



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS

DEUSDEDITH ANTONIO DE OLIVEIRA JUNIOR

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMÁTICO

CARAÚBAS - RN

2014

DEUSDEDITH ANTONIO DE OLIVEIRA JUNIOR

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMÁTICO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Bacharelado em Ciências e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semiárido, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharelado.

Orientador:

Prof. M.sc. José Ailton L. Barboza Júnior

CARAÚBAS - RN

2014

O Conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade de seus autores



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Campus Caraúbas (BCC)

O48s	Oliveira Junior, Deusdedith Antonio de.
	Sistema de Irrigação Automático/ Deusdedith Antonio de Oliveira Junior- Caraúbas, RN, 2014. 55f. : il.
	Orientador(a): Prof. M.sc. José Ailton L. Barboza Júnior.
	Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Graduação.
	1. Sistemas de irrigação. 2. Irrigação automática. 3. Métodos de irrigação. 4. Diferença de tensão. I. Título.
RN/UFERSA/BCC	CDD: 627.52

Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB-15/700

Deusdedith Antonio de Oliveira Junior

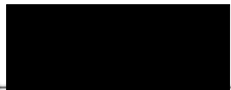
Sistema de Irrigação Automático

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Bacharelado em Ciências e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semiárido, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharelado.

Aprovada em: 06/08/14


Deusdedith Antonio de Oliveira Junior

Banca Examinadora:


Prof. M. Sc. José Ailton L. Barboza Júnior

Orientador


Prof. Francisco Aécio de Lima Pereira, M. Sc.
Examinador


Prof. Antônio Alisson Alencar Freitas, M. Sc.
Examinador

“Jamais considere seus estudos como uma obrigação mas como uma oportunidade invejável (...) para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do Espírito, para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertence”.

(Mensagem de Einstein a estudantes de Princeton, EUA)

AGRADECIMENTOS

Agradeço em especial ao meu Deus amado, que sempre se fez presente em todos os momentos da minha vida. Misericordioso como ninguém, ele me deu como forma de recompensa toda a dedicação no desenvolvimento vitorioso de mais uma etapa na minha vida.

- A minha mãe, Francileide, guerreira incansável e mestra em seus ensinamentos, mesmo que sem nem uma base acadêmica sempre me fez trilhar pelos caminhos da sabedoria, a meu pai Deusdedith (Déim), sempre fazendo uso da honestidade servindo como parâmetro a ser seguido, contribuindo no meu desenvolvimento como ser humano que hoje sou! Vocês são as árvores mais perfeita que Deus escolheu para darem ao mundo este fruto, tão falho, mas obediente aos seus ensinamentos e conselhos. Muito obrigado meus Deus, pois sem eles tenho certeza que este trabalho não seria nem idealizado.

- Meus filhos Saulo Gabriel e Nicolás Pietro. Motivos da minha própria existência, sempre servido de luz guiadora em todos os momento, sem os quais a minha vida pareceria ao universo na escuridão, a vocês meus anjos, meus “nortes”, dedico cada segundo que me debrucei sobre as mais diversificada fontes de conhecimento no transcorrer deste trabalho.

- As minha queridas e amadas irmãs Janiele Vieira, Janiquelle Vieira e Jessika Vieira, que nunca me faltaram com a mais perfeita e sincera irmandade, que faz com que me entendem de um jeito só nosso.

- A minha esposa Anny Pricilla, companheira que compartilha todos esses momento de um jeito especial, amiga atenta aos meus momentos de anseios e dificuldades, que vencemos juntos, com a máxima dedicação de seus cuidados, sem sua paciência e insistência meu trajeto teria sido mais difícil.

- Aos amigos que fiz na universidade, em especial a Gustavo Carneiro e Nayana Viana pela nossa amizade e companheirismo, pela troca de conhecimento ao longo do curso e por estarem presente nos momentos de dificuldades acadêmica.

-Ao professor Fabiano, por sua disponibilidade de tempo para conversas que ajudaram no desenvolvimento deste trabalho.

-Ao meu orientador professor Ailton, por toda sua competência, dedicação, exigência nos pequenos detalhes que fazem a diferença, que muito veio a contribuir no enriquecimento deste trabalho.

RESUMO

Visando obter uma irrigação automática, eficiente, precisa e de baixo custo operacional, o presente trabalho tem como propósito desenvolver um sistema que traga benefícios para todos que utilizam a atividade agrícola irrigada. Os métodos de irrigação bem como seus sistemas mostram a importância que a irrigação tem para a população. Implementou-se um circuito eletrônico que permite a interpretação de dados advindos da umidade do solo. O sistema utilizou quatro sensores que estavam em contato com o solo. Estes dados são advindos através da diferença de tensão entre os sensores, e de acordo com seus níveis é realizado ou não o acionamento da motobomba.

PALAVRAS-CHAVE: Irrigação automática. Métodos de irrigação. Diferença de tensão.

ABSTRACT

In order to obtain an automatic, efficient, accurate and low operating cost irrigation, the present work aims to develop a system that will bring benefits to everyone who uses irrigated agriculture. Methods of irrigation and their systems show the importance that irrigation has for the population. We implemented an electronic circuit that allows the interpretation of data coming from the soil moisture. The system used four sensors that were in contact with the ground. These data comes from the voltage difference between the sensors, and according to their levels, it done or not the activation of the pump.

Key-words: Automatic irrigation. Methods irrigation. Voltage difference.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1. FLUXOGRAMA DOS PRINCIPAIS MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO E PRINCIPAIS SISTEMAS.	26
FIGURA 2. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR SULCOS.	27
FIGURA 3. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR FAIXAS.	28
FIGURA 4. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR INUNDAÇÃO CONTÍNUA.	29
FIGURA 5. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO CONVENCIONAL.	30
FIGURA 6. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO MECANIZADA-PIVÔ CENTRAL.	31
FIGURA 7. SISTEMA AUTOPROPELIDO.	32
FIGURA 8. SISTEMA POR GOTEJAMENTO.	33
FIGURA 9. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR MICROASPERSÃO.	34
FIGURA 10. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL.	35
FIGURA 11. DIAGRAMA DE BLOCOS.	36
FIGURA 12. SENSORES DE UMIDADE DO SOLO.	38
FIGURA 13. BLOCO DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA.	39
FIGURA 14. TENSÍÔMETRO.	40
FIGURA 15. ARDUINO MEGA2560.	43
FIGURA 16. MOTOBOMBA.	44
FIGURA 17. CIRCUITO DIVISOR DE TENSÃO.	45
FIGURA 18. ESQUEMA DE MONTAGEM.	47
FIGURA 19. RELÉ DE SAÍDA.	48
FIGURA 20. CIRCUITO MONTADO.	49

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. CARACTERÍSTICAS DO MICROCONTROLADOR ATMEGA2560.	43
TABELA 2. MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DO SOLO.	46

ABREVIATURAS

Ambiente Integrado de Desenvolvimento	IDE
Arquitetura Harvard Modificada	AVR
Corrente em Ampere	A
Corrente em miliampère	mA
Diodo Emissor de Luz	LED
Kiloohm	k Ω
Megaohm	M Ω
Metro	m
Metro Coluna de Água	mca
Milímetro	mm
Milivolt	mV
Modulação de Largura de Pulso	PWM
Normalmente Aberto	NA
Normalmente Fechado	NF
Policloreto de Vinil	PVC
Programação Serial no Circuito	ICSP
Tensão de Saída	V ₀
Tensão em Corrente Alternada	VAC
Tensão em Corrente Continua	VDC
Tensão mínima de Acionamento	V _{cc}
Transmissor/Receptor Assíncrono Universal	UARTs
Universal Serial Bus	USB

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. OBJETIVO GERAL	21
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, MOTIVAÇÃO	22
3.1 MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO.....	22
3.2 VANTAGENS DA IRRIGAÇÃO	24
3.3 VANTAGENS DA IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADA	25
3.4 MÉTODO DE IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE	26
3.4.1 SISTEMA POR SULCOS	27
3.4.2 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR FAIXAS	28
3.4.3 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR INUNDAÇÃO	29
3.5 MÉTODO DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO	29
3.5.1 SISTEMA CONVENCIONAL (ASPERSÃO)	30
3.5.2 SISTEMA MECANIZADO	31
3.6 MÉTODO DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA	32
3.6.1 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR MICROASPERSÃO	33
3.6.2 MÉTODO DE IRRIGAÇÃO SUBTERRÂNEA	34
4. SISTEMA PROPOSTO	36
4.1 CONTROLE DA UMIDADE DO SOLO.....	36
4.2 SENSORES	37
4.3 SENSORES BLOCO DE RESISTÊNCIA	38
4.4 TENSÍÔMETRO	39
4.5 ELETRODOS	40
4.6 ATUADORES	40
4.7 ARDUINO.....	41
4.8 MOTOBOMBA.....	44
4.9 TUBULAÇÕES.....	45
4.10 PROJETO DO CIRCUITO DIVISOR DE TENSÃO	45
4.11 PROJETO DO CIRCUITO DE AQUISIÇÃO DE DADOS	47

4.12	CÁLCULO DA TENSÃO DE SAÍDA	47
4.13	ACIONAMENTO DA MOTOBOMBA.....	48
4.14	MONTAGEM DO CIRCUITO	48
5.	AVALIAÇÃO DO PROJETO.....	50
6.	CONCLUSÃO.....	51
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
	ANEXO A	55

1. INTRODUÇÃO

A água, bem tão precioso é o constituinte de relevante importância que permite a existência da vida na terra, sendo recurso natural imprescindível que a terra tem disponibilizado à humanidade. Alguns eventos são tidos como responsáveis pelo surgimento da subtração na oferta da demanda de água doce no mundo, tais como o crescimento demográfico desordenado associado a padrões de consumo não sustentáveis.

