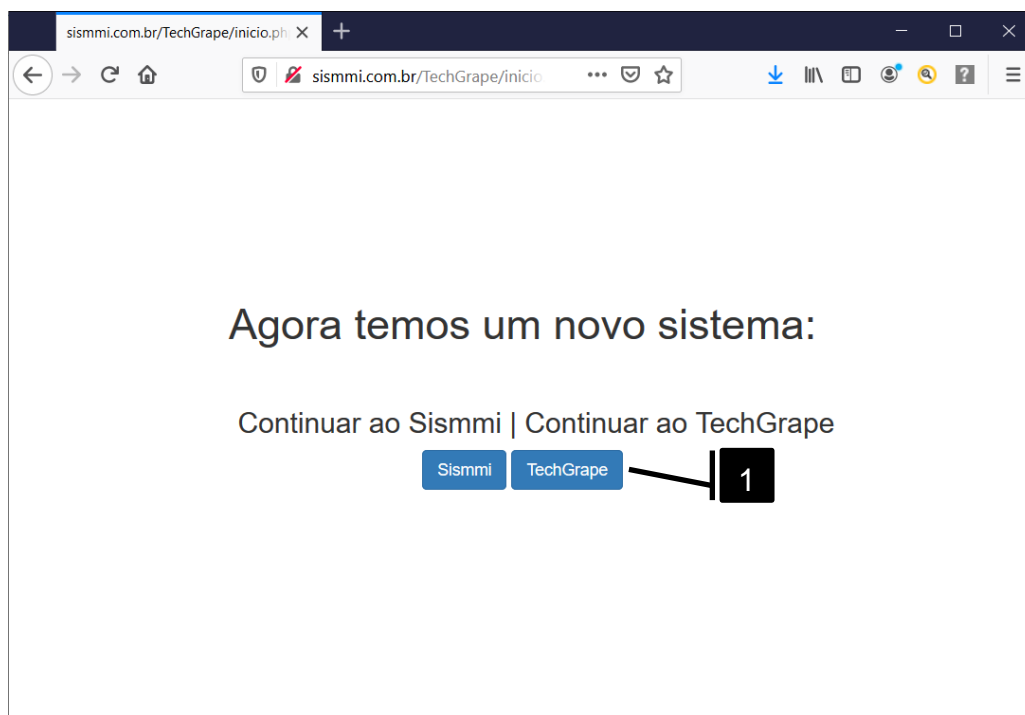
Na Figura 48 é ilustrado a mensagem informando que o usuário receberá em seu e-mail de cadastro as instruções para recuperação e recadastramento da nova senha aparece (seta 1), a qual o usuário somente atesta a visualização da mesma pressionando o botão “OK” (seta 2).

Esta operação não garante a troca da senha na mesma tela, por questões de parametrização de segurança, o usuário necessita ter acesso à sua conta de e-mail, acessá-la, e realizar o cadastramento de uma nova senha para acesso ao sistema.

Figura 48: Mensagem de recuperação de senha enviado ao e-mail de cadastro



Fonte: Autor, 2019.

Figura 49: Página de acesso primário ao sistema *web* para a importação das informações processadas pelo protótipo

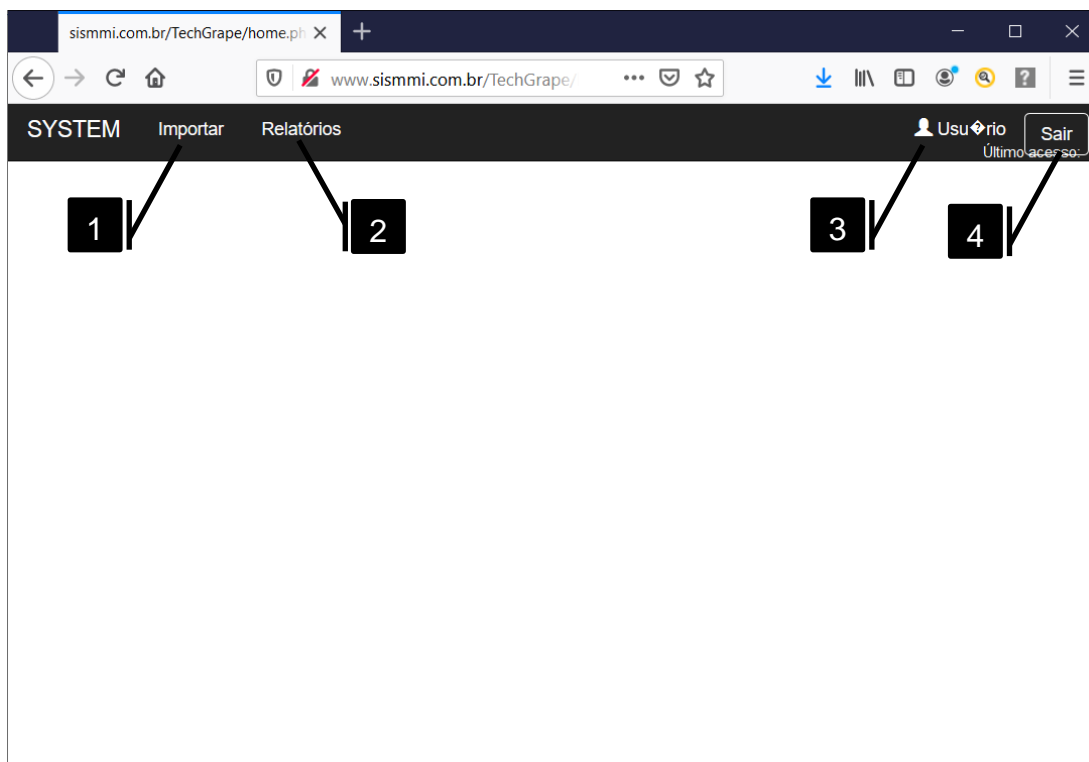
Fonte: Autor, 2019.

Após concluído o procedimento de cadastro, o novo usuário, ou recuperação da senha, o mesmo ao realizar o acesso ao sistema é direcionado à página primária do portal (Figura 49), devendo interagir e selecionar o botão “TechGrape” assinalado pela seta 1.

A próxima página web (Figura 50) representa a página principal do sistema web, local ao qual o usuário acessa a todas as funcionalidades do sistema web.

Selecionando a opção “Importar” (seta 1) o usuário é direcionado à página de importação das informações (Figura 52), processadas no protótipo e que foram armazenadas automaticamente armazenadas no cartão de memória pelo protótipo. Se o usuário optar por pressionar o botão “Relatório” (seta 2) terá a sua disposição a página para a seleção dos filtros como número do talhão, intervalo de datas ou horários (Figura 53). No canto superior direito da página (seta 3) o usuário visualiza as informações de acesso básicas como o nome de quem está conectado no sistema. Se optar por pressionar o botão “Sair” (seta 4) o usuário encerrara a execução do sistema web e sairá da página principal.

Figura 50: Página principal do sistema web que possibilita ao usuário importar os cálculos realizados

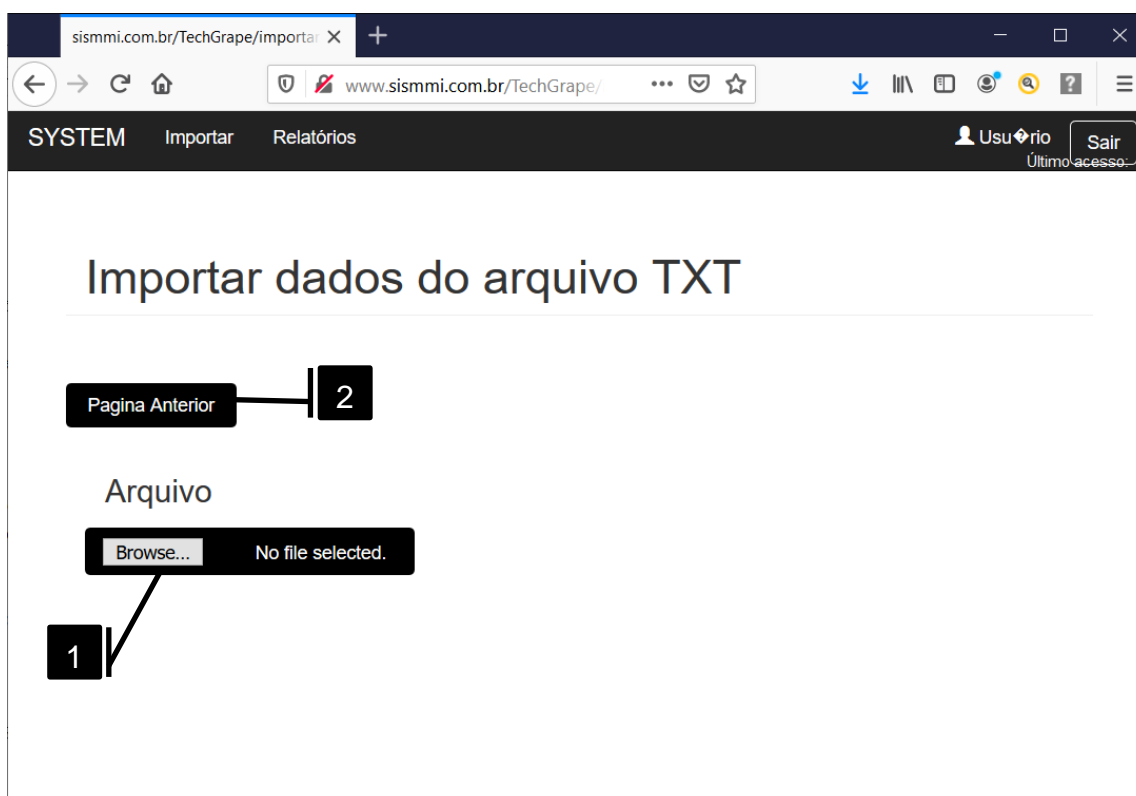


Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 50, após a seleção do botão “Importar” (seta 1) o usuário acessará a aba de importação das informações que estão disponíveis no arquivo no cartão de memória no formato texto.

