



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UniCEUB
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

AUGUSTO ÁVILA DO NACIMENTO INÁCIO

Controle de Irrigação de Hortaliças por Microcontrolador

Orientador: Professora MC. Maria Marony Sousa Farias.

Brasília
Junho, 2012

CONTROLE DE IRRIGAÇÃO DE HORTALIÇAS POR MICROCONTROLADOR

Trabalho apresentado ao Centro Universitário de Brasília (UniCEUB) como pré-requisito para a obtenção de Certificado de Conclusão de Curso de Engenharia de Computação. Orientadora: Professora MsC. Maria Marony Sousa Farias.

Brasília, DF
Junho, 2012

AUGUSTO ÁVILA DO NACIMENTO INÁCIO

CONTROLE DE IRRIGAÇÃO DE HORTALIÇAS POR MICROCONTROLADOR

Trabalho apresentado ao Centro Universitário de Brasília (UniCEUB) como pré-requisito para a obtenção de Certificado de Conclusão de Curso de Engenharia de Computação. Orientadora: Professora MsC. Maria Marony Sousa Farias.

Este Trabalho foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenheiro de Computação, e aprovado em sua forma final pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas - FATECS.

Prof. Abiezer Amarilia Fernandez
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Professora MsC. Maria Marony Sousa Farias.
Orientador

Prof. Antônio Barbosa Júnior,
UNICEUB

Prof. MsC. José Julimá Bezerra Junior,
UNICEUB

Prof. MsC. Julio Cesar Sebastiani Kunzler
UNICEUB

SUMÁRIO

RESUMO	I
ABSTRACT	II
LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE TABELAS	V
LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS	2
LISTA E SÍMBOLOS	3
1	INTRODUÇÃO..... 1
2	REFERENCIAL TEÓRICO..... 3
2.1	Irrigação..... 3
2.2	Irrigação Localizada e Irrigação por Gotejamento..... 3
2.2.1	Vantagens:..... 4
2.2.2	Desvantagens:..... 5
2.3	Manejo da Irrigação..... 6
2.3.1	Disponibilidade Total de Água do Solo (DTA)..... 6
2.3.2	Disponibilidade Real de Água do Solo (DRA)..... 7
2.3.3	Capacidade Total de Água no Solo (CTA)..... 7
2.3.4	Capacidade Real de Água do Solo (CRA)..... 8
2.3.5	Irrigação Real Necessária (IRN)..... 8
2.3.6	Irrigação Total Necessária (ITN)..... 9
2.3.7	Fases da Cultura..... 9
2.3.8	Evapotranspiração da Cultura..... 10
2.3.9	Profundidade efetiva do sistema radicular..... 12
2.3.10	Turno de Rega..... 13
2.4	Culturas..... 13
2.4.1	A Alface..... 13
2.4.2	A Cenoura..... 13
2.4.3	A Beterraba..... 14
2.4.4	O Tomate..... 14
2.5	Análise das hortaliças selecionadas e da produção no Brasil..... 14
2.6	Válvula Solenóide..... 15
2.7	Interruptor Rotativo..... 16
2.8	Microcontrolador PIC16F628a..... 16
3	ESPECIFICAÇÃO DO HARDWARE E SOFTWARE..... 20
3.1	Fonte..... 20
3.2	Regulador de Tensão..... 20
3.3	Interruptores Rotativos..... 21
3.4	Microcontrolador..... 22
3.5	Cálculos do Manejo de Irrigação e Definição de Parâmetros..... 24
3.6	Fluxograma de Execução e Disposição de Elementos..... 26
3.7	Diretivas do Compilador..... 28
3.8	Válvulas Solenóides..... 29

3.9	Projeto do Circuito.....	29
3.10	Construção	38
3.11	Levantamento de Custo do Projeto e Comparativos de Mercado.....	42
4	TESTES E RESULTADOS.....	45
4.1	Testes de Simulação	45
4.2	Circuito Funcionando	47
4.3	Testes de Protótipo	48
5	CONCLUSÃO.....	50
Apêndice A – Código Fonte		53
Apêndice B - Fluxograma de Execução do Programa.....		58
Apêndice D - Produção em toneladas de Hortaliças nos Estados do Centro-Oeste.....		61
Apêndice E - Evapotranspiração da cultura para acelga, aipo, alface, alho-porro, cebolinha, espinafre e rúcula (mm/dia), conforme a umidade relativa (URm) e Temperatura (Tm) média do ar e a fase de desenvolvimento		63
Apêndice F - Evapotranspiração da cultura para brócolos, cenoura, couve-flor e repolho (mm/dia), conforme a umidade relativa (URm) e Temperatura (Tm) média do ar e a fase de desenvolvimento		65
Apêndice G – Evapotranspiração da cultura para beterraba, conforme a umidade relativa (URm) e temperatura (Tm) média do ar e a fase de desenvolvimento.....		67
Apêndice H – Evapotranspiração da cultura para tomate de mesa (mm/dia), conforme a umidade relativa (URm) e temperatura (Tm) média do ar e a fase de desenvolvimento		69

RESUMO

Neste trabalho é apresentada uma solução para automatização de um sistema de irrigação de culturas de hortaliças com baixo investimento. Para pequenos produtores rurais, a cultura de hortaliças é uma alternativa de produção e comércio que cativa pela variedade de espécies e por não concorrer com atividades extensivas. Neste intuito, a proposta deste trabalho visa possibilitar a criação e aplicação de um circuito de controle específico para irrigação de pequenas hortas. A partir do estudo da necessidade hídrica das culturas da alface, beterraba, cenoura e tomate. Aplicando conhecimento de circuitos e programação de microcontroladores. Resultando em um protótipo representativo que simule o ambiente real de acionamento de válvulas solenóides. O protótipo se aplicado a sua condição real de uso deve auxiliar pequenos e médios produtores rurais no processo de irrigação no período da seca e para os solos e clima da região Centro-Oeste do Brasil, utilizando um circuito de simples confecção, e uma interface com usuário amigável possibilitando abranger maior número de usuários.

Palavras-Chave:

Microcontrolador, Irrigação, Hortaliças, Automação.

ABSTRACT

This paper presents a solution for automating a system of irrigation of vegetables with low investment. For small farmers, the cultivation of vegetables is an alternative production and trade that captures the variety of species and not compete with extensive activities. To this end, the purpose of this work aims to enable the creation and implementation of a specific control circuit for irrigation of small gardens. From the study of the water requirements of the lettuce, beets, carrots and tomatoes. Applying knowledge of circuits and microcontroller programming. Resulting in a representative prototype that simulates the real environment drive the solenoid valves. The prototype is applied to their real conditions of use should help small and medium farmers in the process of irrigation during the dry season and soil and climate of the Midwest region of Brazil, using a simple circuit fabrication, and an interface with user friendly allowing cover most users.

Key-Words: Microcontroller, Irrigation-drip Vegetables, Automation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de irrigação localizada por gotejamento.....	6
Figura 2 – Temperatura e Umidade relativa média no mês de Abril no Brasil.....	11
Figura 3 – Temperatura e Umidade relativa média no mês de Maio no Brasil.....	11
Figura 4 – Temperatura e Umidade relativa média no mês de Junho no Brasil.....	11
Figura 5 – Temperatura e Umidade relativa média no mês de Julho no Brasil.....	12
Figura 6 – Temperatura e Umidade relativa média no mês de Agosto no Brasil.....	12
Figura 7 - Temperatura e Umidade relativa média no mês de Setembro no Brasil.....	12
Figura 8 – Válvula Solenóide e Operação	16
Figura 9 – Representação de Chaves de Interrupção SW1 Rotatória / SW2 Simples.....	16
Figura 10 – Diagrama de Pinos do PIC16F628A	17
Figura 11 – Leiaute do circuito de fonte de tensão.....	20
Figura 12 – Exemplo de Chave Rotativa.....	21
Figura 13 – Inicialização das Entradas do Microcontrolador para seleção de Culturas.....	22
Figura 14 – Inicialização do Ciclo de Desenvolvimento.....	24
Figura 15 – Fluxograma de execução, macro visão do processo	27
Figura 16– Modelo de Irrigação Controlada	28
Figura 17– Válvula Solenóide Utilizada	29
Figura 18 – Primórdios do projeto. Acionamento de Relés	30
Figura 19 – Projeto de acionamento com optoacopladores nenhum acionado.....	31
Figura 20– Projeto de acionamento com optoacopladores chave 1 acionada	31
Figura 21– Projeto de acionamento com optoacopladores chave 1 e 2 acionada.....	32
Figura 22– Acionamento do microcontrolador por chaves rotativas com resultados de atuação nas saídas.	33

Figura 23– Acoplamento do Circuito optoacopladores e relés com circuito microcontrolador e chaves rotativas	34
Figura 24– Acionamento do relé resultado da saída do microcontrolador.....	34
Figura 25– Circuito de Controle após alteração do uso das portas do microcontrolador.....	36
Figura 26– Leiaute do Circuito de Controle.....	37
Figura 27– Vista Superior e Inferior da Placa de comando da Válvula Solenóide	38
Figura 28– Vista dos Componentes dispostos a simulação 3D do ARES.....	38
Figura 29– Extração do papel utilizado para transferência do desenho do circuito.....	39
Figura 30 – Verificação das trilhas de Impressão do Circuito	39
Figura 31– Corrosão por Percloroeto de Ferro da Placa do Circuito	40
Figura 32– Placa em limpeza da tinta de impressão após processo de corrosão.....	40
Figura 33– Placa de Circuito em processo de perfuração para fixação dos componentes do circuito	41
Figura 34 – Vista superior e inferior da placa de controle em processo de soldagem e fixação dos componentes.....	42
Figura 35 - Programador de Irrigador C 1060 Solar Plus 1866-29 – Gardena e Distribuidor de Irrigação Automático c/ 6 Saídas 1198-20 – Gardena.....	44
Figura 36 – Controladora Modelo XC – 4 setores - HUNTER.....	44
Figura 37 – Irrigador automático Hozelock	44
Figura 38 – Debug do Proteus para Microcontrolador	45
Figura 39- Hardware de Gravação no Microcontrolador	46
Figura 40- Tela de interface do software de gravação no Microcontrolador	46
Figura 41– Circuito Relê de acionamento e sequência de pólos conectores	47
Figura 42 - Protótipo de teste	48
Figura 43 - Placa do Circuito de Controle no Protótipo de teste.....	49
Figura 44 – Realização de Testes de Funcionamento do Protótipo.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de Fator de Disponibilidade de Água no solo por Grupos de Cultura	7
Tabela 2 – Valores de porosidade, densidade, capacidade de campo (Cc) e disponibilidade total de água no solo (DTA) para diferentes texturas	9
Tabela 3 – A caracterização de cada fase, para a maioria das hortaliças	10
Tabela 4 – Valores de Evapotranspiração das culturas Alface, Beterraba, Cenoura e Tomate. Conforme a umidade relativa média (URm) de 70% e Temperatura média (Tm) de 24°C e a fase de desenvolvimento	10
Tabela 5 – Profundidades do sistema radicular das hortaliças selecionadas para estudo.....	13
Tabela 6 – Produção em toneladas de Hortaliças nos Estados do Centro-Oeste.....	15
Tabela 7 – Distribuição da Produção de Hortaliças nos Estado do Centro-Oeste.....	15
Tabela 8 – Relação de Pinos, Funções e Tipo de utilização para PIC16F682A.....	17
Tabela 9 – Relação dos Pinos utilizados, sua função no microcontrolador e sua descrição para qual foi utilizada no projeto	23
Tabela 10 – Definição de Períodos de Desenvolvimento em dias por Cultura.....	25
Tabela 11 – Preenchimento da parametrização dos valores para controle do sistema.....	26
Tabela 11 – Antes e depois do reposicionamento das portas do microcontrolador. Visando redução dos cruzamentos das linhas e uso de jumpers na confecção do circuito.	35
Tabela 12 – Componentes utilizados, quantidade de componentes, valor unitário e somatório de custo dos componentes e elementos do projeto	42

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

°C – Graus Celsius

ALU – *Arithmetic Logic Unit*

Cc – Capacidade de Campo

C.c. – Corrente Contínua

CRA – Capacidade Real de Água no Solo

CPU – *Computer Process Unit*

CTA – Capacidade Total de Água no Solo

d_a – Densidade do Solo

DRA – Disponibilidade Real de Água no Solo

DTA – Disponibilidade Total de Água no Solo

Ea – Eficiência da Aplicação

EEPROM - *Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*

Etc – Evapotranspiração

f - Fator de Disponibilidade

GND - *Ground*

GPR – *General Purpose Register*

IRN – Irrigação Real Necessária

ITN – Irrigação Total Necessária

m.c.a. – Metro Coluna d'Água

PC – *Program Counter*

Pe – Precipitação Efetiva

PIC - *Programmable Interrupt Controller*

Pm – Ponto de Murchamento

RAM – *Random Access Memory*

TR – Turno de Rega

URm – Umidade Relativa média

Z – Profundidade Radicular

LISTA E SÍMBOLOS

μF - MicroFarad

A – Ampère

cm - Centímetro

cm^3 - Centímetro Cúbico

ha - Hectare

Kb – Kilobytes

Khz - Kilohertz

m^3 - Metro Cúbico

mA – miliampere

Mhz – Megahertz

mm - Milimetro

pF - PicoFarad

t – Tonelada

V – Volt

1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho, é apresentado o estudo de um controle automatizado de irrigação de baixo custo, voltado para atividades típicas de produtores rurais de pequeno porte, com pouca estrutura e baixo poder de investimento. O estudo deverá instanciar a necessidade hídrica para as principais hortaliças tipicamente produzidas no bioma cerrado no período da seca, quando há necessidade de prover irrigação para maior aproveitamento da produção. O módulo controlador a ser estudado automatizará o processo de irrigação demandado por uma pequena produção de hortaliças. A automatização do processo se dá pela programação de um microcontrolador tipo PIC que além de dispor de diversos recursos de interface, deve possuir um baixo custo de aquisição tornando esta automação uma forma viável e vantajosa para produtores de hortaliças.

A irrigação tem sua importância na atividade humana desde os primórdios da existência. A manutenção da água para fins de cultivo de alimento é tratada de forma estratégica por povos e civilizações. No entanto, devido ao aumento progressivo da população mundial, a preocupação com estabilidade ou mesmo escassez do recurso água para fins de produção de alimentos e outros fins se tornou maior.

No mundo, indiscutivelmente, o maior gasto/consumo de água potável se dá pela produção agropecuária (CHRISTOFIDIS, 2001, apud AIROLDI, 2007). Dada a importância do elemento água no cotidiano da humanidade, seu controle diante dos processos de irrigação se torna imprescindível para o melhor aproveitamento tanto para sua economia quanto para as necessidades da planta. Também diante da economia de um recurso utilizado no processo produtivo do agricultor e da disponibilização de um recurso automatizado, seu rendimento financeiro tende a aumentar sem que haja a necessidade de maior degradação, que aumentaria seu consumo de água e conseqüentemente seu provável desperdício se aplicados métodos tradicionais de irrigação (AIROLDI, 2007).

O controle de irrigação de hortaliças a um baixo custo se baseia em um protótipo de controle de irrigação microcontrolado, construído com componentes de fácil aquisição comercial. Trata-se de um sistema direcionado para hortaliças selecionadas para o estudo de cultivo comum, no cerrado. O sistema atenderá ao período ameno e seco, sendo este o mais crítico para as plantas. Conforme descrito na Circular Técnica 47 (EMBRAPA, 2007), a região Centro-Oeste do Brasil se caracteriza por um período quente e úmido e outro ameno e seco, onde existem hortaliças mais adaptadas para cada período. Em situação de uma horta se

seleciona a quantidade de canteiros plantados limitado a quatro, também é escolhida a cultura plantada. O processo de irrigação será intercalado de um canteiro para o outro alternadamente. Assim, aproveitando para cada canteiro, toda quantidade de água, disponível na tubulação instalada, para irrigação. O sistema atenderá somente uma cultura por ciclo de produção. O controle deverá variar somente os tempos de irrigação, e as demais grandezas como pressão e vazão são consideradas constantes ideais.

Com a aproximação de dados conhecidos para as culturas selecionadas, os cálculos resultaram na necessidade hídrica de cada espécie abordada. Para os cálculos de necessidade hídrica de cada hortaliça estudada, são aplicados cálculos já conhecidos e apresentados para estudos de irrigação. Também são apresentados valores climatológicos para a região de cerrado, reconhecidos para o período da seca. Das espécies selecionadas para o estudo são focadas as hortaliças alface, beterraba, cenoura e tomate: dado a importância econômica dessas culturas para os produtores de hortaliças, além de seus valores alimentares, nutritivos e adaptação ao cenário estudado. Tal seleção tem em vista a complementação da alimentação básica, resultado do fornecimento de vitaminas, sais minerais e fibras, juntamente ao valor medicinal das culturas (EMBRAPA, 2007). Também considerando o foco do baixo custo, o sistema trata o controle como malha aberta, não possuindo qualquer tipo de sensoriamento, uma vez que estes elevam o custo e inviabilizam o foco principal do projeto. O fato de tratar da automação como sendo a ação de irrigar aos períodos exatos da necessidade hídrica de cada cultura faz necessário o estudo dos métodos de irrigação para o sistema de gotejamento conforme será apresentado. A partir da parametrização dos valores de irrigação, é proposta a construção de um protótipo de controle levando em consideração os valores estudados. Todo estudo é baseado no uso de válvulas solenóides para aplicação prática em campo, ou seja, num ambiente de produção de hortaliças, ou uma horta devem ser utilizadas válvulas solenóides. Somente para fins de demonstração e prototipagem da placa de controle e de acionamento serão utilizadas lâmpadas comuns em substituição as válvulas. Sendo estas de mesma tensão e necessidade energética das válvulas. Com isso, estas lâmpadas fazem apenas o papel representativo ou figurativo dos itens para o qual a aplicação é projetada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Irrigação

A irrigação é a atividade humana que mais consome água, cerca de 70% de todo o volume captado (CHRISTOFIDIS, 2001 apud. AIROLDI, 2007), podendo alcançar de 50% a 85% em áreas de clima seco (AIROLDI, 2007), visto a necessidade da água para provimento da atividade agrícola. No Brasil, as atividades agropecuárias podem consumir 61% do volume captado total (AIROLDI, 2007). Este percentual pode alcançar 70 % (HESPANHOL, 2003 apud. AIROLDI, 2007).

Organizações mundiais como a ONU (Organização das Nações Unidas) e o Banco Mundial afirmam que para que a população de um país, não sofra com problemas de escassez de água, deve-se dispor de pelo menos 2.000 m³ habitante por ano (Brito; Couto e Santana (2002) apud. AIROLDI). Em 1998, o Banco Mundial apresentou um estudo que concluiu que 22 países estavam abaixo deste limite e 18 países abaixo dos 1.000 m³ habitante por ano. Apontamentos preveem que no ano de 2025, cerca de três bilhões de pessoas sofrerão com a escassez de água e que tal fator influenciará diretamente na produção de alimentos (CHRISTOFIDIS, 2002 apud. AIROLDI, 2007).

A população mundial triplicou neste último século, por consequência, o consumo de água aumentou em seis vezes (RIJSBERMAN, 2006 apud. AIROLDI, 2007). Ao passo que, dos 18% de área agricultada no mundo, cerca de 275 milhões de hectares, é irrigada, sendo esta parcela responsável pela produção de 42% dos alimentos consumidos (CHRISTOFIDIS, 2002 apud. AIROLDI, 2007). No Brasil, a área agrícola irrigada chega a 5% da área cultivada (aproximadamente três milhões de hectares) sendo esta parcela de terra cultivável responsável por 16% da produção agrícola, representando 35% do valor total da produção (AIROLDI, 2007).

“Na horticultura, a importância da água está diretamente relacionada à produção. O suprimento de água é um dos principais fatores que influenciam e geralmente restringem o crescimento das plantas” (MEDEIROS, 2007).

2.2 Irrigação Localizada e Irrigação por Gotejamento

Segundo BERNARDO (2006), a irrigação localizada sinteticamente é a irrigação aplicada ao solo diretamente sobre a região radicular a uma alta frequência e a pequenas porções. A alta frequência abrange o turno de rega de um a quatro dias e as porções de 1 a 160

litros por hora. Dos sistemas de irrigação localizada existentes, podem destacar-se o gotejamento e a microaspersão. O objetivo da irrigação localizada é fornecer o mínimo de água e nutrientes da forma mais eficaz possível de modo a suprir todas as necessidades hídricas e nutricionais das plantas. Segundo GOMES (2009), o sistema de gotejamento é dos mais difundidos e pesquisados entre diversos sistemas de irrigação localizada

O sistema de gotejamento é propiciado por um sistema de tubos perfurados denominados “emissores” de diferentes tipos e modelos. A água passa a agir no solo a partir das fendas ou perfurações aplicadas ao modelo de tubulação perfurada. Com isso, o ponto ao qual a água é fornecida é denominado “ponto fonte”. Os “pontos fonte” provocam a formação de um setor irrigado, onde é possível observar a área molhada próximo ao alvo, a planta. Resultado da aplicação apenas no local onde se faz necessária é entre outros a menor superfície de evaporação e menor perda de líquido para o ambiente comparativamente à irrigação por aspersão e por superfície. (BERNARDO, 2006)

Ainda segundo GOMES (2009), a alta eficiência da irrigação por gotejamento pode alcançar 95%, significando que do total de água aplicada a irrigação de uma cultura 95% do que foi aplicado é utilizado pela cultura satisfazendo sua necessidade hídrica da cultura. Este sistema ainda apresenta outras vantagens e algumas desvantagens, são elas:

2.2.1 Vantagens:

- Diminuição das perdas de água por escoamento superficial e evaporação aplicando a quantidade necessária para a cultura evitando penetração profunda da água que ocasiona o desperdício e lixiviação de nutrientes presentes no solo.
- Diminuição na propagação de ervas daninhas tendo em vista a maior exatidão da rega e estas não se beneficiam da água da produção, ocasionando na redução do uso de agrotóxicos reduzindo também o custo da produção.
- Facilidade na aplicação de fertilizantes e produtos químicos através da água. Devido à ação pontual e direta na planta alvo a aplicação é maximizada evitando o desperdício também de insumos com isso causando menor degradação do ambiente.
- Por se tratar de um método menos robusto em questões de volume de água manipulado também se torna um método mais econômico no quesito energia. Isto devido ao menor bombeamento e a pressão de trabalho baixa.

