

PROTÓTIPO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO BASEADO EM SISTEMAS EMBARCADOS

*Isaque Felipe de Araújo¹; Matheus Henrique de Paula Cunha²; Marcelo Lucas
Universidade de Uberaba*

isaquefaraujo@gmail.com; suethamhenrique@hotmail.com; marcelo.lucas.eng@gmail.com

Resumo

Agricultura é fundamental para a subsistência e desenvolvimento da sociedade, impulsionando avanços na engenharia de computação. Neste trabalho, foi desenvolvido um protótipo de sistema de irrigação baseado em sistemas embarcados voltado para a agricultura familiar. Utilizando a plataforma Arduino, o sistema automatiza a irrigação com base na temperatura ambiente, promovendo o uso eficiente dos recursos hídricos e aumentando a produtividade agrícola. O projeto enfrentou desafios relacionados à calibração dos sensores e à integração dos componentes, mas obteve resultados promissores e contribuiu para soluções sustentáveis e inovações tecnológicas na agricultura de precisão.

O desenvolvimento do protótipo foi dividido em etapas, começando pela definição dos requisitos da agricultura familiar em relação à irrigação. Em seguida, foram pesquisados e selecionados os sensores adequados para monitorar a temperatura e a umidade do solo. O circuito eletrônico foi projetado e os componentes foram integrados, seguidos pela calibração dos sensores para garantir medições precisas. O protótipo físico do sistema de irrigação foi montado, e testes foram realizados para validar seu desempenho. Os resultados mostraram a viabilidade e eficácia do sistema, com potencial para melhorar a eficiência da irrigação na agricultura familiar, contribuindo para práticas sustentáveis e aumentando a produtividade em pequenas propriedades.

Em conclusão, o protótipo de sistema de irrigação baseado em sistemas embarcados desenvolvido neste trabalho apresenta resultados promissores e contribuiu para a melhoria da eficiência e sustentabilidade na agricultura familiar. A automação da irrigação e o monitoramento da temperatura ambiente permitem um uso mais sustentável dos recursos hídricos, evitando desperdícios e garantindo a saúde das plantas. A acessibilidade e simplicidade do sistema, utilizando a plataforma Arduino, tornam essa solução viável e replicável para agricultores familiares, promovendo práticas sustentáveis e aumentando a produtividade agrícola em pequenas propriedades.

Palavras-chave: Agricultura familiar. Sistemas embarcados. Irrigação. Sustentabilidade.

1 Introdução

Agricultura é uma das atividades fundamentais para a subsistência e o desenvolvimento de uma sociedade. A crescente demanda por alimentos e a necessidade de otimização dos recursos naturais têm impulsionado o avanço de soluções inovadoras no campo da engenharia de computação. Nesse contexto, os sistemas embarcados têm se destacado como uma tecnologia promissora, possibilitando o desenvolvimento de protótipos inteligentes e eficientes para diversas aplicações agrícolas.

O presente trabalho tem como objetivo a construção de um protótipo de sistema de irrigação baseado em sistemas embarcados, voltado para a agricultura familiar. Agricultura Familiar é a principal responsável pela produção dos alimentos que são disponibilizados para o consumo da população brasileira. É constituída de pequenos produtores rurais, povos e comunidades tradicionais, assentados da reforma agrária, silvicultores, aquicultores, extrativistas e pescadores. (Ministério da Agricultura, 2019). Dessa forma, é essencial buscar soluções acessíveis e sustentáveis que atendam às necessidades desses agricultores.

No contexto do projeto, utilizou-se a plataforma Arduino, amplamente reconhecida pela sua versatilidade e facilidade de programação. O sistema de irrigação desenvolvido é capaz de identificar a temperatura ambiente e iniciar o processo de irrigação de forma automatizada, proporcionando um uso mais eficiente dos recursos hídricos e contribuindo para o aumento da produtividade agrícola.

Durante o desenvolvimento do protótipo, foram enfrentados desafios relacionados à calibração dos sensores e à integração dos componentes, que exigiram a aplicação de conhecimentos teóricos e habilidades multidisciplinares. Além disso, decisões de design foram tomadas visando a simplicidade e a facilidade de uso do sistema, como a organização dos cabos e ligações por cores, bem como a disposição dos componentes em uma caixa de ligações.