Com o crescimento da população mundial surge a necessidade de água para irrigação, a mesma é largamente utilizada na produção de alimentos, gerando uma pressão natural sobre os recursos hídricos. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em conjunto com a Agência Nacional de Águas (ANA) (2001), essa situação torna-se relevante na medida que existe uma previsão de que a população mundial estabilize-se, por volta do ano 2050, entre 10 e 12 bilhões de habitantes, o que representa cerca de 5 bilhões a mais que a população atual¹.

Há outros fatores preponderantes que agravam e tornam cada vez mais ineficiente a gestão dos recursos hídricos em basicamente todas as atividades antrópicas, como ocorre na agricultura, na indústria e nos sistemas de abastecimento público de países, onde o desperdício de água, como em algumas regiões brasileiras, é superior a 60% (BARROS, 2008).

Com este quadro de indisponibilidade de água doce, constata-se que a escassez hídrica já está instalada na Arábia Saudita, Argélia, Barbados, Bélgica, Burundi, Cabo Verde, Cingapura, Egito, Kuwait, Líbia, Jordânia e Tailândia, e poderá ocorrer em médio prazo na China, Estados Unidos, Etiópia, Hungria, México, Síria e Turquia (BARROS, 2008).

O Brasil é o quinto maior país do mundo, com uma superfície total de 8.515.767,049km² (IBGE,2014), situado com 92% das terras entre os dois trópicos, aliada às relativas baixas altitudes do relevo, explica-se então a predominância de climas quentes, com temperaturas médias anuais acima dos 20°C.

Segundo Barros (2008), com disponibilidade no entorno de 12% de toda a água doce superficial do planeta, sendo considerado um país rico em termos de recursos hídricos, dos quais cerca de 89% do volume total estão concentrados nas regiões Norte e Centro-Oeste, onde estão localizadas apenas 14,5% da população do país. Já nas regiões Nordeste, Sudeste e

¹ De acordo com os dados da Organizações das Nações Unidas (ONU), a estimativa da população mundial em 2014 é de aproximadamente 7,2 bilhões de habitantes.

Sul, onde estão distribuídos maior percentual demográfico, algo em torno de 85,5% da população, a disponibilidade dos recursos hídricos é bem baixo ficando em torno de 11% do potencial hídrico do país.

Assim como em outros países, o Brasil tem o maior consumo de água que é destinado para a agricultura, especialmente a irrigação, com quase 63% de toda a demanda. Entretanto, no Brasil cerca de 93% dos quase 3,4 milhões de hectares irrigados, utilizam-se os métodos menos eficientes no mundo, como o espalhamento superficial (56% da área), pivô central (19%) e aspersão convencional (18%). Ressaltando ainda que estes dois últimos métodos, além de serem pouco eficientes em termos de utilização da água, apresentam um gasto elevado de energia elétrica.

Um bom manejo associado ao controle da irrigação é fator determinante na otimização da disponibilidade de água, mas, para que a irrigação proceda dentro de um critério racional, existem vários métodos de controle, sendo o da umidade do solo o mais indicado, para se obter o período correto da irrigação e a quantidade ideal de água a ser aplicada. Com o intuito de desenvolver melhores condições na utilização da água, vários métodos foram desenvolvidos para o melhor manejo da irrigação, sendo alguns baseados no monitoramento temporal da umidade do solo e outros nas características climáticas das regiões. Os mais comumente usados são os que se baseiam no cálculo do turno de rega, no balanço de água no solo e na tensão da água no solo. Dentre esses métodos, o que se baseia no controle da tensão da água no solo é o mais racional. Com ele, determina-se tanto o momento exato de reiniciar a irrigação quanto a quantidade de água a ser aplicada (ANDRADE e BRITO, 2006).

Com o devido conhecimento acerca da demanda hídrica bem como os períodos fenológicos de uma cultura, associado a adaptabilidade dos métodos de irrigação, e o deslocamento da água no perfil do solo é de fundamental importância para que as técnicas de irrigação se tornem viável economicamente.

Segundo Oliveira (2010), a região Nordeste e mais específico o Rio Grande do Norte apresentam-se com limitações relacionadas à água, onde existem alguns aspectos fundamentais que proporcionam esta situação, que são:

- água salina: tornando-se necessário a correção do pH do solo;
- chuvas mal distribuídas no ano: sua consequência é a necessidade da utilização de sistemas de irrigação, no entanto, algumas pessoas não apresentam poder aquisitivo suficiente para instalação e manutenção do sistema;
- altas temperaturas: resultando em maior evapotranspiração.

A partir desta situação é necessário a implantação de novas técnicas que viabilizem de maneira criteriosa e precisa a utilização da água na agricultura irrigada. Nestas situações a água vem sendo utilizada de forma desordenada, e uma das maneiras de se obter controle sobre este desperdício é o monitoramento da umidade do solo, e controlando o envio da água somente quando a cultura irrigada estiver necessitada. Serão utilizados sensores capazes de medir a umidade do solo (eletrodos) que captarão informações e as enviará a um microcontrolador (Arduino), para o acionamento ou não das bombas d'água. Com o objetivo de diminuir o consumo de água a partir do monitoramento da umidade do solo, utilizando-se de tecnologia na automatização do sistema de irrigação, onde serão realizados estudos para calibração dos sensores garantindo o correto funcionamento do sistema.

2. OBJETIVO GERAL

Construir um sistema de irrigação automático que seja capaz de diminuir o desperdício de água a partir do monitoramento da humidade do solo.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fazer uso da tecnologia para diminuir o desperdício de água na irrigação;
- Aplicar o Arduino no processo de automatização do sistema de irrigação;
- Garantir o uso racional da água, evitando o desperdício, pois o sistema controla o momento da irrigação por meio do sensor de umidade do solo e de acordo com a necessidade de cada cultura.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, MOTIVAÇÃO

Neste capítulo será feita uma abordagem em torno das tecnologias atuais que são empregadas nos sistemas de irrigação, como também a apresentação dos principais métodos de irrigação que são utilizados no Brasil. A proposta do presente trabalho é desenvolver um sistema de irrigação controlado, utilizando sensores que estarão diretamente ligados ao solo, permitindo assim a irrigação.

Isto é motivado porque os sistemas de irrigação atuais quando ligados não conseguem medir a quantidade de água irrigada no solo, deixando muitas vezes o solo encharcado dificultando o cultivo da cultura em questão. Em outras situações o agricultor pensando em economizar a água não irriga o solo como deveria irrigar e o solo fica muito seco atrapalhando assim o cultivo do produto, o que também acaba sendo um desperdício pois a cultura não irá produzir satisfatoriamente com falta de água.

Esta situação é ocasionada porque os atuais sistemas acabam desperdiçando água ou energia elétrica, há momentos que acontece as duas situações ao mesmo tempo, já que a solução empregada atualmente é o estrangulamento da saída de água. Com base nesse contexto, o problema está no desenvolvimento de um controlador para irrigação, capaz de controlar a quantidade e o momento de distribuição de água nas linhas de irrigação, através do monitoramento da umidade do solo. Como manter uma rega uniforme que seja conveniente independentemente do método de irrigação e do sistema adotado?

3.1 MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO

Agricultura é um conjunto de técnicas desenvolvidas e utilizadas pelo homem com o objetivo de produzir alimentos de origem vegetal ou animal. A produção de alimentos de origem vegetal possui diversas áreas de exploração, como a preparação do solo, semeadura, irrigação, fertilização, colheita, separação da colheita, entre outras.

Na literatura, existem recomendações de frequências fixas de irrigação para cada cultura. Embora possa ser prático no sentido de programação das operações, esse método acarreta déficits ou excessos de água, uma vez que as condições climáticas são variáveis ano a ano. Desse modo, existe a necessidade do uso de métodos de campo que determinem, direta ou indiretamente, a disponibilidade hídrica do solo para as culturas, de acordo com as

condições ambientais predominantes durante o desenvolvimento das plantas (QUEIROZ, 2005).

Uma constante instabilidade climática tem afetado diretamente a produção de alimentos, tornando a agricultura um investimento de grande risco e com visíveis reflexos para a economia, principalmente na região semiárida (GARCIA, 2011 Apud SAMPAIO, 2006).