Ao acessar a página da importação do arquivo texto, conforme ilustrado na Figura 51, o usuário terá a sua disposição as opções disponíveis para realizar a operação.

Figura 51: Página do sistema *web* responsável pela importação das informações do arquivo texto no cartão de memória

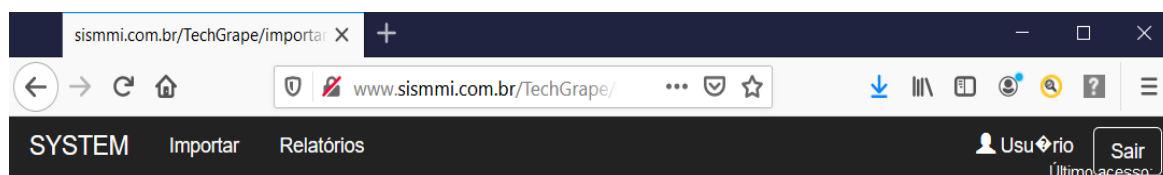


Fonte: Autor, 2019.

Na página de importação do arquivo texto armazenada no cartão de memória conforme ilustrado na Figura 51, ao clicar no botão “Browser” (seta 1) o usuário poderá selecionar o arquivo texto ao qual deseja realizar a importação para o sistema *web*. Desejando voltar para a página anterior o usuário deverá clicar no botão “Página Anterior” (seta 2).

Após a seleção do arquivo texto e realizada a importação do mesmo a página de importação voltará ao usuário a mensagem “Dados gravados com Sucesso!”, conforme ilustrado na Figura 52 (seta1).

Figura 52: Mensagem de confirmação da importação do arquivo texto armazenada no cartão de memória



Importar dados do arquivo TXT

Página Anterior

Arquivo

Browse...

No file selected.

Dados gravados
com Sucesso!

Gerar

1

Fonte: Autor, 2019.

Caso a opção escolhida pelo usuário na página principal seja o botão “Relatórios” (Figura 50), o sistema o direcionará para a página de seleção de pesquisa das informações que foram importadas previamente conforme pode ser observado na Figura 53.

Figura 53: Página de seleção de das informações que foram importadas previamente

A imagem mostra uma interface web de um sistema chamado 'SYSTEM'. No topo, há uma barra de navegação com 'Importar' e 'Relatórios'. O usuário está logado como 'Usuário' e o último acesso foi em 2020-01-24. O formulário principal, intitulado 'Pesquisa avançada', permite a seleção de relatórios. Ele possui uma seção 'Selecionar Talhão' com um checkbox 'Todos os Talhões' (destacado pela seta 1) e uma caixa de texto 'Número do Talhão' (destacada pela seta 2). Abaixo, há seções para 'Início' e 'Fim', cada uma com campos para 'Data' e 'Hora' (destacados pela seta 3). Um botão 'Pesquisar' (destacado pela seta 4) está localizado na base do formulário. Uma mensagem de aviso indica que é possível usar mais de um filtro ao mesmo tempo.

Fonte: Autor, 2019.

Na ilustração da Figura 53, o usuário tem à sua disposição a geração dos relatórios com as informações que foram importadas anteriormente, para tanto, é necessário que o usuário opte por alguma das opções de seleção do relatório. Para gerar o relatório das importações de todos os talhões basta clicar na caixa de seleção (seta 1) e em seguida no botão “Pesquisar” (seta 4).

Para iniciar a geração de relatórios de determinado talhão basta o usuário inserir o número ou selecionar na caixa de texto (seta 2) e logo após no botão “Pesquisar” (seta 4). Uma outra forma de se visualizar os relatórios das informações é por meio da seleção do período compreendido pela medição e em seguida clicar no botão “Pesquisar” (seta 4).

Após a escolha da pesquisa a ser gerada no relatório o usuário poderá realizar a pesquisa a qual o mostrará todas as informações disponíveis no sistema web (Figura 54).

Figura 54: Validação da importação das informações do cartão de memória

SYSTEM Importar Relatórios Último acesso: 2020-01-21 12:45:05 343549 Usuário Sair

Importar dados do arquivo TXT

Arquivo No file selected. Dados gravados com Sucesso!

Mostrando 10 registros Procurar:

Talhão	Data	Hora	Longitude	Latitude	Altitude	KC
21/10/2019	19:59:0	-49.968102	-20.404308	502.90	0.42	
21/10/2019	19:59:17	-49.968124	-20.404320	501.50	0.41	
21/10/2019	19:59:34	-49.968155	-20.404320	499.90	0.41	
21/10/2019	19:59:53	-49.968197	-20.404325	498.60	0.43	
21/10/2019	20:0:9	-49.968212	-20.404327	498.40	0.44	
21/10/2019	20:0:27	-49.968246	-20.404339	497.90	0.44	
21/10/2019	20:0:43	-49.968266	-20.404337	497.60	0.45	
21/10/2019	20:1:4	-49.968262	-20.404371	496.80	0.42	
21/10/2019	20:1:20	-49.968224	-20.404358	495.50	0.44	
21/10/2019	20:1:36	-49.968189	-20.404350	496.60	0.44	

Página 1 de 10. Total de registros: 28

Anterior 1 2 3 Proximo

Fonte: Autor, 2019.

Na página de geração do relatório no sistema *web* conforme ilustrado na Figura 54, o usuário visualizará um quadro com todas as informações armazenadas, dispostas em linhas (seta 1).

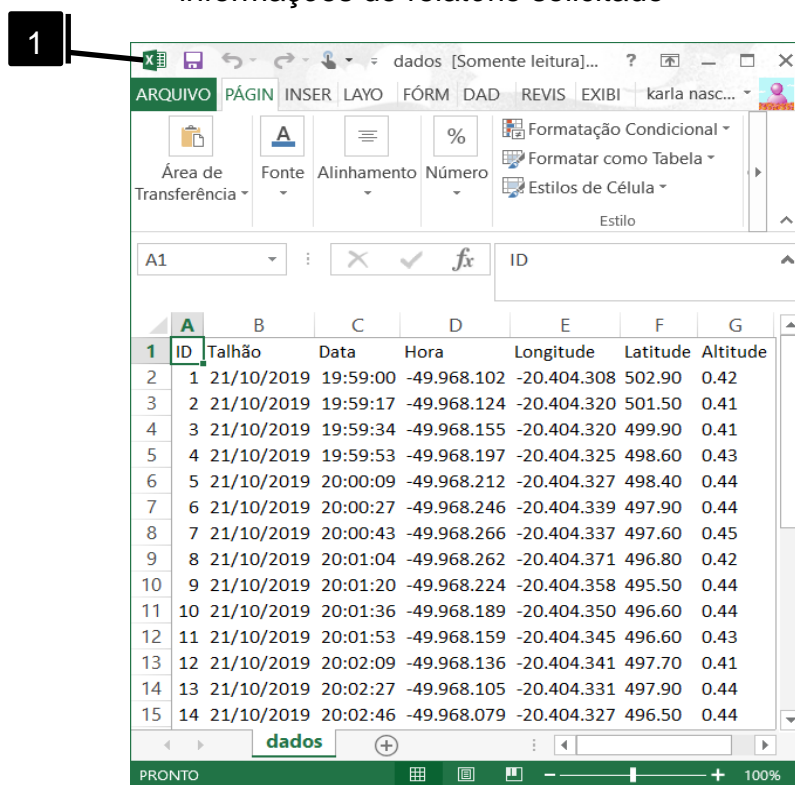
O usuário poderá navegar entre as páginas dependendo da quantidade de informações selecionadas e disponíveis neste relatório (seta 2).

Outra funcionalidade é a escolha da quantidade de visualizações de registros em cada página selecionando a caixa de opções no canto superior esquerdo da tela (seta 3), bem como, não somente visualizar as informações no sistema mas também solicitar a geração do relatório selecionado em arquivo no formato de planilhas eletrônicas, bastando clicar no botão “Gerar XLS” (seta 4).

A qualquer momento o usuário poderá retornar à seção anterior bastando somente clicar no botão “Página Anterior” (seta 5).

Quando o usuário pressiona o botão “Gerar XLS” (seta 4) imediatamente é gerado um arquivo no formato de planilhas eletrônicas conforme pode ser visualizado na Figura 55.

Figura 55: Arquivo no formato de planilhas eletrônicas gerado com base nas informações do relatório solicitado



Fonte: Autor, 2019.

É possível observar que na Figura 55, a planilha eletrônica gerada foi para o Excel (seta 1) da Suíte de Aplicativos Microsoft por conta da sua instalação no computador. A geração poderá acontecer em qualquer aplicativo de planilhas eletrônicas.

5.2 APLICAÇÃO DO PROTÓTIPO DESENVOLVIDO EM UMA CULTURA DE VIDEIRAS SITUADA NO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO PAULO

Foram realizados testes em campo com a finalidade de avaliar o equipamento, validar as equações implementadas e realizar a comparação entre as metodologias e verificar a dinâmica de funcionamento do protótipo.

Os testes foram conduzidos e realizados no mês de outubro de 2019, com a cooperação técnica de pesquisadores de um instituto de pesquisa situado no interior do Estado de São Paulo.