2.2.2 Desvantagens:

- Requerer constante manutenção devido ao entupimento parcial ou total dos pontos emissores, o que afeta tanto a uniformidade na aplicação da água causada pelo entupimento e também o desempenho desigual da cultura, ocasionando em perda total ou parcial a produção caso o problema não seja identificado em tempo hábil. Quanto aos entupimentos, também se deve tomar atenção quanto às pessoas, animais e máquinas que transitam nos locais de irrigação. Este trânsito pode ocasionar o deslocamento de dejetos ou mesmo particulados de solo que depositados sobre ou obstruindo os pontos de emissão causando obstrução. Na utilização de aplicação de insumos via irrigação, este problema se agrava, demandando maior atenção aos entupimentos.
- O fato de a irrigação localizada fornecer água somente à porção para qual foi projetada pode restringir o crescimento da raiz da planta. Este crescimento limitado pode estabilizar o crescimento da planta a um subdesenvolvimento como um todo, o resultado desta irregularidade será uma cultura frágil, de produção reduzida, podendo gerar plantas de raiz menores as quais deveriam sustentar a planta como um todo. Na incidência de ventos fortes as plantas com tal deficiência vir a tombar.
- Também, devido o fato de no início da construção de uma irrigação por gotejamento seja necessário à aquisição de todo o conjunto de mangueiras, emissores além do conjunto de automação, filtragem e bombas, o tornará o custo inicial do sistema relativamente alto.

Com a popularização das tecnologias computacionais, os controles e componentes automatizados têm possibilitado maior aproveitamento da água. Conforme DEL PINO (2005), transtornos financeiros são evitados, resultado da melhor utilização e racionalidade no uso da água, evitando erosões e desperdícios desnecessários. Resultado este da alta frequência das aplicações, contudo baixas vazões, pontualmente ou em pequenas áreas próximas as plantas cultivadas. O que não provoca escoamento superficial, evitando a contaminação dos mananciais por agroquímicos em geral e diminuindo o processo erosivo, colaborando diretamente para a preservação dos recursos naturais



Figura 1 - Exemplo de irrigação localizada por gotejamento

2.3 Manejo da Irrigação

O método utilizado é proposto por MAROELLI (2008), apesar de não requerer o uso de equipamentos e realização de cálculos complexos, possibilita o manejo da irrigação com precisão aceitável. Também permite estimar turnos de regas e lâminas de água a serem aplicadas à irrigação em função da fase de desenvolvimento da cultura, do clima da região, do tipo de solo e da profundidade efetiva do sistema radicular das plantas. O método é de grande utilidade para técnicos e horticultores com pouca experiência em irrigação, sendo útil até aos mais experientes, mas que irrigam de forma empírica, com base apenas no senso prático. *Para determinar o turno de rega, a necessidade hídrica e o tempo de rega serão estudados os pontos a seguir, tratando ponto a ponto a determinação destes valores indispensáveis para um sistema confiável de irrigação.*

2.3.1 Disponibilidade Total de Água do Solo (DTA)

Segundo BERNARDO (2006), a disponibilidade total de água do solo é determinada de acordo com as características do solo, correspondendo à água armazenada determinada por intervalos de umidade aplicados e a capacidade de campo e o ponto de murcha do solo. Resumidamente é o quanto o solo suporta ser embebido em água até seu ponto de saturação sem que comprometa o desempenho da planta.

Assim DTA é dada a partir da equação:

$$DTA = \frac{(Cc - Pm)}{10} d_a \quad (1)$$

Onde DTA é a disponibilidade total de água, em mm/cm de solo; Cc é a capacidade de campo, % de peso; Pm é o ponto de murchamento, em % de peso e; d_a é a densidade do solo em g/cm^3 .

2.3.2 Disponibilidade Real de Água do Solo (DRA)

A disponibilidade real de água no solo é a fração da disponibilidade total de água no solo utilizável por determinada cultura sem que afete sua produtividade, podendo ser expressa por, conforme BERNARDO (2006):

$$DRA = DTA \times f \quad (2)$$

onde DTA é a disponibilidade total de água e f é o fator de disponibilidade de água no solo, sempre menor que 1 e adimensional.

O fator de disponibilidade (f) varia entre 0,2 e 0,8, dividindo-se em três grandes grupos de cultura, a tabela 1 ilustra de acordo com a cultura o fator de disponibilidade de referencia.

Tabela 1 – Valores de Fator de Disponibilidade de Água no solo por Grupos de Cultura

Grupo de Culturas	Valores de f
Verduras e Legumes	0,2 a 0,6
Frutas e forrageiras	0,3 a 0,7
Grãos e Algodão	0,4 a 0,8

Fonte: BERNARDO (2006).

2.3.3 Capacidade Total de Água no Solo (CTA)

Segundo BERNARDO (2006), podem ser considerados disponíveis para uma cultura a quantidade de água de chuva ou de irrigação, somente o perfil de solo perpendicular à raiz da planta. Com isso, é possível concluir, que a capacidade total de água do solo somente deve calculada até a profundidade do solo utilizada pelo núcleo radicular da cultura a ser irrigada, ou seja:

$$CTA = DTA \times Z \quad (3)$$

onde CTA é a Capacidade Total de Água no solo, em mm; DTA é a Disponibilidade Total de Água do Solo e; Z é a Profundidade Efetiva do sistema radicular, em cm;

2.3.4 Capacidade Real de Água do Solo (CRA)

De acordo com BERNARDO (2006), o atendimento do ponto de murcha da cultura nunca deve ser atingido. Com isso, não é adequado à aplicação de duas irrigações sucessivas a uma fração da capacidade total de água do solo, dado que:

$$CRA = CTA \times f \quad (4)$$

ou

$$CRA = DRA \times Z \quad (5)$$

onde CRA é a Capacidade Real de Água no solo, em *mm*.

O ponto de murcha trata da quantidade de água recebida pelo solo para tratamento de uma determinada cultura em relação à quantidade de água administrada pelo solo para esta cultura, sendo que o solo úmido em excesso compromete o desenvolvimento da planta. Ou seja, mesmo dependente de água, a planta sofre negativamente quando do excesso de água no solo, sendo que o solo não administra a contento a água aplicada em excesso.

2.3.5 Irrigação Real Necessária (IRN)

A IRN é a quantidade real de água necessária à aplicação por irrigação. Pela definição da IRN, é preciso considerar dois casos distintos segundo BERNARDO (2006):

A) Com Irrigação Total

Quando toda a água necessária à cultura for suprida pela irrigação, a IRN deverá ser igual ou menor do que a capacidade real de água do solo:

$IRN \leq CRA$ em *mm* ou ($m^3 ha^{-1}$).

Utilizando as equações 1, 2 e 4, obtêm:

$$IRN \leq \frac{(Cc - Pm)d_a Z f}{10} \quad (6)$$

B) Com Irrigação Suplementar

Quando uma parte da água necessária à cultura for suprida pela irrigação e a outra parte pela precipitação efetiva (*Pe*), a IRN será dada:

$IRN \leq CRA - Pe$, em *mm* (ou $m^3 ha^{-1}$).

Logo:

$$IRN \leq \frac{(Cc - Pm)d_a Z f}{10} - Pe \quad (7)$$

2.3.6 Irrigação Total Necessária (ITN)

A irrigação total necessária é a quantidade total de água que se necessita aplicar por ciclo de irrigação da cultura, sendo:

$$ITN = \frac{IRN}{Ea} \quad (8)$$

em que IRN é a irrigação real necessária, em mm ou $m^3 ha^{-1}$ e ; Ea é a Eficiência de aplicação da irrigação, em %.

Segundo BERNARDO (2006), a “disponibilidade total de água” geralmente aumenta à medida que a textura do solo vai diminuindo. Na tabela 1, têm-se algumas características do solo em função de sua textura.

Tabela 2 – Valores de porosidade, densidade, capacidade de campo (Cc) e disponibilidade total de água no solo (DTA) para diferentes texturas

Textura do Solo	Porosidade	Densidade (da)	Cc(% em peso)	DTA (mm/cm)
Arenosa	32 – 42	1,55 – 1,80	10 – 20	0,6 – 1,0
Franco-arenosa	40 – 47	1,40 – 1,60	15 – 27	0,9 – 1,5
Franco – arenosa - argilosa	43 – 49	1,35 – 1,50	11 – 17	1,4 – 2,0
Franco-argilosa	47 – 51	1,30 – 1,40	31 – 42	1,6 – 2,2
Argilosa	51 – 55	1,20 – 1,30	39 – 49	2,0 - 2,5

Fonte: BERNARDO (2006).

2.3.7 Fases da Cultura

Para a aplicação e utilização do método simplificado de irrigação sugerido por MAROUELLI (2008), é utilizado como base os parâmetros adotados pelo projeto. O passo inicial é o estabelecimento da fase da cultura. O fator que define a quantidade de água necessária para o melhor aproveitamento da água pela planta deve estar diretamente ligado à fase de desenvolvimento ao qual a planta se encontra. Para isso, MAROUELLI (2008) divide as fases de desenvolvimento da planta conforme apresentada na tabela 3.

Tabela 3 – A caracterização de cada fase, para a maioria das hortaliças

Fase 1	Inicial – do plantio até a emergência das plântulas ou do transplante até o pegamento das mudas.
Fase 2	Vegetativa – do final da fase 1 até 80% do máximo desenvolvimento vegetativo (plena floração).
Fase 3	Produção – do final da fase 2 até o início da maturação ou da pré-colheita.
Fase 4	Pré-colheita ou maturação – do final da fase 3 até a colheita.

Fonte: MAROUELLI (2008).

2.3.8 Evapotranspiração da Cultura

Segundo MAROUELLI (2008), no passo seguinte para determinação da quantidade de irrigação necessária para uma cultura, deve-se estimar a quantidade de água necessária por dia, sendo este fator determinado como evapotranspiração da cultura (ETc). A tabela 4 resume os índices de evapotranspiração aplicados por MAROUELLI. Determinados em função da temperatura média, umidade relativa média do ar (média diária) e fase de desenvolvimento. Para consulta das tabelas completas, vide Apêndices E, F, G e H.

Tabela 4 – Valores de Evapotranspiração das culturas Alface, Beterraba, Cenoura e Tomate. Conforme a umidade relativa média (URm) de 70% e Temperatura média (Tm) de 24°C e a fase de desenvolvimento

Cultura	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
Alface	3,0	3,7	4,5	4,1
Beterraba	3,0	3,7	4,5	4,8
Cenoura	2,4	3,7	4,8	4,1
Tomate	2,6	3,9	5,0	3,9

Fonte: Adaptado MAROUELLI (2008).

As figuras 2, 3, 4, 5, 6, e 7 fornecem a temperatura média e Umidade relativa média para o período de Abril a Setembro. Época em que ocorre a estiagem na região Centro-Oeste, que provoca a demanda por irrigação nas culturas de hortaliças.



Figura 2 – Temperatura e Umidade relativa média no mês de Abril no Brasil
Fonte: Marouelli apud INMET(2006)

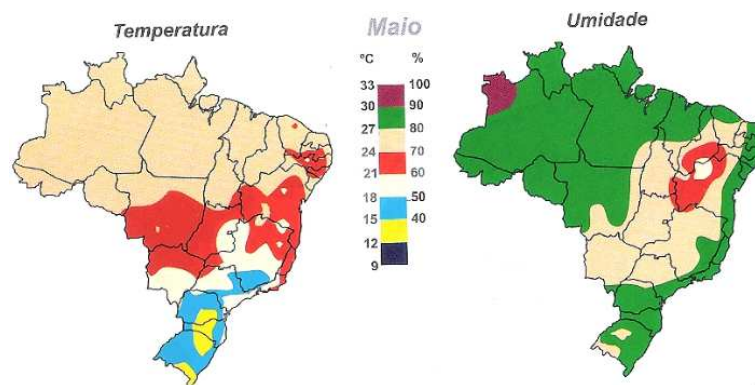


Figura 3 – Temperatura e Umidade relativa média no mês de Maio no Brasil
Fonte: Marouelli apud INMET(2006)

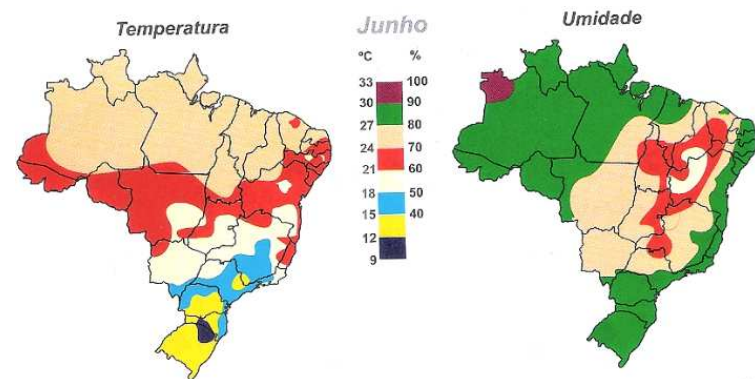


Figura 4 – Temperatura e Umidade relativa média no mês de Junho no Brasil
Fonte: Marouelli apud INMET(2006)

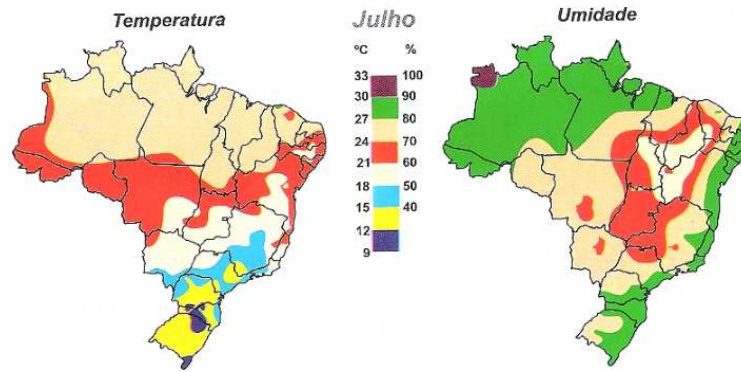


Figura 5 – Temperatura e Umidade relativa média no mês de Julho no Brasil
 Fonte: Marouelli apud INMET(2006)

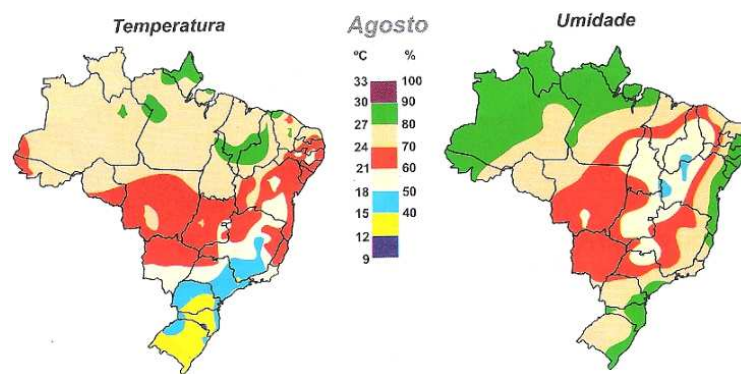


Figura 6 – Temperatura e Umidade relativa média no mês de Agosto no Brasil
 Fonte: Marouelli apud INMET(2006)

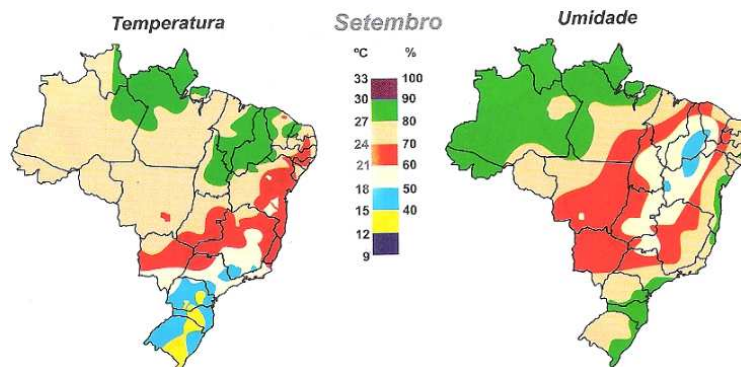


Figura 7 - Temperatura e Umidade relativa média no mês de Setembro no Brasil
 Fonte: Marouelli apud INMET(2006)

2.3.9 Profundidade efetiva do sistema radicular

Profundidade do sistema radicular determina o alcance que a raiz planta possui de acordo com seu ciclo de desenvolvimento. Na tabela 5, são apresentados os valores de profundidade efetiva de raízes de acordo com a fase de desenvolvimento, para as hortaliças citadas:

Tabela 5 – Profundidades do sistema radicular das hortaliças selecionadas para estudo

Hortaliça	Z(cm) ⁽¹⁾	
	Fase 2	Fases 3 e 4
Alface	15	20
Beterraba	30	40
Cenoura	20	40
Tomate	25	45

Fonte: MAROUELLI (.2008).

(1) A profundidade da raiz pode variar gradativamente conforme as condições de solo. Valores mais confiáveis devem ser determinados por meio de observações de campo para cada fase de desenvolvimento de cada cultura.

2.3.10 Turno de Rega

O Turno de Rega, de acordo com BERNARDO (2006), é um fator determinante para o sucesso de um sistema de irrigação. Este determina o intervalo entre duas irrigações, de modo a permitir o suprimento de água adequado às plantas de acordo com as necessidades para cada fase de desenvolvimento. Tal intervalo pode ser calculado por:

$$TR = \frac{CRA}{ETc} \quad (9)$$

2.4 Culturas

2.4.1 A Alface

A alface (*Lactuca sativa* L.) originou-se de espécies silvestres ainda encontradas em regiões de clima temperado, no sul da Europa e na Ásia Ocidental (FILGUEIRA, 2003). É uma cultura altamente exigente em água, portanto, as irrigações devem ser frequentes e abundantes, devido à ampla área foliar e a evapotranspiração intensiva, bem como ao sistema radicular delicado e superficial e a elevada capacidade de produção.

2.4.2 A Cenoura

A cenoura (*Daucus carota* L.) é originária da região onde hoje se localiza o Afeganistão. Entretanto, a cenoura de coloração alaranjada foi selecionada a partir de material asiático trabalhado na França e na Holanda durante o século XVII. É uma planta bienal, embora cultivada como planta anual (FILGUEIRA, 2003). O ciclo fenológico pode ser de 85 a 125 dias dependendo das condições de cultivo. Apresenta ampla versatilidade culinária e

adaptabilidade a diferentes condições de cultivo, tornando-se uma das hortaliças mais cultivadas no mundo (PEREIRA et. al. EMBRAPA, 2011).

2.4.3 A Beterraba

Originária das regiões europeias e norte africanas a beterraba (*Beta vulgaris*, L.) é uma planta tipicamente tuberosa, predominantemente purpúrea pelo entumescimento do hipocótilo – parte do caule abaixo dos cotilédones. O sistema radicular é do tipo pivotante, podendo alcançar 60 cm de profundidade na raiz principal. Seu cultivo é bienal, desenvolve-se melhor sob temperaturas amenas ou baixas. O calor e umidade são fatores limitantes, uma vez que propiciam aparecimento de doenças fúngicas nos tubérculos.

2.4.4 O Tomate

Segundo FILGUEIRA (2003), o tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) é produzido e consumido em inúmeros países, ao natural ou industrial. No Brasil, introduzido por imigrantes europeus no final do século XIX, tornou-se a segunda hortaliça em importância, sendo cultivado na maioria dos estados. A maior parte da colheita nacional destina-se à mesa; porém, a produção destinada às agroindústrias vem crescendo, especialmente na região dos cerrados.

A tomaticultura adapta-se melhor ao cultivo em clima tropical de altitude, como o das regiões serranas ou de planalto, e também em clima subtropical ou temperado, seco e com luminosidade elevada.

No período seco (outono-inverno), as temperaturas são propícias, há ausência de chuvas e o teor de água no solo é assegurado pela irrigação. Com isso, o controle fitossanitário é facilitado, com menor exigência de pulverizações de agrotóxicos.

A irrigação influencia não apenas na produtividade, mas também na qualidade dos frutos, inclusive reduz a incidência de anomalias fisiológicas. As raízes necessitam encontrar um teor mínimo de 80% de água útil no solo, ao longo do ciclo da cultura, inclusive durante a colheita.

2.5 Análise das hortaliças selecionadas e da produção no Brasil

A seleção das culturas envolve tanto sua importância nutricional quanto financeira. A tabela 6, apresenta valores da distribuição da produção de hortaliças no Brasil por Estado na região Centro-Oeste. As hortaliças abordadas das quais apresentam, alta produção de acordo

com o censo agropecuário apresentado pelo IBGE. A cenoura não está incluída na tabela, devido ao censo não ter pesquisado tal cultura. Para consulta das tabelas completas, com mais tipos de hortaliças vide Apêndice C e D.

Tabela 6 – Produção em toneladas de Hortaliças nos Estados do Centro-Oeste

Cultura\UF	GO	DF	MT	MS
Alface	7.843	15.435	7.939	3.535
Beterraba	6.730	5.086	129	378
Tomate (estaqueado)	68.480	20.483	3.485	4.478

Fonte: IBGE- Censo Agropecuário (2006).

A tabela 7, mostra a distribuição da produção em toneladas de três das culturas selecionadas para estudo e seus respectivos percentuais de produção por Estado.

Tabela 7 – Distribuição da Produção de Hortaliças nos Estado do Centro-Oeste

Estado	Alface		Beterraba		Tomate	
	Produção(t)	%	Produção(t)	%	Produção(t)	%
Distrito Federal	15.435	2,94	5.086	2,87	20.483	2,20
Goiás	7.843	1,49	6.730	3,80	68.480	7,36
Mato Grosso	7.939	1,51	129	0,07	3.485	0,37
Mato Grosso do Sul	3.535	0,67	378	0,21	4.478	0,48

Fonte: IBGE- Censo Agropecuário (2006).

2.6 Válvula Solenóide

De acordo com RIBEIRO (1999), a válvula solenóide é um componente composto por dois componentes iniciais, uma válvula e um solenóide. A válvula unicamente tem a função de controlar o fluxo dos fluidos nas tubulações as quais esta pertença. O solenóide por si só é uma bobina a qual se aplicando uma corrente elétrica produz um deslocamento mecânico em seu núcleo férrio. O conjunto da válvula com o solenóide resulta em um componente vital para a automação de aplicações principalmente industriais. Sendo assim, uma válvula ao receber corrente pode abrir ou fechar dependendo da aplicação. O procedimento de abertura ocorre enquanto houver fornecimento de corrente, quando a corrente for cortada à válvula se

fecha. A figura 8, extraída de RIBEIRO (2002) é exemplo de uma válvula solenóide de aplicação industrial.