Segundo Testezlaf (2011), a irrigação se tornou uma tecnologia imprescindível no processo de aumento da produção de bens agrícolas e consumo, sendo a sua adoção dependente da disponibilidade hídrica de cada região. Em regiões desérticas e áridas, onde a precipitação anual é inferior a 250 mm, ou seja, muito baixa ou nenhuma, a irrigação é obrigatória, pois nenhum tipo de cultura pode se desenvolver sem receber água.

A irrigação tem caráter obrigatório em regiões semiáridas, com precipitações que ficam em torno dos 250-500 mm anuais, onde algumas culturas podem se desenvolver sem a necessidade de irrigação, porém com baixas produtividades, aliado ao alto risco de quebra de safra. É a situação de grande parte do Nordeste brasileiro que se encontra nessas condições climáticas. Já, em áreas que recebem mais de 600 mm de chuvas anuais, a irrigação pode ser necessária em alguns períodos do ano, de forma a complementar ao regime pluviométrico da região e atender as necessidades hídricas das culturas. Nessas regiões, a distribuição espacial e temporal das chuvas afeta a decisão de se usar a irrigação. Apesar dos altos índices pluviométricos, essas regiões apresentam épocas bem definidas onde a quantidade de chuva não é suficiente para atender as demandas das culturas. Este é o caso da maioria dos Estados do Centro-Oeste e Sudoeste do Brasil.

Estima-se que de toda a água captada para fins de irrigação, apenas 50% seja utilizada pelas plantas. Em sistemas de irrigação por superfície, as perdas podem ultrapassar 75%. Além do maior gasto de água, irrigações excessivas acarretam prejuízos à produção, maior lixiviação de nutrientes, incidência de pragas e impactos ambientais (MAROUELLI e SOUSA, 2011).

Segundo Lima, Ferreira e Christofidis (2003), denomina-se irrigação o conjunto de técnicas destinadas a deslocar a água no tempo ou no espaço para modificar as possibilidades agrícolas de cada região. A irrigação visa corrigir a distribuição natural das chuvas.

Na agricultura irrigada, a escolha do método e do sistema de irrigação é o ponto de partida para se estabelecer um planejamento e manejo adequado do mesmo, a fim de propiciar ao produtor possibilidades de utilizar o recurso água com a máxima eficiência, aumentando a

produtividade das culturas, reduzindo os custos de produção e maximizando a receita líquida dos investimentos (BASTOS *et al.*, 2011).

São conhecidos quatro métodos de irrigação diferentes: superfície, aspersão, localizada e subterrânea. Em relação a escolha de qual dos métodos é o melhor, não existe uma resposta exata, pois, tal circunstância depende de uma variedade de fatores determinante a serem levados em consideração, tais como: clima, topografia do solo, disponibilidade dos recursos hídricos, aspectos econômicos, sociais e ambientais.

Existe uma confusão sobre a diferença entre as definições de métodos de irrigação e sistemas de irrigação. Vamos fazer uso do dicionário para sanar esta dúvida recorrente neste assunto. Segundo o Aurélio (1995), temos que:

Método – do Latim *methodu*, ou do Grego *método*: Maneira de agir ou fazer as coisas; modo ordenado de proceder.

Sistema – do Latim *systema*, ou do Grego *sýstema*: Disposição das partes ou dos elementos de um todo, coordenados entre si, e que funcionam como estrutura organizada e que concorrem para um resultado.

3.2 VANTAGENS DA IRRIGAÇÃO

Entre as inúmeras vantagens do emprego racional da irrigação, podem-se citar as seguintes:

- a) suprimento em quantidades essenciais e em épocas oportunas das reais necessidades hídricas das plantas cultivadas podendo aumentar consideravelmente o rendimento das colheitas;
- b) garante a exploração agrícola, independentemente do regime das chuvas;
- c) permite o cultivo e/ou colheita duas ou mais vezes ao ano (milho, feijão, batata, frutas e etc) em determinadas regiões;
- d) permite um eficaz controle de ervas daninhas (arroz por inundação);
- e) a realização da fertilização em conjunto com a irrigação, facilita e diminui os custos da aplicação de corretivos e fertilizantes hidrossolúveis;
- f) A irrigação também promove mudanças socioeconômicas importantes como:
 - Criação de empregos e diminuição do êxodo rural;
 - Aumento da renda per-capita e melhoria nas condições de vida dos irrigantes;
- g) A produção é bem maior quando comparada com áreas não irrigada.

3.3 VANTAGENS DA IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADA

Segundo Meyer (2005), a automatização do sistema de irrigação apresenta as seguintes vantagens:

- Melhor administração da propriedade ou projeto agrícola: controle centralizado, tomada de decisão automática, monitoração ou supervisão da operação do sistema, obtenção do histórico completo das aplicações de águas e fertilizantes;
- Obtenção de maiores produtividades a um menor custo: controle preciso do tempo de aplicação da irrigação, irrigações sob condições ótimas, medições precisas das quantidades de água e fertilizantes;
- Economia de mão-de-obra: abertura e fechamento automático de válvulas e registros, operação automática de bombas de recalque e de reforço;
- Economia de água;
- Economia de energia;
- Economia de fertilizantes: quantidades administradas de forma precisa, solução balanceada apropriadamente.

Com isso um sistema automático bem planejado pode responder às situações de adversidade de forma inteligente, evitando que o problema venha se agravar. Além disso, a automação permite monitorar e controlar o funcionamento de um sistema físico de forma segura, rápida e automática.

O monitoramento automático, embora ainda incipiente no Brasil, constitui uma ferramenta importante no controle das aplicações de água para as plantas e uma maior frequência de seu uso, assegurando a sustentabilidade do sistema a ser irrigado e a preservação do meio ambiente (MEYER, 2005).

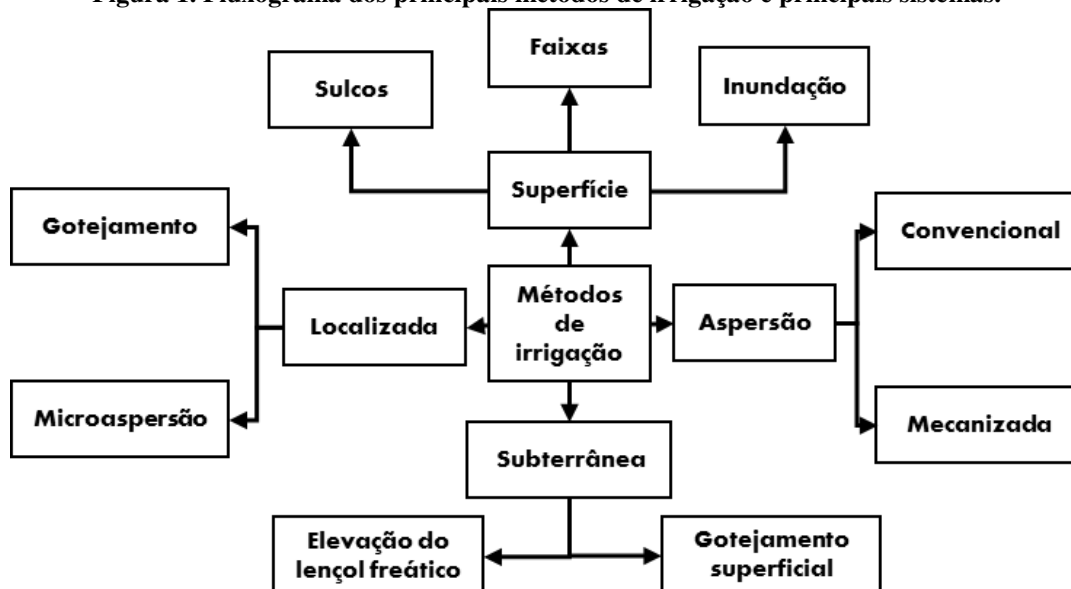
A partir dessas vantagens, é possível observar que uma simples automação supre muita das necessidades de exploração racional tornando-se rentável, tais como otimização dos recursos produtivos e redução de custos, em todas as fases da automação.

Por permitir um controle centralizado de várias atividades, como o monitoramento do sistema, sendo executado com segurança e precisão, os sistemas de controle permitem tomadas de decisão mais rápidas e baseadas em históricos de aplicações de água.

Tais vantagens somadas a um manejo e ao acompanhamento adequado da cultura (tratos culturais) poderão oferecer uma maior produtividade a um custo menor e, portanto, aumentando a lucratividade do produtor.

A seguir, a Figura 1 mostra cada um dos métodos de irrigação bem como os principais sistemas de irrigação.

Figura 1. Fluxograma dos principais métodos de irrigação e principais sistemas.



A seleção de um destes métodos de irrigação e um sistema tem a finalidade de estabelecer a viabilidade técnica e econômica, maximizando a eficiência e minimizando os custos de investimento e operação, ao mesmo tempo, mantendo as condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas.

3.4 MÉTODO DE IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE

Os sistemas de irrigação por superfície caracterizam-se por utilizar a superfície do solo para distribuir a água.

Na irrigação por superfície, a água alcança as plantas de forma direta por escoamento sobre a superfície do terreno cultivado. Normalmente, há necessidade de bombeamento da água de uma fonte de abastecimento até pelo menos o canal principal (BASTOS *et al.*, 2011).

