



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**AMNON AMOGLIA RODRIGUES**

***IRRIGBLUE: MÓDULO DE CONTROLE E APLICATIVO ANDROID  
PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO***

**FORTALEZA**

**2016**

AMNON AMOGLIA RODRIGUES

IRRIGBLUE: MÓDULO DE CONTROLE E APLICATIVO ANDROID  
PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Adunias dos Santos Teixeira, Ph.D.

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- R611i Rodrigues, Amnon Amoglia.  
IrrigBlue : módulo de controle e aplicativo android para o manejo da irrigação / Amnon Amoglia Rodrigues. – 2016.  
60 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2016.  
Orientação: Prof. Dr. Adunias dos Santos Teixeira.  
Coorientação: Prof. Dr. Francisco José Firmino Canafistula.
1. Irrigação de precisão. 2. Aplicativo Android. 3. Módulos de sensoriamento e controle. I. Título.  
CDD 630
-

AMNON AMOGLIA RODRIGUES

IRRIGBLUE: MÓDULO DE CONTROLE E APLICATIVO ANDROID PARA O MANEJO  
DA IRRIGAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovada em: 13/06/2016.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Adunias dos Santos Teixeira, Ph.D. (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Clemilson Costa dos Santos  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr. Francisco José Firmino Canafistula  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. José Wally Mendonça Menezes  
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

---

Dr. Raimundo Alípio de Oliveira Leão  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais e minhas irmãs.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus pelas portas abertas ao longo dessa jornada, a minha família que me apoiou em todos os momentos.

À Universidade Federal do Ceará pelo ensino proporcionado desde a graduação.

À CAPES, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao Prof. Adunias dos Santos Teixeira, Ph.D., pela excelente orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof. Dr. Clemilson Costa dos Santos, Dr. Francisco José Firmino Canafistula, Prof. Dr. José Wally Mendonça Menezes e Dr. Raimundo Alípio de Oliveira Leão pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos colegas do grupo LEMA, GAMA-DT e do complexo 221/222, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

“E apliquei o meu coração a esquadrihar, e a informar-me com sabedoria de tudo quanto sucede debaixo do céu; esta enfadonha ocupação deu Deus aos filhos dos homens, para nela os exercitar. Atentei para todas as obras que se fazem debaixo do sol, **e eis que tudo era vaidade e aflição de espírito.**”

Bíblia Sagrada, Eclesiastes 1:13,14

“Ainda que eu falasse as línguas dos homens e dos anjos, e não tivesse amor, seria como o metal que soa ou como o sino que tine. E ainda que tivesse o dom de profecia, e conhecesse todos os mistérios e toda a ciência, e ainda que tivesse toda a fé, de maneira tal que transportasse os montes, **e se não tivesse amor, nada seria.**”

Bíblia Sagrada, 1 Coríntios 13:1,2

## RESUMO

RODRIGUES, Amnon Amoglia, Universidade Federal do Ceará. Junho de 2016. **IrrigBlue**: módulo de controle e aplicativo android para o manejo da irrigação. Orientador: Prof. Adunias dos Santos Teixeira, Ph.D. Conselheiros: Prof. Dr. Clemilson Costa dos Santos, Dr. Francisco José Firmino Canafistula, Prof. Dr. José Wally Mendonça Menezes e Dr. Raimundo Alípio de Oliveira Leão.

A irrigação de precisão consiste na aplicação da água no local, momento e quantidade demandada pela cultura, e para que isso seja possível são necessários métodos que proporcionem parâmetros de decisão tornando o ato de irrigar menos empírico e mais técnico. O uso de sensores capacitivos de umidade de solo possibilita o acompanhamento dos níveis de umidade no solo e, conseqüentemente, a automatização da irrigação. Sendo assim, um sistema automático de irrigação demanda comunicação entre o controlador e os pontos de acionamento e de sensoriamento. Quando existem grandes distâncias entre eles, surge a necessidade do uso de Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) para reduzir custos e conectar esses pontos através da comunicação via rádio frequência. Pelo exposto acima, o presente trabalho teve como objetivo geral desenvolver uma RSSF proporcionando a comunicação necessária entre os módulos que controlam os componentes do sistema de irrigação. O trabalho foi realizado no Laboratório de Eletrônica e Mecânica Agrícola (LEMA) da Universidade Federal do Ceará (UFC). Inicialmente foram desenvolvidos módulos para: coletar e transmitir dados de sensores capacitivos (módulo sensor); controlar válvulas de controle *latch* e acionar setores de irrigação (módulo cavalete de válvulas); controlar o conjunto motor-bomba e inversor de frequência associado (módulo casa de bombas); e realizar interface entre módulos de campo e software de gerenciamento da rede (módulo controle). Em seguida, o desenvolvimento do software de controle em base ao sistema operacional *Android* para dispositivos móveis, tendo como plataforma de desenvolvimento o ambiente *online* MIT APP *Inventor*. Foi observado nos resultados obtidos que o *hardware* desenvolvido atende às necessidades de comunicação entre o módulo de controle e os módulos de acionamento e de sensoriamento. O módulo sensor realizou de forma precisa a aquisição de dados proveniente dos sensores capacitivos de umidade do solo, bem como o módulo cavalete de válvulas foi capaz de realizar a abertura e fechamento das válvulas de acionamento *latch* de maneira satisfatória. O aplicativo *mobile* “*IrrigBlue*” desenvolvido para dispositivos *Android* mostrou-se capaz para tratar os pacotes de dados recebidos da RSSF, processando-os e retornando para o usuário o status do sistema de irrigação, além de gerar pacotes de dados com comandos de acionamento do sistema de irrigação através do hardware “*IrrigBlue*”.

**Palavras-chave:** Irrigação de precisão. Aplicativo *Android*. Módulos de sensoriamento e controle



## ABSTRACT

RODRIGUES, Amnon Amoglia, Universidade Federal do Ceará. June 2016. **IrrigBlue**: control module and android app for irrigation management. Advisor: Prof. Adunias dos Santos Teixeira, Ph.D. Committee members: Prof. Dr. Clemilson Costa dos Santos, Dr. Francisco José Firmino Canafistula, Prof. Dr. José Wally Mendonça Menezes e Dr. Raimundo Alípio de Oliveira Leão.

The precision irrigation consists in the water application at local, moment and quantity required by the crop, and for that turns possible it will be necessary methods that provide the decision parameter making the act of irrigating less empirical and more technical. The use of capacitive soil moisture sensors allows the monitoring of soil moisture levels and, consequently, an automation irrigation. Therefore, an automatic irrigation system, demands communication between the controller and the starting and sensing points. When there are large distances between them, appears a necessity to use Wireless Sensor Network (WSN) to reduce costs and connect these points through radio frequency communication. According with the exposed, the present work was goal developed na WSN providing a communication between the modules that control the components of the irrigation system. The work was desenvolved in the Laboratory of Electronics and Agricultural Mechanics (LEMA) of the Federal University of Ceará (UFC). Initially modules were developed to: collect and transmit capacitive sensor data (sensor module); control of valve control latch and set irrigation sectors (valve tristle module); control the motor-pump associated with frequency inverter (pump house module); accomplish the interface between field modules and management software (control module). After than, the development of control software based on the Android operating system for mobile devices, having as a development platform the online paltform MIT APP Inventor. It was observed in the results that the developed hardware it meets the communication needs between the control module and the set modules and the sensing modules. The sensor module precise performed the data acquisition coming from the capacitive sensors of soil moisture, as well the valve tristle module it was able to open and close of the valve control latch in a satisfactory manner. The mobile applie, "IrrigBlue", developed for Android devices was able to process the datas packets received from the WSN, processing and return to the user the status of irrigation system, besides generating data packets with set comandings of the irrigation system through the "IrrigBlue" hardware.

**Keywords:** Precision irrigation. Android application. Sensing and control modules

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Sensor capacitivo de umidade do solo desenvolvido na Universidade Federal do Ceará .....	18
FIGURA 2	Exemplo de RSSFs com: (a) Comunicação ponto a ponto e (b) múltiplas transmissões .....	20
FIGURA 3	Número de usuários ativos no mês e semana atual, número de usuários registrados, número de países ativos e número de aplicativos criados na plataforma. Dados obtidos no site “ <a href="http://appinventor.mit.edu/explore/">http://appinventor.mit.edu/explore/</a> ” (A) em 05/02/2016 e (B) 02/03/2016 .....	24
FIGURA 4	Fluxograma geral de funcionamento do aplicativo <i>IrrigBlue</i> .....	25
FIGURA 5	Fluxograma do manejo da irrigação .....	27
FIGURA 6	Tela inicial do aplicativo .....	29
FIGURA 7	Tela de monitoramento do sistema hidráulico .....	30
FIGURA 8	Componentes da tela de monitoramento do sistema hidráulico .....	30
FIGURA 9	Tela de monitoramento do manejo da irrigação .....	32
FIGURA 10	Componentes da tela de monitoramento do manejo da irrigação .....	32
FIGURA 11	Tela painel de controle .....	33
FIGURA 12	Aba de configurações dos setores .....	34
FIGURA 13	Aba de configurações dos setores durante modificação de parâmetros .....	34
FIGURA 14	Interação entre os módulos e o dispositivo móvel .....	35
FIGURA 15	Local de instalação do módulo de controle .....	36
FIGURA 16	Componentes do módulo de controle: (1) transceptor; (2) placa de controle e monitoramento; (3) <i>bluetooth</i> . .....	37
FIGURA 17	Componentes do módulo casa de bombas: (1) transceptor; (2) placa de controle e monitoramento; (3) relé .....	37
FIGURA 18	Módulo cavalete de válvulas instalado em campo .....	38