A relevância desse projeto no campo da engenharia de computação é evidenciada pela aplicação prática dos conhecimentos teóricos adquiridos durante a graduação, bem como pelo potencial de contribuição para soluções sustentáveis e inovações tecnológicas. De acordo com Câmara et al. (2018), os sistemas embarcados

desempenham um papel crucial na agricultura de precisão, permitindo a automação e o monitoramento de diferentes processos agrícolas, com impactos significativos na eficiência produtiva e na redução do desperdício de recursos.

Nesse contexto, o presente trabalho busca explorar as etapas do processo de desenvolvimento do protótipo, os principais desafios enfrentados e as conclusões obtidas a partir dos resultados dos testes realizados. Além disso, serão discutidas as possíveis aplicações práticas do sistema de irrigação, com foco na agricultura familiar, bem como suas limitações e restrições em relação ao uso e implementação.

2 Materiais e Métodos

Para alcançar os objetivos propostos, o projeto foi dividido em etapas distintas, envolvendo desde a pesquisa e seleção de componentes até a validação do protótipo desenvolvido. A seguir, descreveremos as principais etapas da metodologia adotada:

2.1 Definição dos requisitos

Nesta etapa, foram identificadas as necessidades específicas da agricultura familiar em relação à irrigação, levando em consideração aspectos como o tamanho das áreas de cultivo, a disponibilidade de recursos hídricos e os requisitos de automação.

2.2 Pesquisa e seleção de sensores:

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica abrangente para identificar os sensores mais adequados para monitorar a temperatura e a umidade do solo. Foram considerados critérios como precisão, confiabilidade, facilidade de integração com a plataforma Arduino e custo-benefício. Com base nessa pesquisa, foram selecionados o termômetro termopar tipo K com módulo max6675 e o sensor de umidade de solo higrômetro (módulo hw-080 / comparador hw-103).

2.3 Materiais do circuito eletrônico:

Com base nos requisitos identificados e nos sensores selecionados, foi projetado o circuito eletrônico necessário para o funcionamento do sistema de irrigação, tendo como componentes necessários para o desenvolvimento do protótipo:

- Fonte DC 12v
- Módulo relé 12v 2 canais
- Leitor micro SD
- Termômetro termopar tipo K com módulo max6675
- Sensor de umidade de solo higrômetro (módulo hw-080 / comparador hw-103)
- Shield sensor uno v5.0 expansão
- Arduino Uno R3

- Fio jumper fêmea/fêmea
- Cabo flexível 1mm
- Interruptor liga/desliga
- Conector adaptador plug p4 macho com Borne kre
- Regulador de tensão step down Buck conversor DC DC lm2596 3A
- Conector xt60
- Caixa Plástica Hermética Multiuso

2.3 Programação:

Primeiramente foi definido a plataforma a ser utilizada para a programação, Arduino IDE. Posteriormente, foi estabelecido as regras e a lógica de controle do sistema, definindo os parâmetros de acionamento do sistema de irrigação com base nos dados coletados pelos sensores. Também foi implementada a funcionalidade de armazenar as informações coletadas no leitor micro SD para posterior análise:

2.3.1 Arduino IDE

A programação do Microcontrolador Arduino foi realizada utilizando o Arduino IDE, ambiente de desenvolvimento integrado amplamente utilizado para programação de placas Arduino. Essa plataforma de código aberto oferece uma interface amigável que simplifica o processo de desenvolvimento de projetos eletrônicos e a programação de microcontroladores.

O Arduino IDE é conhecido por sua simplicidade e facilidade de uso, tornando-se uma escolha popular tanto para iniciantes como para profissionais. Ele foi projetado com o objetivo de tornar a programação de hardware mais acessível, permitindo que pessoas com diferentes níveis de habilidade em programação possam criar seus próprios dispositivos eletrônicos.

Uma das principais características do Arduino IDE é seu editor de código embutido. Ele oferece recursos como realce de sintaxe, sugestão de código e indentação automática, tornando a escrita de código mais fácil e eficiente. Além disso, o IDE possui uma vasta biblioteca padrão com funções pré-programadas que permitem aos usuários aproveitar recursos comuns, como controle de pinos, comunicação serial e temporização.

2.3.2 Desenvolvimento do Código:

No início do código são declaradas as bibliotecas necessárias para o funcionamento do programa. Isso inclui bibliotecas para o controle do display LCD, leitura de sensores, comunicação com o cartão SD e outras funcionalidades específicas.