Segundo Santana (2010), nesse método, a distribuição se dá por gravidade através da superfície do solo. Para isto, é exigida uma condição superficial adequada do solo, de modo a proporcionar um escoamento contínuo sem causar erosão. Segundo Souza (2010), a irrigação por superfície prevalece em 70% das áreas irrigadas do mundo. Tende a ter uma eficiência menor em função das diferentes lâminas aplicadas. No início o sulco ou em contato com a

água durante um tempo maior do que no final do sulco. No final, aplica-se a lâmina necessária, portanto, o maior tempo de aplicação no início implica em perda de água.

3.4.1 SISTEMA POR SULCOS

Os sulcos são pequenos canais construídos entre as linhas de plantio Figura 2, com a finalidade de conduzir e distribuir a água à área irrigada (BASTOS *et al.*, 2011).

Figura 2. Sistema de irrigação por sulcos.



Fonte: UNESP, 2014².

No sistema de irrigação por sulcos, a água é aplicada diretamente através de canais, infiltrando-se ao longo da área molhada e movimentando-se nas direções vertical e lateral. Comparando com os demais sistemas, o sistema de irrigação por sulcos apresenta uma menor dependência da topografia e da taxa de infiltração no solo do terreno no que se refere à uniformidade de distribuição de água.

Neste sistema destacam-se, ainda, a forma do sulco, que exerce influência na eficiência da irrigação, o espaçamento entre sulcos, que deve ser uma função da textura de solo, da cultura e de aspectos relacionados à mecanização, e a declividade dos sulcos, a qual não deve proporcionar uma velocidade excessiva da água advinda da irrigação, para não ocasionar erosão.

“O comprimento dos sulcos é função da capacidade de infiltração, do volume de água disponível, do grau de erodibilidade do solo e da declividade do terreno, devendo ser tal que o

² Disponível em: <<http://irrigacao.blogspot.com.br/2014/05/aula-nove-conhecendo-os-diferentes.html>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

perfil molhado ao longo do sulco seja o mais uniforme possível” (BASTOS *et al.*, 2011 p. 140).

Este tipo de irrigação tem como característica se adapta à maioria das culturas (principalmente as cultivadas em fileiras).

3.4.2 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR FAIXAS

Este sistema de irrigação tem por característica a inundação total da área por condução da água na superfície do solo, por um tempo suficiente para aplicar a quantidade de água necessária à irrigação.

Figura 3. Sistema de irrigação por faixas.



Fonte: Irrigação de superfície-Ebah³.

As faixas podem ser construídas em nível ou com gradiente longitudinal, porém a declividade não pode haver declividade transversal, para proporcionar uma maior uniformidade na distribuição de água. As faixas são separadas por elevações denominadas diques. A Figura 3 ilustra o sistema de irrigação por faixa.

O comprimento da faixa deve ser inversamente proporcional à capacidade de infiltração do solo. Quanto menor a capacidade de infiltração maior deve ser o comprimento. O comprimento da faixa varia entre 50 e 400 m (SOUZA, 2010).

³ Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAe8kAAG/apresentacao-irrigacao-pdf?part=2>>. Acesso em 18 jun. 2014.

3.4.3 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR INUNDAÇÃO

Na irrigação por inundação a água é aplicada em tabuleiros de forma contínua ou intermitente. O sistema de irrigação por inundação contínua é, tradicionalmente, o mais utilizado, empregando-se submersão com água parada ou corrente. Com água parada a eficiência de irrigação é, normalmente maior, não havendo riscos de perdas de nutrientes carreados pela ação da água (MEDEIROS, 1995 apud COSTA; ARAÚJO).

Figura 4. Sistema de irrigação por inundação contínua.



Fonte: Cultivar⁴.

O sistema de inundação intermitente é, geralmente, mais utilizado em regiões que se encontre com restrições de disponibilidade de água. A inundação da superfície pode ser temporária, o suficiente para infiltrar a quantidade de água requerida ao solo, ou prolongada, procurando manter uma lâmina líquida superficial, durante a maior parte da estação de irrigação. De acordo com Souza (2010), a irrigação por inundação é o sistema mais utilizado no Brasil e no Mundo.

A principal vantagem em relação à inundação contínua é observado na economia de água.

3.5 MÉTODO DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

O sistema de irrigação por aspersão é uma técnica que visa suprir a demanda hídrica da cultura pelo fracionamento de um jato de água em gotas lançadas sobre a superfície do

⁴ Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/site/content/noticias/?q=25528>>. Acesso em 14 de jun. 2014.

terreno, simulando uma chuva intensa e uniforme (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2008 apud SILVA; ESTEVES; PAES; SOUSA, 2012, p.4).

A água é aspergida sobre a cultura por meio de dispositivos especiais chamados aspersores. O jato ao chocar-se com o ar, pulveriza-se em gotas caindo sobre a cultura em forma de chuva artificial (SOUZA, 2010).

Nesse sistema, a água é conduzida desde a fonte de abastecimento até a área cultivada sendo impulsionada por uma estação de bombeamento, por meio de tubulações ou condutos forçados e é distribuído às plantas pelos bocais dos aspersores das mais diversas capacidades e características de emissão de água (BASTOS *et al.*, 2011).

3.5.1 SISTEMA CONVENCIONAL (ASPERSÃO)

A irrigação convencional Figura 5, consiste em um sistema de irrigação que utiliza aspersores e canhões para aplicação de água na área cultivada, existindo dois tipos, fixo ou móvel. São indicados para praticamente para todas as culturas, é mais utilizado para irrigação de pastagem e hortaliças. Dada sua versatilidade e adaptabilidade, são os sistemas mais utilizados em áreas de até 20 ha.

Figura 5. Sistema de irrigação convencional.



Fonte: Revista agropecuária⁵.

São os sistemas que utilizam os componentes convencionais de aspersão (moto bombas, tubulações, aspersores), que podem se movimentar pelo campo (móveis), cobrindo em cada posição. Um setor da área irrigada ou permanecer parados (fixos) na mesma posição

⁵ Disponível em: <<http://www.revistaagropecuaria.com.br/2013/02/15/irrigacao-sistemas-e-manejo/>>. Acesso em 16 jun. 2014.

ao longo do período de produção e cobrindo toda a área irrigada ou setores específicos ao mesmo tempo (TESTEZLAF, 2011).

3.5.2 SISTEMA MECANIZADO

É o sistema onde os aspersores são mantidos em estruturas que se deslocam ao longo da área para realizar a irrigação. Este sistema pode se movimentar com o auxílio de um trator, ou graças a um sistema automatizado com movimento linear ou circular.

Faz parte deste sistema de irrigação, o pivô central e o auto propelido ou carretel enrolador.

a) Pivô central

O sistema de irrigação-Pivô central Figura 6, é um sistema que possui movimentação circular, constituído em geral de uma linha com vários aspersores, com tubos de aço conectados entre si, montados em torres dotadas de rodas. Um pequeno motor elétrico colocado em cada torre, que permite o acionamento independente dessas (FERREIRA, 2011).

Figura 6. Sistema de irrigação mecanizada-Pivô central.



Fonte: Pivot⁶.

Para haver a instalação do pivô centra é necessário que a área esteja totalmente livre de obstáculos que possa por eventualidade limitar o obstruir a movimentação da linha de irrigação.

⁶ Disponível em: <<http://www.pivot.com.br/irrigacao/pivo/index.php?ir=1&id=42>>. Acesso em 16 jun. 2014.

b) Autopropelido

O sistema autopropelido Figura 7, apresenta um aspersor do tipo canhão montado, sobre um carrinho de rodas. Rebocado por um trator, a uma determinada distância, e depois recolhido por meio de um carretel enrolador acionado por um mecanismo hidráulico. Ele irriga uma faixa de terra longa e estreita (FERREIRA, 2011).

Figura 7. Sistema autopropelido.



Fonte: Ferreira, 2011.

Este sistema quanto ao seu uso, são indicados para os mais diversos tipos de culturas como milho, trigo, cenoura, grama, cana-de-açúcar, etc.

3.6 MÉTODO DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

É um sistema que apresenta um processo aplicando água com alta frequência e pequenas vazões quando comparado com outros sistemas de irrigação, acima ou abaixo da superfície do solo, mantendo com alto grau de umidade um pequeno volume de solo que contém o sistema radicular das plantas. “No Brasil esse método surgiu na década de 1970 (microaspersão) e 1980 (gotejamento)”, (BASTOS *et al.*, 2011 p. 149).

No Brasil, a expansão da irrigação localizada não só tem sido contínua, como tende a acelerar, em decorrência, principalmente, da expectativa de aumento das áreas plantadas com fruteiras em diversas regiões, em especial no Nordeste. Sistemas de irrigação localizada são aqueles em que a água é aplicada diretamente na região radicular, em pequenas intensidades e alta frequência, podendo ser por microaspersão ou gotejamento (ANDLÊR, 2010).

2.6.1 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

Na irrigação por gotejamento Figura 8, a água é aplicada de forma pontual através de gotas diretamente ao solo. Estas gotas, ao infiltrarem, formam um padrão de umedecimento denominado bulbo úmido, outro termo técnico utilizado em irrigação localizada por gotejamento.