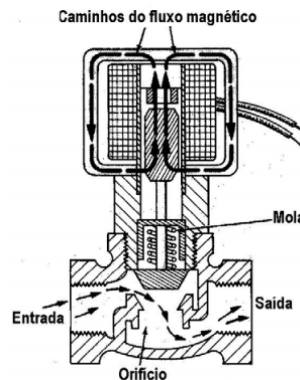


Figura 8 – Válvula Solenóide e Operação
Fonte: RIBEIRO (2002)

2.7 Interruptor Rotativo

Interruptor rotativo é um componente baseado em uma haste a qual provoca o giro em uma base circular composta pela parte móvel e a base fixa. O eixo central da haste apresenta um dos pólos ao qual será ligado o pólo do circuito que esteja vinculada a entrada do circuito. O interruptor rotativo visa dispor de mais de uma possibilidade de interrupção, diferentemente de um interruptor comum (SW2) utilizado em instalações elétricas residenciais e industriais. O interruptor móvel possibilita apenas um desvio de interrupção a cada troca aplicada aos contatos, conforme pode ser visto na figura 9, identificado pela chave SW1. Ao girar a haste central do componente, os pólos se alternam permitindo a seleção de diferentes circuitos, possibilitando soluções diversas a eletrônica e automação.

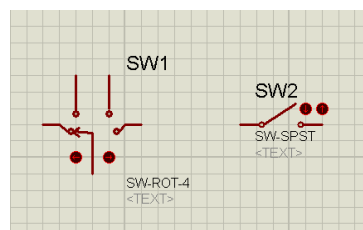


Figura 9 – Representação de Chaves de Interrupção
SW1 Rotatória / SW2 Simples

2.8 Microcontrolador PIC16F628a

Os microcontroladores PIC são uma família de dispositivos fabricados pela *Microchip*. Utilizando arquitetura RISC, com frequências de clock de até 40 Mhz, até 2048 *word* de memória de programa e até 3968 bytes de memória RAM. Existem três famílias de microcontroladores tipo PIC. São diferenciados pelo tamanho da palavra da memória do

programa. Dentre eles as família 12, 14 e 16 onde todos estes possuem barramento interno de 8 bits.

Segundo SILVA (2006) os microcontroladores PIC reúnem, em um único chip, todos os circuitos necessários para o desenvolvimento de um sistema digital programável. Eles dispõem, internamente, de uma Unidade Central de Processamento que controla todas as funções realizadas pelo sistema.

O microcontrolador utilizado para o desenvolvimento deste projeto foi o PIC16F628A do fabricante Microchip. A Figura 10 ilustra o diagrama de pinos do PIC16F628A, destacando-se o número de portas disponíveis no componente que atendem em sua plenitude as necessidades do projeto. Também por ser um componente de fácil aquisição e preço razoável, mesmo no varejo, atende ao quesito de acessibilidade. Na tabela 8, apresenta a relação de pinos e funções para cada pino do microcontrolador.

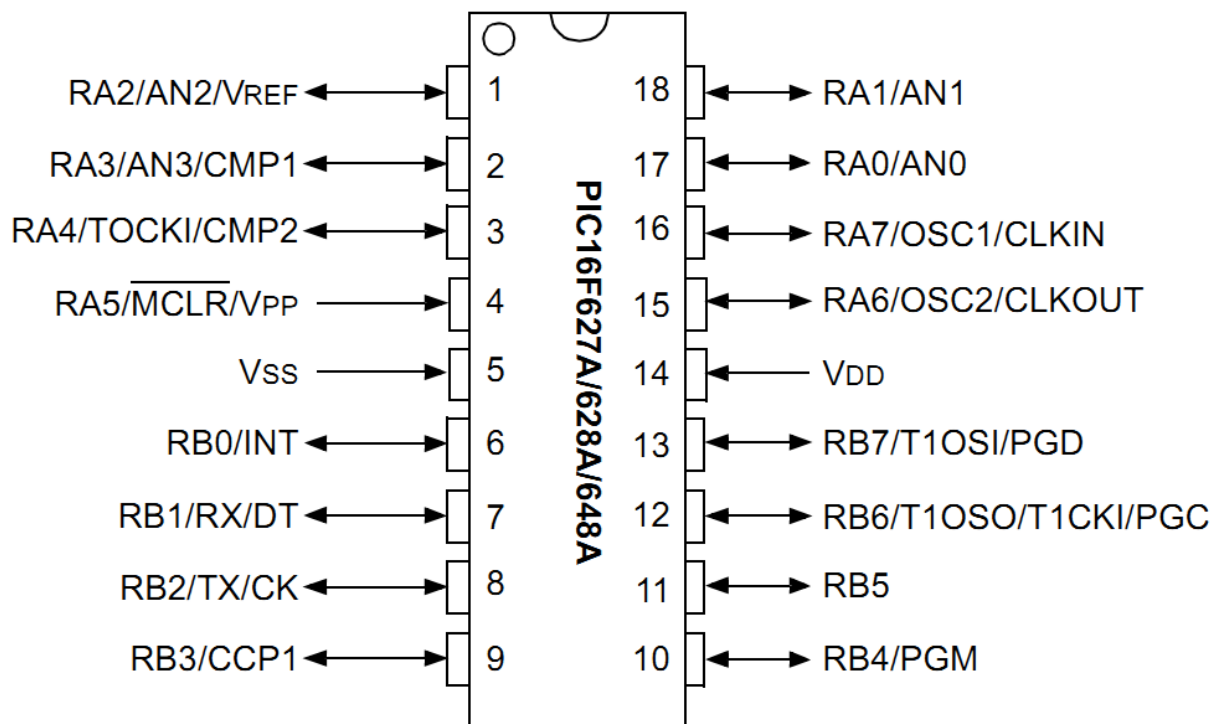


Figura 10 – Diagrama de Pinos do PIC16F628A
Fonte: PIC16F627A/628A/648A DataSheet (Microchip)

Tabela 8 – Relação de Pinos, Funções e Tipo de utilização para PIC16F628A

Pino	Função	Tipo	Descrição
1	RA2/AN2/Vref	Entrada/Saída	Entrada/Saída bidirecional Entrada do comparador analógico Saída de voltagem de referência

Pino	Função	Tipo	Descrição
2	RA3/AN3/CMP1	Entrada/Saída	Entrada/Saída bidirecional Entrada do comparador analógico Saída do comparador 1
3	RA4/T0CKI/CMP2	Entrada/Saída	Entrada/Saída bidirecional Entrada do comparador analógico Saída do comparador 2 Possui saída em dreno aberto.
4	RA5/MCLR/THV	Entrada	Entrada/Saída bidirecional Máster Clear – Reset Voltagem de Programação
5	VSS	Alimentação	Terra
6	RB0/INT	Entrada/Saída	Entrada/Saída bidirecional Interrupção Externa
7	RB1/RX/DT	Entrada/Saída	Entrada/Saída bidirecional Recebimento comunicação serial USART Entrada/Saída de dados síncrono
8	RB2/TX/CK	Entrada/Saída	Entrada/Saída bidirecional Transmissão comunicação serial USART
9	RB3/CCP1	Entrada/Saída	Entrada/Saída bidirecional Captura/Comparação/PWM (Pulse Width Modulation)
10	RB4/PGM	Entrada/Saída	Entrada/Saída bidirecional Programação em baixa voltagem
11	RB5	Entrada/Saída	Entrada/Saída bidirecional
12	RB6/T1OSO/T1CKI	Entrada/Saída	Entrada/Saída bidirecional Saída do oscilador externo do timer 1 Entrada do oscilador externo timer 1 Clock para programação
13	RB7/T1OSI	Entrada/Saída	Entrada/Saída bidirecional Entrada do oscilador do timer 1 de sleep Entrada/Saída de dados para programação
14	VDD	Alimentação	Alimentação Positiva
15	RA6/OSC2/CLKOUT	Entrada/Saída	Entrada/Saída bidirecional Entrada do oscilador a cristal Saída de Clock
16	RA7/OSC1/CLKOUT	Entrada/Saída	Entrada/Saída bidirecional Entrada do oscilador a cristal Entrada de Clock externo
17	RA0/AN0	Entrada/Saída	Entrada/Saída bidirecional Entrada do comparador analógico
18	RA1/AN1	Entrada/Saída	Entrada/Saída bidirecional Entrada do comparador analógico

Algumas características extras do PIC16F628A são ressaltadas segundo SILVA (2006), sendo elas:

- Memória do programa EEPROM de 2Kb x 14bits;
- Memória de dados EEPROM de 64 bytes;
- Memória RAM com 224 bytes, dividida em 4 bancos;
- Registro de propósito específico (SFR) com 32 posições;
- Registro de propósito geral (GPR) com 224 posições;
- ALU de 8 bits e registro de trabalho W, que reconhece entrada e saída ou próprio código de instrução;
- Pilha stack de 8 níveis;
- Contador de programa (PC) de 13 bits que permite endereçar a memória em ate 8 Kb;
- Port A de 8 bits de RA0 a RA7;
- Port B de 8 bits de RB0 a RB7;
- Temporizadores e contadores TMR0, TMR1 e TMR2;
- Captura, comparação e PWM;
- Voltagem de referencia;
- 1 canal de comunicação USART para comunicação serial;
- Memória interna EEPROM 128x8 bits;
- Oscilador de 4Mhz/37Khz;
- Tensão de Operação entre 3.0 a 5.5 V;

3 ESPECIFICAÇÃO DO HARDWARE E SOFTWARE

Os itens a seguir descrevem a construção física do módulo de controle e do componente de acionamento das válvulas que resultam no processo de abertura e fechamento do fornecimento de água para irrigação.

3.1 Fonte

É um dispositivo destinado a modificação de valores relativos à energia elétrica, tais como corrente, tensão e impedância. Para o projeto a fonte selecionada é composta por um trafo padrão comercial, de 6+6V tensão e 500mA de corrente. Complementando o componente de alimentação uma ponte retificadora, composta por diodos, ajusta a alternada da saída do trafo, para corrente contínua (C.c.) utilizada no circuito de controle (com base nas tensões de entrada – saída do microcontrolador).

3.2 Regulador de Tensão

Após a retificação da fonte que resultara em 12 volts de corrente contínua, utilizando um regulador de tensão LM7806 se consegue baixar a tensão fornecida a aproximadamente 5 volts da entrada especificada para o microcontrolador utilizado.

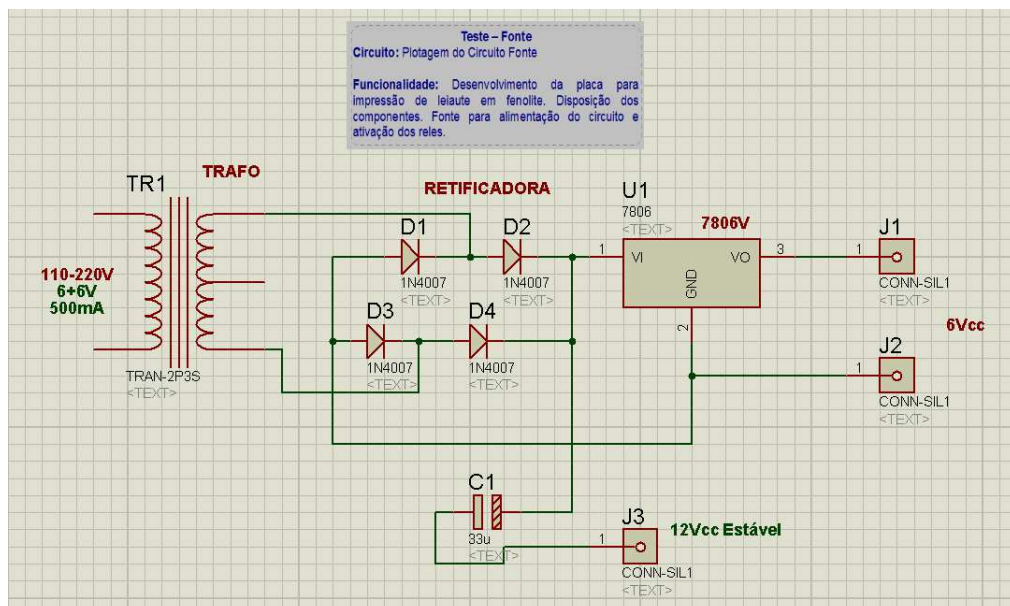


Figura 11 – Leiaute do circuito de fonte de tensão. Trafo, ponte retificadora e regulador de tensão

3.3 Interruptores Rotativos

O módulo controlador é composto por dois componentes rotativos. Cada chave ou interruptor é composto por cinco posições conforme encontrado para compra e utilização no projeto, no entanto, pode ser utilizada a mesma chave na configuração de quatro posições sem perda de recurso para o projeto. Com a utilização de uma chave de cinco posições, uma fica estabelecida como neutra, e as quatro demais utilizadas como indicador de informação de entrada no microcontrolador.



Figura 12 – Exemplo de Chave Rotativa

O fato do chaveamento rotativo não permitir a seleção de mais de um ponto de contato obriga ao microcontrolador tratar com exatidão o modo de funcionamento selecionado, garantindo ao programa menor quantidade de instruções, uma vez que trata entradas e saídas fixas e específicas. Cada chave seleciona um fator de entrada do microcontrolador. Uma chave seleciona a quantidade de vias a serem irrigadas. A seleção é feita de forma incremental no sentido horário de rotacionamento da chave. A outra chave de seleção de culturas, a partir do rotacionamento seleciona o tipo de cultura, com isso modificando os pinos de entrada verificados pelo programa, refletindo as alterações nos valores de entrada. Também altera os valores de tempo de acionamento das válvulas, conforme visto na tabela 9.

O microcontrolador efetua a leitura das chaves rotativas apenas uma vez, quando ligado. De acordo com o código de inicialização executado conforme segue figura 12. A mesma forma de verificação é efetuada pelo programa verificando a quantidade de linhas selecionada.

```

100 //Leitura da chave de seleção de Cultura
101 if ( input ( CULTURA1 ) ) {
102     P = 0;
103 }
104 if ( input ( CULTURA2 ) ) {
105     P = 4;
106 }
107 if ( input ( CULTURA3 ) ) {
108     P = 8;
109 }
110 if ( input ( CULTURA4 ) ) {
111     P = 12;
112 }

```

Figura 13 – Inicialização das Entradas do Microcontrolador para seleção de Culturas

3.4 Microcontrolador

O módulo principal de controle tem seu funcionamento baseado em um microcontrolador PIC16F628A. Sua função é efetuar as leituras das portas de entrada e acionar as portas de saídas conforme o programado de forma a automatizar o periférico sob seu controle.

O microcontrolador em questão está programado para oito entradas “input” e quatro saídas “output”. Das oito entradas utilizadas, quatro informam ao microcontrolador a cultura selecionada e as quatro restantes, informam a quantidade de vias de irrigação utilizadas.

A partir da seleção por rotacionamento da chave rotatória, e alimentação adequada do circuito como um todo, o microcontrolador inicia seus processos de verificação dos valores. A tabela 9 relaciona a utilização dos pinos utilizados no microcontrolador, sua função e ação no circuito. Para evitar laços de verificação para todas as entradas possíveis disponibilizadas pelo projeto, optou-se por parametrizar seus valores utilizando vetores unidimensionais. As principais variáveis de controle, pré-estabelecidas, pelos cálculos aplicados a irrigação, foram dispostos em código através de vetores. O uso de vetores aperfeiçoa a programação e execução do programa pelo microcontrolador. O não uso de vetores inviabiliza o projeto para o microcontrolador apresentado, uma vez que a quantidade de variáveis e validações provoca o estouro da capacidade de memória do microcontrolador.

Conforme a tabela 11, a parametrização dos valores da irrigação, os vetores que controlam todo o processo do microcontrolador são apresentados no código a seguir:

Através de um interruptor rotativo, visto na figura 12, de mesma configuração para as duas seleções, é informado ao microcontrolador apenas um tipo de cultura e apenas uma quantidade de via(s) a serem irrigadas. Esta seleção prevalecerá por todo o ciclo de desenvolvimento da cultura selecionada até que o módulo seja reiniciado por reset ou desligamento do sistema.

Após a seleção do tipo de cultura o microcontrolador passa a processar os parâmetros de irrigação estabelecidos para a cultura selecionada. Para isso são levados em consideração os itens descritos de necessidade hídrica de cada cultura e a quantidade de vias informadas. O botão reset assim que acionado, reinicia o fluxo do processo, fazendo com que o microcontrolador efetue nova leitura das portas de entrada e inicie um novo ciclo de desenvolvimento para a cultura que estiver selecionada. Com isso, o sistema não admite reinício do fluxo do processo com uma cultura que tenha sido iniciada sem que haja perda de qualidade na irrigação. Assim, uma cultura que esteja em um estágio de desenvolvimento avançado, como frutificação recebendo irrigação correta para o estágio em que se encontra, após um reset, receberá a quantidade hídrica para o estágio de germinação que pode comprometer a qualidade da produção final da cultura.

Tabela 9 – Relação dos Pinos utilizados, sua função no microcontrolador e sua descrição para qual foi utilizada no projeto

Pino	Função	Descrição	Ação
1 - RA2/AN2/Vref	Entrada	Seleção de Cultura 3	Cenoura
2 – RA3/AN3/CMP1	Entrada	Seleção de Cultura 4	Tomate de Mesa
3 - RA4/T0CKI/CMP2	Não Utilizado	Não Utilizado	Não Utilizado
4 - RA5/MCLR/THV	Reset	Reset	Reset do funcionamento do Microcontrolador
5 - VSS	GND	GND	Fonte
6 - RB0/INT	Saída	Ativa Via 1	Solenóide 1
7- RB1/RX/DT	Saída	Ativa Via 2	Solenóide 2
8 - RB2/TX/CK	Saída	Ativa Via 3	Solenóide 3
9 - RB3/CCP1	Saída	Ativa Via 4	Solenóide 4
10 - RB4/PGM	Entrada	Seleção de Vias 4	Aciona solenóide 1, 2, 3 e 4 separadamente
11 - RB5	Entrada	Seleção de Vias 3	Aciona solenóide 1, 2 e 3 separadamente

Pino	Função	Descrição	Ação
12 - RB6/T1OSO/ T1CKI	Entrada	Seleção de Vias 2	Aciona solenóide 1 e 2 separadamente
13 - RB7/T1OSI	Entrada	Seleção de Vias 1	Aciona solenóide 1
14 - VDD	Alimentação	5 volts	Fonte
15 - RA6/OSC2/ CLKOUT	Oscilador Externo	Oscilador	Oscilador
16 - RA7/OSC1/ CLKOUT	Oscilador Externo	Oscilador	Oscilador
17 - RA0/AN0	Entrada	Seleção de Cultura 2	Beterraba
18 - RA1/AN1	Entrada	Seleção de Cultura 1	Alface

Para os valores de tempo de rega e turno de rega o fator determinante no código programado é o ciclo de desenvolvimento da cultura. Tal ciclo é dividido em quatro conforme visto anteriormente.

De acordo com a cultura selecionada os vetores de parâmetros se iniciam respectivamente para o apontamento determinado na seleção da chave rotativa. A figura 14 ilustra como é feito a diferenciação da cultura diante dos vetores de parâmetros para a cultura, ou seja, quando a cultura 1 é selecionada seus valores possíveis para determinar seus períodos de rega estão alocados de 1 a 4 no vetor de 16 posições, em seguida da cultura 2 da posição 5 a 8 e assim por diante conforme visto na tabela 11.

```

54 //ESTABELECIDO QUE AS CULTURAS ESTUDADAS POSSUEM 4 CICLOS DE DESENVOLVIMENTO
55 //EM QUE SE FAZ NECESSARIA A IRRIGACAO DE FORMA DIFERENCIADA PARA CADA CICLO.
56 //DOS 4 CICLOS ESTABELECIDOS ESTAO: GERMINACAO, CRESCIMENTO, FRUTIFICACAO E COLHEITA
57 //DISTRIBUIDOS RESPECTIVAMENTE EM VALORES 0 , 1 , 2 E 3.
58
59 int CICLO_DESENVOLVIMENTO = 0 ;

```

Figura 14 – Inicialização do Ciclo de Desenvolvimento

3.5 Cálculos do Manejo de Irrigação e Definição de Parâmetros

Para os cálculos dos parâmetros necessários para o processamento da rotina cíclica do microcontrolador é necessária estudo da teoria apresentada sobre manejo de irrigação. Visando aplicar um padrão de irrigação adequado ao bioma de cerrado, primeiramente é selecionado o tipo de textura do solo a ser estudado. Predominando o tipo de textura de solo franco-arenoso-argiloso para cerrado o valor médio atribuído a DTA conforme tabela 2 é de

1,7 mm/cm . Enquanto $f = 0,4$ médio, utilizado para grupo de verduras e legumes conforme tabela 1.

Utilizando a equação (2) $DRA = 0,68$, enquanto que CTA é calculado de acordo com a equação (3) e depende da profundidade efetiva radicular da qual varia de acordo com a fase de desenvolvimento e o tipo de hortaliça selecionado. Na tabela 7, o valor de Z (profundidade efetiva da raiz), é encontrado para cada hortaliça selecionada. Com a equação 3, o valor da capacidade total de água no solo é encontrada.

A partir dos valores calculados o valor para CRA pode ser encontrado utilizando a equação 4 ou a 5 o que retornará a capacidade real de água no solo em mm .

Como o projeto trata de bioma de cerrado e estação seca os fatores de evapotranspiração utilizados são baseados nas tabelas 4, 5 e 6 e nas figuras de 2 a 7 o valor de URm (umidade relativa média) adotados das tabela é de 70% e temperatura média 24 °C. A partir do CRA e da ETc, calcula-se o turno de rega para cada cultura com base na equação 9. Selecionado no mercado o gotejador fabricado pela Agrojet, especificado por GA-4, com grapa, que possui uma vazão de 4,76L.h⁻¹ a 10 m.c.a. dado pelo fabricante. Assim utilizando a equação 8, calculou-se a IRN ou lamina real necessária utilizando como fator de eficiência do método de irrigação selecionado 90%.

A tabela 10 faz referencia, aos intervalos de dias que cada cultura permanece na fase de desenvolvimento. Os intervalos compõem os valores de dias da cultura da tabela 11.

Tabela 10 – Definição de Períodos de Desenvolvimento em dias por Cultura

Cultura	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
Alface	10	15	20	10
Beterraba	0 a 30	31 a 60	61 a 80	81 a 100
Cenoura	0 a 35	36 a 65	66 a 95	96 a 125
Tomate	0 a 15	16 a 45	46 a 86	87 a 125

Tais valores calculados e consolidados para cada cultura em cada ciclo de desenvolvimento compõem a tabela 11, que serve de insumo para a parametrização das variáveis de controle do programa.

Tabela 11 – Preenchimento da parametrização dos valores para controle do sistema

	Cultura 1 Alface				Cultura 2 Beterraba				Cultura 3 Cenoura				Cultura 4 Tomate			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Posição no vetor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Fase de Desenvolvimento	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Intervalo entre Regas (Turno de Rega) em dias	2,49	3,03	3,32	3,64	3,11	6,05	6,22	7,28	2,02	3,27	5,38	5,04	2,87	4,79	3,73	8,62
Tempo de Irrigação em minutos⁽¹⁾	78	117	156	156	78	234	312	312	78	156	312	312	78	195	195	351
Dias da Cultura⁽²⁾	10	20	20	10	30	30	20	20	35	65	95	125	15	30	40	30

(1) Valores arredondados desprezando casas decimais.