Figura 1: Bibliotecas utilizadas.

```

1 //----- BIBLIOTECAS USADAS -----
2 #include <max6675.h> // SENSOR DE TEMPERATURA
3 #include <SPI.h>
4 #include <Wire.h>
5 #include <LiquidCrystal_I2C.h> // DISPLAY LIQUIDO COM I2C
6 #include <SdFat.h> //GRAVADOR DE CARTÃO SD
    
```

Em seguida, são definidas constantes e variáveis globais que serão utilizadas ao longo do código. Essas constantes e variáveis são usadas para armazenar valores fixos, como pinos de entrada e saída, ou para armazenar informações que serão atualizadas durante a execução do programa, como leituras de sensores.

Tabela 1: Variáveis.

Variáveis	Função no código
VLR_GRAUS	Valor do sensor de temperatura (float)
MED_GRAUS	Valor da média da temperatura (float)
SOMA_GRAUS	Somatório das temperaturas durante 24 horas (unsigned int)
TOTAL_LEIT	Total de leituras das temperaturas durante 24 horas (unsigned int)
CONT_ACI_BOMBA	Contador de acionamento das bombas (unsigned long)
TEMP_ACI_BOMBA	Tempo total de acionamento das bombas (em milissegundos) (unsigned long)
ULTM_ATI_BOMBA	Tempo do último acionamento das bombas (em milissegundos) (unsigned long)
Func_Bomba1	Texto que retorna a condição do relé 1 - "LIGADO" ou "DESLIGADO" (String)
Func_Bomba2	Texto que retorna a condição do relé 2 - "LIGADO" ou "DESLIGADO" (String)
VLR_UMI_1	Valor percentual de umidade do solo - Sensor 1 (int)
VLR_UMI_2	Valor percentual de umidade do solo - Sensor 2 (int)
VLR_LDR	Valor do LDR (int)
VLR_COND	Valor da condição (int)
condicao	Texto que retorna "NOITE", "NUBLADO", "SOL FRACO" ou "SOL FORTE" (String)

Tabela 2: Constantes

Constantes	Função no código
DIS_COL	Número de colunas do display (16)
DIS_LIN	Número de linhas do display (2)
DIS_END	Endereço hex do display liquido com I2C (0x27)
PIN_SO	Pino digital do sensor de temperatura (5)
PIN_CS	Pino digital do sensor de temperatura (6)
PIN_SCK	Pino digital do sensor de temperatura (7)
PIN_BOMBA_1	Pino digital do relé 1 (2)
PIN_BOMBA_2	Pino digital do relé 2 (3)
PIN_UMIDADE_1	Pino analógico do sensor 1 de umidade do solo (A0)
PIN_UMIDADE_2	Pino analógico do sensor 2 de umidade do solo (A1)
SOLO_SECO	Valor medido com o solo seco (400)
SOLO_MOLHADO	Valor medido com o solo molhado (150)
PERC_SECO	Menor percentual do solo seco (0)
PERC_MOLHADO	Maior percentual do solo molhado (100)
PIN_LDR	Pino analógico do LDR (A3)
LIM_NOITE	Valor de referência para a condição "NOITE" (300)
LIM_NUBLADO	Valor de referência para a condição "NUBLADO" (700)
LIM_ENSOLARADO	Valor de referência para a condição "ENSOLARADO" (900)
PIN_SS	Pino escravo para a gravadora (10)
delay_display	Tempo de delay para mostrar os dados no display (3000, em milissegundos)
delay_leitura	Tempo

Após a definição das constantes e variáveis, o programa faz a configuração inicial, que pode incluir a inicialização do display LCD, configuração dos

pinos e sensores, e estabelecimento da comunicação com o cartão SD. A função “setup()” é responsável pela configuração inicial do programa. Nela, são realizadas tarefas como a inicialização dos pinos de entrada e saída, a configuração do display LCD e a abertura do arquivo no cartão SD para gravação dos dados.