FIGURA 19	Cavelete de válvulas com quatro válvulas solenoides do tipo <i>latch</i> .....	39
FIGURA 20	Componentes do módulo cavelete de válvulas: (1) placa de controle e monitoramento; (2) duas pontes H .....	39
FIGURA 21	Módulo sensor instalado em campo: (1) painel fotovoltaico e transceptor; (2) caixa contendo placa de controle e monitoramento, placa multiplexadora, controlador de carga para carregar bateria com energia proveniente do painel fotovoltaico e bateria; (3) sensores de umidade do solo instalado junto as raízes da cultura .....	40
FIGURA 22	Componentes do módulo sensor: (1) placa de controle e monitoramento acoplado a placa multiplexadora; (2) e gerenciador de carga e bateria para alimentação dos módulos .....	41
FIGURA 23	<i>Bluetooth</i> HC-06 .....	42
FIGURA 24	<i>Transceptor</i> TRF2.4G .....	42
FIGURA 25	Relé .....	43
FIGURA 26	Ponte H .....	44
FIGURA 27	Gráfico referente a faixa de funcionamento do sensor de pressão MPX5500DP .....	45
FIGURA 28	Circuito eletrônico para utilização do sensor de pressão .....	45
FIGURA 29	Esquema de alimentação múltipla de sensores de pressão em paralelo e sinal individual de resposta .....	45
FIGURA 30	Módulo com quatro sensores de pressão, indicados pelo retângulo, instalados no cavelete de válvulas .....	46
FIGURA 31	Placa de comunicação e controle com seus componentes .....	47
FIGURA 32	Fluxograma de funcionamento dos módulos .....	48
FIGURA 33	Diagrama para ajuste da aquisição de dados de sensores capacitivos de umidade do solo.....	49
FIGURA 34	Bancada de testes utilizando osciloscópio e gerador de função para calibrar leituras de frequência do <i>hardware</i> .....	50

FIGURA 35	Bancada de testes utilizando osciloscópio e sensor capacitivo de umidade do solo para validar leitura de frequência do <i>hardware</i> .....	51
FIGURA 36	Esquema do circuito multiplexador para sensores capacitivos de umidade do solo .....	52
FIGURA 37	Placa multiplexadora com seus componentes .....	53

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Quota Mundial e Nacional de Mercado dos diferentes sistemas operacionais móveis em 2015 .....	21
TABELA 2	Parâmetros de configuração dos setores .....	28

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

App	Aplicativo
bps	bits por segundo
iOS	iPhone operating system
ISM	<i>Industrial, Scientific and Medical</i> – Industrial, científica e médica
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
OS	Sistema Operacional
PCM	Placa de Controle e Monitoramento
PM	Placa Multiplexadora
RF	Rádio Frequência
RSSF	Rede de Sensores Sem Fio

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Irrigação de precisão .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Determinação e manejo da umidade do solo .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3</b>	<b>Rede de sensores sem fio (RSSF) .....</b>	<b>19</b>
<b>2.4</b>	<b>Dispositivos móveis .....</b>	<b>21</b>
<b>2.4.1</b>	<i>Sistemas operacionais para dispositivos móveis .....</i>	<i>21</i>
<b>2.4.2</b>	<i>Desenvolvimento de aplicações mobile .....</i>	<i>21</i>
<b>2.5</b>	<b>Histórico de trabalhos realizados no LEMA.....</b>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO HARDWARE E SOFTWARE .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1</b>	<b>Aplicativo “IrrigBlue” .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1.1</b>	<i>Fluxograma de funcionamento do aplicativo .....</i>	<i>25</i>
<b>3.1.2</b>	<i>Fluxograma de manejo da irrigação .....</i>	<i>26</i>
<b>3.1.3</b>	<i>Telas do aplicativo .....</i>	<i>29</i>
<b>3.1.3.1</b>	<i>Tela inicial.....</i>	<i>29</i>
<b>3.1.3.2</b>	<i>Tela de monitoramento do sistema hidráulico .....</i>	<i>30</i>
<b>3.1.3.3</b>	<i>Tela de monitoramento do manejo da irrigação .....</i>	<i>31</i>
<b>3.1.3.4</b>	<i>Tela do painel de controle.....</i>	<i>33</i>
<b>3.1.3.5</b>	<i>Aba de configuração dos setores .....</i>	<i>33</i>
<b>3.2</b>	<b>Hardware “IrrigBlue” .....</b>	<b>34</b>
<b>3.2.1</b>	<i>Visão geral dos módulos de monitoramento e controle .....</i>	<i>35</i>
<b>3.2.2</b>	<i>Componentes do hardware .....</i>	<i>41</i>
<b>3.2.2.1</b>	<i>Bluetooth .....</i>	<i>41</i>
<b>3.2.2.2</b>	<i>Transceptor de rádio frequência .....</i>	<i>42</i>
<b>3.2.2.3</b>	<i>Relé .....</i>	<i>43</i>
<b>3.2.2.4</b>	<i>Ponte H .....</i>	<i>43</i>
<b>3.2.2.5</b>	<i>Sensor de pressão .....</i>	<i>44</i>
<b>3.2.2.6</b>	<i>Placa de controle e monitoramento (PCM) .....</i>	<i>46</i>
<b>3.2.2.7</b>	<i>Placa multiplexadora (PM) .....</i>	<i>51</i>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>54</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>55</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A intensificação do uso da irrigação na agricultura trouxe a possibilidade de aumento da produção por área cultivada. Entretanto, desencadeou severas consequências como escassez e má distribuição da água, o que impulsionou a busca por novas tecnologias com foco no uso racional da água. Nesse cenário, surge a irrigação de precisão como aplicação de água no local, momento e quantidade demandada pela cultura.

A irrigação de precisão necessita de métodos para obtenção de parâmetros decisórios capazes de tornar o manejo menos empírico e mais técnica. Os parâmetros decisórios podem ser obtidos com base na relação solo e clima, por meio da estimativa da evapotranspiração, utilizando o monitoramento das variáveis ambientais através do uso de estações meteorológicas, entre outras ferramentas. Outra abordagem, consiste na obtenção dos parâmetros decisórios considerando-se a interação solo e água, levando em conta as características do solo e medidas do teor de umidade no solo.

A utilização do método baseado na relação solo e água torna necessário o acompanhamento das condições de umidade do solo a qual pode ser medida de forma indireta, com o uso de sensores e de equações de calibração para conversão da grandeza física de saída do sensor em valores de umidade do solo correspondentes. Dentre os diversos sensores de umidade do solo, os tensiômetros e os sensores capacitivos de umidade do solo são de uso recorrente em diversas pesquisas.

Os tensiômetros eletrônicos e sensores capacitivos de umidade do solo possibilitam a coleta e armazenamento automático dos dados de umidade, com frequência de obtenção programável permitindo o acompanhamento do comportamento entre uma coleta e outra, processo até então realizado manualmente.

Nos sistemas automáticos de irrigação, a comunicação entre o controlador e os módulos de acionamento ou entre o controlador e os módulos de sensoriamento normalmente é feita por meio de cabos elétricos, o que muitas vezes se torna inviável economicamente para grandes distâncias entre eles, por encarecer a implantação e manutenção do sistema. Nesse contexto, as Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) foram introduzidas aos sistemas de irrigação para reduzir custos e conectar os componentes do sistema por meio da comunicação via rádio frequência.

Os módulos de sensoriamento e acionamento juntamente ao controlador compõem uma RSSF capaz de capturar e transmitir dados para unidade central de processamento, onde o tratamento adequado das informações obtidas revelará características importantes em suas



respectivas tomadas de decisão referente a áreas de interesse, tais como plantações, oceanos, desertos, florestas etc.

Para gerenciar a RSSF é utilizada uma unidade com maior capacidade de processamento com um *software* apropriado para função, de forma semelhante ao Software *IrrigAUTO*, desenvolvido por VASCONCELOS (2013), embarcado em um microcomputador conectado a RSSF.

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma rede de sensores sem fio (RSSF) para a automação de sistemas de irrigação, passando pelas seguintes etapas:

- Desenvolvimento dos módulos de uma rede de sensores sem fio para: coletar e transmitir dados de sensores capacitivos (módulo sensor); controlar válvulas de controle *latch* e acionar setores de irrigação (módulo cavalete de válvulas); controlar o conjunto motor-bomba e inversor de frequência associado (módulo casa de bombas); e realizar interface entre módulos de campo e software de gerenciamento da rede (módulo controle); e,
- Desenvolvimento do software de controle em base ao sistema operacional *Android* para dispositivos móveis, tendo como plataforma de desenvolvimento o ambiente *online* MIT APP *Inventor*.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo abordam-se tópicos básicos para o entendimento do trabalho desenvolvido, tais como: conceitos de irrigação de precisão, meios de determinação da umidade do solo, rede de sensores sem fio e plataforma de desenvolvimento de aplicativos (*App Inventor*) dedicados a dispositivos *Android*.

### 2.1 Irrigação de precisão

A escassez mundial de água doce impõe ao setor agrícola eficiência no uso da água na irrigação. Hoje, a irrigação é considerada a atividade antrópica que mais consome este recurso. Para ser considerado ambientalmente sustentável, o referido setor precisa melhorar a gestão da água, isto é, irrigar de maneira precisa. A irrigação de precisão depende fortemente da precisão nas estimativas referentes à necessidade de água por parte das plantas em tempo real (PEREIRA *et al.*, 2011).

Os projetos de irrigação que consideram as áreas agricultáveis homogêneas resultam em irrigações com volume constante de água em toda a área. Ao se levar em conta a heterogeneidade dos solos e a genética dos cultivares, observa-se a necessidade de irrigação com taxas espacialmente variáveis de aplicação da água, objetivando a busca por maior produtividade e receita líquida, mas sobretudo a otimização do uso da água (ARMINDO, 2009). A irrigação apropriada pode reduzir significativamente a quantidade de água aplicada, a fim de minimizar a perda de água e solo, aumentar o rendimento das culturas e reduzir os custos de produção (BERALDO *et al.*, 2012).

Com o monitoramento da umidade do solo é possível aperfeiçoar o funcionamento de sistemas de irrigação. Isso foi concluído por Queiroz *et al.* (2008) ao relatar do desenvolvimento de *software* e *hardware* aplicados ao monitoramento e controle automático em um sistema tipo pivô central, cuja a área irrigada foi dividida em setores, equipada com um conjunto de tensiômetros por setor, e irrigada por setor, de acordo com a umidade captada pelo conjunto de tensiômetros. O *hardware* associado a cada tensiômetro, e com comunicação sem fio, é monitorado pelo *software* no qual estão contemplados os procedimentos de cálculo da necessidade de irrigação no setor correspondente e a correção no percentímetro de rotação do pivô.