Estes bulbos podem ou não se encontrar com a continuidade da irrigação e formar uma faixa úmida.

Figura 8. Sistema por gotejamento.



Fonte: Souza, 2010.

Os gotejadores devem apresentar as seguintes características:

- a) fornece vazão relativamente baixa, constante e uniforme;
- b) apresentar orifício de saída de água relativamente grande, para evitar entupimentos;
- c) ser barato, resistente e compacto.

É característica deste sistema a presença de emissores de água (gotejadores) através dos quais a água escoar após ocorrer dissipação de pressão ao longo de uma rede de condutos.

3.6.1 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR MICROASPERSÃO

Neste sistema de irrigação Figura 9, a água é aspergida através de microaspersores, preferencialmente, na área sombreada pela copa da planta, ou seja, próximo ao sistema radicular das plantas. Esse sistema possui vazão e área de aplicação maior do que o gotejador. De acordo com Andrade (2003), a vazão dos microaspersores varia de 12 a 120 l/h. Permite o

umedecimento de uma área maior, o que é uma vantagem para culturas de espaçamentos mais largos, plantadas em solos arenosos.

Figura 9. Sistema de irrigação por microaspersão.



Fonte: Interserviços⁷.

Os microaspersores são pequenos aspersores de plástico, conectados diretamente sobre tubulações de pequeno diâmetro (13 a 19 mm).

3.6.2 MÉTODO DE IRRIGAÇÃO SUBTERRÂNEA

Neste método de irrigação o fornecimento de água é feito diretamente no sistema radicular das plantas, abaixo da superfície do solo. Este método de irrigação se divide em dois sistemas que são: elevação do lençol freático e gotejamento subsuperficial.

A irrigação por gotejamento subsuperficial Figura 10, é derivada do gotejamento superficial, sendo constituída por emissores instalados na subsuperfície do solo, com aplicação da água na região de abrangência do sistema radicular da cultura. O sistema possibilita provimento de água às culturas pela aplicação de baixo volume, reduzindo as perdas hídricas nos sistemas de cultivo (Parkes et al., 2010), enquanto uma porção superficial do solo é mantida relativamente seca.

O sistema subsuperficial pode ser indicado para qualquer tipo de solo, a partir do momento que se realize um estudo prévio da dinâmica da água no solo. Assim a determinação da vazão do emissor é função da textura do solo. Então quanto mais arenoso for o solo, maior deve ser a vazão do emissor e mais alta a frequência de irrigação (BASTOS *et al.*, 2011).

⁷ Disponível em: <<http://www.interservicos.com/index.php/pt/projectos/detail/55>>. Acesso em 19 jun. 2014.

Figura 10. Sistema de irrigação gotejamento subsuperficial.



Fonte: Blog da agricultura de precisão⁸.

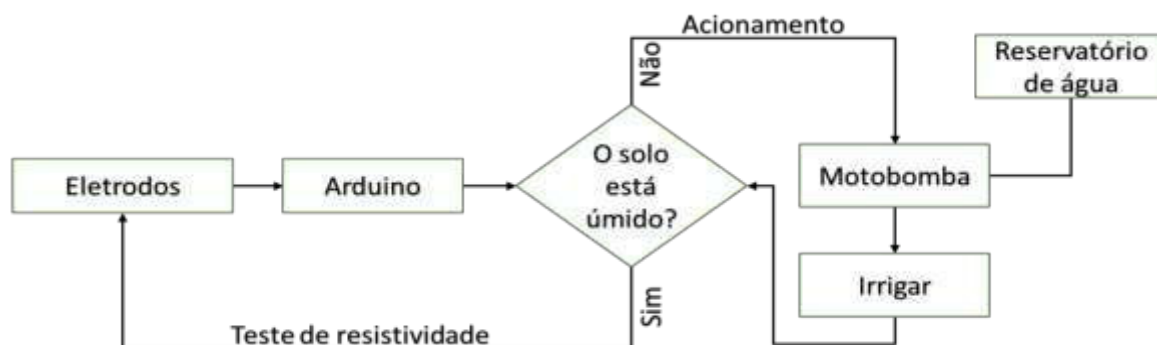
As principais limitações desse sistema são detectadas pelas dificuldades de se encontrar os possíveis entupimentos ou reduções nas vazões dos emissores. Esse sistema pode ser utilizado em áreas onde a presença de camada de solos superficiais compactadas apresentem condições de controlar a profundidade do nível do lençol freático e deixá-lo próximo às raízes das plantas.

⁸ Disponível em: <<http://www.agriculturadeprecisao.blogr.br/irrigacao/>>. Acesso em 20 Jun. 2014.

4. SISTEMA PROPOSTO

O sistema proposto apresenta um processo de irrigação que tem por objetivo a disponibilização da água às plantas de acordo com sua necessidade hídrica. O diagrama de blocos Figura 11 mostra a disposição de cada elemento que o compõe.

Figura 11. Diagrama de blocos.



O diagrama de blocos com o esquema do sistema proposto no trabalho. Para iniciar o projeto foi necessário realizar um prévio levantamento de qual deveria ser o hardware que seria utilizado para concluir o sistema de irrigação automatizado e levando em consideração a análise criteriosa do problema. Alguns componentes foram escolhidos por melhor se adaptarem à solução e serem de fácil acesso, seja pelo custo, ou pela simplicidade de manuseio.

4.1 CONTROLE DA UMIDADE DO SOLO

De acordo com a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) existem vários tipos de monoculturas, sendo que cada uma apresenta um tipo de solo e necessita de quantidades diferenciadas de água para a irrigação. A quantidade correta por sua vez, depende das características de retenção de água do solo, da profundidade efetiva do sistema e da tensão crítica de água para as plantas.

Para o manejo da água de irrigação, é necessário o controle diário da umidade do solo, durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura. Para tanto, é indispensável o conhecimento prévio de parâmetros relacionados às plantas, ao solo e ao clima, para determinar o momento oportuno de irrigar e a quantidade de água a ser aplicada. Tendo sempre o uso racional da água de irrigação e da energia como parâmetros determinantes.

A disponibilidade de água no solo é ter o conhecimento de qual textura (solo) para poder ter o conhecimento da capacidade de armazenamento de água, podendo dizer que solos de textura arenosa apresentam menor capacidade de retenção de água do que solos argilosos. Com esse conhecimento do solo, a irrigação terá um maior controle, sempre visando manter o solo na capacidade de campo, ou seja, é a quantidade de água que está retida no solo e que está disponibilizada para as raízes, já sem estes conhecimentos faz-se a utilização da verificação da umidade do solo através da condutividade elétrica através da utilização de eletrodos.

As plantas obtêm praticamente toda a água de que necessitam através do sistema radicular. Da água absorvida, a planta não retém mais do que 2%, sendo o restante transferido para a atmosfera pela transpiração, após vários processos fisiológicos das plantas. Além de variar com a espécie cultivada, a evapotranspiração é afetada pelo solo e principalmente pelo clima. Entre os fatores climáticos que influenciam ao processo, destacam-se: radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

4.2 SENSORES

Na indústria eletrônica existem vários componentes, que podem ser muito úteis à irrigação.

Para que se possa entender o sensor utilizado no projeto é necessário conhecer um pouco sobre métodos de determinação da umidade do solo.

Existem métodos diretos e indiretos de determinação da umidade do solo. Dentre os métodos diretos, o gravimétrico é o mais utilizado, consistindo em realizar uma amostra do solo e, por meio de pesagens, determinar a sua umidade gravimétrica, relacionando a massa de água com a massa de sólidos da amostra ou a umidade volumétrica, relacionando o volume de água contido na amostra e o seu volume, é um método demorado trabalhoso e usa amostras destrutivas. Por possuir determinação instantânea da umidade do solo, os sensores indiretos se tornam mais adequados para indicar o início e a duração da irrigação (SANTANA, 2010). Mas normalmente são calibrados pelo método padrão que é o gravimétrico. A Figura 12 mostra os sensores de umidade.

Figura 12. Sensores de umidade do solo.



Fonte: Jornal Tamanduá⁹.

Os principais métodos indiretos baseiam-se em medidas como a moderação de nêutrons, a resistência do solo à passagem de corrente elétrica, a constante dielétrica do solo e a tensão da água no solo. Essas são características do solo que variam com a sua umidade (SANTANA, 2010).

Sensores são dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica, cinética, relacionando informações sobre uma grandeza que precisa ser medida, como: temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, etc (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2007).

4.3 SENSORES BLOCO DE RESISTÊNCIA

Normalmente fabricados de gesso, os blocos de resistência elétrica, são elementos porosos com eletrodos inseridos, cuja passagem de corrente elétrica entre estes eletrodos, causada principalmente pela solubilização em água dos seus eletrólitos componentes (Ca^{2+} e SO_4^{2-}), é função não linear da tensão da água no solo, (SANTANA, 2010). Estes blocos de gesso requerem calibração individual periódica, já que sua resposta deteriora no tempo, principalmente em solos com tensão de água baixa, que causem importante solubilização e movimentação do cálcio e do sulfato.