(2) Valores ajustados pela média ou por maior intervalo para adequação ao programa.

O módulo possui led's indicativos de funcionamento e acionamento das válvulas, no momento em que estão ativas. Utilizou-se led's tipo 5mm fosco difuso na cor vermelha devido o menor custo do componente em relação a outros tipo e por fornecer igual funcionalidade.

3.6 Fluxograma de Execução e Disposição de Elementos

A figura 15 ilustra o fluxo de funcionamento do programa onde os valores selecionados pelo usuário (cultura e linha), informam ao microcontrolador os parâmetros a serem atribuídos as variáveis de controle de acordo com a composição da tabela 11 (turno, fases, ciclo). Assim no momento em que a cultura deva ser irrigada o programa comanda o acionamento da válvula que permanece acionada pelo tempo de irrigação determinado. Ao fim do último ciclo de desenvolvimento da cultura o programa pausa a execução, utilizando função *sleep()*, aguardando nova seleção pelo usuário e a necessidade de reiniciar via “reset” ou desligamento do aparelho. O fluxograma de execução do programa pode ser consultado no apêndice B deste trabalho.

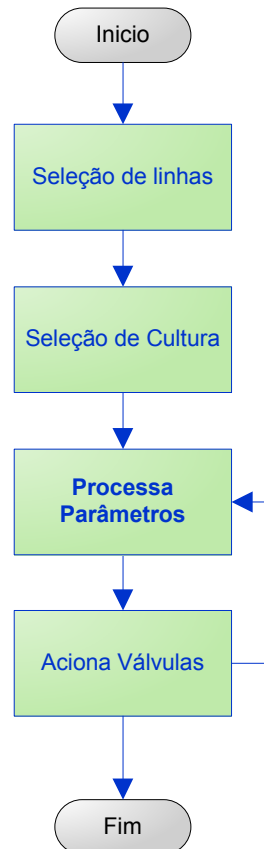


Figura 15 – Fluxograma de execução, macro visão do processo

A figura 16, ilustra um modelo de disposição dos elementos do projeto em caso de aplicação prática em campo. Conforme a ilustração, é exibido o reservatório de água elevado que é tido como fonte do recurso água que alimenta as tubulações e chega às linhas de irrigação através de canos. O módulo de controle recebe energia a 220 volts de tensão da rede local, as linhas de instalação representam os fios do tipo utilizado em instalações telefônicas ou de rede, aplicados em duplas sendo uma dupla para cada acionador. Cada linha aciona um relê que aciona uma válvula solenóide que deve receber tensão de rede de 220 volts. O acionamento do solenóide abre a válvula proporcionando escoamento da água pela tubulação propiciando a irrigação.

O circuito de controle deve estar a uma distância não maior que a influencia negativamente no acionamento dos relês devido à queda de tensão nos condutores. Deve ser instalado preferencialmente de forma protegido das intempéries naturais do ambiente. Os canteiros são apresentados como a quantidade máxima abrangida pelo controle, sendo que cada um é irrigado por vez. Quando acionada a válvula e iniciada a irrigação o controle inicia o a contagem de tempo necessária para o fornecimento de água para a cultura selecionada de acordo com o ciclo de desenvolvimento. Após o tempo de irrigação ou de válvula ligada, esta

é desligada e ligada à válvula seguinte seguindo o mesmo critério para acionamento e desligamento.

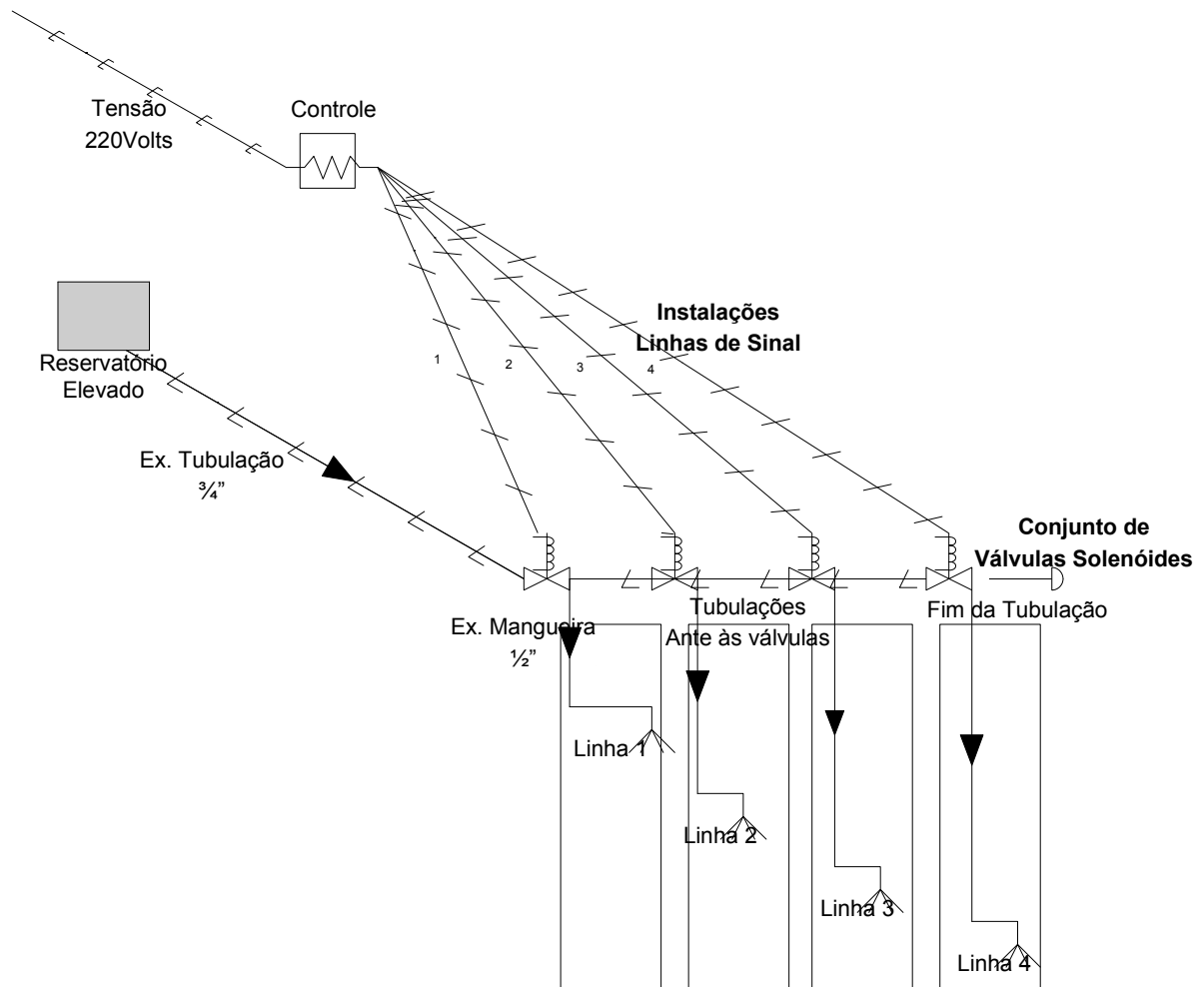


Figura 16– Modelo de Irrigação Controlada

3.7 Diretivas do Compilador

Segundo PEREIRA (2007) para iniciar a programação do microcontrolador especificado, é necessário à configuração de biblioteca padrão de acordo com o compilador. O “16F628.h” é um arquivo com as definições relativas ao processador, para o qual o programa será compilado. Com isso, quando necessária à alteração do microcontrolador por outra linha basta que o processador desejado atenda aos demais requisitos do circuito e ao fonte do programa seja compilado a partir da vinculação de sua biblioteca. Também se deve observar junto à interface de programação utilizada à alteração do microcontrolador.

A seguir a utilização do código #use delay (clock=4000000). Especifica uma diretiva interna do compilador. Onde para a geração do programa, foi utilizado um valor de 4Mhz na

frequência de clock, uma vez utilizada à configuração de clock externo com uso de cristal 4Mhz e capacitores 15-30pF conforme recomenda SILVA (2006), ajustado para 15-33pF comercial.

3.8 Válvulas Solenóides

As válvulas solenóides selecionadas para utilização no projeto são geralmente utilizadas na automação de máquinas de lavar roupas, mostrada na figura 17. Confeccionadas com circuito normalmente fechado, seu estado de desligado, impossibilita a irrigação formando uma barreira para a água na tubulação. Seu acionamento é obtido a partir do comando que o microcontrolador aplica ao circuito de saída, e acionando o circuito relé aciona também a solenóide da válvula com a tensão de rede aplicada de 220 volts.



Figura 17– Válvula Solenóide Utilizada

As válvulas são localizadas nas cabeças dos ramais conforme ilustra a figura 16. Com isso, o tempo de acionamento da válvula e o enchimento da tubulação é reduzido, propiciando maior eficiência ao sistema e reduzindo o tempo em que a válvula esteja acionada e a água esteja fluindo pela tubulação.

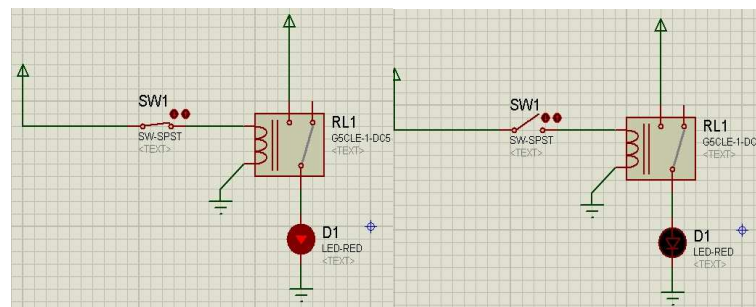
3.9 Projeto do Circuito

O início do projeto do circuito levou em consideração o acionamento das válvulas levando em conta um chaveamento manual, a fim de que, com a evolução do circuito alcançar este mesmo acionamento, porém automaticamente e efetuado pelo microcontrolador.

Para isso, inicialmente foi estabelecida a utilização do *software* de projeto, edição e testes de circuitos ISIS[®], o *software* ARES[®] para confecção da placa do circuito. Estes formam o pacote conhecido como PROTEUS[®] da *Labcenter Eletronics*. Sua utilização, configuração e recursos não serão tratados por não ser foco do trabalho e sua utilização neste

ter sido apenas como ferramenta para o desenvolvimento. Ressaltando que para igual realização deste projeto se faz necessário o conhecimento prévio de todas as ferramentas envolvidas, tanto as de *software* quanto de *hardware*.

O acionamento inicial de um *led* via um circuito simples de liga / desliga dá o primeiro passo para o projeto do circuito. Em seguida a utilização do relé para o acionamento também de um *led*, que visa o princípio do controle do acionamento das válvulas. A figura 18 demonstra o acionamento do relé por chaveamento.



**Figura 18 – Primórdios do projeto.
Acionamento de Relés**

Em seguida foi idealizada a necessidade da aplicação de optoacopladores que recebem o sinal emitido pelo microcontrolador a 5 volts, e a partir do sinal, emitem a tensão necessária para alteração do chaveamento dos relés. Com a utilização de relés acionados com tensão entre 9 e 24 volts. Os optoacopladores são utilizados neste circuito, pois além de separar o circuito de controle e o de acionamento, este recebe uma tensão menor do que a de acionamento do relé sendo que em sua saída foi utilizado uma tensão de 12 volts para o acionamento do relé.

A figura 19, ilustra o projeto onde já existem os alvos acionados, os relés e o circuito com optoacopladores e seus devidos chaveamentos simulando as saídas do microcontrolador.

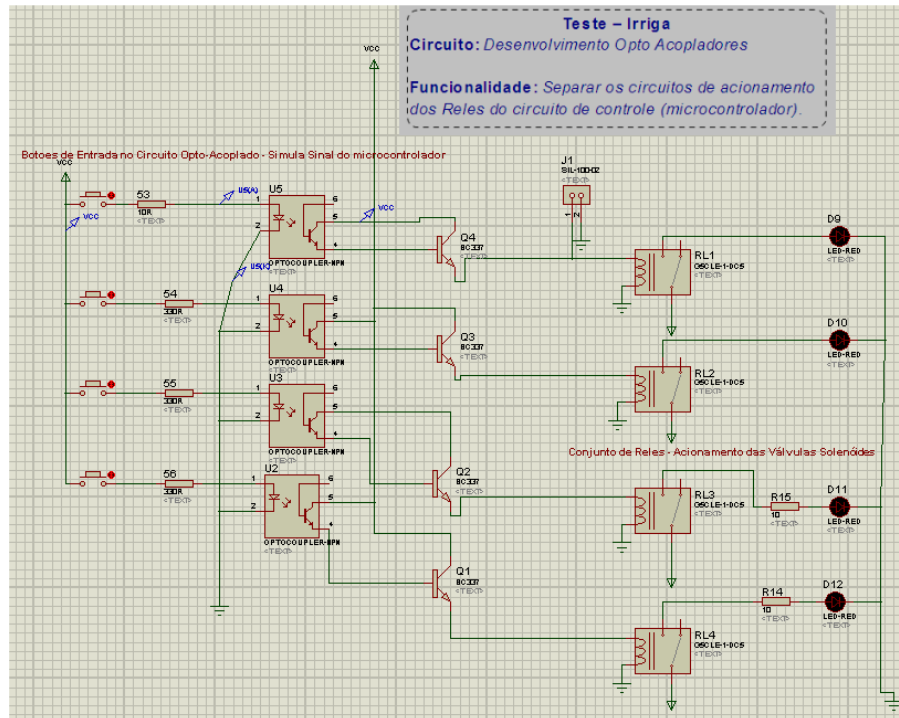


Figura 19 – Projeto de acionamento com optoacopladores nenhum acionado

As figuras 19, 20 e 21 ilustram o funcionamento dos optoacopladores com o fechamento da chave fornecendo tensão ao optoacoplador e acionando o relé respectivo a chave.

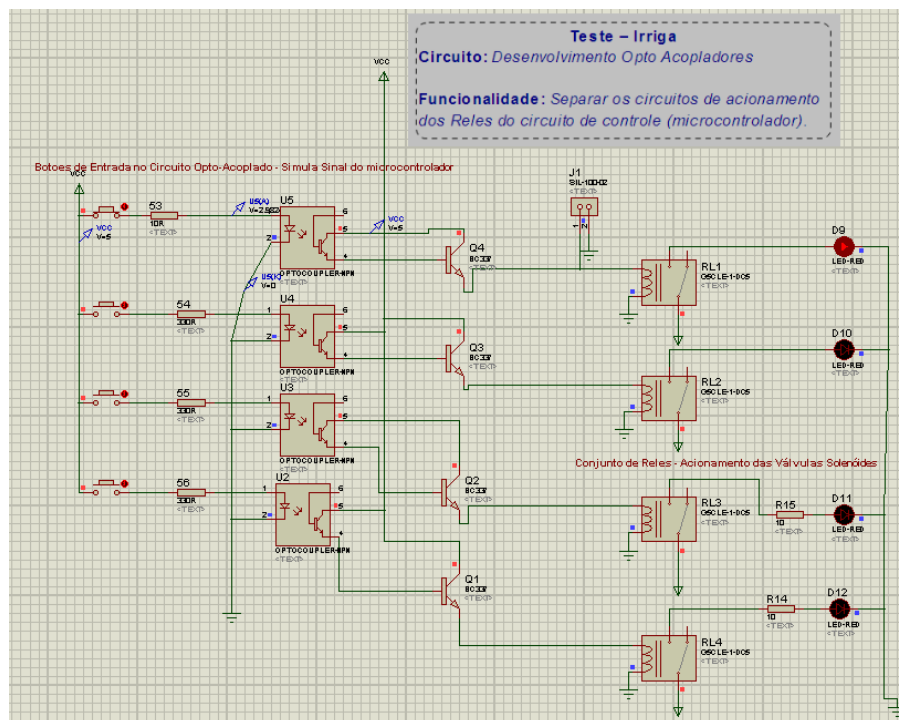


Figura 20– Projeto de acionamento com optoacopladores chave 1 acionada

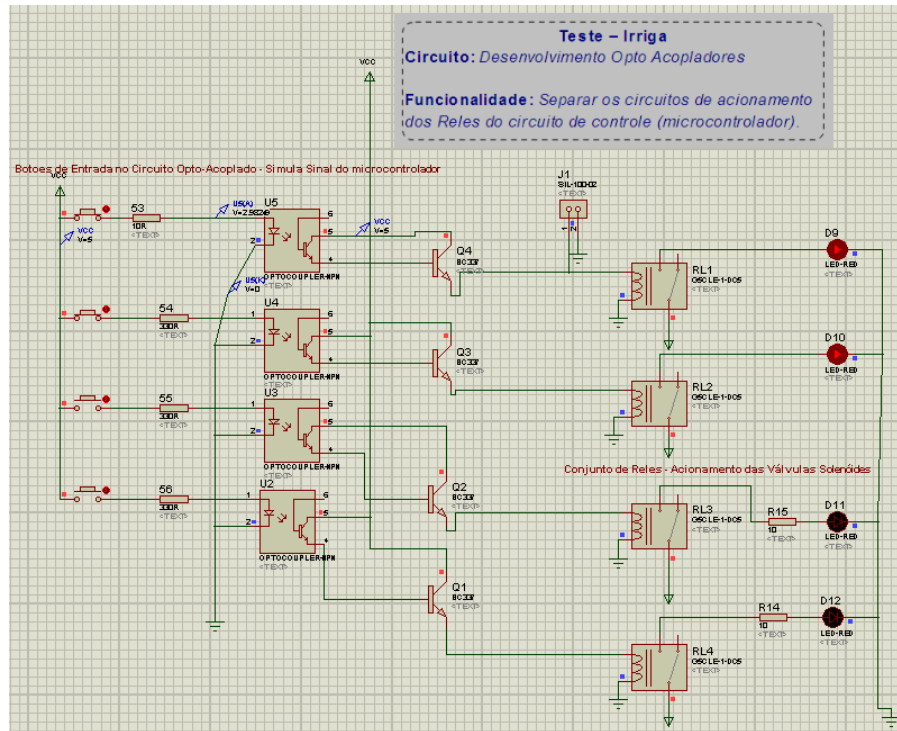


Figura 21– Projeto de acionamento com optoacopladores chave 1 e 2 acionada

Em seguida o projeto do circuito de tratamento do microcontrolador é iniciado com a utilização do microcontrolador adotado PIC16F628A, também disponível no software utilizado para simulação. A integração com o fonte hexadecimal, gerado a partir da compilação do código do programa C, facilitou a simulação e os testes na implementação do circuito de controle. A figura 22 remete ao projeto de uma aplicação simples de acionamento de leds, baseado nas saídas do microcontrolador.

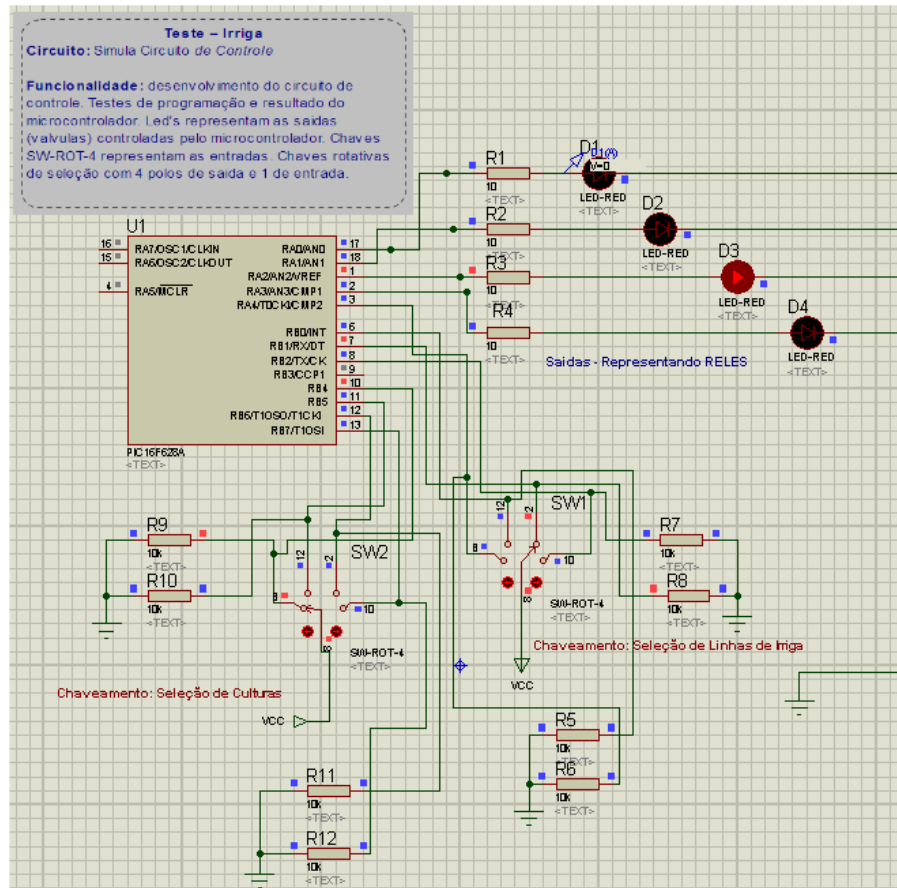


Figura 22– Acionamento do microcontrolador por chaves rotativas com resultados de atuação nas saídas.

Para o acionamento dos leds para fins de teste do projeto, foi aplicada a função vista na figura 22. Observa-se o acionamento e desligamento dos leds com uso da função *output_high()* e *output_low()*, juntamente da função de *delay()* aplicando um valor que seja possível observar o funcionamento dos comandos de liga/desliga desejados para esta fase do projeto. Também foi acoplado ao projeto as chaves rotativas de 4 posições conforme proposto pelo projeto a seleção de quatro possibilidades de cultura e de distribuição da irrigação.

A leitura das chaves é feita a partir da porta selecionada do microcontrolador conforme a tabela 9, demonstra o uso das portas e suas aplicações. No código, a função *input()* faz a leitura digital da porta referente à posição ligado da chave rotativa ou o terminal que recebe 5 volts fornecido pela chave.

Sucedendo ao projeto de desenvolvimento da parte do microcontrolador, a integração do circuito do microcontrolado com o circuito de optoacopladores é feita sem complexidade ou maiores problemas como observado na figura 23.