Para tanto foram testados 38 pontos (seta 1) utilizando simultaneamente tanto a metodologia da placa solar fotovoltaica quanto a metodologia tradicional. Foi realizado no intervalo de uma hora, entre 11:45 e 12:45 horas, ou seja, horário que o sol se encontra perpendicular ao local.

Após o término conclusão dos testes, o arquivo gerado foi importado no sistema web conforme ilustrado na Figura 56.

Figura 56: Tela de relatório com base nas informações fornecidas

The screenshot displays a web application interface for a report. On the left, there is a sidebar titled 'Pesquisa avançada' (Advanced Search) with a 'Selecionar Talhão' (Select Plot) section. The main area shows a table with the following data:

ID	Talhão	Data	Hora	Longitude	Latitude	Altitude	KC
212	01	22/10/2019	14:59:0	-49.968102	-20.404308	502.90	0.59
213	01	22/10/2019	14:59:17	-49.968124	-20.404320	501.50	0.64
214	01	22/10/2019	14:59:34	-49.968155	-20.404320	499.90	0.74
215	01	22/10/2019	14:59:53	-49.968197	-20.404325	498.60	0.65
216	01	22/10/2019	15:0:9	-49.968212	-20.404327	498.40	0.50
217	01	22/10/2019	15:0:27	-49.968246	-20.404339	497.90	0.65
218	01	22/10/2019	15:0:43	-49.968266	-20.404337	497.60	0.67
219	01	22/10/2019	15:1:4	-49.968262	-20.404371	496.80	0.42
220	01	22/10/2019	15:1:20	-49.968224	-20.404358	495.50	0.45
221	01	22/10/2019	15:1:36	-49.968189	-20.404350	496.60	0.46

At the bottom of the table, there is a pagination control showing 'Página 1 de 10. Total de registros: 38' and a set of buttons: 'Anterior', '1', '2', '3', '4', 'Proximo'. A black box with the number '1' points to the search sidebar, and another black box with the number '2' points to the pagination control.

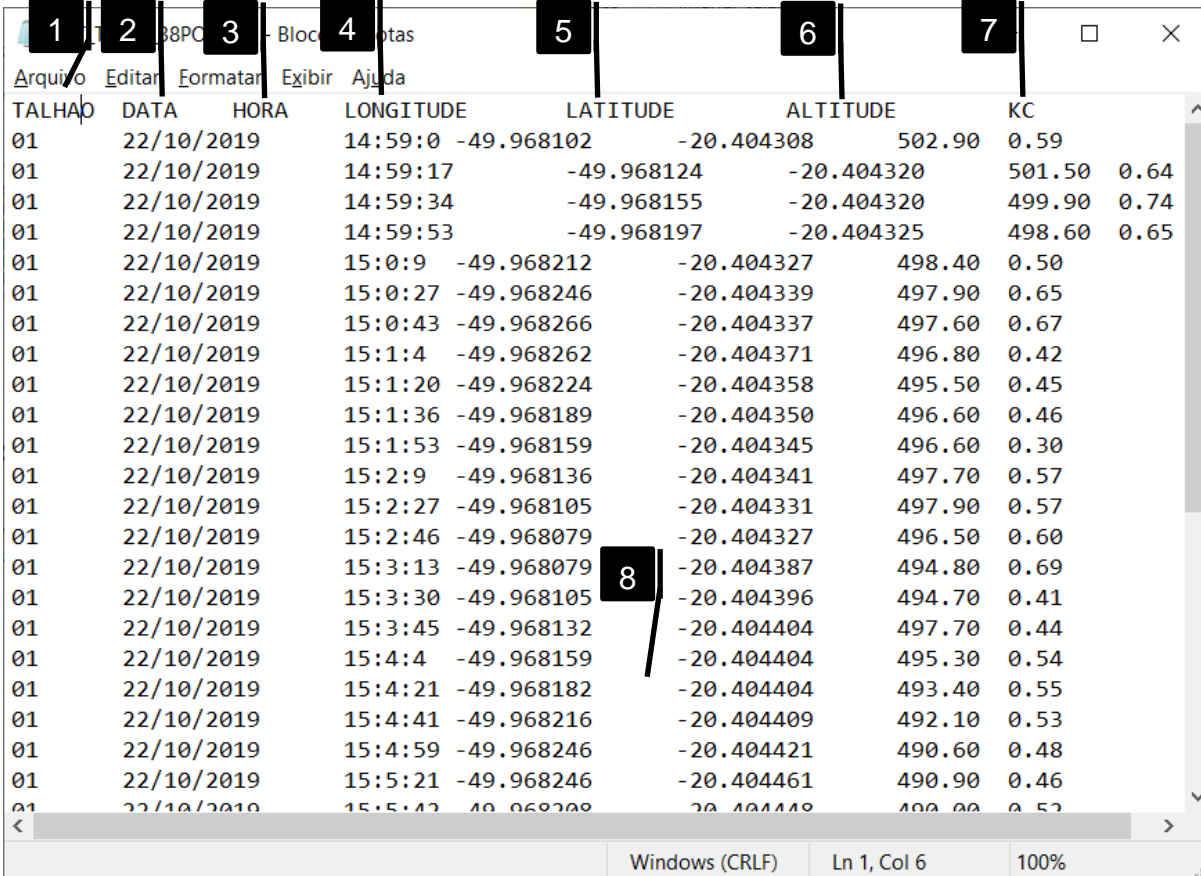
Fonte: Autor, 2019.

Para a realização dos testes de campo com a placa solar fotovoltaica para obter a estimativa da fração média de cobertura do solo pelo dossel da planta (F_c), foi aplicada a mesma metodologia proposta na verificação em condições de sombreamento artificial, posicionamento do painel sob a copa das plantas, observando-se a tensão gerada com relação ao sol cheio e a sombra, juntamente com a verificação simultânea do sombreamento utilizando-se a metodologia tradicional que seu método é baseado em um dispositivo de madeira, no formato de régua, para medir a largura da projeção da sombra da copa das videiras, conforme ilustrado em capítulo 3, Figura 7.

Foram realizadas medições em pontos distintos como forma de validação do protótipo e do comportamento da placa solar fotovoltaica. Como resultado final, o sistema pode proporcionar ao usuário a possibilidade de armazenar o resultado das

aferições em cartão de memória disponível no protótipo. É gerado um arquivo no formato de texto contendo as informações com número do talhão (seta 1), data (seta 2), hora (seta3), longitude (seta 4), latitude (seta 5), altitude (seta 6) e o cálculo do coeficiente da cultura (Kc) (seta7). A Figura 57 mostra a disposição das leituras no cartão de memória no bloco de notas.

Figura 57: Resultado do cálculo do coeficiente da cultura (Kc) armazenado no cartão de memória



TALHAO	DATA	HORA	LONGITUDE	LATITUDE	ALTITUDE	KC
01	22/10/2019	14:59:0	-49.968102	-20.404308	502.90	0.59
01	22/10/2019	14:59:17	-49.968124	-20.404320	501.50	0.64
01	22/10/2019	14:59:34	-49.968155	-20.404320	499.90	0.74
01	22/10/2019	14:59:53	-49.968197	-20.404325	498.60	0.65
01	22/10/2019	15:0:9	-49.968212	-20.404327	498.40	0.50
01	22/10/2019	15:0:27	-49.968246	-20.404339	497.90	0.65
01	22/10/2019	15:0:43	-49.968266	-20.404337	497.60	0.67
01	22/10/2019	15:1:4	-49.968262	-20.404371	496.80	0.42
01	22/10/2019	15:1:20	-49.968224	-20.404358	495.50	0.45
01	22/10/2019	15:1:36	-49.968189	-20.404350	496.60	0.46
01	22/10/2019	15:1:53	-49.968159	-20.404345	496.60	0.30
01	22/10/2019	15:2:9	-49.968136	-20.404341	497.70	0.57
01	22/10/2019	15:2:27	-49.968105	-20.404331	497.90	0.57
01	22/10/2019	15:2:46	-49.968079	-20.404327	496.50	0.60
01	22/10/2019	15:3:13	-49.968079	-20.404387	494.80	0.69
01	22/10/2019	15:3:30	-49.968105	-20.404396	494.70	0.41
01	22/10/2019	15:3:45	-49.968132	-20.404404	497.70	0.44
01	22/10/2019	15:4:4	-49.968159	-20.404404	495.30	0.54
01	22/10/2019	15:4:21	-49.968182	-20.404404	493.40	0.55
01	22/10/2019	15:4:41	-49.968216	-20.404409	492.10	0.53
01	22/10/2019	15:4:59	-49.968246	-20.404421	490.60	0.48
01	22/10/2019	15:5:21	-49.968246	-20.404461	490.90	0.46
01	22/10/2019	15:5:42	-49.968208	-20.404448	490.00	0.52

Fonte: Autor, 2019.

A gravação das informações em arquivo texto no cartão de memória obedecem à configuração de separação dos campos por tabulação (seta 8), como necessidade mínima, facilitando a sua importação em planilhas eletrônicas para a manipulação adequada dos dados no apoio à tomada de decisão por parte dos usuários.

A Figura 58 demonstra a forma que as informações foram importadas pelo programa de planilhas eletrônicas Excel da suíte de aplicativos Microsoft Office, porém pode ser importado em qualquer sistema de planilhas eletrônicas. Pode ser observado a estrutura de organização das informações em linhas e colunas.