Figura 2: Função setup ().

```

95 void setup() {
96   Serial.begin(9600); // INICIALIZANDO A COMUNICAÇÃO SERIAL
97
98   Led.init(); // INICIALIZANDO O DISPLAY
99   Led.backlight(); // LIGANDO A LUT DO DISPLAY
100  Led.clear(); // LIMPANDO O DISPLAY
101
102  Led.setCursor(0, 0); //LINHA DE CIMA - QUANTO ESQUERDO
103  Led.print("SIS - SISTEMA DE");
104  Led.setCursor(0, 1); //LINHA DE BAIXO - QUANTO ESQUERDO
105  Led.print("IRRIGACAO SIMPLES");
106
107
108  //VERIFICAÇÃO E CRIAÇÃO DO ARQUIVO TXT NO SD
109  if (!SD_CARD.begin(PIN_SS, SPI_HALF_SPEED)) SD_CARD.initErrorsHalt();
110  // Abre o arquivo log.txt
111  if (!LOG_SIS.open("log.txt", O_RDWR | O_CREAT | O_AT_END)) {
112    SD_CARD.errorsHalt("Erro na abertura do arquivo log.txt!");
113  }
114
115  pinMode(PIN_LDR, INPUT); // DECLARANDO O PINO "PIN_LDR" COMO ENTRADA
116  pinMode(PIN_UMIDADE_1, INPUT); // DECLARANDO O PINO "PIN_UMIDADE_1" COMO ENTRADA
117  pinMode(PIN_UMIDADE_2, INPUT); // DECLARANDO O PINO "PIN_UMIDADE_2" COMO ENTRADA
118
119  pinMode(PIN_BOMBA_1, OUTPUT); // DECLARANDO O PINO "PIN_BOMBA_1" COMO SAÍDA
120  pinMode(PIN_BOMBA_2, OUTPUT); // DECLARANDO O PINO "PIN_BOMBA_2" COMO SAÍDA
121
122  digitalWrite(PIN_BOMBA_1, HIGH);
123  digitalWrite(PIN_BOMBA_2, HIGH);
124
125  delay(2000); // 2 SEGUNDOS
    
```

Em seguida, temos a função “loop”. Dentro dessa função, ocorre a leitura dos sensores, o cálculo da média de temperatura, o acionamento das bombas, a atualização do display LCD e a gravação dos dados no cartão SD. Essas tarefas são executadas até que o programa seja interrompido.

Figura 3: Função loop ().

```

128 void loop() {
129   UMIDADE_1();
130   UMIDADE_2();
131   TEMPERATURA();
132   LUMINOSIDADE();
133
134   while (true) {
135     unsigned long DELAY_ATUAL = millis();
136
137     if (DELAY_ATUAL - MIL_LEITURA >= delay_leitura) {
138       UMIDADE_1();
139       UMIDADE_2();
140       TEMPERATURA();
141       LUMINOSIDADE();
142       MIL_LEITURA = DELAY_ATUAL;
143     }
144
145     DISPLAY_MOSTRAR();
146     SERIAL_MONITOR();
147     ACIONAMENTO_1();
148     ACIONAMENTO_2();
149
150     if (DELAY_ATUAL - MIL_GRAVACAO >= delay_gravacao) {
151       GRAVACAO();
152       MIL_GRAVACAO = DELAY_ATUAL;
153     }
154     if (millis() - ULTM_ATI_BOMBA >= 86400000) {
155       GERAR_RELATORIO();
156       CONT_ACI_BOMBA = 0;
157       TEMP_ACI_BOMBA = 0;
    
```

Além disso, o código possui diversas funções auxiliares que são chamadas dentro do loop principal ou em outras partes do programa. Essas funções realizam tarefas específicas, como ler a temperatura do sensor, atualizar o display LCD, controlar o acionamento das bombas de água e formatar os dados para gravação.

Por fim, o código também inclui funções para formatar o tempo e a data, gravar o cabeçalho e o rodapé no arquivo do cartão SD, e reiniciar as variáveis relacionadas ao cálculo da média de temperatura a cada 24 horas.

2.4 Calibração dos sensores:

Para garantir a precisão das medições realizadas pelos sensores de temperatura ambiente e umidade do solo, foram realizados testes de calibração. Esses testes envolveram a comparação das leituras dos sensores com valores de referência obtidos por meio de instrumentos de alta precisão. Com base nos resultados desses testes, foram ajustados os parâmetros de medição dos sensores para assegurar a confiabilidade e a exatidão das medições.