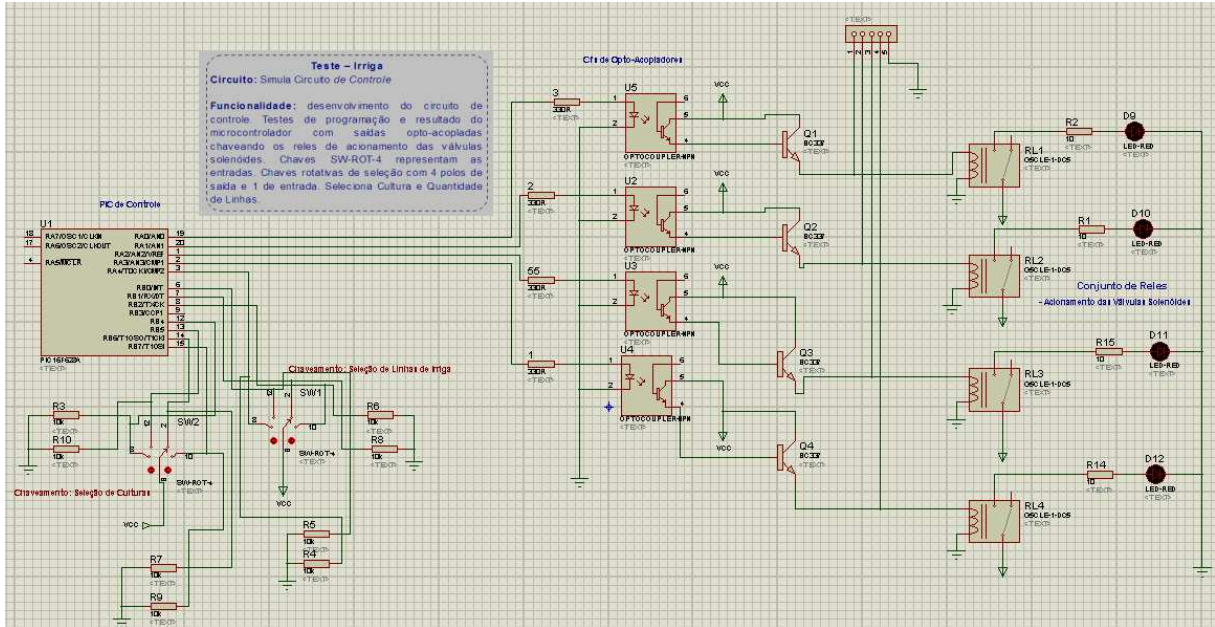


Figura 23– Acoplamento do Circuito optoacopladores e relés com circuito microcontrolador e chaves rotativas

Na figura 24 a seguir, é possível observar o funcionamento simulado do circuito observando a saída de resultado na porta RA2 devido à seleção da chave rotatória de seleção de linhas (chave de seleção a esquerda na figura citada) estar selecionada na posição 3 (ou RB1).

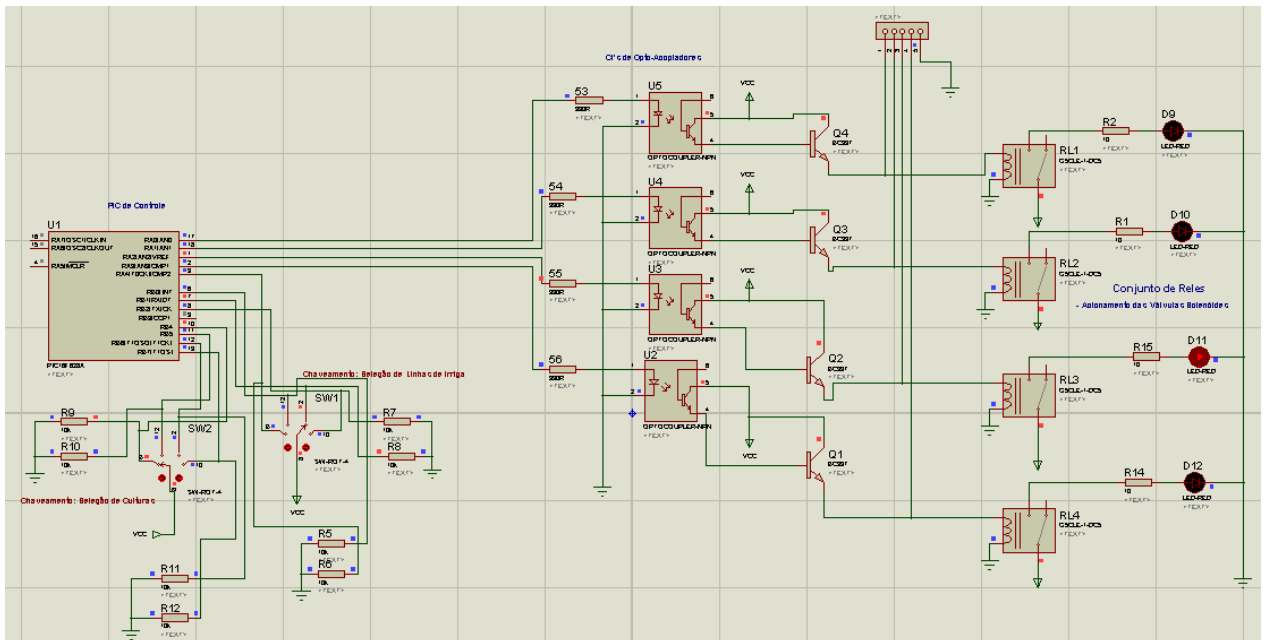


Figura 24– Acionamento do relé resultado da saída do microcontrolador

O leiaute PCB dos circuitos anteriormente projetados foram desenvolvidos com auxílio do ARES[®]. O software possui integração com o ISIS[®] utilizado no projeto do circuito,

o que facilita as interligações físicas do projeto da placa para sua futura reprodução em circuito impresso.

Do projeto mostrado pela figura 24, é criada a primeira placa de controle em sua versão para impressão e construção do circuito. No entanto, esta não será a versão mais aceita aplicada ao projeto. Após importação dos componentes e conexões conforme projetado foi observado que tal circuito deveria ter a modificação quanto à utilização das portas do microcontrolador. Anteriormente, na fase do projeto, as portas do microcontrolador foram utilizadas de forma sequencial, facilitando a visibilidade das conexões entre os componentes e sua programação. No entanto, ao posicionar os componentes na forma a qual seriam levados a placa de fenolite, o cruzamento das conexões entre o microcontrolador e os componentes que o circundavam, não permitia a construção da placa devido à desconsideração do posicionamento das portas do microcontrolador na fase de projeto.

Ao tratar o microcontrolador e seus terminais, como especificados e visando a melhor disposição dos componentes na placa minimizando a utilização de jumpers, a fase de projeto foi retomada. A alteração da utilização das portas impactada pela fase de construção da placa impactou também no desenvolvimento do *software*, uma vez que modificando a forma de tratamento das entradas e saídas do microcontrolador o programa também sofrerá as alterações. A tabela 11 mostra como as portas eram tratadas no projeto, por sua primeira versão e depois de detectada a falha a dificuldade de disposição dos componentes a partir da utilização das saídas, e como foram alteradas resultando no circuito, demonstrado pela figura 25. Tal alteração se deu pela forma de utilização dos pinos na placa de acordo com o posicionamento das chaves e das saídas, focando melhor conexão das linhas e por consequência posicionando o microcontrolador de forma esteticamente e tecnicamente mais adequada.

Tabela 11 – Antes e depois do reposicionamento das portas do microcontrolador. Visando redução dos cruzamentos das linhas e uso de jumpers na confecção do circuito.

	Antes		
	Chave Rotativa 1 – Seleção de Culturas	Chave Rotativa 2 – Seleção de Quantidade de Linhas	Saídas de Acionamento – Linhas

Posição	Porta Utilizada	Porta Utilizada	Linha
1	RB4	RA4	RA0
2	RB5	RB0	RA1
3	RB6	RB1	RA2
4	RB7	RB2	RA3
Depois			
	Chave Rotativa 1 – Seleção de Culturas	Chave Rotativa 2 – Seleção de Quantidade de Linhas	Saídas de Acionamento – Linhas
Posição	Porta Utilizada	Porta Utilizada	Linha
1	RA0	RB7	RB0
2	RA1	RB6	RB1
3	RA2	RB5	RB2
4	RA3	RB4	RB3

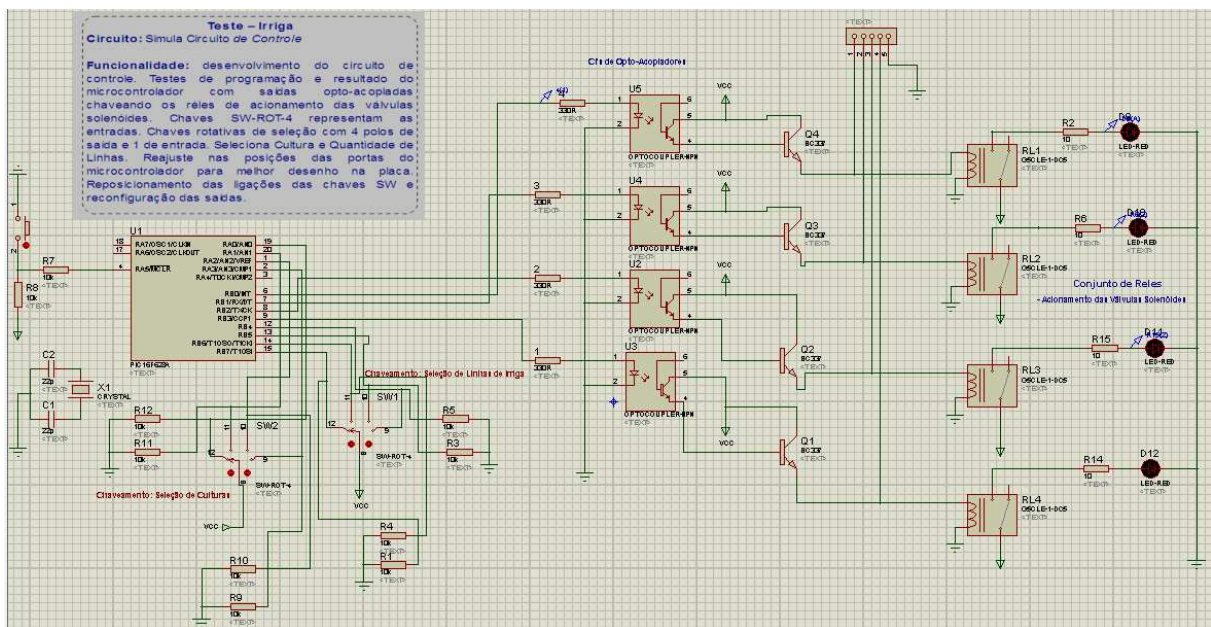


Figura 25– Circuito de Controle após alteração do uso das portas do microcontrolador

Outro fator impactante no projeto foi o da necessidade de adaptação do projeto a falta do soquete próprio para o PIC utilizado. Conforme visto, o PIC16F628A possui 18 pinos sendo para o projeto um soquete de 18 pinos resolveria. No entanto, sua falta no mercado, tanto local quanto em fornecedores de outros Estados, obriga mais uma vez a modificação do

projeto para ajustar um soquete de 20 pinos. Tal alteração, não provoca modificações no programa, pois se mantém a utilização dos pinos conforme tabela 11. Foi alterado apenas a configuração do componente tanto no projeto do ISIS[®] quanto do ARES[®] com relação a pinagem adotada para o microcontrolador. A figura 26, permite visualizar o circuito de controle em modo edição e prontos para impressão e geração da placa de circuito impresso.

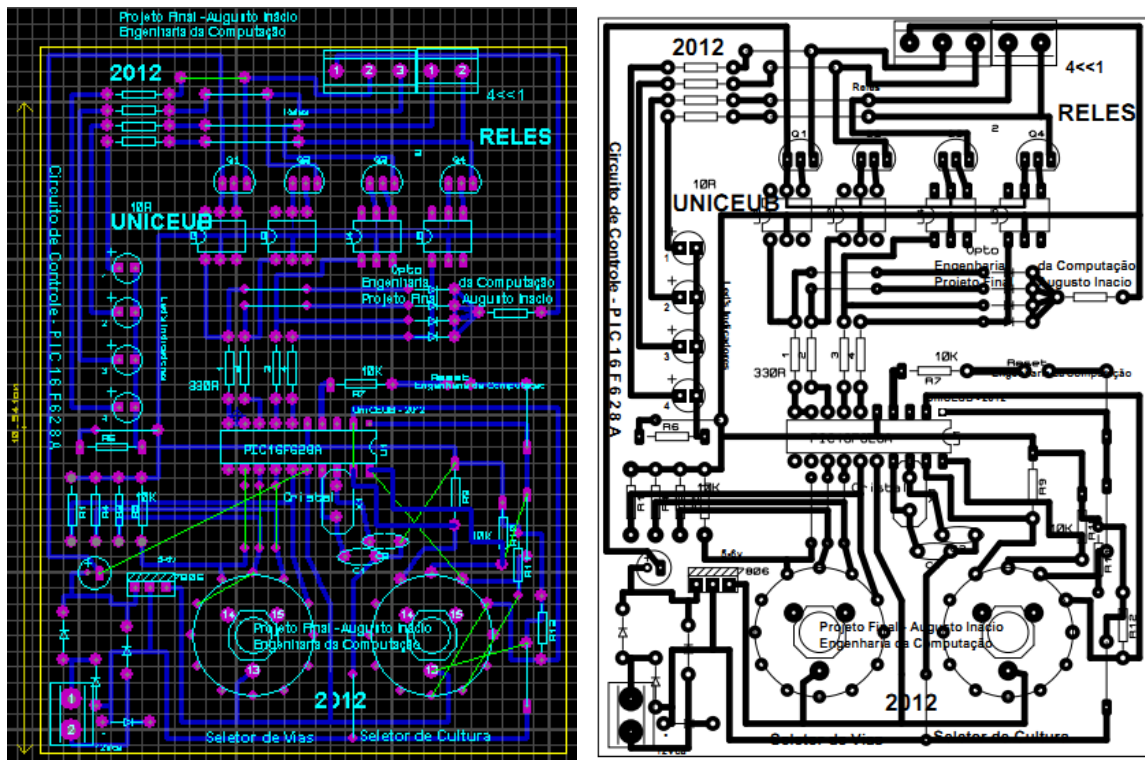


Figura 26– Leiaute do Circuito de Controle

A maneira adotada no projeto separa o circuito que aciona a válvula solenóide do circuito de controle. Devido ao fato de o circuito de controle ser menos robusto e frágil em relação a um circuito que trata somente de relé e tensões de entrada e saída optou-se por separar estes dois circuitos. Outro fator vantajoso nesta separação é o econômico, uma vez que estando o solenóide próximo o seu relé de acionamento e este relé não necessitar de um cabo de bitola igual ao cabo que fornece a tensão a solenóide seu valor de instalação é reduzido. Isto, pois a tensão fornecida de pico para o relé deve estar entre 10 e 12 volts enquanto a fornecida para acionamento do solenóide da válvula deve estar entre 210 e 230 volts, ou dependendo da especificação da válvula utilizada. A figura 27 mostra a placa com relé e a disposição dos componentes de ligação a parte do solenóide a direita do relé e a esquerda a entrada do sinal originado no circuito de controle.

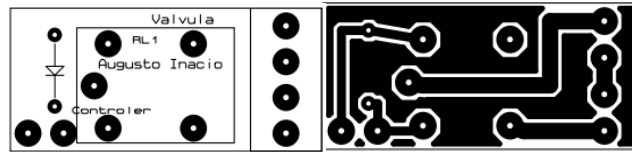


Figura 27– Vista Superior e Inferior da Placa de comando da Válvula Solenóide

A figura 28 ilustra o projeto do circuito da placa de controle de acordo com simulação 3D do circuito. Isso auxilia a visualização da disposição dos componentes anteriormente a construção e soldagem na placa.

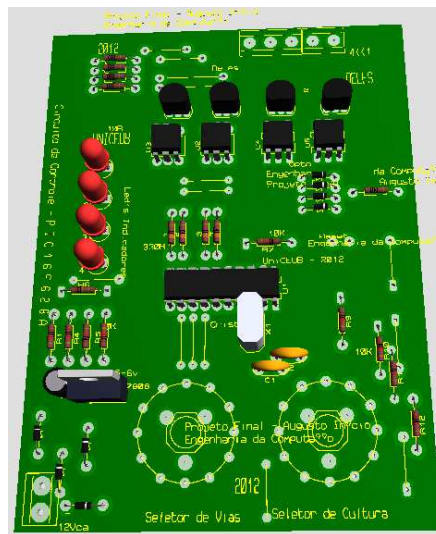


Figura 28– Vista dos Componentes dispostos a simulação 3D do ARES.

Uma ressalva a utilização de jumpers na prototipagem. Esta pôde ser facilitada traçando-se uma trilha na via em que o jumper fará sua função. Ao fim da simulação, quando não houver mais apontamento de pendência de ligações pelo *software* de simulação, “apagar” as ligações em trilha que fazem função do jumper que após a confecção da placa sua função será efetuada sem prejuízos para o projeto.

3.10 Construção

Para a confecção da base que receberá os componentes do circuito, foi utilizado o método de transferência térmica do modelo projetado. Este é um dos métodos mais simples e de menor custo para a confecção de placas de circuito. Após o projeto finalizado, é necessária a impressão do modelo em uma folha de papel fotográfico, ou papel tipo “*glossy*”, encontrado em papelarias. O método consiste em imprimir o circuito ao qual se deseja transpor na placa de fenolite, atentando para que não ocorram erros de projeto e confecção, estes contabilizam prejuízos tanto materiais quanto de tempo.

Anteriormente a transposição da figura impressa, se deve higienizar com sabão e palha de aço a placa que receberá o desenho. Isso facilita e torna confiável a transposição evitando falhas. Após a limpeza da base é recomendado a secagem, no caso do projeto todas as fases de secagem foram auxiliadas de soprador térmico. Após a secagem da placa a transposição ocorrerá apenas sobrepondo o desenho impresso no papel “*glossy*” e a placa de fenolite no lado do cobre e aquecendo com auxílio de um ferro de passar roupas o papel sobre a placa pressionando o conjunto por volta de 2 a 3 minutos. Após a verificação da fixagem do papel na placa o grau de acerto do processo é alto. Com isso, lava-se novamente a placa para que se extraia todo o papel utilizado. A figura 29 ilustra a placa em processo de lavagem e retirada do papel. Quando da utilização de impressora laser de qualidade, esta fase pode-se utilizar esponja de aço para agilizar o processo sem aplicar força que possa danificar a impressão das trilhas do circuito.

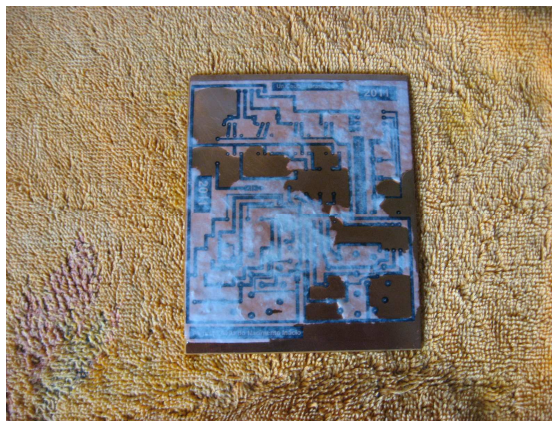


Figura 29– Extração do papel utilizado para transferência do desenho do circuito

A figura 30, remete a verificação das trilhas do circuito impresso após a transferência térmica e constatação de que não ocorreram falhas nos processos anteriores.

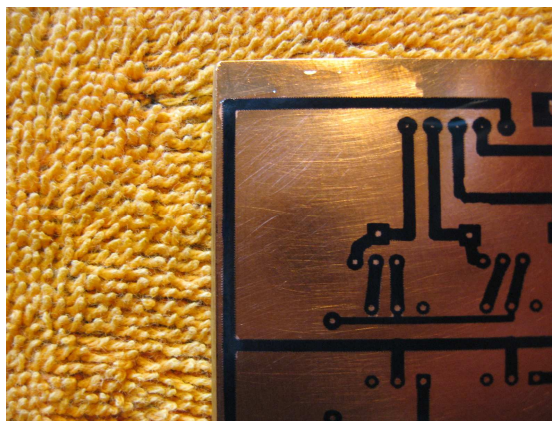


Figura 30 – Verificação das trilhas de Impressão do Circuito

A próxima etapa é a de corrosão por perclorato de ferro, figura 31. Nesta fase, o tempo de corrosão dependerá da concentração da solução e da quantidade de cobre necessário corroer.

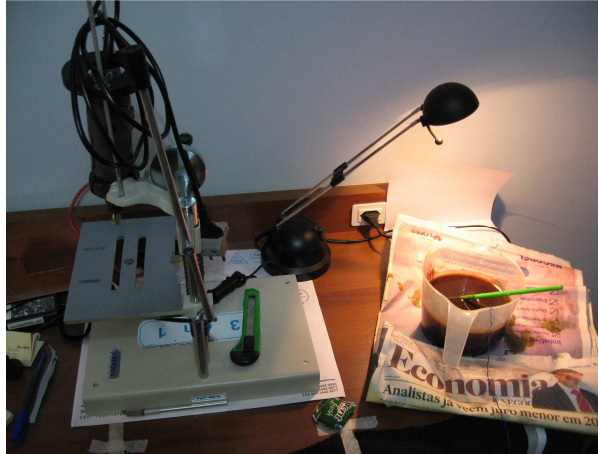


Figura 31– Corrosão por Perclorato de Ferro da Placa do Circuito

Dada a corrosão pelo perclorato de ferro e a impressão do circuito conforme projetado concretizado em placa de circuito evoluiu o processo para a retirada da tinta onde as trilhas não sofreram o processo químico, conforme figura 33. Este se dá também com uso de esponja de aço facilitando o processo. Também podendo ser auxiliado por água corrente e sabão líquido, sendo que adotando esta forma se deve secar novamente a placa. Este procedimento evita que durante o processo de perfuração os poros perfurados não sejam infectados com dejetos do processo de perfuração em junção com a umidade.



Figura 32– Placa em limpeza da tinta de impressão após processo de corrosão

O uso de ferramental adequado para cada processo de confecção da placa promove uma construção de qualidade. No caso das perfurações das placas, com auxílio de uma microrretífica e brocas de 1/32", 3/64" e 1/16" o poros se ajustaram adequadamente a cada

componente aplicado ao circuito. O processo de perfuração da placa pode ser efetuado anteriormente a extração da tinta, no entanto deve ser observado o fator de infecção dos poros por dejetos conforme citado anteriormente. A perfuração e a ferramenta para este fim pode ser observada na figura 34.