Figura 58: Importação do arquivo texto em planilhas eletrônicas Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	ID	Talhão	Data	Hora	Longitude	Latitude	Altitude	KC
2	212	1	22/10/2019	14:59:00	-49.968.102	-20.404.308	502.90	0.59
3	213	1	22/10/2019	14:59:17	-49.968.124	-20.404.320	501.50	0.64
4	214	1	22/10/2019	14:59:34	-49.968.155	-20.404.320	499.90	0.74
5	215	1	22/10/2019	14:59:53	-49.968.197	-20.404.325	498.60	0.65
6	216	1	22/10/2019	15:00:09	-49.968.212	-20.404.327	498.40	0.50
7	217	1	22/10/2019	15:00:27	-49.968.246	-20.404.339	497.90	0.65
8	218	1	22/10/2019	15:00:43	-49.968.266	-20.404.337	497.60	0.67
9	219	1	22/10/2019	15:01:04	-49.968.262	-20.404.371	496.80	0.42
10	220	1	22/10/2019	15:01:20	-49.968.224	-20.404.358	495.50	0.45
11	221	1	22/10/2019	15:01:36	-49.968.189	-20.404.350	496.60	0.46
12	222	1	22/10/2019	15:01:53	-49.968.159	-20.404.345	496.60	0.30
13	223	1	22/10/2019	15:02:09	-49.968.136	-20.404.341	497.70	0.57

Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 58, a coluna “A” (seta 1) indica o campo relacionado com os números identificadores gerados pelo sistema *web* após a importação das informações do cartão de memória.

A coluna “B” (seta 2) corresponde ao campo que representa os números dos talhões que sofreram a medição.

Na coluna “C” (seta 3) é ilustrado a data que foi realizada a medição.

A coluna “D” da planilha eletrônica (seta 4) é observado a hora da medição realizada.

O campo representado pela coluna “E” (seta 5) representa a longitude dos pontos coletados.

A coluna “F” (seta 6) tem-se a representação da latitude dos pontos coletados.

Na coluna “G” (seta 7) a altitude referente a cada ponto.

E por fim, na coluna H (seta 8) ilustra o cálculo do coeficiente da cultura (Kc) de cada ponto amostral.

A Figura 59 ilustra os testes realizados em um dos pontos utilizando a metodologia tradicional de observação utilizando régua escalonada:

Figura 59: Testes utilizando a metodologia tradicional que utiliza uma régua escalonada em um determinado ponto



Fonte: Autor, 2019.

A Figura 60 ilustra o teste realizado em um ponto aleatório utilizando a metodologia de obtenção do coeficiente da cultura (K_c) com a sistema da placa solar fotovoltaica.

Conforme é possível observar, na Tabela 6 e Figura 61, os métodos apresentam resultados diferentes para o coeficiente da cultura (K_c) das videiras. Este fato é justificado pela diferença entre os parâmetros de medida, visual (metodologia tradicional) e eletrônico (protótipo placa solar fotovoltaica).

Observou-se que a placa solar fotovoltaica ao ser posicionada sob a copa das videiras não apresenta o mesmo comportamento de queda na tensão elétrica em proporção ao sombreamento artificial, conforme comprovado nos testes.

Figura 60: Teste em ponto aleatório utilizando a metodologia de obtenção do coeficiente da cultura (K_c) com a sistema da placa solar fotovoltaica



Fonte: Autor, 2019.

Tal comportamento pode ser atribuído ao fato de a superfície foliar apresentar características físicas diferentes do material utilizado artificialmente, proporcionando uma maior influência de radiação solar. Outro fator a ser observado é com relação à posição foliar em relação à incidência de radiação, que devido a diferentes ângulos pode favorecer ou não a incidência de radiação solar na superfície da placa fotovoltaica, influenciando a tensão de sombra.

Métodos de medição da área sombreada de videiras realizados de forma manual tem utilização intensiva de mão de obra, o que dificulta a viabilidade de execução. Com base nos resultados é possível observar a forte correlação entre os resultados dos testes comparativos para a obtenção do coeficiente da cultura (K_c) entre a placa solar fotovoltaica e metodologia tradicional de campo após ajuste da equação dos dados.

Tabela 6: Resultado dos testes comparativos para a obtenção do coeficiente da cultura (Kc) entre a placa solar fotovoltaica e a metodologia tradicional obtidos em condição de campo

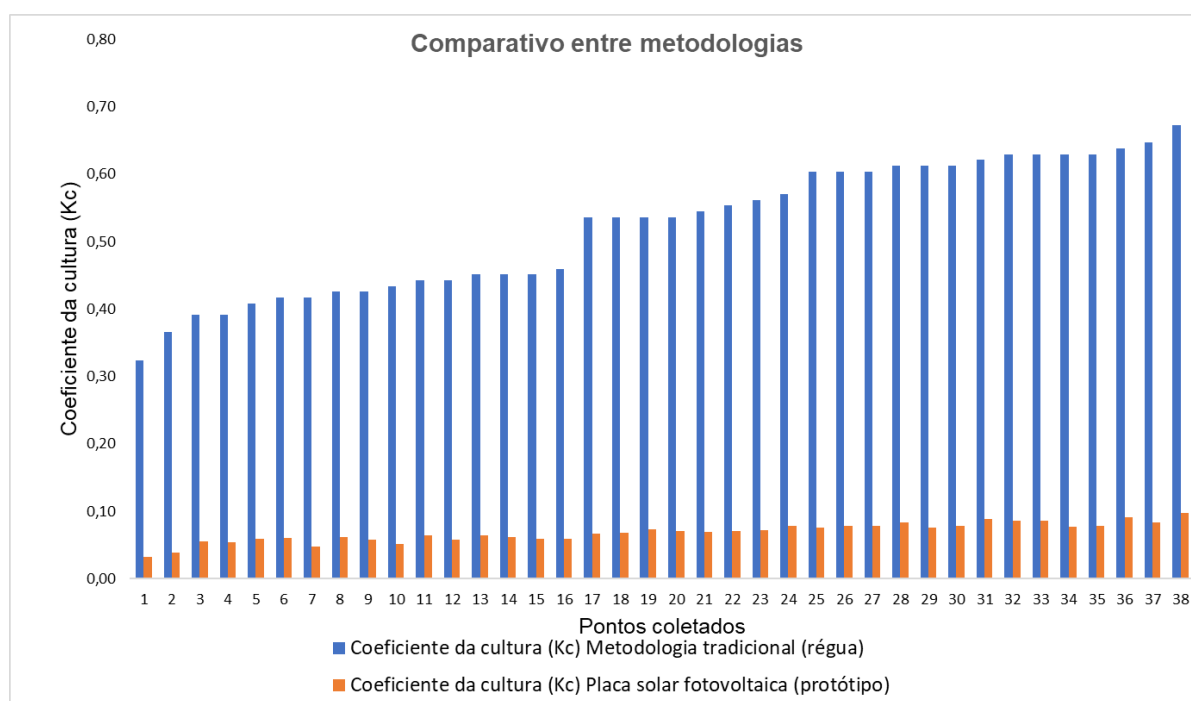
Pontos	Coeficiente da cultura (Kc) placa solar fotovoltaica (protótipo)	Coeficiente da cultura (Kc) Metodologia tradicional (régua)	Erro Relativo (%)
1	0,0779	0,5700	86,3421
2	0,0840	0,6125	86,2906
3	0,0981	0,6720	85,4048
4	0,0857	0,6295	86,3908
5	0,0666	0,5360	87,5690
6	0,0862	0,6295	86,3098
7	0,0887	0,6210	85,7118
8	0,0559	0,3915	85,7165
9	0,0588	0,4085	85,6034
10	0,0612	0,4255	85,6193
11	0,0394	0,3660	89,2268
12	0,0753	0,6040	87,5331
13	0,0756	0,6125	87,6506
14	0,0790	0,6125	87,0955
15	0,0908	0,6380	85,7727
16	0,0541	0,3915	86,1941
17	0,0576	0,4255	86,4583
18	0,0714	0,5530	87,0904
19	0,0726	0,5615	87,0739
20	0,0695	0,5445	87,2323
21	0,0637	0,4425	85,5955
22	0,0609	0,4170	85,4077
23	0,0688	0,5360	87,1567
24	0,0328	0,3235	89,8609
25	0,0578	0,4425	86,9401
26	0,0639	0,4510	85,8293
27	0,0728	0,5360	86,4272
28	0,0780	0,6040	87,0828
29	0,0780	0,6040	87,0828
30	0,0619	0,4510	86,2816
31	0,0593	0,4595	87,0903
32	0,0512	0,4340	88,2120
33	0,0483	0,4170	88,4245
34	0,0707	0,5360	86,8078
35	0,0590	0,4510	86,9224
36	0,0767	0,6295	87,8221
37	0,0779	0,6295	87,6330
38	0,0841	0,6465	86,9853
		Erro médio:	86,8381
		Desvio padrão:	1,0212

Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 6 ilustra todas as medições realizadas entre a metodologia tradicional em comparação com a medição realizada pelo protótipo da placa solar fotovoltaica.

A Figura 61 ilustra o gráfico com a dispersão de dados dos testes comparativos para a obtenção do coeficiente da cultura (K_c) entre a placa solar fotovoltaica e metodologia tradicional campo.