## 2.2 Determinação e manejo da umidade do solo

O solo é composto pela fase sólida, líquida e gasosa e a proporção desses componentes pode variar de um solo para outro e, até mesmo, dentro do mesmo solo, em função da profundidade e granulometria (SANTOS *et al.*, 2009). As condições físicas do solo afetam direta e indiretamente a produtividade e a qualidade dos produtos agrícolas. Solos bem agregados, adequadamente manejados são capazes de manter um bom balanço de ar e água, permitindo o bom desenvolvimento de raízes (VARANDAS, 2011).

A quantidade de gases (ar) no solo é inversamente proporcional à quantidade de líquidos (água), enquanto a fase sólida do solo permanece aproximadamente constante. Um sistema de irrigação adequado deve balancear a quantidade de ar e água no solo, evitando estresses hídricos na cultura, seja por excesso ou ausência de água.

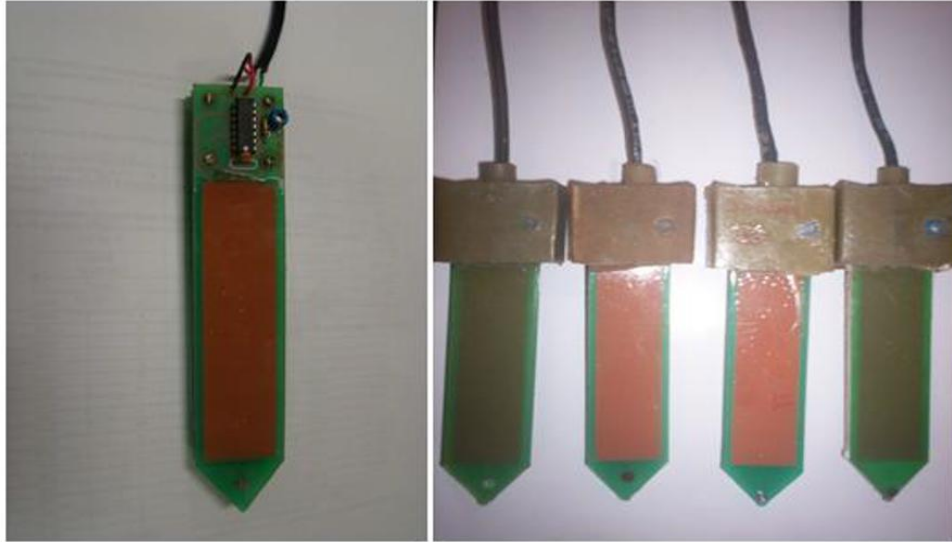
Existem métodos diretos e indiretos para determinar a umidade de um solo. O método direto mais conhecido é o método gravimétrico e, entre os indiretos, ressaltam-se o dos blocos de resistência elétrica, o da sonda de nêutrons, o da radiação gama, a tensiometria, a tomografia computadorizada, a reflectometria no domínio do tempo (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2008) e capacitiva (ROCHA NETO *et al.*, 2015).

Os métodos associados à medidas e propriedades elétricas, tais como tensão, corrente, frequência, resistência, capacitância, propriedades dielétricas vêm ganhando espaço em função da maior versatilidade, podendo serem empregados individualmente ou em combinação para obtenção de informações sobre o meio, pelo qual os elétrons se deslocam (FREITAS *et al.*, 2012).

O conhecimento da constante dielétrica dos materiais é um dos princípios básicos no desenvolvimento de sensores capacitivos. Esses sensores têm sido empregados para determinar a umidade do solo, baseados na constante dielétrica da água. Segundo alguns autores como, Kumhála *et al.* (2008), Frangi *et al.* (2009), Benedetto (2010) e Monsen-Nia *et al.* (2010), a contraste dielétrica da água é entre 78 e 80, enquanto a do solo possui valor em torno de 14. Esta constante possibilita a constatação de Kizito *et al.* (2008) de que a constante dielétrica é altamente relacionada com o teor de água no solo.

Rocha Neto (2015) utilizou baterias de sensores capacitivos de umidade do solo instalados em três profundidades para manejar a irrigação. Os sensores conforme apresentados na Figura 1, foram construídos de tal forma que apenas um parâmetro relacionado à constante dielétrica do meio é variável, já que a área das placas do sensor e a distância entre elas são fixas e determinadas no momento da construção do sensor.

Figura 1 – Sensor capacitivo de umidade do solo desenvolvido na Universidade Federal do Ceará



Fonte: Vasconcelos (2013).

O funcionamento do sensor é similar ao de um capacitor, fornecendo uma frequência de carga e descarga. A frequência depende diretamente do material entre as placas do sensor, isto é, do solo. Depois de instalado no solo, a fase sólida do solo praticamente não varia. Em contrapartida tanto a fase líquida e a gasosa variam devido à passagem ou acúmulo de água nesta região, modificando a frequência do sensor de acordo com a variação do teor de água no solo (VASCONCELOS, 2013).

O conteúdo volumétrico de água no solo pode ser calculado através das equações de calibração obtidas por Cruz (2009). A equação 1 apresenta a relação entre o conteúdo volumétrico de água do solo ( $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ) e a frequência (kHz) de resposta dos sensores capacitivos a 10 cm de profundidade e a equação 2 apresenta essa mesma relação a 30 cm de profundidade, apresentando respectivamente um  $R^2$  de 0,9209 e 0,8876.

$$\Theta = 87839 \times F^{-1,7636} \quad (1)$$

$$\Theta = 6340,6 \times F^{-1,4403} \quad (2)$$

Onde:  $\Theta$  é conteúdo volumétrico de água do solo ( $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ); F é a frequência (kHz).

Para calcular a necessidade de reposição hídrica é necessário conhecer a umidade ideal para o desenvolvimento da cultura em cada estágio ( $\Theta_{\text{requerida}}$ ) e a umidade existente no

momento de iniciar a irrigação ( $\Theta_{\text{atual}}$ ). A umidade do solo é obtida com a aplicando os dados dos sensores capacitivos nas equações 1 e 2. A necessidade de irrigação, neste caso, será a variação de umidade necessária para que a umidade atual ( $\Theta_{\text{atual}}$ ) atinja a umidade requerida ( $\Theta_{\text{requerida}}$ ), como demonstrado na equação 3.

$$\Delta\Theta = \Theta_{\text{requerida}} - \Theta_{\text{atual}} \quad (3)$$

Onde:  $\Delta\Theta$  representa a necessidade de reposição hídrica do solo em  $\text{cm}^3.\text{m}^{-3}$ ;  $\Theta_{\text{requerida}}$  é a umidade requerida pela cultura em  $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ;  $\Theta_{\text{atual}}$  é a umidade atual em  $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ .

Para o manejo da irrigação, um dado útil é o tempo necessário para restabelecimento da umidade do solo. Para determinar esse tempo, além de conhecer a necessidade de reposição hídrica do solo, é preciso conhecer alguns dados do sistema de irrigação. O tempo é calculado através da equação 4.

$$T = \frac{\Delta\Theta \times Z \times EL \times EE \times FR}{Q \times Ea} \quad (4)$$

Onde: T representa o tempo de irrigação em horas;  $\Delta\Theta$  é a necessidade de reposição hídrica em  $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ; Z a profundidade de aplicação da lâmina em mm; EL é o espaçamento entre linhas em m; EE é o espaçamento entre emissor em m; FR é o fator de redução da área irrigada; Q a vazão por emissor em  $\text{L h}^{-1}$ , Ea a eficiência de aplicação.

### 2.3 Rede de sensores sem fio (RSSF)

Os módulos que contêm os sensores em uma RSSF são denominados módulos sensores e eles se organizam automaticamente em uma rede *ad-hoc*, significando dizer que não exigem qualquer infraestrutura pré-existente, diferentemente das redes de celulares (AWATI *et al.*, 2012). Geralmente os componentes das RSSF necessitam configurar-se automaticamente para gerar as rotas de comunicação entre os módulos sensores e conseqüentemente a formação da rede (TSAI; TSENG, 2012). Inúmeros trabalhos de pesquisa têm se dedicado a RSSF, incluindo o gerenciamento de energia (SALVADORI *et al.*, 2009), o roteamento (KARKVANDI *et al.*, 2011), a coleta de dados (CHENG *et al.*, 2011) a implantação de sensores

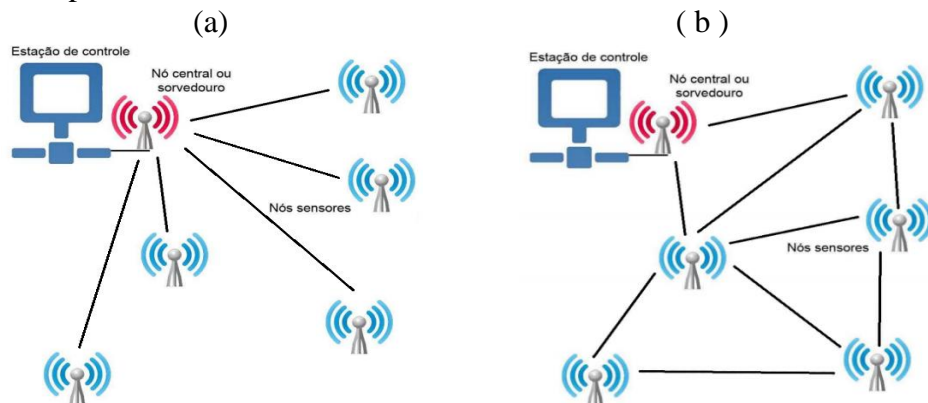
e problemas de cobertura (CHEN *et al.*, 2008; TERUEL *et al.*, 2012), e a localização (AHN; KO, 2009). As RSSF são aplicadas em trabalhos de monitoramento de cultivos em ambientes protegidos (TERUEL *et al.*, 2012), monitoramento e controle da irrigação pressurizada (MACEDO *et al.*, 2010) e por superfície (KOECH *et al.*, 2014).

Um módulo sensor normalmente contém uma unidade de processamento, um transmissor-receptor e interfaces digitais e analógicas para que uma variedade de unidades de detecção (sensores) seja monitorada fornecendo amostragem de dados físicos tais como temperatura, luminosidade, umidade do ar, umidade do solo (AWATI *et al.*, 2012).

As RSSF são vantajosas em comparação com as tecnologias anteriormente utilizadas para monitorar ambientes através da coleta de dados físicos. Sempre que as condições físicas mudam rapidamente no espaço e no tempo, RSSFs permitem o processamento em tempo real a um custo mínimo (BARRENETXEA *et al.*, 2008). A capacidade de organização espontânea em rede torna fácil a implantação, expansão e manutenção, bem como garante resistência a falhas individuais de pontos de medição (STOIANOV *et al.*, 2007).