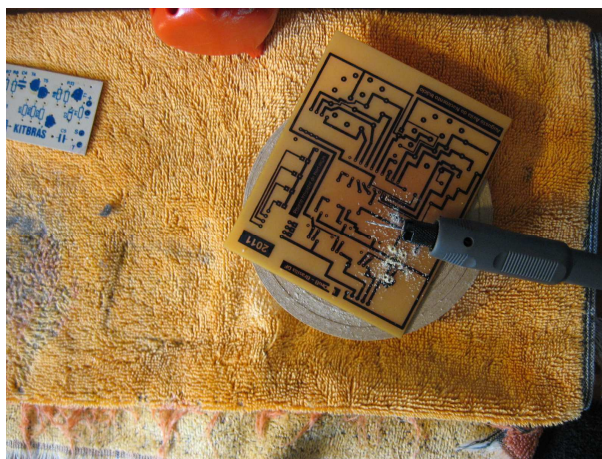


Figura 33– Placa de Circuito em processo de perfuração para fixação dos componentes do circuito

Nesta fase da construção do circuito de controle, observa-se o processo de soldagem dos componentes vide figura 34. A utilização de suportes próprios para este fim facilita extremamente o processo aumentando a segurança e evitando retrabalho. O uso de uma estação de solda adequada também propicia melhor desempenho a construção. Para este projeto foi utilizada uma estação regulada a 358°C de temperatura. Também melhora o desempenho do desenvolvimento o uso de álcool isopropílico para limpeza das partes a serem soldadas. A não limpeza das partes (componentes e placa) dificulta o processo de soldagem uma vez observado que as partes oferecem resistência à soldagem quando sujas ou infectadas por partículas de poeira, gordura ou colantes.

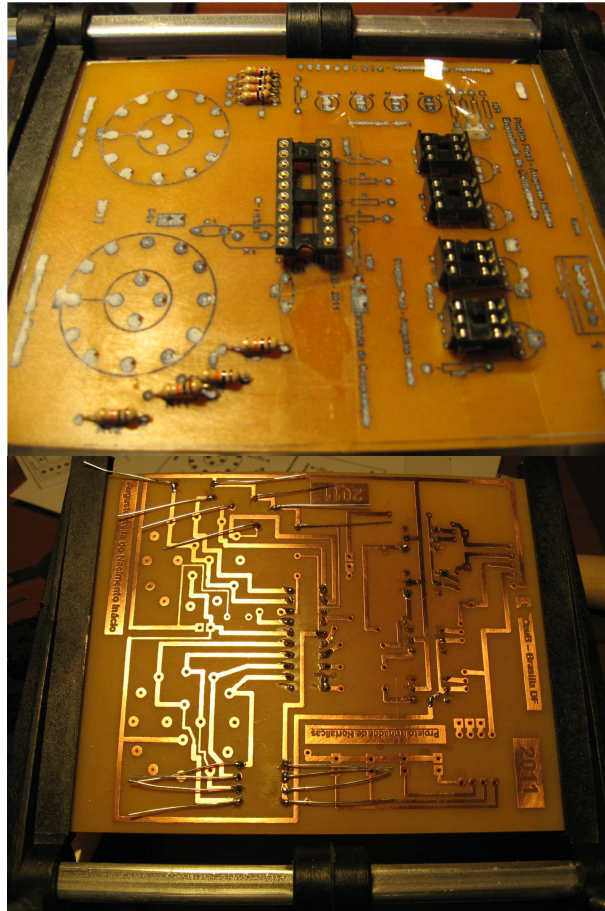


Figura 34 – Vista superior e inferior da placa de controle em processo de soldagem e fixação dos componentes

3.11 Levantamento de Custo do Projeto e Comparativos de Mercado

Como um dos fatores principais do projeto visa à busca pelo menor custo dos insumos e componentes utilizados no projeto. Observando a tabela 12 os valores do que foi utilizado para concepção do conjunto controlador e acionamento.

Tabela 12 – Componentes utilizados, quantidade de componentes, valor unitário e somatório de custo dos componentes e elementos do projeto

Componentes do Controle e Acionamento			
Componente Utilizado	Quantidade (unidades)	Valor (em R\$)	Total (em R\$)
BC337	4	0,15 ⁽³⁾	0,60
Chave Rotativa	2	3,50 ⁽¹⁾	7,00
CI LM 7806	1	0,59 ⁽³⁾	0,59
Led 5mm verm.	4	0,59 ⁽¹⁾	2,36
Optoacoplador 4N25	4	0,57 ⁽³⁾	2,28
Placa Fenolite 10 x 10 cm	1	2,00 ⁽¹⁾	2,00

Componentes do Controle e Acionamento			
Componente Utilizado	Quantidade (unidades)	Valor (em R\$)	Total (em R\$)
Placa Fenolite 5 x 2	4	0,50 ⁽¹⁾	2,00
Borne KF-103 2T	4	0,69 ⁽³⁾	2,76
Borne KF-301 2T	10	0,49 ⁽³⁾	4,90
Borne KF-301 3T	1	0,69 ⁽³⁾	0,69
Botão pushbutton	1	0,30 ⁽¹⁾	0,30
Capacitor 10uFx16V	1	0,15 ⁽¹⁾	0,15
Capacitores Poliéster	2	0,33	0,66
Cristal 4 Mhz	1	0,59 ⁽³⁾	0,59
Diodos 1N4007	8	0,15 ⁽³⁾	1,20
Diodos 1N4148	4	0,15 ⁽³⁾	0,60
PIC16F628-A	1	6,49 ⁽³⁾	6,49
Relês 5 terminais 12 x 220 10A	4	2,50 ⁽¹⁾	10,00
Resistores	19	0,05 ⁽³⁾	0,95
Soquete Estampado 20 pinos	1	1,90 ⁽³⁾	1,90
Soquete Torneado 6 pinos	4	0,30 ⁽¹⁾	1,20
Transformador 6+6 500 mA	1	12,77 ⁽³⁾	12,77
Válvula Solenóide*	4	10,00 ⁽²⁾	40,00
Lâmpada**	4	2,00 ⁽¹⁾	8,00
Total			109,99

(1) Contato Eletrônica – Brasília – CLN 310 Sul

(2) Assistência Autorizada Brastemp – Brasília - SCLN 715 Norte

(3) www.soldafria.com.br

* Válvula Solenóide: somente para aplicação prática em campo. Na simulação, estas são substituídas por lâmpadas comuns de mesma tensão de alimentação.

**Lâmpadas são aplicadas a simulação representando as válvulas. São apenas ilustrativas.

O mercado oferece alguns controles de acionamento de irrigadores. Somente o equipamento da figura 35 implementa o rodízio entre pontos de irrigação semelhante ao proposto pelo projeto. Apresenta um equipamento onde são programados os tempos de rega empiricamente e um distribuidor de 6 saídas. O conjunto apresenta um valor de R\$ 714,00 comercializado via internet site www.praobra.com.br.



Figura 35 - Programador de Irrigador C 1060 Solar Plus 1866-29 – Gardena e Distribuidor de Irrigação Automático c/ 6 Saídas 1198-20 – Gardena
Fonte: www.praobra.com.br

O equipamento da figura 36, disponibiliza várias programação de horários para quatro setores. O valor do equipamento é de R\$ 313,00 oferecido pelo site www.irrigmaster.com.br/loja/.



Figura 36 – Controladora Modelo XC – 4 setores - HUNTER
Fonte: www.irrigmaster.com.br/loja/


O equipamento da figura 37, disponibiliza programação de horários e tem o valor de R\$ 190,00 oferecido pelo site <http://www.laryanger.com/acessorios-ipod/2-ipod-shuffle.html>.

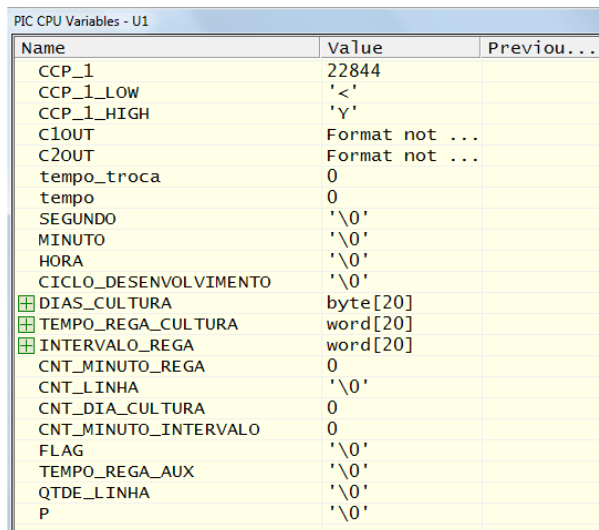


Figura 37 – Irrigador automático Hozelock

4 TESTES E RESULTADOS

4.1 Testes de Simulação

Os testes de simulação aferem o processamento do programa passo a passo. Para isso, foi utilizado o *software* citado, ISIS[®] do Proteus. Neste a disposição dos componentes conforme são montados no protótipo demonstram o funcionamento do módulo de controle em conjunto com os controles das válvulas conforme a figura 26. No programa de simulação é possível visualizar as variáveis tratadas através da opção Debug. Para isso, a partir da fonte de compilação na extensão *.cof gerado, vinculando o PIC do simulador ao fonte é possível visualizar as variáveis conforme declaradas no programa original. Clicando no botão  é iniciado o processo de simulação passo a passo, acessando a opção “Debug” na barra de títulos do programa e em seguida selecionando a opção “PIC CPU Variables” o processamento das variáveis poderá ser exibido em formato “display” conforme a figura 36. Outras opções de acompanhamento da execução são disponibilizadas como, “PIC CPU source code” que exhibe a execução do programa linha a linha, e também “PIC CPU Registers”, “Data Memory”, “EEPROM” entre outros.



Name	Value	Previou...
CCP_1	22844	
CCP_1_LOW	'<'	
CCP_1_HIGH	'γ'	
C1OUT	Format not ...	
C2OUT	Format not ...	
tempo_troca	0	
tempo	0	
SEGUNDO	'\0'	
MINUTO	'\0'	
HORA	'\0'	
CICLO_DESENVOLVIMENTO	'\0'	
DIAS_CULTURA	byte[20]	
TEMPO_REGA_CULTURA	word[20]	
INTERVALO_REGA	word[20]	
CNT_MINUTO_REGA	0	
CNT_LINHA	'\0'	
CNT_DIA_CULTURA	0	
CNT_MINUTO_INTERVALO	0	
FLAG	'\0'	
TEMPO_REGA_AUX	'\0'	
QTDE_LINHA	'\0'	
P	'\0'	

Figura 38 – Debug do Proteus para Microcontrolador

A partir da execução foi possível observar o funcionamento do sistema de controle e de acionamento previamente à construção do protótipo. Com isso, fica possível prever e regularizar possíveis erros de circuito e de programação, o que agiliza o andamento de criação de circuitos microcontrolados. A realização dos testes via função “debug” são evidenciadas como exemplo pela figura 23. Nesta os leds indicativos se ascendem de acordo como o

programa sendo acompanhado pela variável $flag = 1$. O led permanece ligado enquanto a variável $tempo_rega$ permanecer menor que cnt_minuto_rega .

Para teste de funcionamento do programa no PIC foi necessária a gravação do código em extensão *.hex do programa compilado. Para a gravação foi utilizada um circuito adquirido produto chamado PICBurner USB (figura 37). O mesmo efetua a gravação do código no PIC via porta USB do computador utilizado para o trabalho. A interface entre o computador e o *hardware* de gravação é feita pelo *software* US-Burn (figura 38), adquirido juntamente com o fornecedor do gravador.

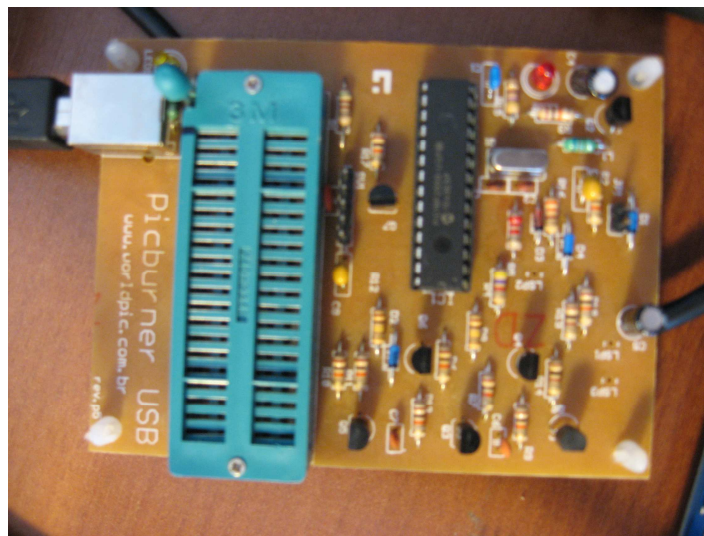


Figura 39- Hardware de Gravação no Microcontrolador

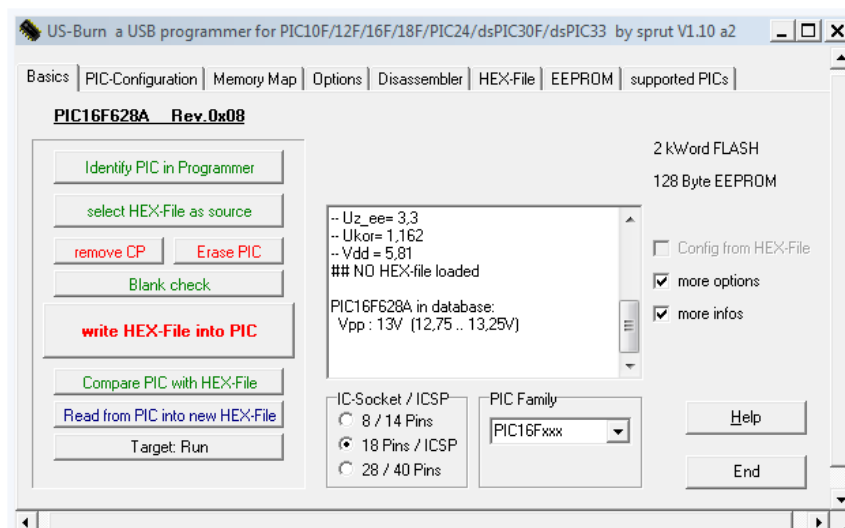


Figura 40- Tela de interface do software de gravação no Microcontrolador

4.2 Circuito Funcionando

Para realização de testes do circuito confeccionado, tanto de controle como de acionamento, fez-se necessária a construção de um protótipo experimental de simulação. Devido à impossibilidade de realização de testes em campo, expondo o módulo de controle ao ambiente para o qual foi projetado, e visando a construção de um cenário que simule a real aplicação do controle o protótipo contém a fonte como projetado, o módulo controlador em placa de circuito impresso e as placas de acionamento das válvulas solenóides. A representação das válvulas solenóides especificadas será simulado por lâmpadas de tensão igual a aplicada as válvulas.

Os condutores são montados do mesmo modo ao qual devem ser montados em campo para o funcionamento do sistema. Devem ser observados os fatores de sentido da corrente de acionamento e de alimentação da válvula. Nos componentes de acionamento das válvulas o sentido da corrente é dado pelo diodo projetado em paralelo a bobina do relê. Para fornecimento da tensão de rede (220 volts) e correto acionamento do solenóide da válvula ou para o caso acendimento da lâmpada, deve-se observar a forma de instalação do fase e neutro, ou seja, no pólo 1 do conector ligar o fase de fornecimento de energia (rede) e no pólo 2 ligar o neutro. Ligar no 3 o neutro da lâmpada ou da válvula e no pólo 4 que se encontra o chaveamento ligar o fase da lâmpada ou da válvula. É importante seguir o mesmo padrão para as quatro conexões ou quantas forem utilizadas. Esta padronização evita o curto-circuito ou mesmo o não funcionamento dos acionamentos. A figura 41 ilustra a sequência de pólos indicada pelos números utilizados para explicação do funcionamento.

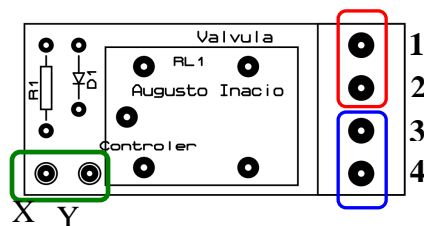


Figura 41– Circuito Relê de acionamento e sequência de pólos conectores

A padronização da instalação do circuito de alimentação com tensão da rede é facilitada com a utilização de fios comuns de energia flexíveis de no mínimo 2 *mm* e máximo 3 *mm* dependendo da distância entre os acionadores. Os acionadores devem ser ligados em série evitando o gasto de condutores da fonte de tensão para cada acionador.

O conector de acionamento deve obedecer ao mesmo critério de instalação e ao fluxo de corrente estabelecido pelo diodo. Dado que o negativo fornecido pelo circuito de controle deve ser ligado ao pólo identificador por X e o pólo Y O uso de fios coloridos que sinalizem a forma de instalação auxilia a correta disposição dos elementos no conjunto.

4.3 Testes de Protótipo

Os testes de bancada consistiram em aferir o funcionamento do acionamento aplicado as lâmpadas (representam a válvula solenóide). O protótipo de mesa disposto em ambiente monitorado por webcam em conjunto com um computador, equipado com *software* de monitoramento de atividades. A função do *software* é somente a de comandar o funcionamento da automação de acordo com os tempos de acionamento programados.

Para isso um protótipo de testes foi construído baseado no conjunto de circuitos apresentados formados pelo circuito de controle e os circuitos das válvulas. A figura 42, 43 e 44 exhibe o protótipo em construção e teste.

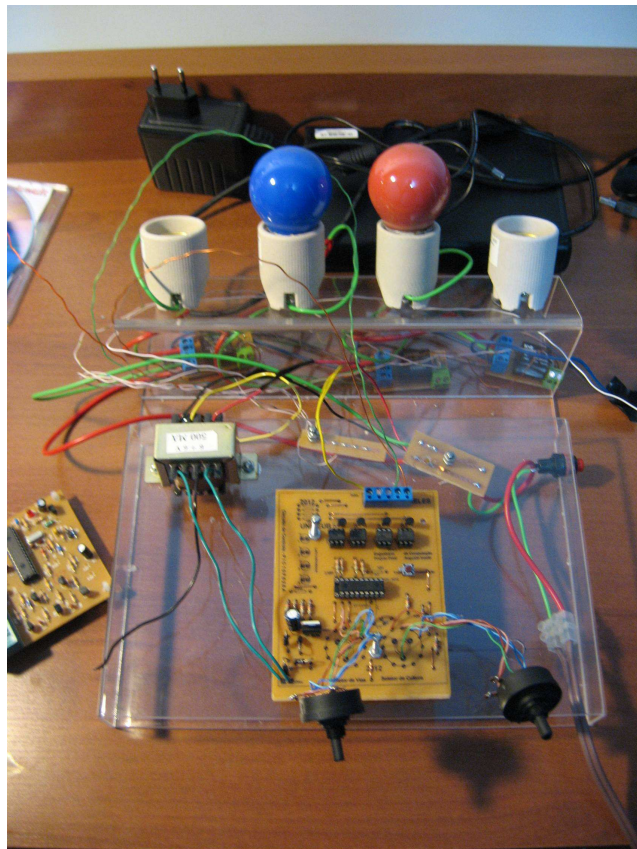


Figura 42 - Protótipo de teste

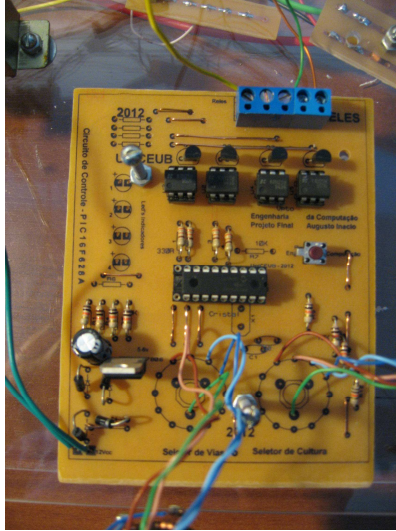


Figura 43 - Placa do Circuito de Controle no Protótipo de teste

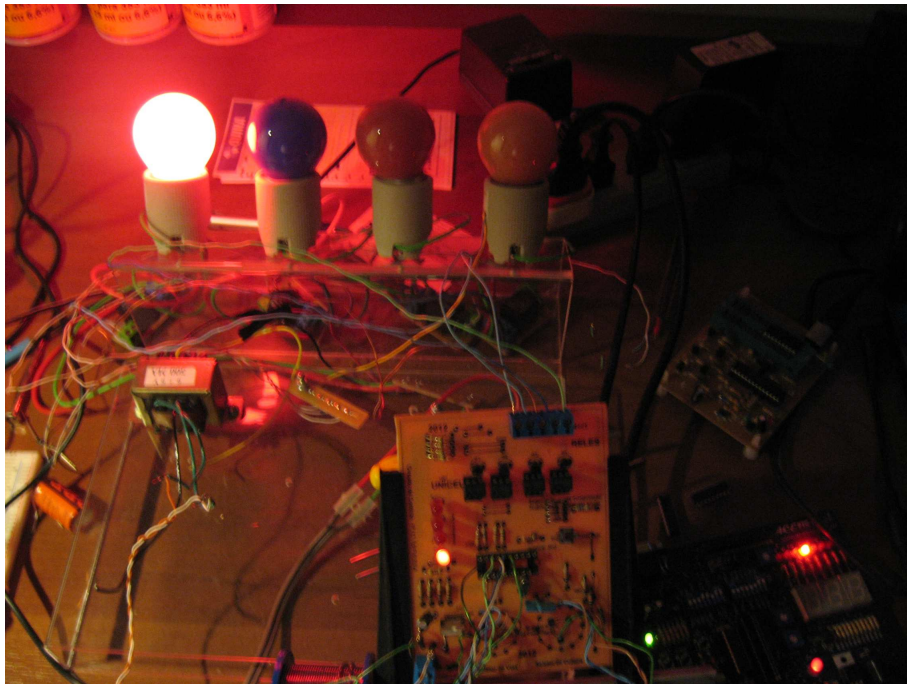


Figura 44 – Realização de Testes de Funcionamento do Protótipo

5 CONCLUSÃO

A aplicação de automatização eletrônica aplicada à agricultura impacta tanto a produção de hortaliças quanto sua comercialização, tornando-os mais acessíveis. Tendo em vista a evolução dos processos de agricultura, torna plausível a construção de um modelo de fácil manipulação e com uma base de acerto sólida voltado para a irrigação. As padronizações de um modelo, estabelecendo as alturas de reservatórios e materiais comercialmente viáveis e de fácil aquisição, garantem a aplicabilidade do sistema como uma forma a ser adotada por agricultores de pequeno porte. O produto de uma irrigação mais controlada pode ser revertido nos valores dos produtos repassados aos consumidores finais, a menor degradação do meio ambiente devido a aplicação da água somente necessária para a cultura estabelecida e a menor necessidade de mão de obra.