Figura 61: Dispersão de dados dos testes comparativos para a obtenção do coeficiente da cultura (K_c) entre a placa solar fotovoltaica e metodologia tradicional campo

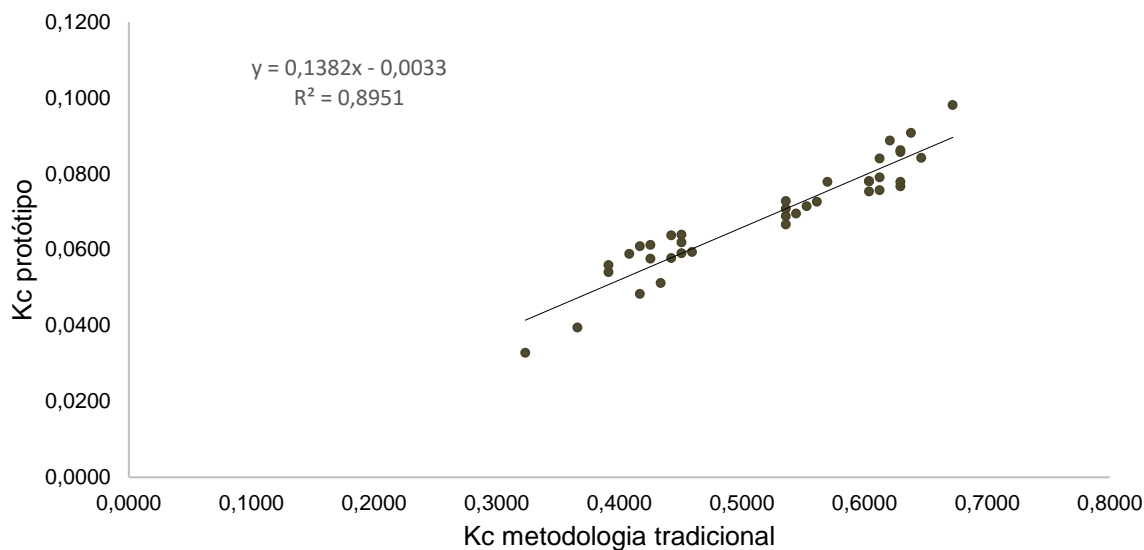


Fonte: Autor, 2019.

O gráfico ilustrado na Figura 61 demonstra de uma outra maneira as mesmas informações visualizadas na Tabela 6, dispostos em ordem crescente de valor para o coeficiente da cultura (K_c), mensurado pela metodologia tradicional.

O gráfico ilustrado na Figura 62 ilustra a dispersão dos pontos com relação a equação de ajuste proposta para a comparação dos resultados dos coeficientes da cultura (K_c) aferidos na metodologia tradicional e a metodologia proposta com o desenvolvimento do protótipo da placa fotovoltaica, o qual é possível verificar a dispersão dos pontos em função da reta.

Figura 62: Relação entre coeficiente da cultura (Kc) Placa Fotovoltaica X Metodologia Tradicional



Fonte: Autor, 2019.

Assim sendo, foi realizada medição em campo de 38 pontos amostrais, e após esta foi estabelecida a equação de correlação para os dados levando em conta tanto a medição do coeficiente da cultura (Kc) pelo protótipo quanto pela metodologia tradicional, obtendo a Equação 10. Na Tabela 7 e Figura 63 exemplifica-se a comparação dos dados do protótipo e metodologia tradicional (para os 38 pontos), evidenciando que os dados apresentam alta correlação (89,5% para equação linear) possibilitando o uso destes.

$$y = 0,1382x - 0,0033; R^2 = 0,8951 \quad (10)$$

em que,

x: coeficiente da cultura (Kc) obtido pela metodologia tradicional.

y: coeficiente da cultura (Kc) obtido pela metodologia do protótipo da placa fotovoltaica.

Tabela 7: Resultado dos testes comparativos para a obtenção do coeficiente da cultura (Kc) entre a placa solar fotovoltaica e a metodologia tradicional obtidos em condição de campo após ajuste da equação dos dados

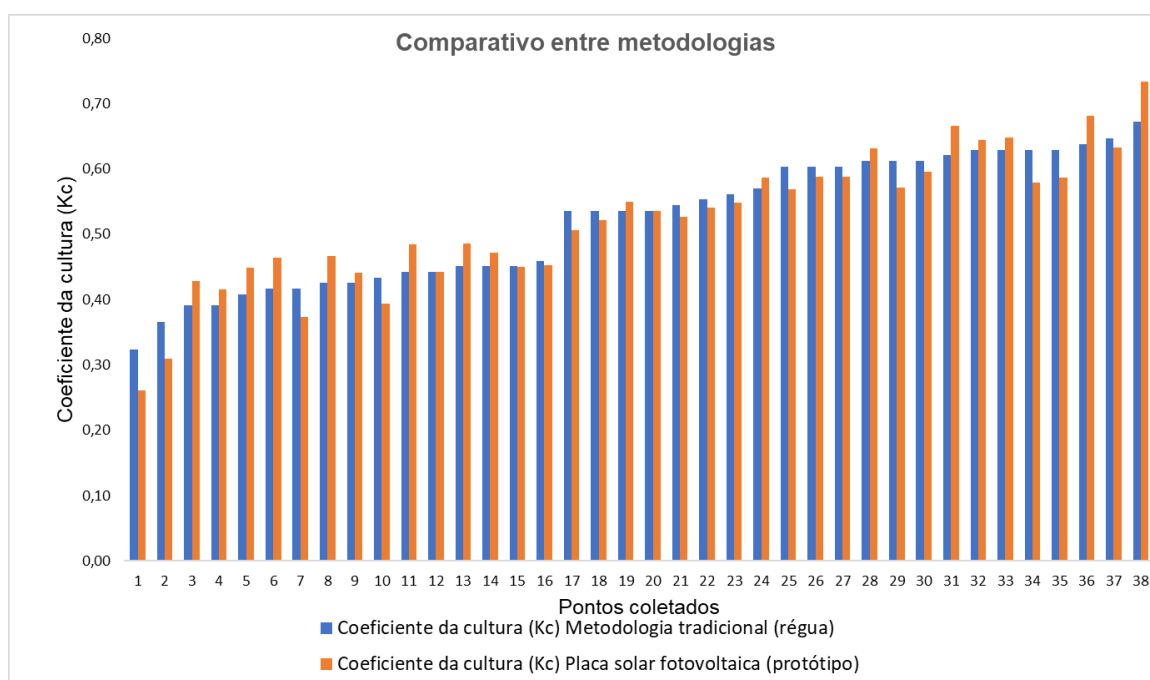
Pontos	Coeficiente da cultura (Kc) placa solar fotovoltaica (protótipo)	Coeficiente da cultura (Kc) Metodologia tradicional (régua)	Erro Relativo (%)
1	0,5872	0,5700	3,0162
2	0,6315	0,6125	3,0981
3	0,7336	0,6720	9,1629
4	0,6438	0,6295	2,2680
5	0,5060	0,5360	5,5959
6	0,6475	0,6295	2,8542
7	0,6659	0,6210	7,2333
8	0,4285	0,3915	9,4532
9	0,4494	0,4085	10,0174
10	0,4666	0,4255	9,6692
11	0,3092	0,3660	15,5220
12	0,5687	0,6040	5,8376
13	0,5712	0,6125	6,7427
14	0,5958	0,6125	2,7260
15	0,6807	0,6380	6,6897
16	0,4150	0,3915	5,9970
17	0,4408	0,4255	3,5982
18	0,5404	0,5530	2,2697
19	0,5491	0,5615	2,2156
20	0,5269	0,5445	3,2291
21	0,4851	0,4425	9,6258
22	0,4642	0,4170	11,3147
23	0,5220	0,5360	2,6125
24	0,2612	0,3235	19,2533
25	0,4420	0,4425	0,1038
26	0,4863	0,4510	7,8324
27	0,5503	0,5360	2,6659
28	0,5884	0,6040	2,5790
29	0,5884	0,6040	2,5790
30	0,4716	0,4510	4,5594
31	0,4531	0,4595	1,3903
32	0,3941	0,4340	9,2013
33	0,3732	0,4170	10,5144
34	0,5355	0,5360	0,0880
35	0,4507	0,4510	0,0773
36	0,5786	0,6295	8,0887
37	0,5872	0,6295	6,7208
38	0,6327	0,6465	2,1336
		Erro médio:	5,7510
		Desvio padrão:	4,2905

Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 7 ilustra o coeficiente da cultura (K_c) obtido pela medição utilizando-se a metodologia tradicional em comparação com as medições realizadas pela metodologia do protótipo da placa solar fotovoltaicas após a realização do ajuste de acordo com a equação aplicada. A Tabela 7 aborda também na última coluna da direita, o erro relativo médio calculado para cada comparação de resultado entre as metodologias.

Na Figura 63 é ilustrado a comparação entre cada ponto amostral, tanto para os resultados do coeficiente da cultura (K_c) obtidos com a metodologia tradicional, quanto pela metodologia do protótipo da placa solar fotovoltaica.

Figura 63: Dispersão de dados dos testes comparativos para a obtenção do coeficiente da cultura (K_c) entre a placa solar fotovoltaica e metodologia tradicional de campo após ajuste da equação dos dados



Fonte: Autor, 2019

Pode-se observar pela ilustração da Figura 63 que existe uma correlação entre os resultados obtidos pelas duas metodologias.

A estimativa do coeficiente da cultura (K_c) com base na porcentagem da sombra das videiras, realizada pelo protótipo, mesmo com a necessidade da equação

de correlação é uma forma precisa e possibilita a adoção desta metodologia, tornando-a viável para operações comerciais.

O protótipo desenvolvido é versátil, pois, sua estrutura modular permite que seja facilmente desmontado facilitando o transporte e ampliando as possibilidades de aplicação da sua utilização. A forma ágil da obtenção do coeficiente da cultura (Kc) proporciona funcionalidade e agilidade para o usuário, pois agrega juntamente com o cálculo da variável desejada, demais funcionalidades que facilitam a organização das informações como por exemplo, o armazenamento em cada medição da data, hora e coordenadas geográficas. A utilização de painéis solares como forma de realizar a medição da área sombreada da copa das plantas, para com isso obter o coeficiente da culta (Kc) de forma mais precisa e rápida, é possível e viável. Evidencia-se a importância da adoção de tecnologias capazes de obter os dados em tempo real e armazenamento destes de forma mais segura.