A estrutura básica de uma RSSF é composta por módulos sensores e módulo sorvedouro que tem a função de centralizar os dados da rede. A propagação dos dados na rede pode ser simples (Figura 2.a), com comunicação ponto a ponto, na qual o módulo sensor envia os dados coletados direto para o módulo sorvedouro ou mais complexa (Figura 2b), em que os módulos sensores também possuem a capacidade de retransmitir dados de módulos sensores mais distantes para outros módulos até chegar ao módulo sorvedouro com múltiplas transmissões. Comumente, a comunicação entre os módulos da RSSF é realizada por rádio frequência (RF), operando na faixa de frequência de 2,4 GHz, denominada ISM (*Industrial, Scientific and Medical* – Industrial, científica e médica) (CARVALHO *et al.*, 2012).

Figura 2 – Exemplo de RSSFs com: (a) Comunicação ponto a ponto e (b) múltiplas transmissões



Fonte: Adaptado de Carvalho *et al.* (2012).

## 2.4 Dispositivos móveis

A evolução tecnológica dos últimos tempos permitiu a miniaturização e encapsulamento dos microcomputadores em aparelhos portáteis (*mobiles*). Atualmente os dispositivos *móveis* estão em ascensão no cotidiano das pessoas, independentemente da classe social, devido às inúmeras opções de aparelhos disponíveis no mercado.

### 2.4.1 *Sistemas Operacionais para dispositivos móveis*

Assim como nos microcomputadores, esses dispositivos móveis precisam de um sistema operacional (OS) para gerenciar o seu funcionamento e fazer a interface entre o usuário e a máquina. O sistema *Android* fornecido pela *Google* é o mais popular dos OS, devido à versatilidade, o *Android*, pode ser encontrado nos mais diversos eletrônicos, tais como *smartphones*, *tabletes*, *smart TV*, óculos (*Google Glass*), relógios e outros. Observando a Tabela 1, é possível perceber a representatividade desse OS no mercado mundial e nacional, baseado em dados do ano 2015.

Tabela 1 – Quota Mundial e Nacional de Mercado dos diferentes sistemas operacionais móveis em 2015

	<b>Android</b>	<b>OS</b>	<b>Windows Phone</b>	<b>BlackBerry OS</b>	<b>Outros</b>
Mundial	82,8%	3,2%	2,6%	0,3%	0,4%
Nacional	89,6%	3,3%	6,3%	0,2%	0,7%

Fonte: eMarketer Inc. (2015).

### 2.4.2 *Desenvolvimento de aplicações Mobile*

A popularização deste sistema abriu portas para desenvolvedores de aplicações direcionadas a dispositivos móveis. A criação de aplicativos tornou-se mais acessível a leigos em programação devido à disponibilidade de plataformas de desenvolvimento baseadas em blocos de programação, facilitando o aprendizado e a iniciação de novos desenvolvedores.

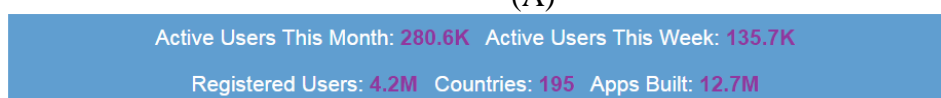
O *MIT App Inventor* é uma plataforma gratuita de código aberto para desenvolvimento de aplicativos *Android*. Criado pela *Google* e mantido pela *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*, ele permite que os recém-chegados à programação criem aplicativos para o sistema operacional *Android* usando uma interface gráfica que permite a disposição ou arranjo de objetos visuais. Tudo isso foi possível devido a pesquisas prévias em

informática educativa, bem como ao trabalho executado na Google, em ambientes de desenvolvimento on-line (LARRY HARDESTY, 2010).

O MIT *App Inventor* encontra-se em franca ascensão na agregação de novos usuários e no aporte de aplicações criadas pelos usuários. Na Figura 3, pode ser visto o crescimento desses números em referência aos meses de fevereiro e março de 2016.

Figura 3 – Número de usuários ativos no mês e semana atual, número de usuários registrados, número de países ativos e número de aplicativos criados na plataforma. Dados obtidos em 05/02/2016 (A) e 02/03/2016 (B).

(A)



(B)



Fonte: Massachusetts Institute of Technology (2016).



## 2.5 Histórico de trabalhos realizados no LEMA



### 3 DESENVOLVIMENTO DO HARDWARE E SOFTWARE

Neste capítulo estão descritas as ferramentas e métodos utilizados na execução do trabalho objeto deste relatório. O estudo foi realizado no Laboratório de Eletrônica e Mecânica Agrícola (LEMA), do Departamento de Engenharia Agrícola (DENA), do Centro de Ciências Agrárias (CCA), da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Inicialmente, apresentando-se os detalhes referentes ao desenvolvimento do aplicativo para o gerenciamento do manejo da irrigação e controle do sistema de irrigação e em seguida, o detalhamento do *hardware* responsável pelo acionamento do sistema de irrigação e monitoramento de sensores diversos. O nome “*IrrigBlue*” é o resultado da junção da finalidade do sistema com o meio de comunicação entre aplicativo e *hardware*, ou seja, irrigação via *Bluetooth*.

#### 3.1 Aplicativo “IrrigBlue”

O aplicativo “*IrrigBlue*” foi concebido na plataforma de desenvolvimento “*MIT App Inventor*” num ambiente *online* usufruindo das facilidades por ela proporcionadas, tais como: facilidade de aprendizado; recursos para manipulação de itens nativos dos dispositivos móveis (Câmera, GPS, Bluetooth, etc.); vasta disponibilidade de tutoriais e fóruns na internet.

O aplicativo “*IrrigBlue*” possui dois modos de operação, um modo para monitoramento remoto do sistema de irrigação via *web* e outro modo para o controle do sistema via *Bluetooth*.

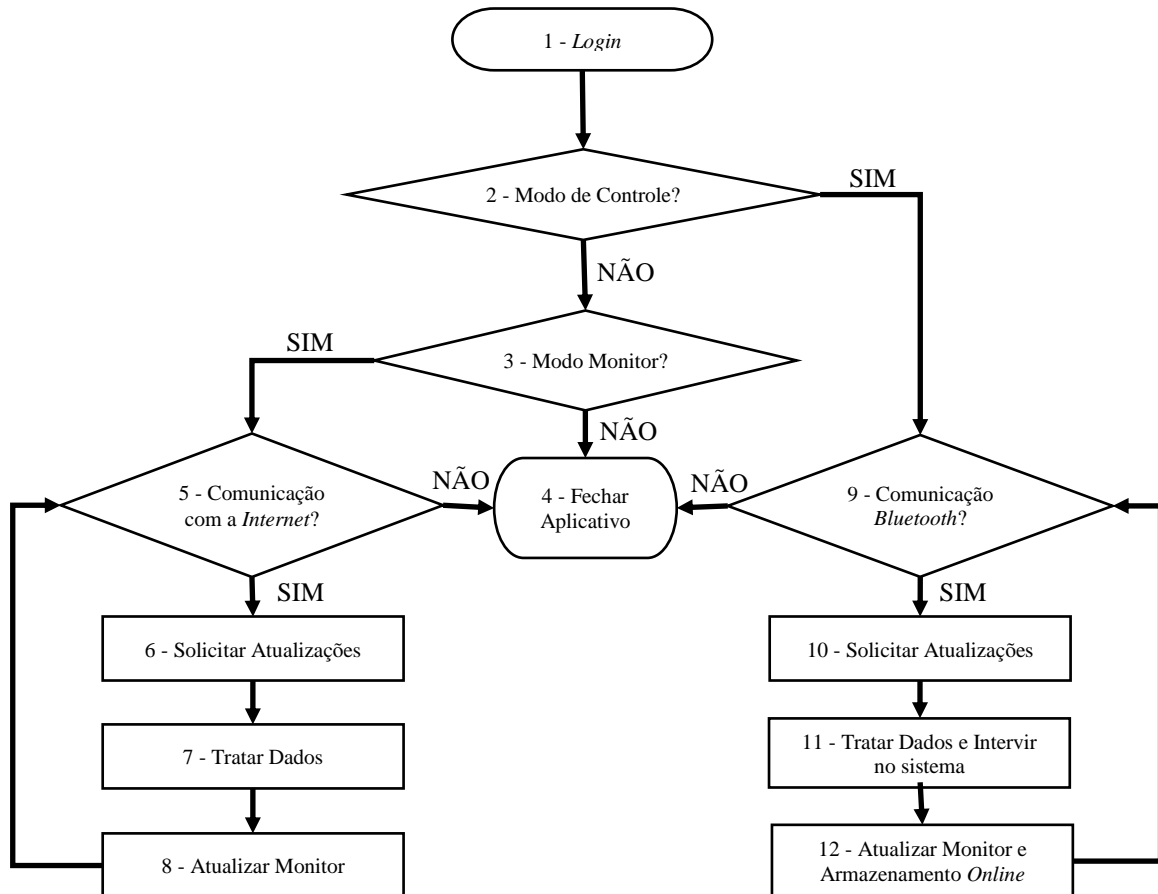
O aplicativo em modo de monitoramento possibilita o acompanhamento dos dados do sistema por meio de conexão com a internet. Periodicamente é depositado em um banco de dados *online* (na nuvem) o histórico de funcionamento do sistema de irrigação e os valores de umidade dos setores irrigados, para que possam ser acompanhados remotamente. Neste modo de operação, o aplicativo não tem atribuições de controle, apenas de monitoramento do sistema sempre que houver disponibilidade de acesso à internet.

O modo de controle do aplicativo possibilita a configuração de parâmetros do sistema que refletem no manejo programado da irrigação, além de permitir o controle remoto do sistema de irrigação.

### 3.1.1 Fluxograma de funcionamento do aplicativo

O funcionamento geral do aplicativo é apresentado pelo fluxograma mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma geral de funcionamento do aplicativo *IrrigBlue*



Fonte: Próprio autor.