Neste projeto foi detectada que a influência da fonte de alimentação do circuito de controle no processamento efetuado pelo microcontrolador pode ser prejudicial. O mesmo CI com o mesmo programa apresenta diferente comportamento entre a placa de controle desenvolvida e a placa de simulação utilizada. Faz-se necessário um novo estudo sobre a alimentação do circuito de controle em conjunto com o de acionamento, para que o mesmo possa funcionar a partir do mesmo transformador. Tal fator se agrava quando da impossibilidade de utilização das portas de entrada do microcontrolador para seleção das linhas e culturas, uma vez que o CI só apresentou o comportamento programado quando inicializadas tais variáveis de controle manualmente via programa. A partir do melhoramento do circuito e da estabilidade de comportamento do PIC utilizado, é possível a aplicação do controlador em campo, automatizando a irrigação de hortas espalhadas pelo cerrado brasileiro.

Após melhorias no circuito de controle também se pode propor um estudo futuro, aprofundando a aplicação do fruto deste projeto em relação ao desempenho fisiológico das plantas quanto à melhor aplicação e utilização da água. Outro ponto que poderá ser abordado está na possibilidade de reuso dos componentes propostos sendo que refazendo os cálculos que definem a parametrização do processo de execução do programa, para qualquer que seja a cultura e a situação climática atribuída.

Sendo também possível expandir o número de linhas controladas e de culturas atendidas, somente alterando o microcontrolador para um de quantidade superior de portas. Promovendo ajustes no circuito e no programa para que este atenda as novas condições.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AGROJET. **Gotejador GA-4**

<http://www.agrojet.com.br/produtos_detalhes.php?cat=51&l=br&pro=613>. Acesso em: 11 maio de 2012.

AIROLDI, Rogério Pereira da Silva. **Análise do desempenho de gotejadores e da prevenção do entupimento em irrigação com água residuária**. Piracicaba, SP, 2007. Originalmente apresentada como dissertação de doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007. 17-19pp, 33-39pp.

BERNARDO SALASSIER, Antonio Alves Soares, Everaldo Chartuni Mantovani- **Manual de Irrigação** – Viçosa: Ed. UFV, 2006.

DEL PINO, Miguel Angel Isaac Toledo. **Sistema computacional de auxílio ao desenho, simulação e desenvolvimento de projetos de irrigação localizada**. Piracicaba, SP, 2005. Originalmente apresentada como dissertação de doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005. 20-26pp. 34-35pp.

EMBRAPA. **Recomendações técnicas para o cultivo de hortaliças em agricultura familiar**. Circular Técnica. Brasília, DF, 2007. 47, 1ª. Edição. 1-2 p.

EMBRAPA. **Distribuição da Produção de Hortaliças. Censo Agropecuário 2006** . Disponível em
<http://www.cnph.embrapa.br/paginas/hortalicas_em_numeros/distribuicao_hortalicas.xls>.
<http://www.cnph.embrapa.br/paginas/hortalicas_em_numeros/distribuicao_geografica.xls>
Acesso em: 11 maio de 2012.

FILGUEIRA, Fernando Antonio Reis. **Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa, UFV, 2003. 2ª. Edição revista e ampliada. Editora UFV, 17p, 193-207pp, 295-299pp, 302-308pp, 370-375pp.

FRANCO, Elenilson Moreira. **Monitoramento da dinâmica da água e solutos em um perfil de solo, sob sistema de fertirrigação por gotejamento, utilizando sonda de capacitância e extratores de solução**. Piracicaba, SP, 2009. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2009. 13-15pp.

GOMES, Anthony Wellington Almeida. **Perda localizada de carga em gotejadores integrados em tubos de polietileno**. Piracicaba, SP, 2009. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2009. 14-16pp.

MARQUELLI, W. A. **Irrigação da Cultura da Cenoura.** / Waldir Aparecido Marouelli [et al...] – Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007. Circular Técnica n^o 48. 1^a. Edição, 2007.

MARQUELLI, Waldir Aparecido. **Irrigação por aspersão em hortaliça: qualidade da água, aspectos do sistema e método pratico de manejo.** Brasília, DF, 2008. Embrapa Informação Tecnológica. 2^a. Edição versão atual e ampliada.

MICROCHIP. **Datasheet PIC16F62X** <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/40300c.pdf>>. Acesso em: 11 maio de 2012.

PEREIRA, Fábio. **Microcontrolador PIC: Programação em C.** São Paulo, 2007. Editora Érica, 7^a. Edição.

PEREIRA, Fábio. **Microcontroladores PIC: Técnicas Avançadas.** São Paulo, 2007. Editora Érica, 6^a. Edição, 35p, 99-100pp.

PEREIRA, R. B. **Ocorrência da queima das folhas em diferentes fases de desenvolvimento da cenoura** / Ricardo Borges Pereira[et al....]. – Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2011. Boletim Pesquisa e Desenvolvimento n^o79. 1^a. Edição, 2012. 9p.

RESENDE, F. V. **Cultivo de Alface em Sistema Orgânico de Produção** / Francisco Vilela Resende [et al....] – Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007. Circular Técnica n^o56. 1^a. Edição, 2007.

RIBEIRO, Marco Antonio. **Instrumentação Industrial.** Salvador, Tek Treinamento & Consultoria Ltda, 2002, 9^a. Edição. 185-186p.

SILVA, Renato A. **Programando Microcontroladores PIC: Linguagem “C”.** São Paulo, 2006. Editora Ensino Profissional, 1^a. Edição, 29-36pp, 45-46pp.

APÊNDICE A – CÓDIGO FONTE

```

/*****
* UniCeub-Centro Unificado de Brasília
*
* Projeto: Controle de Irrigação para Hortaliças
*
* Autor : Augusto Avila do Nascimento Inacio
*
* Microcontrolador: PIC16F628A
*
*****/

#include<16f628a.h>

#FUSES NOWDT           // watch dog timer desabilitado
#FUSES PUT             // Power up Timer
#FUSES NOBROWNOUT     // Resetar por queda de tensão desabilitado
#FUSES NOCPD          // EE protection desabilitado
#FUSES XT              // Utiliza oscilador cristal externo 4MHz
#FUSES NOPROTECT      // Desabilita proteção de eprom
#FUSES MCLR           // Botão de reset habilitado
#FUSES NOLVP          // programa baixa voltagem desabilitado
#FUSES NOCPD          // sem travar o chip
//#FUSES NOMCLR       // Reset Desabilitado
//#FUSES INTRC        // Utilização de oscilador interno

#use delay(clock=400000) // 1Hz a 100MHz.

#define CULTURA1      PIN_A0           //DEFINE O BOTAO 1 ENTRADA (Pino RB1) DO
MICROCNTROLIDADOR PARA A CULTURA :
#define CULTURA2      PIN_A1           //DEFINE O BOTAO 2 ENTRADA (Pino RB2) DO
MICROCNTROLIDADOR PARA A CULTURA :
#define CULTURA3      PIN_A2           //DEFINE O BOTAO 3 ENTRADA (Pino RB3) DO
MICROCNTROLIDADOR PARA A CULTURA :
#define CULTURA4      PIN_A3           //DEFINE O BOTAO 4 ENTRADA (Pino RB4) DO
MICROCNTROLIDADOR PARA A CULTURA :

#define LINHA1         PIN_B7           //DEFINE O BOTAO 1 ENTRADA (Pino RB5) DO
MICROCNTROLIDADOR PARA A LINHA DE IRRIGACAO : 1
#define LINHA2         PIN_B6           //DEFINE O BOTAO 2 ENTRADA (Pino RB6) DO
MICROCNTROLIDADOR PARA A LINHA DE IRRIGACAO : 1 E 2
#define LINHA3         PIN_B5           //DEFINE O BOTAO 3 ENTRADA (Pino RB7) DO
MICROCNTROLIDADOR PARA A LINHA DE IRRIGACAO : 1, 2 E 3
#define LINHA4         PIN_B4           //DEFINE O BOTAO 4 ENTRADA (Pino RB8) DO
MICROCNTROLIDADOR PARA A LINHA DE IRRIGACAO : 1, 2, 3 E 4.

#define LNH1           PIN_B0           //DEFINE O SAIDA DO MICROCNTROLIDADOR (Pino RA0)
PARA A LINHA DE IRRIGACAO 1
#define LNH2           PIN_B1           //DEFINE O SAIDA DO MICROCNTROLIDADOR (Pino RA1)
PARA A LINHA DE IRRIGACAO 2
#define LNH3           PIN_B2           //DEFINE O SAIDA DO MICROCNTROLIDADOR (Pino RA2)
PARA A LINHA DE IRRIGACAO 3
#define LNH4           PIN_B3           //DEFINE O SAIDA DO MICROCNTROLIDADOR (Pino RA3)
PARA A LINHA DE IRRIGACAO 4

int16 tempo_troca     = 5000; // Tempo de intervalo entre os acionamentos das valvulas. Pre-
estabelecido 5 segundos para o sistema hidrico estabilizar.
int16 tempo            = 145; // = 4310; // Tempo de 1 segundo
int SEGUNDO            = 0           ;
int MINUTO             = 0           ;
int HORA               = 0           ;

//ESTABELECIDO QUE AS CULTURAS ESTUDADAS POSSUEM 4 CICLOS DE DESENVOLVIMENTO
//EM QUE SE FAZ NECESSARIA A IRRIGACAO DE FORMA DIFERENCIADA PARA CADA CICLO.
//DOS 4 CICLOS ESTABELECIDOS ESTAO: GERMINACAO, CRESCIMENTO, FRUTIFICACAO E COLHEITA
//DISTRIBUIDOS RESPECTIVAMENTE EM VALORES 0 , 1 , 2 E 3.

```

```

int CICLO_DESENVOLVIMENTO = 0 ;

//-----
//
//          CONSTANTES PARA A CULTURA
//
cultural | cultura2 | cultura3 | cultura4 CONFIABILIDADE DO PERIODO: VALORES EM DIAS.
int    DIAS_CULTURA [20]= { 10, 20, 20, 10, 30, 30, 20, 20, 35, 29, 29, 39, 15, 30, 40, 30 };
//
//          CONFIABILIDADE DO TEMPO: VALORES EM MINUTOS.
int16  TEMPO_REGA_CULTURA [20]={ 79, 118, 157, 157, 79, 235, 313, 313, 75, 157, 313, 313, 75,
196, 196, 352};
//
//          CONFIABILIDADE DO TEMPO: VALORES EM MINUTOS.
//          //DEVIDO AO FRACIONAMENTO DOS INTERVALOS DEPENDENDO DA CULTURA
int16  INTERVALO_REGA [20]={ 3584, 4359, 4779, 5245, 4480, 8718, 8960, 10490, 2904, 4708,
7742, 7258, 4136, 6893, 5376, 12407 };
//-----
//
//          VARIAVEIS DE CNTAGEM DE VALORES
int16  CNT_MINUTO_REGA      = 0;
int    CNT_LINHA           = 0;
int16  CNT_DIA_CULTURA    = 0;
int16  CNT_MINUTO_INTERVALO = 0;
//-----
//
//          VARIAVEIS AUXILIARES
int    FLAG                = 0;
int    TEMPO_REGA_AUX      = 0;
int    QTDE_LINHA         = 0;
int    P                   = 0;

void inicializa(){
    output_high(LNH1);
    delay_ms(145);
    output_low(LNH1);

    output_high(LNH2);
    delay_ms(145);
    output_low(LNH2);

    output_high(LNH3);
    delay_ms(145);
    output_low(LNH3);

    output_high(LNH4);
    delay_ms(tempo);
    output_low(LNH4);
}

void main(){
//-----
//
// ROTINA DE EXECUÇÃO DO MICROCONTROLADOR ASSIM QUE LIGADO
//
//Para alteração na quantidade linhas é necessário o reinicio do microcontrolador. Ou por
desligamento do sistema ou por reset.
//-----
//Leitura da chave de seleção de Cultura
    if ( input ( CULTURA1 ) ) {
        P = 0;
    }
    if ( input ( CULTURA2 ) ) {
        P = 4;
    }
    if ( input ( CULTURA3 ) ) {
        P = 8;
    }
    if ( input ( CULTURA4 ) ) {
        P = 12;
    }
}

// Leitura da chave de seleção de Vias
// ATRIBUI AO CICLO DE REGA QUANTAS LINHAS ESTAO ATIVADAS PARA REGA.
    if ( input ( LINHA1 ) ) {
        QTDE_LINHA = 1;
    }
    if ( input ( LINHA2 ) ) {
        QTDE_LINHA = 2;
    }
    if ( input ( LINHA3 ) ) {
        QTDE_LINHA = 3;
    }
}

```

```

if ( input ( LINHA4 ) ) {
    QTDE_LINHA = 4;
}

QTDE_LINHA=4;
inicializa(); // Efetua testes nas portas
while ( true ) {
    switch ( CICLO_DESENVOLVIMENTO ) {
    case 0: //REALIZA MODELO DE IRRIGACAO PARA GERMINACAO
        if ( DIAS_CULTURA[P] > CNT_DIA_CULTURA ) {
            if ( INTERVALO_REGA[P] == CNT_MINUTO_INTERVALO ) { // MOMENTO DE LIGAR A REGA
                                                                    // NA LINHA 1
                FLAG = 1 ; // FLAG DE ACIONAMENTO POSITIVO
                TEMPO_REGA_AUX = TEMPO_REGA_CULTURA[P]; // PASSAGEM DO TEMPO DE REGA
                SEGUNDO = 0 ; // INICIALIZA RELOGIO DO TIMER DE REGA
            }
            else{
                FLAG = 0 ;
            }
        }
        if ( CNT_DIA_CULTURA == DIAS_CULTURA[P] ){
            CNT_DIA_CULTURA = 0 ;
            CICLO_DESENVOLVIMENTO = CICLO_DESENVOLVIMENTO + 1 ;
            P = P + 1;
        }
    }
    break;
    case 1: //REALIZA MODELO DE IRRIGACAO PARA CRESCIMENTO
        if ( DIAS_CULTURA[P] > CNT_DIA_CULTURA ) {
            if ( INTERVALO_REGA[P] == CNT_MINUTO_INTERVALO ) { // MOMENTO DE LIGAR A REGA NA
                                                                    // LINHA 1
                FLAG = 1 ;
                TEMPO_REGA_AUX = TEMPO_REGA_CULTURA[P];
                SEGUNDO = 0 ;
            }
            else{
                FLAG = 0 ;
            }
        }
        if ( CNT_DIA_CULTURA == DIAS_CULTURA[P]){
            CNT_DIA_CULTURA = 0 ;
            CICLO_DESENVOLVIMENTO = CICLO_DESENVOLVIMENTO + 1 ;
            P = P + 1;
        }
    }
    break;
    case 2: //REALIZA MODELO DE IRRIGACAO PARA FRUTIFICACAO
        if ( DIAS_CULTURA[P] > CNT_DIA_CULTURA ) {
            if ( INTERVALO_REGA[P] == CNT_MINUTO_INTERVALO ) {
                FLAG = 1;
                // SETA PARA CICLO DE ATIVACAO DOS RELÊS
                TEMPO_REGA_AUX = TEMPO_REGA_CULTURA[P];
                // ATRIBUI O TEMPO DE ACIONAMENTO DA VÁLVULA
                SEGUNDO = 0 ;
            }
            else{
                FLAG = 0 ;
            }
        }
        if ( CNT_DIA_CULTURA == DIAS_CULTURA[P] ){
            CNT_DIA_CULTURA = 0 ;
            CICLO_DESENVOLVIMENTO = CICLO_DESENVOLVIMENTO + 1 ;
            P = P + 1;
        }
    }
    break;
    case 3: //REALIZA MODELO DE IRRIGACAO PARA COLHEITA
        if ( DIAS_CULTURA[P] > CNT_DIA_CULTURA ) {
            if ( INTERVALO_REGA[P] == CNT_MINUTO_INTERVALO ) { // MOMENTO DE LIGAR A
                                                                    //REGA NA LINHA 1
                FLAG = 1 ;
                TEMPO_REGA_AUX = TEMPO_REGA_CULTURA[P];
                SEGUNDO = 0 ;
            }
            else{
                FLAG = 0 ;
            }
        }
        }else{
            CNT_DIA_CULTURA = 0 ;
            CICLO_DESENVOLVIMENTO = CICLO_DESENVOLVIMENTO + 1 ;
            P = P + 1;
        }
    }
}

```

```

    }
    if ( CNT_DIA_CULTURA == DIAS_CULTURA[P] ){ //IRRIGA ATÉ O ÚLTIMO DIA DO ÚLTIMO
                                                //CICLO DE DESENVOLVIMENTO
        sleep();
        //COLOCA O MICROCONTROLADOR EM STAND BY ÁGUARDANDO RESTART OU DESLIGAMENTO
    }
    break;
} //FIM DO SWITCH

if( FLAG == 0 ){
    while ( SEGUNDO < 59 ){
        SEGUNDO = SEGUNDO + 1 ;
        delay_ms(tempo);
    }
    SEGUNDO = 0;
    if ( MINUTO < 59 ) {
        MINUTO = MINUTO + 1 ;
        CNT_MINUTO_INTERVALO = CNT_MINUTO_INTERVALO + 1 ;
    }
    else{
        MINUTO = 0 ;
        HORA = HORA + 1 ;
        if ( HORA > 23 ){
            HORA = 0;
            CNT_DIA_CULTURA = CNT_DIA_CULTURA + 1 ;
            if ( CICLO_DESENVOLVIMENTO == 3 ){
                if ( CNT_DIA_CULTURA > DIAS_CULTURA[P] ){
                    sleep();
                }
            }
        }
    }
}

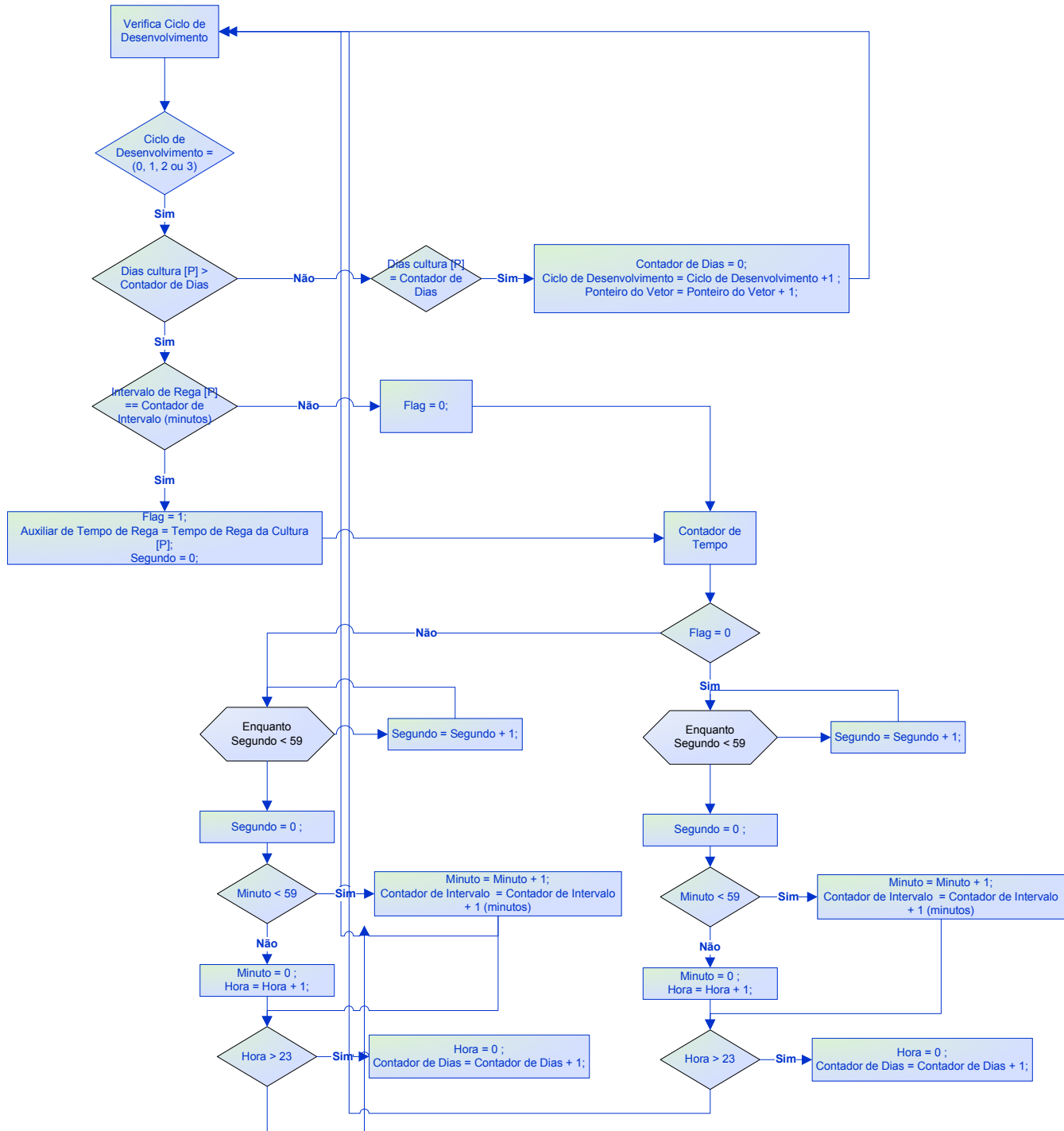
while( FLAG == 1 ){
//LAÇO DE ATIVACAO DA REGA
CNT_LINHA = 0 ;
while( QTDE_LINHA > CNT_LINHA ){
    CNT_MINUTO_REGA = 0 ;
    while( TEMPO_REGA_AUX > CNT_MINUTO_REGA ){
        switch ( CNT_LINHA ){
            case 0 :
                output_high (LNH1);
                delay_ms(tempo_troca);
                break;
            case 1 :
                output_high (LNH2);
                delay_ms(tempo_troca);
                break;
            case 2 :
                output_high (LNH3);
                delay_ms(tempo_troca);
                break;
            case 3 :
                output_high (LNH4);
                delay_ms(tempo_troca);
                break;
            default:
                output_low (LNH1);
                output_low (LNH2);
                output_low (LNH3);
                output_low (LNH4);
                break;
        };
        while ( SEGUNDO < 59 ){
            SEGUNDO = SEGUNDO + 1 ;
            delay_ms(tempo);
        }
        SEGUNDO = 0;
        if ( MINUTO < 59 ) {
            MINUTO = MINUTO + 1 ;
            CNT_MINUTO_REGA = CNT_MINUTO_REGA + 1 ;
        }
        else {
            MINUTO = 0 ;
            HORA = HORA + 1 ;