Sensores do tipo bloco de resistência elétrica Figura 13, permitem relacionar a tensão de água no solo com a resistência elétrica entre dois eletrodos inseridos no sensor. O sensor

⁹Disponível em:< <http://www.fazendatamandua.com.br/jt-abril2011.htm>>. Acessado em Jul. 2014.

permanece instalado no solo durante todo o ciclo de desenvolvimento do trabalho e as leituras são realizadas com o medidor digital portátil multímetro, pré-calibrado pelo fabricante (BASTOS *et al.*, 2011).

Figura 13. Bloco de resistência elétrica.



Fonte: Souza, 2010.

- Método dos blocos de resistência elétrica:
 - Baseado na medida da resistência elétrica do solo;
 - Praticidade e rapidez;
 - Bloco de gesso, nylon ou fibra de vidro;
 - A resistência elétrica do solo varia com o seu conteúdo de água;

$\uparrow \text{úmido} \Rightarrow \downarrow \text{Resistência}$
 - A solução no interior do bloco entra em equilíbrio com a solução do solo;
 - Necessita de calibração.

4.4 TENSÍÔMETRO

O tensiômetro Figura 14, é formado por cápsulas porosas contendo água em sua cavidade que são dispositivos de medição de tensão ou sucção que é mantido em contato com a superfície do solo, ou neste inserido. Em equilíbrio, sua leitura é diretamente a tensão da água no solo, em unidade de energia dividida por volume (pressão), (SANTANA, 2010).

Figura 14. Tensiômetro.



Fonte: Ageitec (Embrapa)¹⁰.

A manutenção dos tensiômetros no campo deve ser realizada de preferência semanalmente ou quando se verificar problemas de mau funcionamento e/ou presença de ar na parte superior do tubo após a irrigação.

4.5 ELETRODOS

Eletrodo é de maneira geral um terminal utilizado para fazer a conexão entre um circuito elétrico e uma parte metálica, que em contato com o solo tem a capacidade de medir a resistividade elétrica do mesmo ou resistividade, que é a resistência entre faces opostas do volume de solo, consistindo em um cubo homogêneo e isótropo cuja aresta mede uma unidade de comprimento. O solo apresenta uma composição bastante heterogênea, sendo que o valor da sua resistividade pode variar de local para local em função do tipo (argila, calcário, areia, granito, etc.), do nível de umidade (seco, molhado), da profundidade das camadas, da idade de formação geológica, da temperatura, da salinidade e de outros fatores naturais (MENDENA e SUETA, pag. 30, 2011).

4.6 ATUADORES

Os sistemas de automação em qualquer área de utilização precisam executar movimentos mecânicos e controlar mecanicamente o fluxo de fluidos em equipamentos para isso utilizam atuadores que é de grande importância na execução de uma tarefa das mais

¹⁰Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_86_1311200215104.html>. Acesso em 01 Jul. 204.

simples as mais complexas, portanto é necessário que o mesmo seja adequadamente projetado e adaptado as condições do seu meio e área de trabalho.

Os atuadores são dispositivos que modificam uma variável controlada. Recebem um sinal proveniente do controlador e agem sobre o sistema controlado. Geralmente trabalham com potência elevada (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2007).

Exemplos de alguns atuadores:

- Válvulas (pneumáticas, hidráulicas);
- Reles (estáticos, eletromecânicos);
- Cilindros (pneumáticos, hidráulicos);
- Motores (*step-motor*, *syncro*, servomotor);
- Solenóides.

4.7 ARDUINO

O *hardware* consiste em um projeto simples de hardware livre para o controlador, com um processador Atmel AVR e suporte embutido de entrada/saída. O software consiste de uma linguagem de programação padrão e do *bootloader* que roda na placa (McROBERTS, 2011).

Um microcontrolador é um circuito integrado programável, capaz de executar as instruções gravadas em sua memória de programa. Um microcontrolador possui em seu interior três unidades funcionais principais: unidade central de processamento, memória e periféricos de entrada e saída.

O projeto Arduino nasceu na Itália no ano de 2005 com o objetivo de criar um dispositivo que facilitasse os estudantes oferecendo controle integrado de projetos de *design* e interação, e que fosse mais econômico que os sistemas de criação de protótipos disponíveis até o momento no mercado.

O Arduino é o que chamamos de plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e software (McROBERTS, 2011). Em termos de software, o Arduino pode ter funcionalidades desenvolvidas por meio da linguagem C/C++, que utiliza uma interface gráfica escrita em Java. As funções IDE (*Integrated Development Environment*) do Arduino permitem o desenvolvimento de software que possa ser executado pelo dispositivo.

O Arduino pode ser utilizado para desenvolver objetos interativos independentes, ou pode ser conectado a um computador, a uma rede, ou até mesmo à Internet para recuperar e enviar dados do Arduino e atuar sobre eles. Em outras palavras, ele pode enviar um conjunto de dados recebidos de alguns sensores para um site, dados estes que poderão, assim, ser exibidos na forma de um gráfico (McROBERTS, 2011).

A maior vantagem do Arduino com relação a utilização desses dispositivos é que pode-se construir o circuito que se desejar, só precisa de conhecimento e usar a criatividade (HERNANDEZ, 2012).

A IDE permite que você escreva um programa para posterior upload para o Arduino. Seu microcontrolador, então, executará essas instruções, interagindo com o que estiver conectado a ele. No mundo do Arduino, programas são conhecidos como sketches (rascunho, ou esboço), (McROBERTS, 2011).

O Arduino foi a plataforma adotada no desenvolvimento do projeto, devido suas seguintes vantagens:

- Facilidade de utilização; pessoas que não são da área técnica podem, aprender o básico e criar seus próprios projetos em um curto intervalo de tempo.
- Ele é um ambiente multiplataforma; ele executa no Windows, Macintosh e Linux. Além disso, o hardware e documentação estão disponíveis e de forma livres, no site oficial do Arduino encontra-se um *wiki* (conjunto de páginas de acesso rápido na internet) muito extenso em que são compartilhados livremente códigos e exemplos de projetos que utilizam o Arduino;
- O projeto do Arduino foi desenvolvido em um ambiente educacional, portanto é excelente para os iniciantes obterem projetos trabalhando de modo rápido;

Como o propósito do projeto é desenvolver um protótipo que realize o funcionamento de um sistema de irrigação automático, decidiu-se usar o Arduino Mega2560, conforme mostrado na Figura 15. Por apresentar uma boa quantidade de portas, o que permite a realização de projetos com certa complexidade, sem perder a eficiência e por ser adquirido a um baixo custo, atendendo aos requisitos necessários para execução do trabalho em questão.

O Arduino Mega2560, é uma placa de desenvolvimento baseada no ATmega2560 (*datasheet*). Ele possui 54 pinos de entradas/saídas digitais, 16 entradas analógicas, 4 UARTs (Transmissor/Receptor Assíncrono Universal) (portas seriais de hardware), um cristal de 16 MHz, uma conexão USB (*Universal Serial Bus*), uma entrada de alimentação, uma conexão ICSP (Programação Serial no Circuito) e um botão de reset.

Figura 15. Arduino Mega2560.



Fonte: Topdekinformática¹¹.

As características do microcontrolador usado no Arduino são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Características do Microcontrolador ATMEGA2560.

Microcontrolador	ATmega2560
Tensão operacional	5V
Tensão de entrada (recomendada)	7-12V
Tensão de entrada (limites)	6-20V
Pinos de I/O digital	54 (dos quais 15 oferecem saída PWM)
Pinos de entrada analógica	16
Corrente DC por I/O do pino	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Memória flash	256 KB dos quais 8 KB usados para <i>bootloader</i>
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidade do <i>Clock</i>	16 MHz

Fonte: Datasheet ATmega2560.

O Mega é compatível com a maioria dos *shields* desenhados para os Arduinos Uno, Duemilanove e para o Diecimila.

¹¹Disponível em: <http://www.topdek.com.br/ARDUINO/ARD._DEV._BOARD_ARDUINO_MEGA_ITALIAN>. Acesso em 28 Jun. 2014.

4.8 MOTOBOMBA

A motobomba Figura 16, é um dos equipamentos principais na irrigação. É a responsável por pressurizar as linhas de irrigação e também fornecer água para regar as plantas. Para irrigação, em geral, são utilizadas motobombas centrífugas de eixo horizontal.

As bombas podem ser alimentadas por diferentes fontes de energia, sendo as mais utilizadas: energia elétrica e motores de combustão, principalmente motor a diesel. Essas bombas podem ser fixas (estacionárias) ou móveis.

A motobomba, é um equipamento rotativo que recebe energia de uma fonte motora qualquer fazendo a conversão da energia elétrica em energia hidráulica (vazão) em fluidos pressurizados, realizando o deslocamento de um fluido por escoamento.

As motobombas têm por finalidade fornecer uma pressão necessária a um líquido para vencer a resistência ao escoamento em um sistema de tubulações, onde ela só fornece fluxo (vazão) e não pressão.