Os elementos componentes do fluxograma podem ser assim descritos:

- 1) Ao iniciar o aplicativo é requerido o nome e senha de acesso. Caso o usuário erre 3 vezes a senha, o bloco 4 é acionado;
- 2) Acessar o modo de controle do aplicativo? Sim, bloco 9 é acessado; Não, bloco 3 é acessado;
- 3) Acessar o modo de monitoramento do aplicativo? Sim, bloco 5 é acessado; Não, bloco 4 é acessado;

- 4) Executa o fechamento do aplicativo quando houver erros sucessivos de nome e/ou senha, quando não é estabelecida a comunicação Bluetooth com o *hardware*, ou não há acesso à *internet*;
- 5) Comunicação com à internet está disponível? Sim, bloco 6 é acessado; Não, bloco 4 é acessado;
- 6) *Download* da última atualização do sistema armazenada na nuvem;
- 7) De posse dos dados, são preenchidas as variáveis do aplicativo para que sejam apresentados de forma gráfica;
- 8) Atualiza o monitor, apresentando de forma gráfica os dados recebidos da rede;
- 9) Comunicação via *Bluetooth* com *hardware*? Sim, bloco 10 é acessado; Não, bloco 4 é acessado;
- 10) Para atualização do monitor gráfico, é realizada a solicitação dos parâmetros atuais do sistema. Caso não haja retorno do *hardware*, um alerta é gerado na tela;
- 11) De posse dos dados são realizados os cálculos da umidade atual dos setores e, em função dos parâmetros de manejo, é calculada a necessidade de irrigação e o tempo de duração da mesma. Se necessário, é realizada a intervenção no sistema para iniciar ou finalizar irrigação; e,
- 12) Atualiza o monitor, apresentando de forma gráfica os dados recebidos, realizando a gravação dos dados, na nuvem, para acesso remoto.

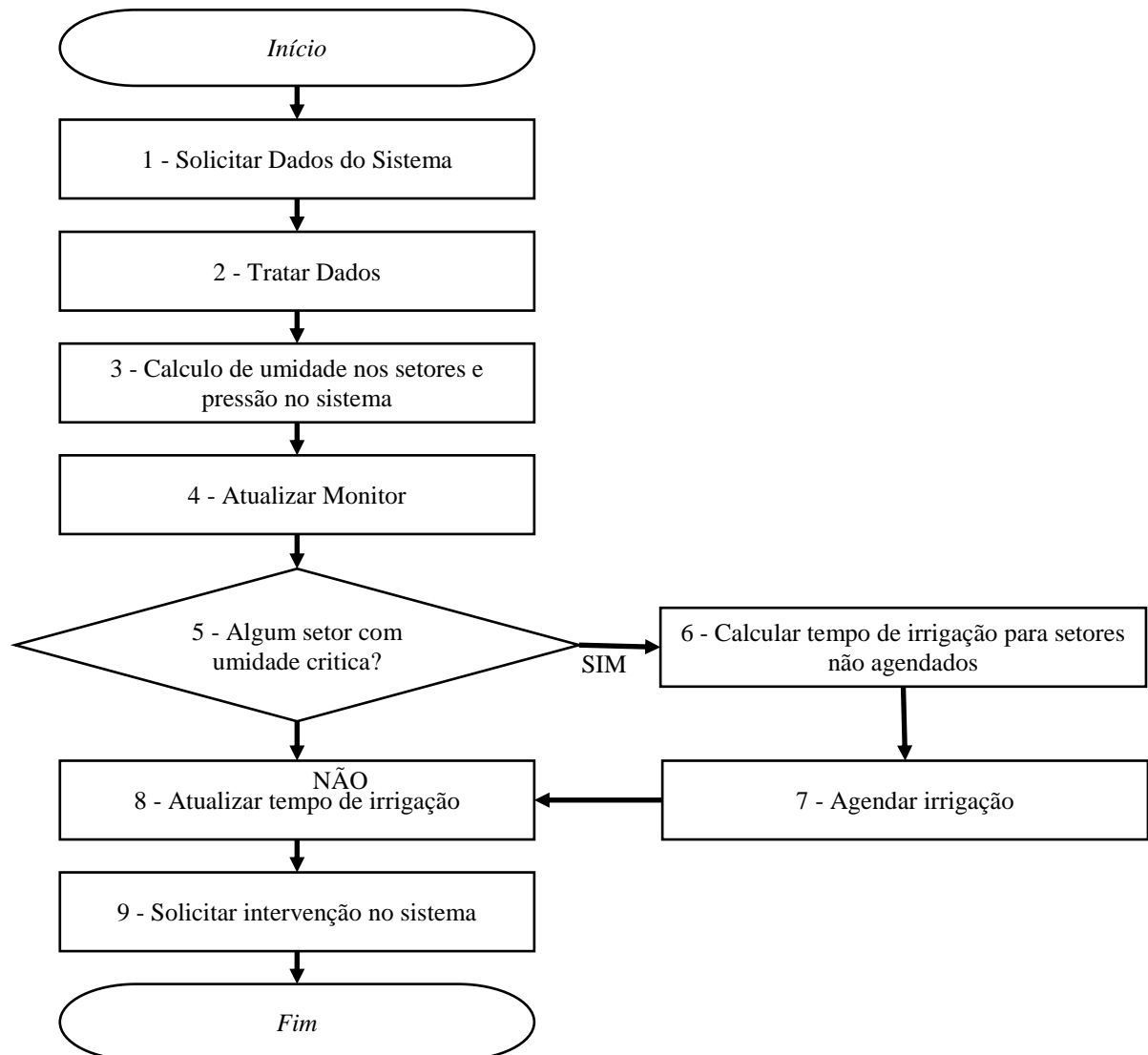
### 3.1.2 Fluxograma de manejo da irrigação

O manejo da irrigação seguiu os passos do fluxograma apresentado na Figura 5. Esse fluxograma detalha os blocos 10, 11 e 12 do fluxograma geral de funcionamento do aplicativo.

Na Figura 5 pode-se ver os seguintes itens:

- 1) O manejo é baseado em informações de umidade do solo provenientes do campo, com o intuito de aplicação de uma lâmina de água compatível com o recomendável para cada estágio de desenvolvimento da cultura, evitando-se desperdícios. O manejo inicia com a solicitação de dados;
- 2) Quando do recebimento dos dados provenientes do campo (sensores) em formato “*string*”, ocorre a conversão em formato de valores numéricos, tornando-os aplicáveis às equações após a atribuição às variáveis correspondentes;

Figura 5 – Fluxograma do manejo da irrigação



Fonte: Próprio autor.

- 3) Utilizando os valores recebidos dos sensores de umidade e de pressão, é procedido o cálculo das umidades do solo (Equações 1 e 2) e da pressão (Equação 5) à qual as tubulações do sistema estão submetidas;
- 4) Os dados dos sensores e os status do sistema são apresentados na interface gráfica do aplicativo;
- 5) Há algum setor com a umidade do solo inferior a umidade crítica programada? Sim, bloco 6 é acessado; Não, bloco 8 é acessado;
- 6) Neste bloco são realizados os cálculos para obtenção do tempo necessário para repor a umidade desejada (Equações 3 e 4) para os setores que ainda não foram agendados;
- 7) O tempo de irrigação é armazenado para controle da reposição da umidade. Essa operação só é efetivada quando a opção “Acionamento Automático” do setor em questão estiver ativa.

Além disso é preciso que a opção “Automática” do sistema de irrigação esteja ativa. As opções de acionamento ou não dos comandos “Acionamento automático” e “Automático” possibilitam a exclusão de setores sem cultura instalada do agendamento de irrigação ou o acionamento manual por tempo definido pelo usuário;

- 8) O tempo restante de irrigação é atualizado para definir o momento de corte da irrigação; e,
- 9) Após a atualização dos tempos de irrigação, é solicitada a intervenção no sistema para iniciar ou finalizar a irrigação nos setores.

$$P = \frac{(V_{Out} - 0.04 * V_{In})}{V_{In} * 0.00018} \quad (5)$$

Onde: P representa a pressão em m.c.a.; V<sub>Out</sub>, tensão de resposta em V<sub>outs</sub>; V<sub>In</sub>, tensão de alimentação do sensor em V<sub>outs</sub>.

Para a execução dos blocos 3, 5 e 6 do fluxograma de manejo da irrigação é preciso acessar um banco de dados que é previamente configurado pelo usuário. Os campos existentes guardam dados específicos para cada setor irrigado. A tabela 1 contém os campos existentes nesse banco de dados.

Tabela 2 – Parâmetros de configuração dos setores

<b>Campo</b>	<b>Descrição</b>
Cultura	Cultura presente na área
Manejo	Irriga em função da: (1) 1ª profundidade; (2) 1ª ou 2ª profundidade
Umidade Desejada	Umidade recomendada para cada estágio de desenvolvimento da cultura em base de volume (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )
Umidade Crítica	Umidade para início da irrigação em base de volume (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )
Profundidade	Comprimento monitorado por sensor (mm)
Esp. Emissores	Espaçamento entre Emissores (m)
Esp. Linhas	Espaçamento entre Linhas (m)
Fator de Redução	Área efetivamente irrigada (%)
Vazão do Emissor	Vazão do Emissor (L.h <sup>-1</sup> )
Eficiência de Aplicação	Eficiência de Aplicação (%)
A1	Multiplicador da equação do sensor capacitivo na primeira profundidade
B1	Expoente da equação do sensor capacitivo na primeira profundidade
A2	Multiplicador da equação do sensor capacitivo na segunda profundidade
B2	Expoente da equação do sensor capacitivo na segunda profundidade

Fonte: Próprio autor.

### 3.1.3 Telas do aplicativo

Neste tópico são descritas as telas do aplicativo “*IrrigBlue*” com as respectivas funcionalidades.

#### 3.1.3.1 Tela inicial

Na tela inicial (Figura 6) é feita a identificação do usuário, e a escolha do modo de funcionamento do aplicativo.

Os modos de funcionamento do aplicativo são:

- Monitoramento; e,
- Controle.

O modo de monitoramento permite ao usuário ter acesso aos parâmetros e ao último *status* de funcionamento do sistema, armazenado na nuvem, possibilitando o reconhecimento, caso haja acesso à internet, da situação atual do sistema.

Figura 6: Tela inicial do aplicativo

IrrigBlue

Nome:  
Amnon

Senha:  
.....

Monitoramento  Controle

Entrar Sair

Por Amnon Amoglia Rodrigues  
@ eng.agro.amnon@gmail.com

Fonte: Próprio autor.