2.5 Integração dos componentes:

Após a etapa de calibração dos sensores, os componentes eletrônicos foram integrados ao sistema de irrigação. Isso incluiu a conexão dos sensores ao Arduino por meio de fios jumper fêmea/fêmea, bem como a integração do módulo relé para o controle do sistema de irrigação. Foi realizada uma montagem organizada e segura do circuito eletrônico, levando em consideração as melhores práticas de engenharia.

2.6 Montagem do protótipo de sistema de irrigação:

Com todos os componentes devidamente integrados, foi realizada a montagem do protótipo do sistema de irrigação baseado em sistemas embarcados. O protótipo consistiu na montagem física do circuito eletrônico, a fixação dos sensores no solo e a conexão adequada dos componentes elétricos. Foram utilizados materiais como placas de prototipagem, cabos e conectores para garantir a segurança e a funcionalidade do protótipo.

Figura 4: Protótipo montado aberto (central).

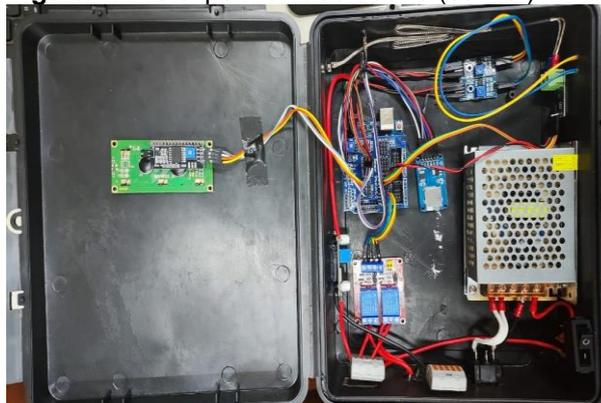


Figura 5: Display LCD.



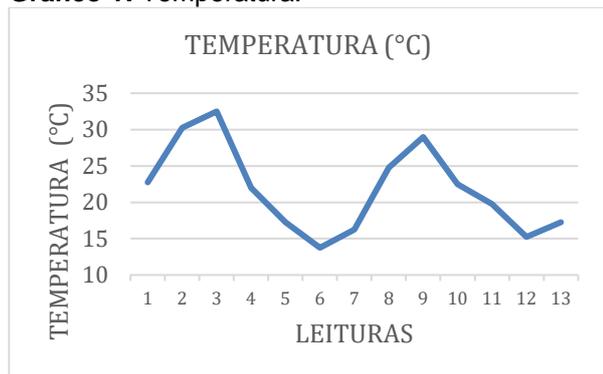
3 Resultados

Após a conclusão do protótipo, foram realizados testes para avaliar o seu desempenho e verificar a eficácia do sistema de irrigação. Os testes ocorreram ao entardecer e envolveram a medição da temperatura ambiente e umidade do solo, o sensor de umidade 1 foi colocado em terra pura e o sensor de umidade 2 em substrato.

Os resultados dos testes foram registrados e analisados para verificar se o protótipo atingiu os objetivos propostos.

Tabela 3: Leituras dos sensores.

LEITURA	TEMPERATURA (°C)	UMID. 1	UMID. 2
1	22,75 C°	42%	39%
2	30,25 C°	41%	37%
3	32,50 C°	38%	36%
4	22,00 C°	49%	52%
5	17,25 C°	49%	52%
6	13,75 C°	49%	52%
7	16,25 C°	48%	50%
8	24,75 C°	46%	47%
9	29,00 C°	43%	43%
10	22,50 C°	41%	39%
11	19,75 C°	41%	39%
12	15,25 C°	41%	39%
13	17,25 C°	40%	38%
MÉDIA	21,79°C	44%	43%

Gráfico 1: Temperatura.**Gráfico 2:** Umidade no setor 1.**Gráfico 3:** Umidade no setor 2.

Com base nos resultados obtidos, foi possível verificar a viabilidade e a eficácia do sistema de irrigação desenvolvido, bem como identificar possíveis melhorias e ajustes para futuras implementações.

É importante ressaltar que todo o processo de desenvolvimento do protótipo de sistema de irrigação foi realizado levando em consideração as normas de segurança e as boas práticas de engenharia. Os materiais utilizados foram selecionados levando em consideração sua compatibilidade e capacidade de atender aos requisitos do sistema.