A Tabela 8 estabelece a comparação entre algumas características presentes na versão “Paso Panel” e no protótipo desenvolvido com este projeto.

Tabela 8: Comparativo entre as principais características do “Paso Panel” e o protótipo desenvolvido para o cálculo do coeficiente da cultura (Kc)

Características	Paso Panel	Projeto Placa Solar Fotovoltaica
Dimensões painel (comprimento, largura e espessura)	175 cm x 30 cm x 0,3 cm	168 cm x 48 cm x 0,3 cm
Estrutura modular	Não possui	Possui
Peso total	3,4 Kg	4,9 Kg
Obtenção dos dados	Visual (multímetro)	Automático (componente eletrônico)
Processamento dos dados coletados	Não possui	Possui
Armazenamento próprio	Não possui	Cartão de memória
Armazenamento externo	Não possui	Automático
Sistema <i>web</i> (exportação das informações)	Não possui	Possui
Cálculo automático da área sombreada (Fc)	Não possui	Automático
Cálculo automático do coeficiente da cultura (Kc)	Não possui	Automático
Georeferenciamento	Não possui	Automático
Registro data, hora e identificação	Não possui	Automático

Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 8 demonstra a comparação entre as principais características presentes nas metodologias de cálculo do coeficiente da cultura (K_c), utilizando dispositivos de placa solar fotovoltaicas para a medição da área sombreada da copa das plantas. A comparação foi realizada entre o dispositivo “Paso Panel” e o protótipo desenvolvido no projeto.

Ficou evidente com base nas informações que mesmo sendo mais pesado, o que não impede sua utilização, o protótipo desenvolvido agrega funcionalidades que não poder ser observadas no “Paso Panel”, como por exemplo, o mais importante deles que é o cálculo direto do coeficiente da cultura (K_c) pelo dispositivo de forma automática.

Outra condição que pode ser observada no protótipo desenvolvido é a possibilidade de se armazenar automaticamente, de forma eletrônica informações imprescindíveis às medições, como o próprio coeficiente da cultura (K_c), data e horas das medições, informações georreferenciadas de cada ponto (longitude, latitude e altitude).

Uma outra vantagem evidenciada e já discutida no trabalho é a modularização do mesmo, possibilitando maior facilidade no transporte, estendendo a sua utilização em inúmeras áreas.

O sistema *web* disponível para a importação das informações processadas no dispositivo é um diferencial importante a se observar mediante a oportunidade que ele proporciona ao usuário para armazenar na internet as informações processadas e poder manipulá-las ou compartilhá-las quando bem entender.

Em suma, as características do protótipo desenvolvido em comparação com o protótipo do “Paso Panel”, as colocam a favor da sua utilização, como uma excelente ferramenta para a obtenção do coeficiente da cultura.

6 CONCLUSÕES

O protótipo desenvolvido apresentou facilidade de aplicação em campo, mostrando agilidade para o processo de obtenção do cálculo do coeficiente da cultura (K_c) em videiras. O peso do equipamento desenvolvido é igual 4,9 kg, sendo possível de ser utilizado por técnicos.

A modularização da estrutura do protótipo permite que o mesmo seja desmontado e transportado facilmente em qualquer tipo de veículo, não necessitando assim de nenhuma forma exclusiva de transportes.

De posse dos testes realizados em campo mostrou-se a obtenção de parâmetros de coeficiente da cultura (K_c) com erro médio em torno de 5% quando comparada com a metodologia tradicional. De acordo com estas informações concluiu-se que o protótipo desenvolvido apresenta vantagens de aplicação em campo, tais como a agilidade e eficiência no processo.

A plataforma de prototipagem Arduino integrada a placa fotovoltaica quando comparada à metodologia tradicional permite a confecção de protótipo para obtenção do índice de fração média de cobertura do solo pelo dossel da planta (F_c) com eficiência e precisão dos dados.

O protótipo, programado na plataforma Arduino fornece o coeficiente da cultura (K_c) de forma automática.

Os cálculos das informações são disponibilizados pelo protótipo via *web* ou cartão de memória no formato de planilhas.

O armazenamento das informações processadas pelo protótipo em banco de dados por longos períodos pode proporcionar ao usuário a possibilidade de tratá-los e analisá-los (*Big Data*).

O protótipo possui fácil interação com o usuário.

O sistema de GPS embarcado do protótipo fornece data, hora, latitude, longitude e altitude com precisão de aproximadamente 2 metros e permite interação com ferramenta de mapeamento 3D para formar bancos de dados regionais.

A obtenção de F_c e K_c podem ser automatizados por meio do protótipo.

7 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

O projeto desenvolvido neste trabalho está à disposição para que seja utilizado em novos projetos e pesquisas complementares, podendo sofrer complementações em seu *software* e *hardware* original.

O potencial de aplicabilidade para projetos futuros pode ser exemplificado da seguinte forma:

- Mudanças na estrutura motivadas pelo surgimento de novos equipamentos, provenientes de evolução tecnológica.
- Aplicação do projeto em outras culturas comerciais, observando e levando em consideração as particularidades pertinentes a cada cultura.
- Desenvolvimento de um aplicativo móvel que contemple qualquer funcionalidade desejada pelos usuários.
- Implementação de novas formas de disponibilização dos resultados dos cálculos realizados pelo dispositivo, como por exemplo, conexão direta pela internet, etc.
- Realizar a calibração do equipamento com a situação de simulação de sombra da videira e observar eventual correlação.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P. E. P.; GUIMARÃES, D. P. Gestão da água na agricultura: coeficientes de cultivo (Kc) e de tanque classe A (Kp): um exemplo metodológico de estimativa do Kc da cultura do milho e do Kp para o Estado de Minas Gerais. *Item*, Brasília, v. 63, p. 12-19, 2004.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMUTH, M. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*, Rome: FAO, 301p. Irrigation and Drainage Paper 56, 1998.

ALVES, E. S., LIMA, D. F., BARRETO, J. A. S., SANTOS, D. P., SANTOS, M. A. L. Determinação do coeficiente de cultivo para a cultura do rabanete através de lisimetria de drenagem. *Revista Irriga*, Botucatu, 2017. Disponível em <<http://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2238>>. Acesso em 15 de outubro de 2019.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água volumes 1-2. 2010. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/downloads/atlas/ResumoExecutivo/AtlasBrasil-Volume1-Panorama Nacional.pdf>>. Acesso em 23 maio 2019.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Situação da água no mundo. Disponível em <<https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/agua-no-mundo>>. Acesso em 10 de outubro de 2019.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012. Brasília: ANA, 2012. 215p.

ANSCHAU, S. P. Protótipo de alimentador automático para a larvicultura datilápia (*Oreochromis niloticus*). Dissertação de Mestrado. Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2016. Disponível em <<http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/1952/1/Sandra%20P%20Anschau.pdf>>. Acesso em 21 de outubro de 2019.

APÓSTOLO, D. E. F. M. Soluções de Comunicação para Controlo e Monitorização de Motores. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2015.

ARCADIAN INCORPORATED. Gps SMA. Disponível em <<https://www.arcantenna.com/gpsgsmmmmsma-pctel-multi-band-low-profile-gps-l1-vehicle-tracking-support-uv-stability-824-896-mhz-1710-1990-mhz-magnetic-mount-sma-male.html>>. Acesso em 16 de outubro do 2019.

ARDUINO. Arduino Products. Disponível em <<https://www.arduino.cc/en/main/products>>. Acesso em 16 de janeiro de 2020.

ARDUINO. Arduino Mega 2560 Rev3. Disponível em <<https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>>. Acesso em 16 de outubro de 2019.

ARDUINO. What is Arduino? Arduino Foundation, 2019 Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 07 de abril 2019.

ASTRUP, A., JACOBSEN, J. C., ASTRUP, J. Lição 2: o que é HTML? 2016. Disponível em: <<http://ptbr.html.net/tutorials/html/lesson2.php>>. Acesso em: 19 dezembro de 2019.

ATZINGEN, G. V. V. Simulação, controle e automação de um forno tipo túnel utilizando tecnologia embarcada. Tese de Doutorado. Faculdade de zootecnia e engenharia de alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2017. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74132/tde-14062017-105834/publico/DO3268241COR.pdf>>. Acesso em 11 de outubro de 2019.

BATISTA, E. O. Sistemas de informação: o uso consciente da tecnologia para o gerenciamento. 2º ed, São Paulo: Editora Saraiva, 2012.

BACK, A.J. Variação da evapotranspiração de referência calculada em diferentes intervalos de tempo. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p.139-145, jan/abr, 2007.

BATTANY, M. A rapid method for measuring vine canopy shaded areas. University of California Cooperative Extension, 2006. San Luis Obispo, Califórnia. Disponível em <http://cesanluisobispo.ucanr.edu/newsletters/August_200627746.pdf>. Acesso em 22 de fevereiro de 2019.

BERGAMASCHI, Homero et al. Agrometeorologia aplicada à irrigação. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1999. 130 p.

BLUM, J. Explorando o Arduino: Técnicas e ferramentas para mágicas de engenharia. Rio de Janeiro, RJ, Alta Books Editora, 2018.

BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei nº 9.433/97, 1997. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em 18 de janeiro de 2020.

CALDEIRA, C. P. Introdução ao HTML (HyperText Markup Language). Departamento de Informática, Universidade de Évora, Portugal, 2015. Disponível em <<http://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/13240/1/Introdu%C3%A7%C3%A3o%20ao%20HTML.pdf>>. Acesso em 13 de janeiro de 2020.