O modo de controle disponibiliza ao usuário acesso aos parâmetros de funcionamento do sistema e ao *status* atual de funcionamento do sistema, além de ter disponível o painel de controle que permite a modificação desses parâmetros. O requisito para operar nesse modo, é a conexão por *Bluetooth* sem qual, o usuário não consegue acessar o modo de controle do aplicativo.

### 3.1.3.2 Tela de monitoramento do sistema hidráulico

Na tela de monitoramento do sistema hidráulico (Figura 7) apresenta o *status* do sistema hidráulico. No modo de controle a atualização ocorre em tempo real, enquanto no modo de monitoramento essa atualização vai depender da frequência configurada para armazenamento dos dados na nuvem.

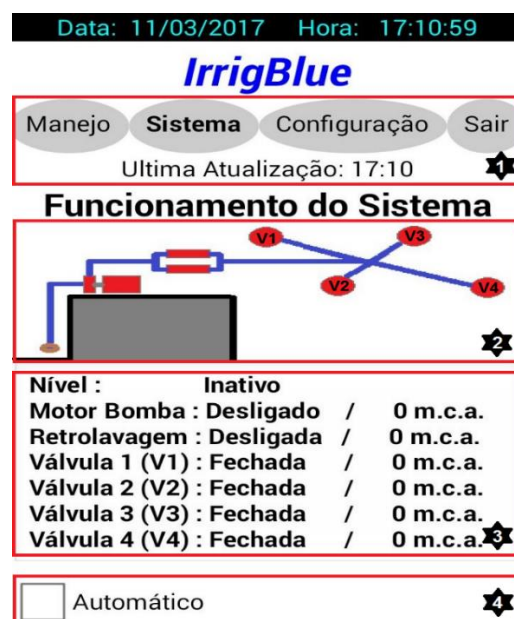
Figura 7: Tela de monitoramento do sistema hidráulico



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 8 estão marcados os componentes que fazem parte da tela de monitoramento do sistema hidráulico.

Figura 8: Componentes da tela de monitoramento do sistema hidráulico



Fonte: Próprio autor.



A tela é dividida da seguinte forma:

- Botões para seleção de telas e indicação do momento da Última Atualização de dados (1)
- Apresentação gráfica do *status* do sistema hidráulico (2)
- Apresentação Alfanumérica do *status* do sistema hidráulico (3)
- Seleção do controle automático do sistema hidráulico (4)

- 1) Existem quatro botões nessa barra, permitindo ao usuário acessar as telas de monitoramento do manejo (Manejo), funcionamento do sistema hidráulico (Sistema), configuração (Configuração) e fechar o aplicativo (Sair). Seguido do mostrador referente a última atualização do sistema;
- 2) Apresentação gráfica do sistema hidráulico com a indicação sinótica dos componentes em funcionamento a cada atualização do sistema. Os componentes do sistema são apresentados em verde quando ativos;
- 3) Apresentação alfanumérica do sistema hidráulico com a indicação do funcionamento dos componentes e os dados de pressão aplicada a estes em m.c.a.; e,
- 4) Seleção do controle automático do sistema hidráulico. Quando marcado, aciona o sistema em função da umidade existente no solo e dos parâmetros de manejo.

### 3.1.3.3 *Tela de monitoramento do manejo da irrigação*

A tela para monitoramento do manejo da irrigação (Figura 9) é comum ao modo de monitoramento e ao modo de controle, apresentando ao usuário o *status* do manejo da irrigação. A atualização dessa tela é feita em tempo real no modo de controle, enquanto no modo de monitoramento essa atualização vai depender da frequência configurada para armazenamento dos dados na nuvem.

Na Figura 10 estão marcados os componentes que fazem parte da tela de monitoramento do manejo da irrigação.

A tela é dividida da seguinte forma:

- Botões para seleção de telas e indicação do momento da Última Atualização de dados (1)
- Status sinótico de umidade por setor e opção de acionamento do sistema (2)
- Tipo de acionamento da irrigação (3)
- Detalhes do status do setor (4)

Figura 9: Tela de monitoramento do manejo da irrigação



Fonte: Próprio autor.

Figura 10: Componentes da tela de monitoramento do manejo da irrigação



Fonte: Próprio autor.

- 1) Existem quatro botões nessa barra, permitindo ao usuário acessar as telas de monitoramento do manejo (Manejo), funcionamento do sistema hidráulico (Sistema), configuração (Configuração) e fechar o aplicativo (Sair). Seguido do mostrador referente a última atualização do sistema;
- 2) Apresentação sinótica do status de umidade por setor, indicando em vermelho os setores que precisam ser irrigados; existem dois tipos de acionamento da irrigação nos setores:

Acionamento Manual e Acionamento Automático. Para fazer a mudança do tipo de acionamento, basta um clique na opção. No acionamento Automático o aplicativo solicitará a irrigação sempre que a umidade for crítica, irrigando pelo tempo necessário à reposição da mesma até a umidade desejada. No acionamento manual será solicitado o tempo de irrigação ao invés de utilizar o tempo calculado; e,

- 3) Apresentação alfanumérica o *status* de umidade por setor e a indicação do tempo necessário para reposição hídrica retornando o setor a umidade desejada.

#### 3.1.3.4 Tela do painel de controle

Na tela painel de controle é destinada a intervenção no sistema sem levar em conta o manejo dos setores. Esse painel é de uso preferencial da assistência técnica durante manutenção do sistema e operando no modo de controle do aplicativo. A tela é apresentada na Figura 11.



Fonte: Próprio autor.

#### 3.1.3.5 Aba de configuração dos setores

O botão (Configuração) apresenta a aba de configurações (Figura 12). Nesta aba existem duas caixas de opções: A primeira para seleção do setor e a segunda caixa apresenta os parâmetros de manejo já apresentados na Tabela 1, referentes ao setor escolhido. Ao lado da segunda caixa é apresentado o valor do parâmetro escolhido. Se for preciso alterar esse valor, ao clicar no botão 'Modificar' o campo onde ele se apresenta é liberado para edição e logo

abaixo são apresentados os botões para salvar (Salvar Modificação) ou cancelar (Cancelar Modificação) a modificação (Figura 13). Onde a correta configuração desses parâmetros é de fundamental importância para realizar os cálculos referentes ao tempo de irrigação seja condizente com a realidade do setor.

Figura 12: Aba de configuração dos setores

Fonte: Próprio autor.

Figura 13: Aba de configurações dos setores durante modificação de parâmetros

Fonte: Próprio autor.

### 3.2 *Hardware “IrrigBlue”*

O desenvolvimento do *hardware* iniciou em ambiente computacional com o auxílio de *software* para simulação eletrônica (ISIS), seguindo com a montagem dos circuitos em matriz de contato para testes e correção de eventuais falhas, evoluindo para o desenho do *layout*

do circuito impresso (ARES), confecção das placas em fresa e soldagem dos componentes para novos testes.

Nesta seção, o *hardware* está descrito a partir da visão ampla (descrição dos módulos de monitoramento e controle) para a restrita (descrição dos componentes que compõem os módulos).

Entre os módulos têm-se:

- Módulo de Controle;
- Módulo Casa de Bomba;
- Módulo Cavalete de Válvulas;
- Módulo Sensor.

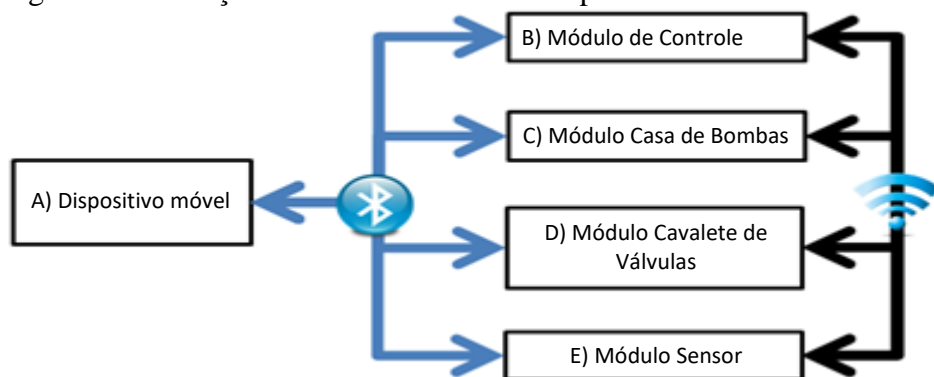
Entre os componentes têm-se:

- Placa de Controle e Monitoramento (PCM)
- Placa Multiplexadora (PM)
- Bluetooth
- Transceptor de rádio frequência
- Sensor de pressão
- Relé
- Ponte H

### 3.2.1 Visão geral dos módulos de monitoramento e controle

O *hardware* é composto por quatro tipos de módulos que interagem com o dispositivo móvel via *Bluetooth* e, entre si, via rádio frequência (Figura 14).

Figura 14: Interação entre os módulos e o dispositivo móvel



Fonte: Próprio autor.

- A) O dispositivo móvel a princípio, deve operar com o sistema operacional *Android* para poder executar o aplicativo “*IrrigBlue*”. Esse dispositivo pode ser um *tablete* ou um *smartphone*.
- B) O módulo de controle serve de interface entre o dispositivo móvel e o RSSF, tendo como função a troca de dados entre eles. Isso não exclui a possibilidade de conexão do dispositivo móvel diretamente com os outros módulos, dentro da área de cultivo, onde o módulo de controle esteja fora de alcance via *Bluetooth*. O módulo de controle deve estar instalado em um ponto estratégico (Figura 15) para permitir o maior raio de alcance na comunicação com os outros módulos e máxima disponibilidade de comunicação com o dispositivo móvel. Neste trabalho, o módulo de controle foi instalado no nível do telhado com uma altura de 4,5 metros de altura. Indicado pelo círculo vermelho.