4 Discussão

Com base nos resultados obtidos, pode-se inferir que o protótipo desenvolvido neste trabalho apresenta um potencial significativo para melhorar a eficiência da irrigação na agricultura familiar. A automatização do processo de irrigação, aliada ao monitoramento preciso da temperatura ambiente, permite um uso mais sustentável dos recursos hídricos, evitando o desperdício e garantindo a saúde das plantas.

A contribuição desse protótipo está alinhada com os objetivos da agricultura familiar, que busca promover práticas sustentáveis e aumentar a produtividade em pequenas propriedades. A simplicidade e a acessibilidade do sistema, utilizando a plataforma Arduino, facilitam a adoção e a replicação dessa solução por agricultores familiares.

5 Conclusão

O desenvolvimento do protótipo de sistema de irrigação baseado em sistemas embarcados para agropecuária familiar apresenta resultados promissores e contribui para a melhoria da eficiência e da sustentabilidade na agricultura. O sistema demonstrou a capacidade de monitorar a temperatura ambiente e acionar a irrigação de forma automatizada, otimizando o uso da água e garantindo uma irrigação adequada para as plantas. O potencial de aplicação desse sistema na agricultura familiar é relevante, pois oferece uma solução acessível, simples e eficiente para melhorar as práticas de irrigação nesse contexto.

6 Agradecimentos

Primeiramente gostaríamos de agradecer a Deus pois reconhecemos que, sem Sua graça não teríamos sido capazes de enfrentar os desafios e superar as dificuldades ao longo dessa jornada acadêmica.

Agradecemos também ao nosso orientador/professor Marcelo Lucas, por sua orientação valiosa e pelo apoio incansável ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Sua experiência e conhecimento foram fundamentais para aprimorar nossas ideias e nos conduzir na direção certa.

Expressamos nossa gratidão aos nossos amigos e familiares que nos apoiaram incondicionalmente ao longo desses anos.

Agradecemos a todos os professores que contribuíram para a nossa formação ao longo desses anos. Em especial nosso saudoso professor Abedenago Nillo da Silva Filho, que nos deixou um grande legado de ensinamentos, conselhos e bons momentos vivenciados em sala de aula.

Referências

ALMEIDA, Rodrigo de. **Programação de Sistemas Embarcados**: Desenvolvendo Software para Microcontroladores em Linguagem C. 1. ed. [S. l.]: GEN LTC, 2016. 488 p.

ARDUINO. Arduino Uno - Documentation. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Acesso em: 19 maio 2023.

BASTOS, Wallef *et al.* SISTEMA DE IRRIGAÇÃO INTELIGENTE. **Revista Facima Digital Gestão**, [S. l.], p. 01-18, 29 jan. 2016. Disponível em: https://www.facima.edu.br/instituto/revista/arquivos/revista_facima_ano_1_sistema_irrigacao.pdf. Acesso em: 20 maio 2023.

BIOCULTIVO. Irrigação por Gotejamento. Disponível em: <https://biocultivo.com.br/irrigacao-por-gotejamento/>. Acesso em: 22 maio 2023.

CHAVIER, L. F. Programação para Arduino-Primeiros Passos. Circuitar [201-?]. Disponível em: [https://www.circuitar.com.br/tutoriais/programacao-](https://www.circuitar.com.br/tutoriais/programacao-para-arduino-primeiros-passos/)

[para-arduino-primeiros-passos/](#). Acesso em: 01 junho 2023.

EBAH (Brasil). **TIPOS DE IRRIGAÇÃO**: Irrigação. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABUOwAA/tj-pos-irrigacao#>. Acesso em: 19 abril 2023.

EMBRAPA. (2018). **Agricultura irrigada e os desafios para a produção sustentável de alimentos**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/32545841/artigo---agricultura-irrigada-e-os-desafios-para-a-producao-sustentavel-de-alimentos>. Acesso em: 14 abril 2023.

GOVERNO FEDERAL. Agricultura Familiar. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/mda/agricultura-familiar-1#:~:text=Agricultura%20Familiar%20%C3%A9%20a%20principal,%2C%20aquicultores%2C%20extrativistas%20e%20pescadores>. Acesso em: 20 maio 2023.

TESTEZLAF, R. **Irrigação**: Métodos, sistemas e aplicações. Faculdade de Engenharia Agrícola Unicamp-FEAGRI, 2011.