Figura 16. Motobomba.



Fonte: Alibaba¹².

As motobombas servem para alimentar a rede que leva a água para os aspersores. Em um sistema automatizado, as mesmas são acionadas automaticamente e tem-se a vantagem de poder definir prioridades de consumo de energia em casos onde há uma grande demanda de energia.

Pode-se desligar as motobombas se algum outro sistema que consome muita energia estiver funcionando e tiver prioridade sobre elas.

¹² Disponível em: <<http://portuguese.alibaba.com/product-gs/eifel-centrifugal-water-pump-304155248.html>>. Acesso em 01 Jul. 2014.

4.9 TUBULAÇÕES

As tubulações utilizadas na irrigação por aspersão podem ser de:

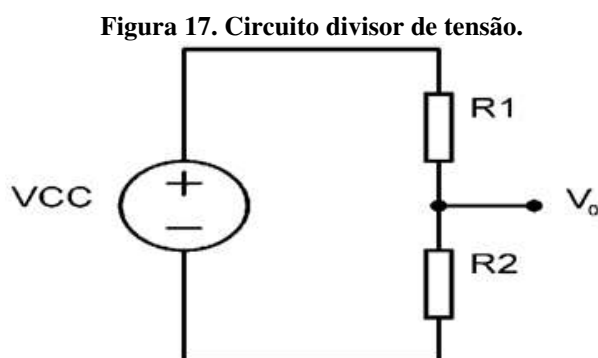
- Alumínio: pressões até 120 mca;
- Aço zincado: pressões até 150 mca;
- Aço galvanizado: pressões até 200 mca;
- PVC: pressões até 80/125 mca.

Essas tubulações são fabricadas e encontradas no comércio com dimensões padrões de 6 m de comprimento. Os tubos do tipo PVC são os mais utilizados em função da facilidade de manuseio e baixo o custo. Porém quando são necessárias altas pressões devemos utilizar tubos mais resistentes.

4.10 PROJETO DO CIRCUITO DIVISOR DE TENSÃO

A necessidade de combinar resistores em série ou paralelo ocorre tão frequentemente que estas conexões merecem uma atenção especial. O processo de combinar resistores é mais fácil se os mesmos forem organizados dois a dois. Tendo isto em mente, considere o circuito com um único *loop* (ALEXANDER e SADIKU, 2003).

O circuito divisor de tensão Figura 17, é usado para ajustar o valor da tensão de saída de um dispositivo antes de conectar à entrada de outro dispositivo ou equipamento.



O divisor de tensão é um circuito utilizado para criar uma tensão V_0 de saída que é proporcional a tensão V_{cc} de entrada.

Pela lei das malhas temos que:

$$V_{cc} = (R_1 + R_2) \cdot I \quad (1)$$

Lei de Ohm:

$$I = \frac{V_1}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

Substituindo (2) em (1), temos:

$$V_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{cc} \quad (3)$$

Além disto, a tensão sobre R_1 é:

$$V_1 = R_1 i = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v_{cc} \quad (4)$$

Do mesmo modo, temos que;

$$V_1 = R_2 i = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot v_{cc} \quad (5)$$

Estes resultados demonstram a fração da tensão total que aparece sobre uma dada resistência em um circuito tipo série como sendo a razão entre esta resistência e a resistência em série total. Isto é conhecido como princípio da divisão de tensão.

A Tabela 2 mostra os valores da resistência medida em cinco amostras, tanto para o solo seco como também para o úmido.

Tabela 2. Medição da resistência do solo.

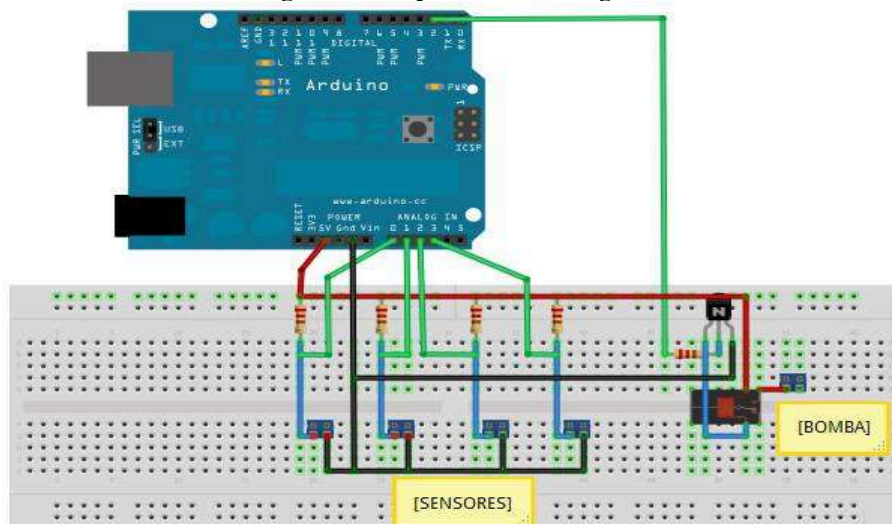
Medições	Solo seco (MΩ)	Solo úmido (kΩ)
1°	1,10	9,00
2°	1,60	11,20
3°	1,50	11,60
4°	1,90	11,50
5°	0,96	10,80

Dáí é possível observar que os valores da resistência no solo seco são elevados na ordem de grandeza (MΩ) encontrada, enquanto que os valores encontrados no solo quando estava úmido são baixo com grandeza de (kΩ).

4.11 PROJETO DO CIRCUITO DE AQUISIÇÃO DE DADOS

No circuito da Figura 18, os dados são transmitidos ao Arduino informando o nível de tensão do solo, e a resistência do mesmo, para obter os valores de umidade.

Figura 18. Esquema de montagem.



Isto é possível devido a quantidade de água contida no solo, quanto maior a quantidade de água no solo maior facilidade de condução de corrente (menor resistência), enquanto que o solo seco ou com deficiência, apresenta uma maior dificuldade de condução de corrente em comparação com o solo úmido (maior resistência).

4.12 CÁLCULO DA TENSÃO DE SAÍDA

A partir das Equações 6 e 8, é possível se obter os valores da tensão de saída, com estes resultados deduzidos o microcontrolador Arduino ATmega2560 faz um comparativo entre valores da tensão de saída e consegue reconhecer se o solo está seco ou úmidos, consequentemente determina o acionamento ou desligamento da motobomba que é responsável por enviar água às tubulações. Os valores R_1 e R_2 são valores encontrados a partir de medidas realizadas no decorrer do projeto.

$$V_0 = \frac{1k\Omega}{1k\Omega + 1k\Omega} \cdot 5v \quad (6)$$

$$V_0 = 2,5v \quad (7)$$

$$V_0 = \frac{1,412M\Omega}{1k\Omega + 1,412M\Omega} \cdot 5v \quad (8)$$

$$V_0 = 5V \quad (9)$$

4.13 ACIONAMENTO DA MOTOBOMBA

Para o acionamento da motobomba, foi idealizado uma saída a relé e este por sua vez pode acionar um contator. O relé pode ser observado na Figura 19.

Figura 19. Relé de saída.



Um relé eletromecânico comum é um interruptor ou chave eletromecânica acionado quando se estabelece uma corrente através de uma bobina. Características do relé:

- Tensão da bobina: 5 VDC;
- Corrente típica de operação: 15-20mA;
- Cada relé possui 3 terminais proporcionais, 1contato NA, 1NF e o comum;
- Contato do relé permite tensão de até 30 VDC a 10A ou 250 VAC ou 10A;
- Dimensões: 15mm × 19mm 15mm, desconsiderando os terminais;
- Dimensão do terminal é de 4mm.

4.14 MONTAGEM DO CIRCUITO

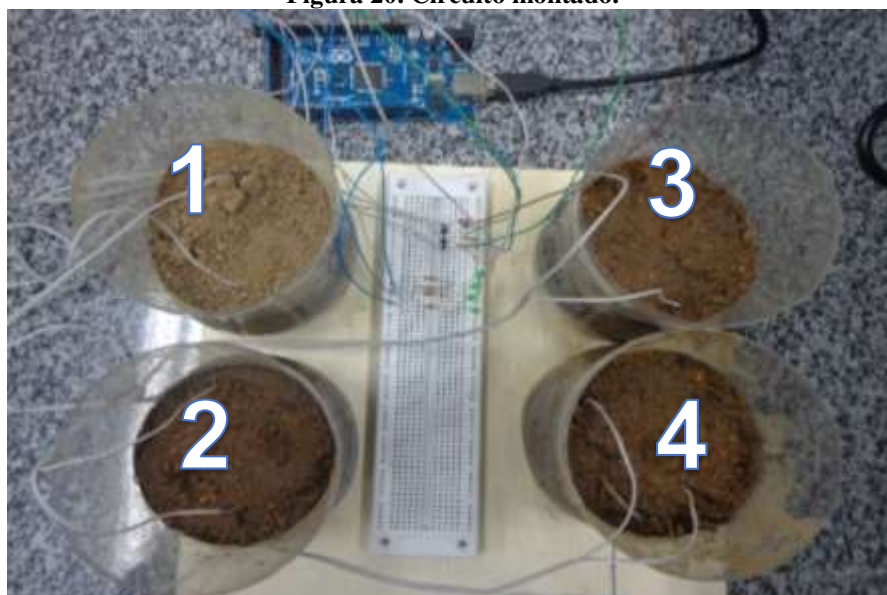
O protótipo do circuito responsável por realizar o processo de irrigação automática, é mostrado na Figura 20. O mesmo é composto pelo microcontrolador Arduino, quatro

substratos com solo sendo um totalmente seco outros dois com pouca água e um encharcado (saturado), quatro LEDs e oito resistores.