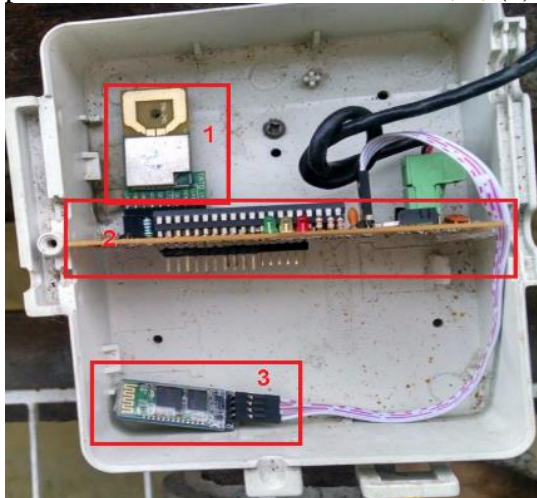
O módulo de controle (Figura 16) possui três componentes: Placa de controle e monitoramento, *Bluetooth* e Transceptor de rádio frequência.

Figura 15: Local de instalação do módulo de controle



Fonte: Próprio autor.

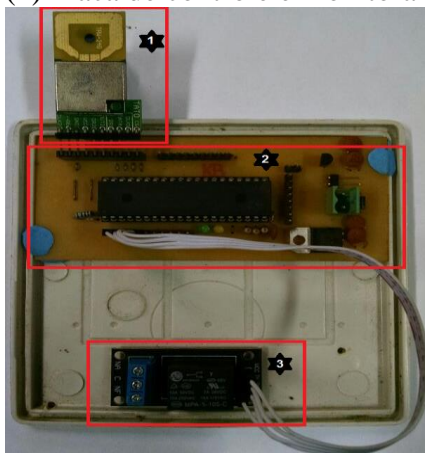
Figura 16: Componentes do módulo de controle: (1) transceptor; (2) placa de controle e monitoramento; e, (3) bluetooth



Fonte: Próprio autor.

C) O módulo casa de bomba (Figura 17) é responsável pelo acionamento do conjunto motor-bomba e pelo monitoramento da pressão na saída da bomba. Pode também controlar um sistema de retrolavagem de filtros baseado no tempo de operação ou pela diferença de pressão, entre a jusante e a montante dos filtros, resultante do acúmulo de resíduos nos filtros. Este módulo é composto, pela placa de controle e monitoramento, transceptor de rádio frequência, relés e sensores de pressão.

Figura 17: Componentes do módulo casa de bombas: (1) Transceptor; (2) Placa de controle e monitoramento; e, (3) Relé



Fonte: Próprio autor.

D) O módulo cavalete de válvulas (Figura 18), em campo, é responsável pelo controle de abertura das válvulas solenoides do tipo *Latch* (Figura 19) utilizando pontes H (Figura 20) para esse controle. A confirmação da efetiva abertura ou fechamento das válvulas, é obtida através de sensores que informam a pressão após as válvulas. Este módulo é composto pela

placa de controle e monitoramento, transceptor de rádio frequência, ponte H e sensores de pressão.

Figura 18: Módulo cavalete de válvulas instalado em campo



Fonte: Próprio autor.

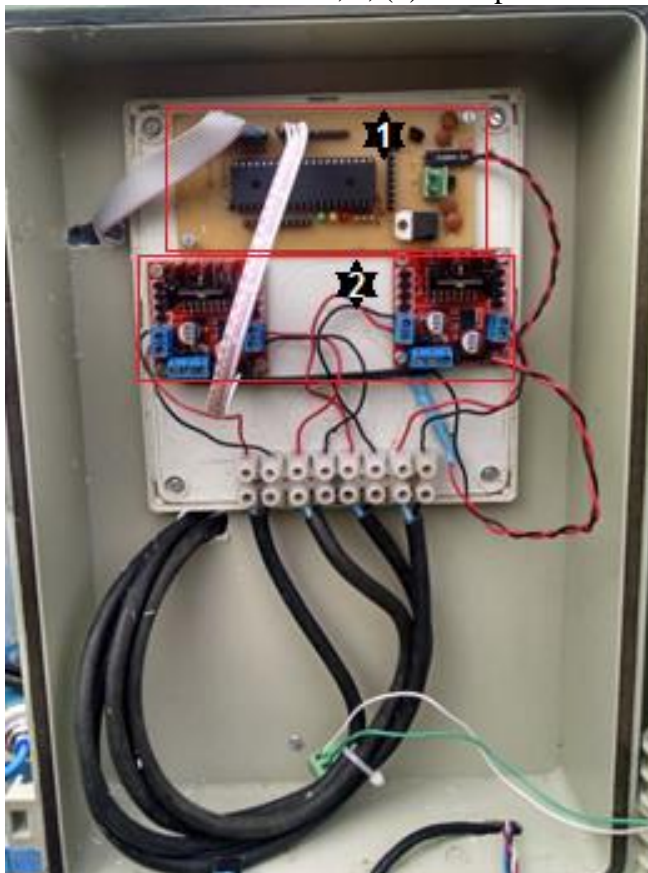


Figura 19: Cavalete de válvulas com quatro válvulas solenoides do tipo *Latch*



Fonte: Próprio autor.

Figura 20: Componentes do módulo cavalete de válvulas: (1) Placa de controle e monitoramento; e, (2) duas pontes H



Fonte: Próprio autor.

**E)** O módulo sensor (Figura 21) é responsável pela aquisição de dados referente à umidade do solo através do monitoramento de sensores capacitivos de umidade do solo.

Figura 21: Módulo sensor instalado em campo: (1) Painel fotovoltaico e Transceptor; (2) caixa contendo placa de controle e monitoramento, placa multiplexadora, controlador de carga para carregar bateria com energia proveniente do painel fotovoltaico e bateria; e, (3) Sensores de umidade do solo instalado junto as raízes da cultura

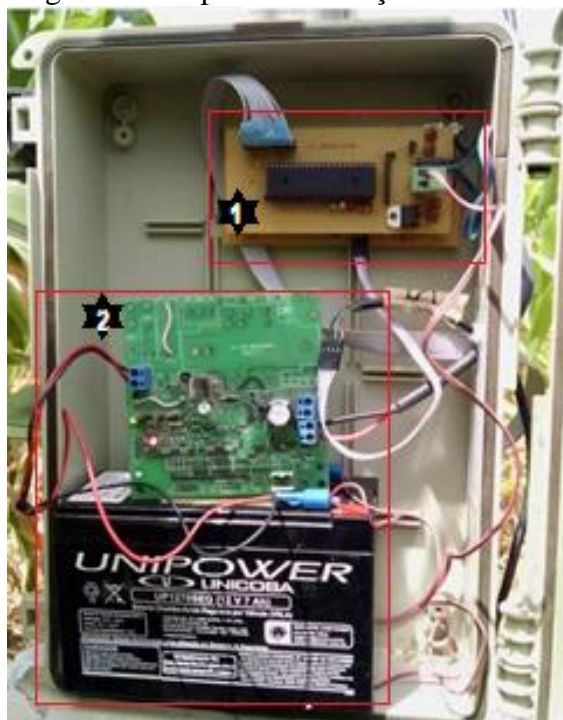


Fonte: Próprio autor.

Para esse monitoramento é preciso utilizar a placa multiplexadora” que energiza os sensores com a tensão exigida por eles e possui mecanismos de comutação individual dessa alimentação para cada sensor, agindo como um multiplexador.

A multiplexação é necessária quando existem dois ou mais sinais para ser monitorado e há apenas um canal de recebimento desse sinal. Exatamente o que ocorre na placa de controle e monitoramento, possui apenas um terminal de leitura compatível com o sinal emitido pelos sensores. Este módulo (Figura 22) é composto pela placa de controle e monitoramento, placa multiplexadora, transceptor de rádio frequência e sensores capacitivos de umidade do solo.

Figura 22: Componentes do módulo sensor: (1) placa de controle e monitoramento acoplado a placa multiplexadora; (2) e gerenciador de carga e bateria para alimentação dos módulos



Fonte: Próprio autor.

### 3.2.2 Componentes do hardware

São sete os componentes do *hardware* e a combinação deles resulta na formação dos módulos existentes na rede de sensores sem fio (RSSF). O módulo sensor e o módulo cavalete de válvulas possuem um gerenciador de energia para que possam ser utilizados em locais sem rede elétrica, possibilitando o uso e recarga de baterias através de painéis fotovoltaicos. Nesta sessão estão descritos os componentes utilizados no trabalho objeto deste relatório.

#### 3.2.2.1 Bluetooth

A comunicação via *Bluetooth* é utilizada como interface entre a RSSF e o dispositivo móvel que contém o aplicativo “IrrigBlue”. O *Bluetooth* (Figura 23) é denominado HC-06 e comercializado pela empresa *Guangzhou HC Information Technology*. Este comunica com os módulos via serial (RS232), como taxa de transmissão configurável (de 1.200 – 115.200 bps) e tendo como padrão a taxa de 9600 bits por segundo. O alcance máximo de comunicação sem fio do módulo HC-06 com o dispositivo mobile é de até 20 metros.

Figura 23: *Bluetooth HC-06*

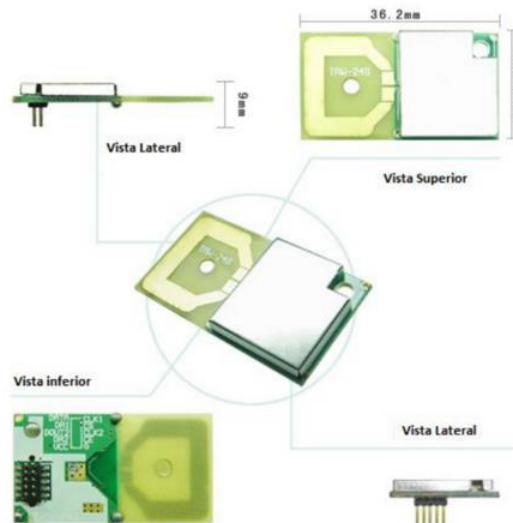


Fonte: Guangzhou HC Information Technology, 2016.

### 3.2.2.2 *Transceptor de rádio frequência*

O transceptor é utilizado para comunicação entre os módulos da RSSF por possibilitar um alcance de até 100 metros. O transceptor TRF2.4G (Figura 24) é montado pela empresa *Laipac* a partir do chip nRF2401a da *Nordic Semiconductor*, operando na faixa de 2,4 GHz que é uma banda livre para aplicações ISM.

Figura 24: Transceptor TRF2.4G



Fonte: Santos, 2013.