CAMPOS A. Do LED ao Arduino: aprendendo eletrônica no século 21. 2015 Disponível em <<https://br-arduino.org/2015/04/como-fazer-jumpers-caseiros-melhores-do-que-os-dos-kits-chineses.html>>. Acesso em: 25 de abril de 2019.

CARVALHO, V. PostgreSQL: Banco de dados para aplicações web modernas. São Paulo: Casa do Código, 2015.

CAMARGO, U. A., TONIETTO, J., HOFFMANN, A. Progressos na viticultura brasileira. Revista Brasileira Fruticultura. Jaboticabal, 2011. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452011000500017>. Acesso em 12 de novembro de 2019.

CAMARGO, D. C. Conservação, uso racional e sustentável da água - manejo da irrigação: como, quando e quanto irrigar? Ministério do Meio Ambiente, Agência Nacional de Águas, Instituto de Pesquisa e Inovação na Agricultura Irrigada. Fortaleza 2016. Disponível em <https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/242/1/Manejo_da_Irrigacao-4h.pdf>. Acesso em 16 de janeiro de 2020.

CARDOSO, H.E.A.; MANTOVANI, E.C.; COSTA, L.C. As águas da agricultura. Agroanalysis. Instituto Brasileiro de Economia/Centro de Estudos Agrícolas. Rio de Janeiro. 1998. p.27-28.

CARVALHO, T. V. A importância da monitorização do clima, solo e planta para a gestão da rega na vinha. Dissertação de Mestrado. Universidade de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2015.

CHRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática de quimigação no Brasil e no mundo. ITEM, Brasília, n. 54, p. 46-55, 2002.

CHRISTOFIDIS, D. A água e a crise alimentar. Disponível em: <www.iica.org.br/Aguatrab/Demetrios%20Christofidis/P2TB01.htm> 1997. 14p. Acesso em 23 maio de 2019.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L. de. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. Bahia Agrícola, Salvador, v. 7, n. 1, p.57-60, set. 2005. Disponível em: <http://www.seagri.ba.gov.br/pdf/socioeconomia4_v7n1.pdf>. Acesso em 23 de maio de 2019.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Sistema de produção de uva de mesa do norte de Minas Gerais. Bento Gonçalves, RS: Embrapa Uva e Vinho, 2005.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Balanço hídrico em fruteiras. Bento Gonçalves, RS. Embrapa Uva e Vinho, 2010 (Embrapa Uva e Vinho, Circular técnica 82).

CONCEIÇÃO, M. A. F. Critérios para o manejo da irrigação de videiras em pequenas propriedades no Noroeste Paulista. Bento Gonçalves, RS: Embrapa Uva e Vinho, 2013. 25 p. (Embrapa Uva e Vinho. Circular técnica 98).

CONCEIÇÃO, M.A.F. Ajuste do modelo de Hargreaves para estimativa da evapotranspiração de referência no noroeste paulista. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v.7, n.5, p.306-316, 2013.

CONCEIÇÃO, M.A.F., TECCHIO, M. A., SOUZA, R. T., SILVA, M. J. R., MOURA, M. F. Estimativa dos coeficientes de cultivo (kc) de videiras para suco. Revista da

Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, v.25, n.1, p.191-198, Passo Fundo, 2017. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1075828/estimativa-dos-coeficientes-de-cultivo-kc-de-videiras-para-suco>>. Acesso em 16 de outubro de 2019.

COSTA, T. A. C. R. Segurança hídrica no município de Humaitá/AM com aplicação do Arduino. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas, 2019. Disponível em <https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/7373/6/Disserta%c3%a7%c3%a3o_Tayson_Costa_PPGCA>. Acesso em 21 de outubro de 2019.

DALL'OGGIO, P. PHP: Programando com orientação a objetos. 4ª Edição, São Paulo: Novatec Editora Ltda, 2018.

DUARTE, N. F. B. Frameworks e Bibliotecas JavaScript. Dissertação Mestrado em Engenharia Informática. Porto, 2015. Disponível em <https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/8223/1/DM_NunoDuarte_2015_MEI.pdf>. Acesso em 15 de dezembro de 2019.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i7251o.pdf>>. Acesso em: 12 de novembro de 2019.

FAO. Global Aquaculture Production statistics database updated to 2013. Summary information. Rome. 2015.

FEITOSA, D. G., HERNADES, F. B. T., FRANCO, R. A. M., TEIXEIRA, A. H. C. Estimativa da evapotranspiração de referência mensal no noroeste paulista. V WINOTEC – Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação, Fortaleza, 2012. Disponível em <http://www2.feis.unesp.br/irrigacao/pdf/winotec2012/Diego/Diego_2012.pdf>. Acesso em 12 de novembro de 2019.

FILHO, R. M. L. Sistema de monitoramento inteligente de uma horta escolar baseado na plataforma Arduino. Monografia de Conclusão de Curso. Itacoatiara, 2017. Disponível em <<http://repositorioinstitucional.uea.edu.br/bitstream/riuea/858/1/Sistema%20de%20monitoramento%20inteligente%20de%20uma%20horta%20escolar%20baseado%20na%20plataforma%20arduino.pdf>>. Acesso em 12 de novembro de 2019.

FILIFELOP. GPS Mini NEO-7N com Conector para Antena SMA. Disponível em <<https://www.filife flop.com/produto/gps-mini-neo-7n-com-conector-para-antena-sma/>>. Acesso em 16 de outubro de 2019.

FLANAGAN, D. JavaScript: O guia definitivo. 6ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2013.

FOLEGATTI, M. V. Manejo da Irrigação. Esalq, Universidade de São Paulo. Disponível em

<http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Folegatti/leb1571/05_Evapotranspiracao_manejo.pdf>. Acesso em 16 de outubro de 2019.

FRIZZARIN, F. B. Arduino: Como colocar suas ideias em prática. São Paulo, SP. Editora Casa do Código, 2016.

GOTARDO, R. A. Linguagem de programação. Rio de Janeiro: Editora SESES, 2015.

GIMENES, I. M. S., Ferramentas CASE. IX Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software, Recife, Brasil, 1995. Disponível em <<https://www.escavador.com/sobre/9285072/itana-maria-de-souza-gimenes>>. Acesso em 14 de janeiro de 2019.

GUEDES, G. T. A. UML 2.0. Guia Prático. São Paulo: Novatec Editora Ltda, 2014. P. 83.

HERNANDEZ, F.B.T. A água e a formação do Estado Egípcio (5000/3000a.C.), 2009. Área de Hidráulica e Irrigação. Disponível em: <<https://irrigacao.blogspot.com.br/2009/10/agua-e-formacao-do-estado-egipcio.html>>. Acesso em 23 maio de 2019.

HOEKSTRA, A. Y.; HUNG, P. Q. Virtual Water Trade: A Quantification of Virtual Water Flows between Nations in Relation to International Crop Trade. Unesco/IHE, Value os Water, Research Report Series, n.11, sept, 2002. Disponível em <www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000110&pid=S1415-4366201300010001400017&lng=en>. Acesso em 12 de novembro de 2019.

JÚNIOR, J. C., PATRICIO, R. G. Computação: Desenvolvimento para Web. Fortaleza: UECE, 2015.

KAWANO, M. Geração de energia elétrica por ondas marinhas gerenciadas por microcontroladores. Tese de Doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3140/tde-15072016-161226/publico/MarioKawano2015.pdf>>. Acesso em 13 de outubro de 2019.

LAUDON, K. C., LAUDON, J. P. Sistemas de Informação Gerenciais. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 11a. Edição, 2014.

LEITE, M. A., DIAS, F. Z. HERNANDEZ, F. B. T., OLIVEIRA, J. N. Usos múltiplos da água. In: DORNFELD, C. B.; TALAMONI, A. C. B.; QUEIROZ, T. V. O Jogo digital na sala de aula - água, ação e reflexão: elaboração de jogo digital para a Educação Básica. Ilha Solteira: Unesp, 2019. Cap. 4. p. 44-57. Disponível em <<http://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/752/1/Dornfeld-Talamoni-Queiroz-2019-E-book-Jogos%20digitais-Agua-acao-reflexao.pdf#page=45>>. Acesso em 22 de setembro de 2019.

LIMA, P.R. G. Reciclagem da água: uma alternativa metodológica em educação ambiental. Trabalho de conclusão de Curso. Universidade do estado do Pará, Belém, 2009.

LIMA, D. C.; CHAVES, M.; LIMA, A. C.; LIMA, D. L. Reuso de água para a irrigação: Uma abordagem reflexiva. II Colóquio Sociedade, Políticas Públicas, Cultura e Desenvolvimento-CEURCA, Crato, CE, 2012.

LIMA, F.B.; SANTOS, G.O. Balanço hídrico-espacial da cultura para o uso e ocupação atual da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Rita, Noroeste do Estado de São Paulo. 2009. 89 f. Monografia. Fundação Educacional de Fernandópolis, Fernandópolis -SP, 2009.

MAIA, C. E., MORAIS, E. R. C. Coeficiente de cultura do meloeiro irrigado com água salina estimado por modelo matemático. Ciências Rurais, Santa Maria, v. 38, n. 5, p.1273-1278, ago. 2008.

MANSO, A., OLIVEIRA, L., MARQUES, C. G. Ensino da programação através da linguagem algorítmica e fluxográfica. Instituto Politécnico de Tomar, Portugal, 2009. Disponível em <http://orion.ipt.pt/~manso/papers/2009/Fluxogramas_CISTI_2009.pdf>. Acesso em 16 de janeiro de 2020.