```

```
        if ( HORA > 23 ){
            HORA = 0;
            CNT_DIA_CULTURA = CNT_DIA_CULTURA + 1 ;
        }
    }
    //Desliga a linha Ativa no momento
    switch ( CNT_LINHA ){
    case 0 :
        output_low(LNH1);
        break;
    case 1 :
        output_low(LNH2);
        break;
    case 2 :
        output_low(LNH3);
        break;
    case 3 :
        output_low(LNH4);
        break;
    default:
        continue;
    };
    CNT_LINHA = CNT_LINHA + 1 ;           //Incrementa o contador da linha.
    delay_ms(tempo_troca);              //Apenas insere um intervalo entre os acionamentos
                                        //das válvulas
}

FLAG = 0 ;
CNT_MINUTO_INTERVALO = 0;
}
}
//FIM DO MAIN
//_____
//FIM DO PROGRAMA
//_____
```

APÊNDICE B - FLUXOGRAMA DE EXECUÇÃO DO PROGRAMA



Apêndice C - Produção em toneladas de Hortaliças nos Estados do Centro-Oeste

Cultura / UF	GO	DF	MT	MS
Abobrinha	3.674	4.087	2.513	1.819
Acelga	894	892	45	103
Agrião	568	1.129	125	97
Aipo	23	14	11	6
Alcachofra	93	0	0	0
Alcaparra	0	0	0	0
Alface	7.843	15.435	7.939	3.535
Alho-porró	31	38	10	1
Aspargo	0	2	0	0
Batata-doce	4.556	882	499	447
Berinjela	920	1.074	786	415
Bertalha	13	11	0	1
Beterraba	6.730	5.086	129	378
Brócolis	1.376	1.997	175	247
Bucha	3	0	3	1
Cará	1.380	2	12	21
Caruru	1	0	0	0
Cebolinha	1.376	1.234	1.067	624
Chicória	173	263	37	129
Chuchu	11.419	5.239	1.939	101
Coentro	727	1.139	483	163
Cogumelos	1	0	0	0
Couve	2.255	1.622	874	597
Couve-flor	1.550	1.773	135	156
Ervilha (vagem)	8	101	0	20
Espinafre	203	288	23	21
Gengibre	2	44	2	0
Inhame	322	426	9	4
Jiló	5.359	2.627	1.033	373
Lentilha	0	0	0	0

Cultura / UF	GO	DF	MT	MS
Maxixe	113	2.888	1.195	177
Milho verde (espiga)	18.117	5.973	6.348	1.570
Morango	111	3.745	5	36
Mostarda (semente)	320	73	19	8
Nabo	88	83	7	27
Orégano	0	7	0	4
Pepino	13.500	2.494	2.134	1.595
Pimenta	740	216	681	23
Pimentão	4.067	6.725	770	399
Rabanete	439	302	296	110
Repolho	28.759	7.563	116	1.414
Rúcula	518	481	741	449
Salsa	902	362	644	246
Taioba	2	3	0	0
Tomate (estaqueado)	68.480	20.483	3.485	4.478
Vagem	1.647	1.889	396	292
Sementes	10	0	2	0
Mudas (mil un)	2.626	0	7	276

APÊNDICE D - PRODUÇÃO EM TONELADAS DE HORTALIÇAS NOS ESTADOS DO CENTRO-OESTE

Estado	Alface		Beterraba		Tomate	
	Produção(t)	%	Produção(t)	%	Produção(t)	%
Acre	337	0,06	1	0,00	27	0,00
Alagoas	3.450	0,66	2	0,00	2.622	0,28
Amapá	239	0,05	0	0,00	13	0,00
Amazonas	767	0,15	2	0,00	218	0,02
Bahia	9.235	1,76	14.560	8,22	55.868	6,01
Ceará	19.181	3,65	1.504	0,85	37.545	4,04
Distrito Federal	15.435	2,94	5.086	2,87	20.483	2,20
Espírito Santo	6.220	1,18	6.136	3,46	63.272	6,80
Goiás	7.843	1,49	6.730	3,80	68.480	7,36
Maranhão	2.832	0,54	3	0,00	4.995	0,54
Mato Grosso	7.939	1,51	129	0,07	3.485	0,37
Mato Grosso do Sul	3.535	0,67	378	0,21	4.478	0,48
Minas Gerais	36.011	6,85	27.486	15,52	167.698	18,03
Pará	6.837	1,30	21	0,01	1.660	0,18
Paraíba	6.530	1,24	846	0,48	6.569	0,71
Paraná	28.503	5,42	36.476	20,59	65.893	7,09
Pernambuco	12.530	2,38	3.218	1,82	11.171	1,20
Piauí	644	0,12	0	0,00	1.675	0,18
Rio de Janeiro	143.370	27,28	3.792	2,14	114.175	12,28
Rio Grande do Norte	597	0,11	10	0,01	6.326	0,68
Rio Grande do Sul	29.767	5,66	26.781	15,12	41.443	4,46
Rondônia	1.220	0,23	30	0,02	5.114	0,55

Estado	Alface		Beterraba		Tomate	
	Produção(t)	%	Produção(t)	%	Produção(t)	%
Roraima	109	0,02	0	0,00	204	0,02
Santa Catarina	16.026	3,05	13.940	7,87	58.926	6,34
São Paulo	164.774	31,35	30.003	16,94	183.590	19,74
Sergipe	841	0,16	12	0,01	3.673	0,39
Tocantins	827	0,16	10	0,01	359	0,04

APÊNDICE E - EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA PARA ACELGA, AIPO, ALFACE, ALHO-PORRO, CEBOLINHA, ESPINAFRE E RÚCULA (MM/DIA), CONFORME A UMIDADE RELATIVA (URM) E TEMPERATURA (TM) MÉDIA DO AR E A FASE DE DESENVOLVIMENTO

UR m (%)	Temperatura (°C)													
	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
Fase 1 (Inicial)⁽¹⁾														
40	2,7	3,1	3,4	3,8	4,2	4,7	5,1	5,6	6,1	6,6	7,1	7,6	8,2	8,8
45	2,5	2,8	3,2	3,5	3,9	4,3	4,7	5,1	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
50	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,9	4,3	4,6	5,0	5,5	5,9	6,4	6,8	7,3
55	2,1	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,2	4,5	4,9	5,3	5,7	6,1	6,6
60	1,8	2,1	2,3	2,6	2,8	3,1	3,4	3,7	4,0	4,4	4,7	5,1	5,5	5,8
65	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,8	5,1
70	1,4	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,0	3,3	3,5	3,8	4,1	4,4
75	1,1	1,3	1,4	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,2	3,4	3,7
80	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,5	2,7	2,9
85	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2
90	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Fase 2 (vegetativa)														
40	3,3	3,7	4,2	4,7	5,1	5,7	6,2	6,8	7,3	8,0	8,6	9,3	9,9	10,7
45	3,1	3,4	3,8	4,3	4,7	5,2	5,7	6,2	6,7	7,3	7,9	8,5	9,1	9,8
50	2,8	3,1	3,5	3,9	4,3	4,7	5,2	5,6	6,1	6,6	7,2	7,7	8,3	8,9
55	2,5	2,8	3,1	3,5	3,9	4,2	4,6	5,1	5,5	6,0	6,4	6,9	7,5	8,0
60	2,2	2,5	2,8	3,1	3,4	3,8	4,1	4,5	4,9	5,3	5,7	6,2	6,6	7,1
65	1,9	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,3	4,6	5,0	5,4	5,8	6,2
70	1,7	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,1	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6	5,0	5,3
75	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,4	2,6	2,8	3,1	3,3	3,6	3,9	4,1	4,4
80	1,1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,4	2,7	2,9	3,1	3,3	3,6
85	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7

UR m	Temperatura (°C)													
	(%)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
90	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8

Fase 3 (Maturação)

40	4,1	4,6	5,2	5,7	6,4	7,0	7,7	8,4	9,1	9,8	10,6	11,4	12,3	13,2
45	3,8	4,2	4,7	5,3	5,8	6,4	7,0	7,7	8,3	9,0	9,7	10,5	11,3	12,1
50	3,4	3,9	4,3	4,8	5,3	5,8	6,4	7,0	7,6	8,2	8,8	9,5	10,2	11,0
55	3,1	3,5	3,9	4,3	4,8	5,2	5,7	6,3	6,8	7,4	8,0	8,6	9,2	9,9
60	2,7	3,1	3,4	3,8	4,2	4,7	5,1	5,6	6,1	6,6	7,1	7,6	8,2	8,8
65	2,4	2,7	3,0	3,4	3,7	4,1	4,5	4,9	5,3	5,7	6,2	6,7	7,2	7,7
70	2,1	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,2	4,5	4,9	5,3	5,7	6,1	6,6
75	1,7	1,9	2,2	2,4	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,8	5,1	5,5
80	1,4	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,0	3,3	3,5	3,8	4,1	4,4
85	1,0	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3
90	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2

Fase 4 (pré-colheita)

40	3,7	4,2	4,7	5,2	5,7	6,3	6,9	7,6	8,2	8,9	9,6	10,3	11,1	11,9
45	3,4	3,8	4,3	4,8	5,3	5,8	6,3	6,9	7,5	8,2	8,8	9,5	10,2	10,9
50	3,1	3,5	3,9	4,3	4,8	5,3	5,8	6,3	6,8	7,4	8,0	8,6	9,3	9,9
55	2,8	3,1	3,5	3,9	4,3	4,7	5,2	5,7	6,2	6,7	7,2	7,8	8,3	8,9
60	2,5	2,8	3,1	3,5	3,8	4,2	4,6	5,0	5,5	5,9	6,4	6,9	7,4	7,9
65	2,2	2,4	2,7	3,0	3,4	3,7	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0	6,5	6,9
70	1,9	2,1	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0
75	1,6	1,7	2,0	2,2	2,4	2,6	2,9	3,1	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6	5,0
80	1,2	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	3,0	3,2	3,4	3,7	4,0
85	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
90	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0

Fonte: MAROUELLI (2008).

APÊNDICE F - EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA PARA BRÓCOLOS, CENOURA, COUVE-FLOR E REPOLHO (MM/DIA), CONFORME A UMIDADE RELATIVA (URM) E TEMPERATURA (TM) MÉDIA DO AR E A FASE DE DESENVOLVIMENTO

UR m (%)	Temperatura (°C)													
	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
Fase 1 (Inicial)⁽¹⁾														
40	2,7	3,1	3,4	3,8	4,2	4,7	5,1	5,6	6,1	6,6	7,1	7,6	8,2	8,8
45	2,5	2,8	3,2	3,5	3,9	4,3	4,7	5,1	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
50	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,9	4,3	4,6	5,0	5,5	5,9	6,4	6,8	7,3
55	2,1	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,2	4,5	4,9	5,3	5,7	6,1	6,6
60	1,8	2,1	2,3	2,6	2,8	3,1	3,4	3,7	4,0	4,4	4,7	5,1	5,5	5,8
65	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,8	5,1
70	1,4	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,0	3,3	3,5	3,8	4,1	4,4
75	1,1	1,3	1,4	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,2	3,4	3,7
80	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,5	2,7	2,9
85	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2
90	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Fase 2 (vegetativa)														
40	3,3	3,7	4,2	4,7	5,1	5,7	6,2	6,8	7,3	8,0	8,6	9,3	9,9	10,7
45	3,1	3,4	3,8	4,3	4,7	5,2	5,7	6,2	6,7	7,3	7,9	8,5	9,1	9,8
50	2,8	3,1	3,5	3,9	4,3	4,7	5,2	5,6	6,1	6,6	7,2	7,7	8,3	8,9
55	2,5	2,8	3,1	3,5	3,9	4,2	4,6	5,1	5,5	6,0	6,4	6,9	7,5	8,0
60	2,2	2,5	2,8	3,1	3,4	3,8	4,1	4,5	4,9	5,3	5,7	6,2	6,6	7,1
65	1,9	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,3	4,6	5,0	5,4	5,8	6,2
70	1,7	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,1	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6	5,0	5,3
75	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,4	2,6	2,8	3,1	3,3	3,6	3,9	4,1	4,4
80	1,1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,4	2,7	2,9	3,1	3,3	3,6
85	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7

UR m	Temperatura (°C)													
	(%)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
90	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8

Fase 3 (Maturação)

40	4,1	4,6	5,2	5,7	6,4	7,0	7,7	8,4	9,1	9,8	10,6	11,4	12,3	13,2
45	3,8	4,2	4,7	5,3	5,8	6,4	7,0	7,7	8,2	9,0	9,7	10,5	11,3	12,1
50	3,4	3,9	4,3	4,8	5,3	5,8	6,4	7,0	7,6	8,2	8,8	9,5	10,2	11,0
55	3,1	3,5	3,9	4,3	4,8	5,2	5,7	6,3	6,8	7,4	8,0	8,6	9,2	9,9
60	2,7	3,1	3,4	3,8	4,2	4,7	5,1	5,6	6,1	6,6	7,1	7,6	8,2	8,8
65	2,4	2,7	3,0	3,4	3,7	4,1	4,5	4,9	5,3	5,7	6,2	6,7	7,2	7,7
70	2,1	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,2	4,5	4,9	5,3	5,7	6,1	6,6
75	1,7	1,9	2,2	2,4	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,8	5,1	5,5
80	1,4	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,0	3,3	3,5	3,8	4,1	4,4
85	1,0	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3
90	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2

Fase 4 (pré-colheita)

40	4,3	4,9	5,4	6,0	6,7	7,3	8,0	8,7	9,5	10,3	11,1	12,0	12,9	13,8
45	4,0	4,4	5,0	5,5	6,1	6,7	7,4	8,0	8,7	9,4	10,2	11,0	11,8	12,6
50	3,6	4,0	4,5	5,0	5,5	6,1	6,7	7,3	7,9	8,6	9,3	10,0	10,7	11,5
55	3,2	3,6	4,1	4,5	5,0	5,5	6,0	6,6	7,1	7,7	8,3	9,0	9,6	10,3
60	2,9	3,2	3,6	4,0	4,4	4,9	5,3	5,8	6,3	6,9	7,4	8,0	8,6	9,2
65	2,5	2,8	3,2	3,5	3,9	4,3	4,7	5,1	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
70	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,7	4,0	4,4	4,8	5,1	5,6	6,0	6,4	6,9
75	1,8	2,0	2,3	2,5	2,8	3,1	3,3	3,6	4,0	4,3	4,6	5,0	5,4	5,7
80	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	2,9	3,2	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6
85	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4
90	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3

Fonte: MAROUELLI (2008).

APÊNDICE G – EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA PARA BETERRABA, CONFORME A UMIDADE RELATIVA (URM) E TEMPERATURA (TM) MÉDIA DO AR E A FASE DE DESENVOLVIMENTO

UR m (%)	Temperatura (°C)													
	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
Fase 1 (Inicial)⁽¹⁾														
40	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,7	4,0	4,4	4,8	5,1	5,6	6,0	6,4	6,9
45	2,0	2,2	2,5	2,8	3,1	3,4	3,7	4,0	4,4	4,7	5,1	5,5	5,9	6,3
50	1,8	2,0	2,3	2,5	2,8	3,1	3,3	3,6	4,0	4,3	4,6	5,0	5,4	5,7
55	1,6	1,8	2,0	2,3	2,5	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,2
60	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	2,9	3,2	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6
65	1,3	1,4	1,3	1,8	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,0	3,2	3,5	3,8	4,0
70	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4
75	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9
80	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3
85	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
90	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1
Fase 2 (vegetativa)														
40	3,3	3,7	4,2	4,7	5,1	5,7	6,2	6,8	7,3	8,0	8,6	9,3	9,9	10,7
45	3,1	3,4	3,8	4,3	4,7	5,2	5,7	6,2	6,7	7,3	7,9	8,5	9,1	9,8
50	2,8	3,1	3,5	3,9	4,3	4,7	5,2	5,6	6,1	6,6	7,2	7,7	8,3	8,9
55	2,5	2,8	3,1	3,5	3,9	4,2	4,6	5,1	5,5	6,0	6,4	6,9	7,5	8,0
60	2,2	2,5	2,8	3,1	3,4	3,8	4,1	4,5	4,9	5,3	5,7	6,2	6,6	7,1
65	1,9	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,3	4,6	5,0	5,4	5,8	6,2
70	1,7	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,1	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6	5,0	5,3
75	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,4	2,6	2,8	3,1	3,3	3,6	3,9	4,1	4,4
80	1,1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,4	2,7	2,9	3,1	3,3	3,6
85	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7

UR m	Temperatura (°C)													
	(%)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
90	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8

Fase 3 (Maturação)

40	4,3	4,9	5,4	6,0	6,7	7,3	8,0	8,7	9,5	10,3	11,1	12,0	12,9	13,8
45	4,0	4,4	5,0	5,5	6,1	6,7	7,4	8,0	8,7	9,4	10,2	11,0	11,8	12,6
50	3,6	4,0	4,5	5,0	5,5	6,1	6,7	7,3	7,9	8,6	9,3	10,0	10,7	11,5
55	3,2	3,6	4,1	4,5	5,0	5,5	6,0	6,6	7,1	7,7	8,3	9,0	9,6	10,3
60	2,9	3,2	3,6	4,0	4,4	4,9	5,3	5,8	6,3	6,9	7,4	8,0	8,6	9,2
65	2,5	2,8	3,2	3,5	3,9	4,3	4,7	5,1	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
70	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,7	4,0	4,4	4,8	5,1	5,6	6,0	6,4	6,9
75	1,8	2,0	2,3	2,5	2,8	3,1	3,3	3,6	4,0	4,3	4,6	5,0	5,4	5,7
80	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,1	2,7	2,9	3,2	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6
85	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4
90	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3

Fase 4 (pré-colheita)

40	3,7	4,2	4,7	5,2	5,7	6,3	6,9	7,6	8,2	8,9	9,6	10,3	11,1	11,9
45	3,4	3,8	4,3	4,8	5,3	5,8	6,3	6,9	7,5	8,2	8,8	9,5	10,2	10,9
50	3,1	3,5	3,9	4,3	4,8	5,3	5,8	6,3	6,8	7,4	8,0	8,6	9,3	9,9
55	2,8	3,1	3,5	3,9	4,3	4,7	5,2	5,7	6,2	6,7	7,2	7,8	8,3	8,9
60	2,5	2,8	3,1	3,5	3,8	4,2	4,6	5,0	5,5	5,9	6,4	6,9	7,4	7,9
65	2,2	2,4	2,7	3,0	3,4	3,7	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0	6,5	6,9
70	1,9	2,1	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0
75	1,6	1,7	2,0	2,2	2,4	2,6	2,9	3,1	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6	5,0
80	1,2	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	3,0	3,2	3,4	3,7	4,0
85	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
90	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0

Fonte: MAROUELLI (2008).

APÊNDICE H – EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA PARA TOMATE DE MESA (MM/DIA), CONFORME A UMIDADE RELATIVA (URM) E TEMPERATURA (TM) MÉDIA DO AR E A FASE DE DESENVOLVIMENTO

UR m	Temperatura (°C)													
	(%)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
Fase 1 (Inicial)⁽¹⁾														
40	2,4	2,6	3,0	3,3	3,6	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,1	6,5	7,0	7,5
45	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,7	4,0	4,4	4,8	5,1	5,6	6,0	6,4	6,9
50	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0	3,3	3,6	4,0	4,3	4,7	5,1	5,4	5,8	6,3
55	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,6	4,9	5,3	5,6
60	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	2,9	3,2	3,5	3,7	4,0	4,4	4,7	5,0
65	1,4	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,0	3,3	3,5	3,8	4,1	4,4
70	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,3	3,5	3,8
75	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1
80	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	2,3	2,5
85	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9
90	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
Fase 2 (vegetativa)														
40	3,5	4,0	4,4	4,9	5,4	6,0	6,6	7,2	7,8	8,4	9,1	9,8	10,5	11,3
45	3,2	3,6	4,1	4,5	5,0	5,5	6,0	6,6	7,1	7,7	8,3	9,0	9,6	10,3
50	2,9	3,3	3,7	4,1	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,6	8,2	8,8	9,4
55	2,6	3,0	3,3	3,7	4,1	4,5	4,9	5,4	5,8	6,3	6,8	7,4	7,9	8,5
60	2,4	2,6	3,0	3,3	3,6	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,1	6,5	7,0	7,5
65	2,1	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,2	4,5	4,9	5,3	5,7	6,1	6,6
70	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,6	4,9	5,3	5,6
75	1,5	1,7	1,8	2,1	2,3	2,5	2,7	3,0	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7
80	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,3	3,5	3,8
85	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3	2,5	2,6	2,8

UR m	Temperatura (°C)													
	(%)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
90	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9

Fase 3 (Maturação)

40	4,5	5,1	5,7	6,3	7,0	7,7	8,4	9,1	9,9	10,8	11,6	12,5	13,5	14,4
45	4,1	4,6	5,2	5,8	6,4	7,0	7,7	8,4	9,1	9,9	10,7	11,5	12,3	13,2
50	3,8	4,2	4,7	5,2	5,8	6,4	7,0	7,6	8,3	9,0	9,7	10,4	11,2	12,0
55	3,4	3,8	4,3	4,7	5,2	5,7	6,3	6,9	7,5	8,1	8,7	9,4	10,1	10,8
60	3,0	3,4	3,8	4,2	4,6	5,1	5,6	6,1	6,6	7,2	7,8	8,3	9,0	9,6
65	2,6	3,0	3,3	3,7	4,1	4,5	4,9	5,3	5,8	6,3	6,8	7,3	7,8	8,4
70	2,3	2,5	2,8	3,1	3,5	3,8	4,2	4,6	5,0	5,4	5,8	6,3	6,7	7,2
75	1,9	2,1	2,4	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,5	4,8	5,2	5,6	6,0
80	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8
85	1,1	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,4	3,6
90	0,8	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4

Fase 4 (pré-colheita)

40	3,5	4,0	4,4	4,9	5,4	6,0	6,6	7,2	7,8	8,4	9,1	9,8	10,5	11,3
45	3,2	3,6	4,1	4,5	5,0	5,5	6,0	6,6	7,1	7,7	8,3	9,0	9,6	10,3
50	2,9	3,3	3,7	4,1	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,6	8,2	8,8	9,4
55	2,6	3,0	3,3	3,7	4,1	4,5	4,9	5,4	5,8	6,3	6,8	7,4	7,9	8,5
60	2,4	2,6	3,0	3,3	3,6	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,1	6,5	7,0	7,5
65	2,1	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,2	4,5	4,9	5,3	5,7	6,1	6,6
70	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,6	4,9	5,3	5,6
75	1,5	1,7	1,8	2,1	2,3	2,5	2,7	3,0	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7
80	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,3	3,5	3,8
85	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3	2,5	2,6	2,8
90	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9

Fonte: MAROUELLI (2008).