Os substratos foram identificados e numerados conforme mostra a Figura 20.

- 1- Substrato com solo totalmente seco;
- 2- Substrato com solo encharcado;
- 3- Substrato com solo parcialmente úmido;
- 4- Substrato com solo úmido.

Figura 20. Circuito montado.



O microcontrolador comanda todo o circuito, com ações do tipo, acionar o relé que poderá comandar um contator e este por sua vez, ligar a motobomba. O programa desenvolvido na plataforma Arduino, além de comandar com precisão o sistema de irrigação automático, apresenta outras vantagens, tais como: personalização do programa, o que atende ao interesse específico em cada situação do projeto.

5. AVALIAÇÃO DO PROJETO

As pesquisas que testam novos equipamentos visam obter alternativas para substituição ou melhoramento de produtos já existentes. Para comprovar a viabilidade desse novo produto, devem ser realizados teste de natureza técnica e econômica.

O sistema de irrigação proposto foi desenvolvido e avaliado, executando todas as suas funções corretamente, obedecendo comandos enviados ao microcontrolador.

O foco deste trabalho foi tirar do produtor a responsabilidade de irrigar o solo quando necessário, uma vez que esta tarefa pode se tornar complexa, pois o agricultor muitas vezes tem dificuldade em saber a quantidade ideal de água e irriga demais o solo. Muitas vezes o mesmo acha que a cultura precisa de mais água, deixando o solo encharcado, ou simplesmente não irriga o suficiente, prejudicando o desenvolvimento da plantação.

O sistema de irrigação proposto não trata das questões ambientais, nem dos fatores importantes na escolha de um método de irrigação, tais como, topografia, solo, clima, quantidade e qualidade da água. Trata-se de um modelo acadêmico que mostra a interação da tecnologia com a agricultura. Para o desenvolvimento do projeto, não foi escolhido nenhum método de irrigação, mas o sistema poderia empregar qualquer método, uma vez que o ponto forte do trabalho está no monitoramento do solo e na interação entre o sensor e o microcontrolador, que decide quando acionar a motobomba.

6. CONCLUSÃO

O sistema de irrigação automatizado desenvolvido trata de uma solução viável por apresentar características econômicas e de fácil manuseio sendo propício para pequenos e médios agricultores. Após a realização de experimentos no laboratório, foram obtidos resultados significativos e satisfatórios em relação ao que foi proposto. Desta forma, o solo é irrigado quando está seco, o sistema de irrigação é programado a parar de funcionar assim que o solo se encontra úmido. Assim, é esperado que a automação na agricultura irrigada avance progressivamente.

O sistema poderá funcionar uma ou várias vezes ao dia, em dias intercalados ou de forma semanal, adequando-se da melhor forma possível às diferentes necessidades hídricas das plantas e usuários.

Diante dos resultados adquiridos, novas propostas de estudos sobre o tema poderão ser realizadas a partir do estudo da quantidade de água necessária no solo para cada monocultura. Uma interface para o controle e monitoramento do sistema pode ser implementada, de tal forma que o usuário pode determinar o tempo necessário de irrigação de acordo com cada monocultura a ser tratada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, C. K.; SADIKU, M.N.O. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. Ed. Bookman. Porto Alegre, 2003.

ANDRADE, C.L.T.; BRITO, R. A. L. **Métodos De Irrigação e Quimicação**. Circular técnica 86. Embrapa. Sete Lagoas MG. Dez., 2006.

ANDRADE, C. L. T. **Seleção do Sistema de Irrigação**. Circular 14. Embrapa. Sete Lagoas MG. Setembro de 2003.

BARROS, J. G. C. **Origem, Distribuição e Preservação da Água no Planeta Terra**. PGR. 4ª CCR. Ano 2. Número 6, junho 2008.

BASTOS, E. A. *et al.* **Métodos e Sistemas de Irrigação**. SOUSA, V. F. (Org.) **Irrigação e Fertirrigação Em Fruteiras e Hortaliças**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília – DF, 2011.

COSTA, R. N. T.; ARAÚJO, D. F. **Irrigação Por Superfície**. Departamento de Engenharia Agrícola, UFC. Campus do Pici-CE.

FERREIRA, V. M. **Irrigação e Drenagem**. – Floriano, PI: EDUFPI, 2011.

GARCIA, L. F. **Controlador Eletrônico Para Irrigação**. (Especialização) Pós Graduação Latu Sensu em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos/ Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – Florianópolis, SC, 2011.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. **O Uso da Irrigação no Brasil**, Embrapa, 2003.

MAROUELLI, W. A.; SOUSA, V. F. **Métodos e Sistemas de Irrigação: Irrigação e Fertirrigação Em Fruteiras e Hortaliças**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília – DF, 2011.

McROBERTS, M. **Arduino Básico** / [tradução Rafael Zanolli]. São Paulo: Novatec Editora, 2011.

MENDENA, J.; SUETA, H. **Medição da Resistividade do Solo**. O setor elétrico. São Paulo, P. 30, nov. 2011.

MEYER, G. L. **Controle de Sistema de Irrigação Com Monitoramento Via Programação**. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. Escola de Minas - UFOP Julho / 2005.

MOTA, M. A. M. **Teoria, Caderno de Experiência e Manual**. XC201- Sensores industriais, Exsto Tecnologia Ltda. Santa Rita do Sapucaí – MG, 2013.

OLIVEIRA, A. M. P. **Modelagem Matemática Para Dimensionamento Do Bulbo Molhado Na Cultura Do Melão**. Monografia (Graduação em Agronomia) Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas. Mossoró, 2010.

QUEIROZ, T. M. et al. **Avaliação de Sistema Alternativo de Automação da Irrigação do Feijoeiro em Casa de Vegetação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Departamento de Engenharia Agrícola, Jaboticabal, V.25, N.3, P.632-641, Set./Dez. 2005.

REGUS, R. C. **Manutenção de Motobombas Centrífugas Submersíveis**. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Elétrica. Porto Alegre, 2011.

SANTANA, L. M. **Sistema de Irrigação Automatizado**. Monografia (Graduação em Engenharia da Computação). Centro Universitário de Brasília (UniCEUB). Brasília -DF, 2010.

SILVA, D. G. et al. **Irrigação Por Aspersão**. Manual Técnico, N°33, ISSN 1983-5671. Niteroi-RJ-2012.

SOUZA, R. O. R. M. **Irrigação e Drenagem**. Universidade Federal Rural da Amazônia, Instituto de Ciências Agrárias - ICA UFRA – ICA, 2010.

TESTEZLAF, R. **IRRIGAÇÃO: Métodos, Sistemas e Aplicações**. Faculdade de Engenharia Agrícola Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP, 2011.

THOMAZINI, D; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. 3 ed. São Paulo: Érica, 2007.

ANEXO A

```

int sensorPin1 = A0;    // Sensor 1.
int ledPin1 = 13;       // Led 1.
int sensorValue1 = 0;   // Variável para leitura do sensor 1.
int sensorPin2 = A1;    // Sensor 2.
int ledPin2 = 14;       // Led 2.
int sensorValue2 = 0;   // Variável para leitura do sensor 2.
int sensorPin3 = A2;    // Sensor 3.
int ledPin3 = 15;       // Led 3.
int sensorValue3 = 0;   // Variável para leitura do sensor 3.
int sensorPin4 = A3;    // Sensor 4.
int ledPin4 = 16;       // Led 4.
int sensorValue4= 0;    // Variável para leitura do sensor 4.

void setup()
{ pinMode(ledPin, OUTPUT); }
void loop()
{
    delay(1000);                // Atraso na medição.
    sensorValue1 = analogRead(sensorPin1); // Leitura do sensor 1.
    sensorValue2 = analogRead(sensorPin2); // Leitura do sensor 2.
    sensorValue3 = analogRead(sensorPin3); // Leitura do sensor 3.
    sensorValue4 = analogRead(sensorPin4); // Leitura do sensor 4.
    if(sensorValue1>800) { digitalWrite(ledPin1, HIGH);}
    else { digitalWrite(ledPin1, LOW);}
    if(sensorValue2>800) { digitalWrite(ledPin2, HIGH);}
    else { digitalWrite(ledPin2, LOW);}
    if(sensorValue3>800) { digitalWrite(ledPin3, HIGH);}
    else { digitalWrite(ledPin3, LOW);}
    if(sensorValue4>800) { digitalWrite(ledPin4, HIGH);}
    else { digitalWrite(ledPin4, LOW);}
}

```