MATESE A., VACCARI F. P., TOMASI D., DI GENNARO S. F., PRIMICERIO J., SABATINI F., GUIDONI S. CossVit: Enhancing canopy monitoring management practices in viticulture. Junho de 2013. Disponível em <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3715217/>>. Acesso em 05 de abril de 2019.

MENDONÇA, J. C. et al. Determinação do coeficiente cultural (Kc) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em Campos dos Goytacazes, RJ. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande/Pb, v. 11, n. 5, p.471-475, dez. 2007.

MILANI, A. PostgreSQL – Guia do programador. São Paulo, 2008: Novatec Editora Ltda, 2008.

MOREIRA, L.C.J.; DURAND, B.J.; TEIXEIRA, A.S.; ANDRADE, E.M. Variabilidade local e regional da evapotranspiração estimada pelo algoritmo sebal. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p.1148-1159, nov./dez. 2010.

MOZILLA, O que é CSS? Learn the best of web development, 2019. Disponível em <https://developer.mozilla.org/pt-PT/docs/Web/CSS/Como_come%C3%A7ar/O_que_%C3%A9_CSS>. Acesso em 16 de dezembro de 2019.

MUNDO EDUCAÇÃO. Distribuição da Água no Brasil. Disponível em <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/distribuicao-agua-no-brasil.htm>>. Acesso em 19 de outubro de 2019.

NETO, O. P. S., SANTOS, N. M., AGUIAR, S. E. V. Introdução à Programação para Web. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, 2013. Disponível em <http://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/612/Introducao_Programacao_web_PB_marcadecorte.pdf?sequence=6&isAllowed=y>. Acesso em 18 de dezembro de 2019.

NOVA ELETRONICS. Tutorial de Como Usar e Montar Circuitos na Protoboard. Disponível em <<http://blog.novaeletronica.com.br/tutorial-de-como-usar-e-montar-circuitos-na-protoboard/>>. Acesso em 17 de outubro de 2019.

O'BRIEN, J. A. Sistemas de informação e as decisões gerenciais na era da internet. 2. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2004.

OLIVEIRA, J.P., Desenvolvimento de uma Estação Para Medição de Variáveis Ambientais Utilizando a Plataforma de Prototipagem Eletrônica Arduino. 2018. 26folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/183183/001076952.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 21 de outubro de 2019.

ONU. World Population Prospects 2019. New York, 2019. Disponível em <<https://population.un.org/wpp/>>. Acesso em 12 de novembro de 2019.

ONU. Assessment of Freshwater Resources. Earth Summit+5, New York, p.23-27, jun. 1997. Disponível em: <<http://www.un.org/ecosocdev/geninfo/sustdev/waterrep.htm>>. Acesso em: 25 maio de 2019.

ONU. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em <<http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/901168/>>. Acesso em: 04 abril de 2019.

PAZ, V.P.S.; TEODORO, R.E.F.; MENDONÇA, F.C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.3, p. 465-473, 2000. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662000000300025&script=sci_arttext>. Acesso em: 26 maio de 2019.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PHP. O que é o PHP? The PHP Group, 2019. Disponível em <https://www.php.net/manual/pt_BR/intro-what-is.php>. Acesso em 17 de dezembro de 2019.

- POTENTIAL LABS. SD Card Module. Disponível em <<https://potentiallabs.com/cart/buy-sd-card-module-arduino-hyderabad-india>>. Acesso em 16 de outubro de 2019.
- PRANDO, E. P. Sistema web de manejo da irrigação – SISMMI. Dissertação de Mestrado – Unicastelo, 2014.
- PROESI. Cabos e jumper. Disponível em <<https://proesi.com.br/robotica/cabos-e-jumper.html>>. Acesso em 17 de outubro de 2019.
- REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. Barueri (SP): Manole, 1990.
- RIACHI, F. A. Designers, please mind the gap! Let's get started with Arduino. 2019. Disponível em <<https://www.slideshare.net/FahedAIRiachi/designers-please-mind-the-gap-35278771>>. Acesso em 16 de outubro de 2019.
- ROBOCORE. Módulo I2C – Primeiros passos. Disponível em <<https://www.robocore.net/tutoriais/primeiros-passos-com-modulo-i2c.html>>. Acesso em 02 de junho de 2019.
- ROBOCORE. Como utilizar uma protoboard. Disponível em <<https://www.robocore.net/tutoriais/como-utilizar-uma-protoboard.html>>. Acesso em 23 de abril de 2019.
- RODRIGUES, S. C. Estudo e Implementação de Interfaces Web em HTML5. Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal, 2014. Disponível em <https://mei.di.uminho.pt/sites/default/files/dissertacoes/eeum_di_dissertacao_pg20200.pdf>. Acesso em 19 de dezembro de 2019.
- SANTOS, G. O., VANZELA, L. S., FARIA, R. T. Manejo da água na agricultura irrigada. Associação brasileira de engenharia agrícola, Jaboticabal, boletim técnico no.2, 2018.
- SILVA, B. M.; SILVA, E. A; OLIVEIRA, G. S.; FERREIRA, M. M.; SERAFIM, M. M. Capacidade de água disponível no solo para as plantas: métodos de estimativa e implicações. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, vol.38, no.2, 2014.
- SILVA, João Batista Lamari Palma e. Desenvolvimento de Sistema para Monitoramento de Estruturas com Utilização da Plataforma Arduino. 2018. 163f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2018. Disponível em <<http://tede.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/bitstream/tede/1145/2/Joao%20Batista%20Lamari%20Palma%20e%20Silva.pdf>>. Acesso em 21 de outubro de 2019.
- SILVA, F. B. Consumo de água de culturas cultivadas em perímetros irrigados na bacia do São Francisco: relações de equivalência e influência na produção de energia elétrica. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, 2015. Disponível em

<<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/7324/texto%20completo.pdf?squence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 28 de maio de 2019.

SILVA, E. C. R., ALVES, F. B, SILVA, I. I. S. Agricultura irrigada no contexto amazônico: uma abordagem sistemática do uso da água em uma horticultura no município de Altamira-PA, 2015. Disponível em <https://www.researchgate.net/profile/Eliezer_Claudio/publication/307168135_AGRICULTURA_IRRIGADA_NO_CONTEXTO_AMAZONICO_UMA_ABORDAGEM_SISTEMATICA_DO_USO_DA_AGUA_EM_UMA_HORTICULTURA_NO_MUNICIPIO_DE_ALTAMIRA-PA/links/57c3505308aeda1ec3919598.pdf>. Acesso em 04 de abril de 2019.

SILVA, M. S. JavaScript: Guia do programador. São Paulo: Novatec Editora Ltda, 2010.

SPARKFUN. What is an Arduino? Newot, Colorado. Disponível em <<https://learn.sparkfun.com/tutorials/what-is-an-arduino/all>>. Acesso em 12 de novembro de 2019.

SUPORTE GEOGRÁFICO. A água no mundo. Almanaque Brasil Socioambiental, 2008. Disponível em <<https://suportegeografico77.blogspot.com/2018/03/a-agua-no-mundo.html>>. Acesso em 16 de outubro de 2019.

TELES, A. P. A linguagem de programação Cm. Dissertação de Mestrado. Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação, da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993. Disponível em <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/275944/1/Teles_AlexandrePrado_M.pdf>. Acesso em 17 de janeiro de 2020.

TESTEZLAF, R. Irrigação: métodos, sistemas e aplicações. Campinas, SP. Unicamp/FEAGRI, 2017. Disponível em <<https://www.bibliotecadigital.unicamp.br>>. Acesso em 12 de novembro de 2019.

TUNDISI, J.G. Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro. coord. 76p. Il. 2014. Disponível em <<http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-5923.pdf>>. Acesso em 12 de novembro de 2019.

U-BLOX. NEO-7 u-blox 7 GNSS modules data sheet. Disponível em <https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-7_DataSheet_%28UBX-13003830%29.pdf>. Acesso em 27 de março de 2019.

UNESCO - A Ética do Uso da Água Doce: um levantamento. Brasília: UNESCO, 2001. 80p.

USINAINFO. Display de LCD 20x4 com módulo I2C. Disponível em <<https://www.usinainfo.com.br/displays-arduino/display-lcd-20x4-com-fundo-azul-2727.html>>. Acesso em 03 de junho de 2019.

USINAINFO. Sensor de Tensão DC 0-25V. Disponível em <<https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-tensao-arduino/sensor-de-tensao-dc-0-25v-3425.html>>. Acesso em 03 de abril de 2019.

VIDA DE SILÍCIO. Módulo ACS712 – Medindo Corrente Elétrica Alternada e Contínua com Arduino. Disponível em <<https://portal.vidadesilicio.com.br/acs712-medindo-corrente-eletrica-alternada-continua/>>. Acesso em 16 de outubro de 2019.

VILA NOVA, N. A. et al. Estimativa do coeficiente de cultura do cafeeiro em função de variáveis climatológicas e fitotécnicas. 2. ed. Vitória -Es: li Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2001.

VOLTAN, D. S. Desenvolvimento de um sistema computacional integrado para monitoramento de parâmetros físico-químicos da água e análise óptica de gotejadores. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2016. Disponível em <<http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq1380.pdf>>. Acesso em 13 de outubro de 2019.

ZARDINI, C. S. Aproveitamento de água de chuva -estudo da viabilidade em diferentes capitais brasileiras. 2014. Disponível em <https://www.eec.ufg.br/up/140/o/APROVEITAMENTO_DE_%C3%81GUA_DE_CHUVA_-_ESTUDO_DA_VIABILIDADE_EM_DIFERENTES_CAPITAIS_BRASILEIRAS.pdf>. Acesso em 23 de maio de 2019.

WILLIAMS, L. E., AYARS, J. E. Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 132, 201-211, 2005.