### 3.2.2.3 *Relé*

O relé (Figura 25) é utilizado para o acionamento de cargas, possuindo mecanismos de segurança para evitar danos ao terminal do módulo controlador ao qual está ligado. É possível utilizar um ou mais relés para suprir a necessidade de diversas aplicações. Existem inúmeros fornecedores no mercado, tornando-o assim de fácil aquisição e com valor bem acessível. Neste trabalho foi utilizado um relé para o acionamento da chave de partida do conjunto moto-bomba do sistema de irrigação, podendo ser utilizado também para o controle de válvulas hidráulicas acionadas por solenoides.

Figura 25: Relé



Fonte: Próprio autor.

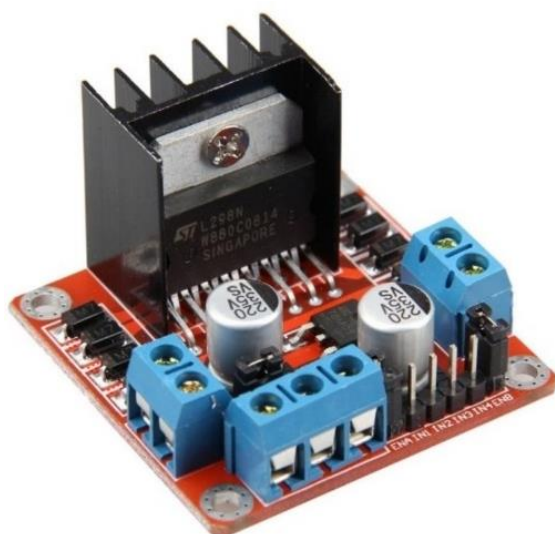
### 3.2.2.4 *Módulo ponte H*

A ponte H (Figura 26) é também utilizado para o acionamento de cargas, possibilita a inversão da polaridade ao energizar a carga a ser acionada. É muito utilizada em projetos com o controle de motores indutivos, nos quais é necessário o controle do sentido de rotação. A ponte H L298n possui dois canais de controle, podendo controlar até duas cargas levando em conta o sentido de acionamento suportando uma corrente elétrica de até dois amperes.

Neste trabalho utilizaram-se duas pontes H para o controle de quatro válvulas hidráulicas acionadas por solenoides do tipo *Latch*. As solenoides *latch* utilizam o pulso de corrente elétrica para manter uma posição definida sem a aplicação constante de uma corrente elétrica. O funcionamento é semelhante a todos os solenoides, porem a polaridade elétrica é importante para obter o funcionamento correto.

À medida que a corrente flui em uma direção energizando o campo da bobina no solenoide e quando a corrente flui na outra direção anula o campo da bobina. Para abrir as válvulas, é necessário um pulso de 9 volts e para fechá-las, outro pulso de mesma tensão com polaridade invertida. Essa ponte H está de acordo com as características do controlador, pois recebe os comandos em forma de tensão de 5 volts e pode comutar para as cargas tensões variáveis de 5 a 35 volts, faixa compatível com a tensão de acionamento das válvulas. Assim como o relé, a ponte H é de fácil aquisição e baixo custo.

Figura 26: Ponte H



Fonte: Próprio autor.

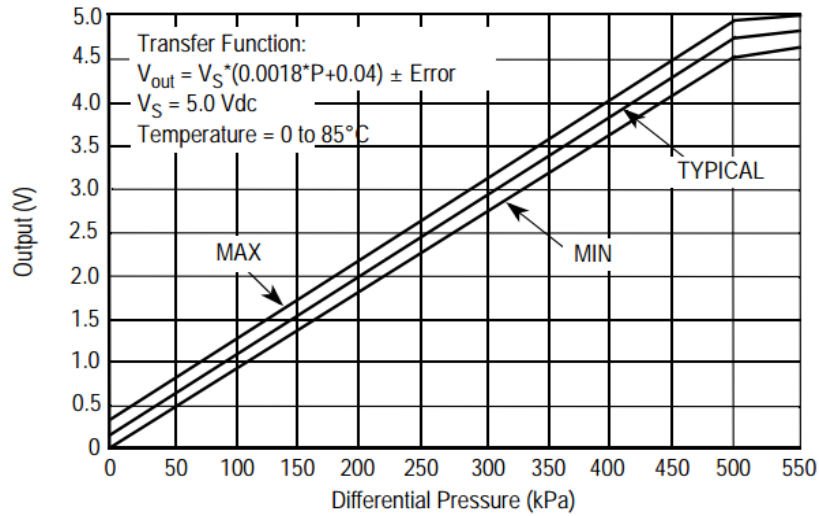
### 3.2.2.5 *Sensor de pressão*

O módulo sensor de pressão converte pressão à qual a rede hidráulica está submetida em valores de tensão (até 5V) possibilitando a aquisição automática dos dados. Nos módulos foi utilizado o sensor MPX5500DP da Motorola, o qual detecta diferenças de pressão de até 500 kPa (aproximadamente 50 metros de coluna d'água) entre dois pontos, compatível com a maioria dos projetos de irrigação bem dimensionados no Estado do Ceará.

Esses sensores podem ser substituídos por sensores com maior capacidade de leitura. A relação funcional entre a tensão de saída do sensor e o diferencial de pressão ao qual está submetido está apresentada na Figura 27, observando que a equação apresentada nessa figura corresponde a Equação 5 que foi organizada para ter a pressão como dados de saída da equação.

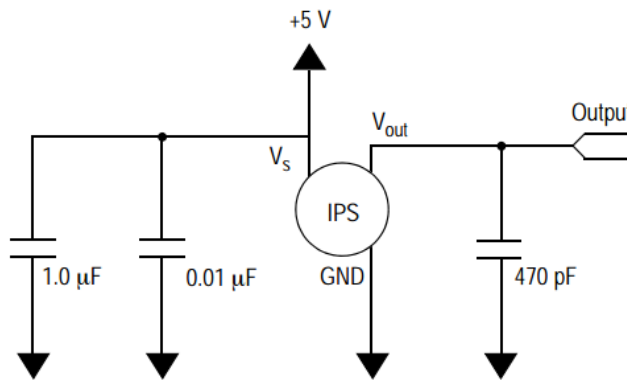
O circuito utilizado nos módulos é baseado no esquema disponibilizado pelo fabricante (Figura 28), com os sensores alimentados em paralelo e tendo um sinal individual de resposta (Figura 29).

Figura 27: - Gráfico referente a faixa de funcionamento do sensor de pressão MPX5500DP



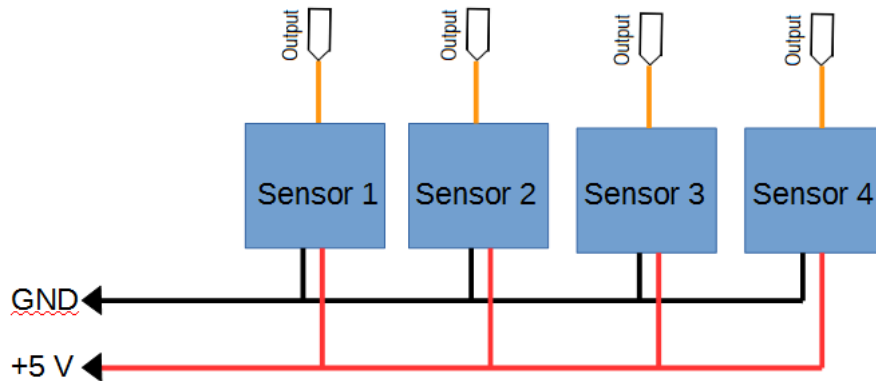
Fonte: Motorola.

Figura 28: Circuito eletrônico para utilização do sensor de pressão



Fonte: Motorola.

Figura 29: Esquema de alimentação múltipla de sensores de pressão em paralelo e sinal individual de resposta



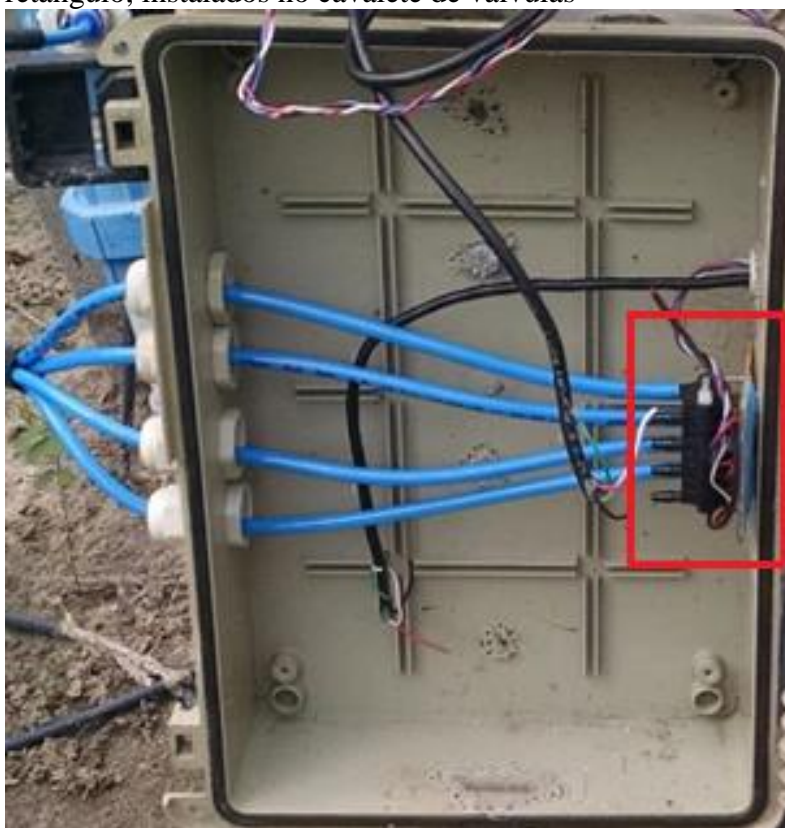
Fonte: Próprio autor.

Na casa de bomba, foi instalado dois sensores de pressão. Um para coletar dados de pressão logo após a saída da bomba (Recalque) e o outro para coletar dados de pressão após

o filtro. No cavalete de válvulas foi instalado um módulo com quatro sensores (Figura 30), sendo um sensor após cada válvula.

A pressão obtida após a bomba pode ser usada como indicativo do correto funcionamento da bomba e de problemas na abertura de válvulas. A diferença de pressão entre o sensor do recalque e o sensor após o filtro é indicador da necessidade de limpeza do filtro e a pressão obtida após as válvulas, indicativo da abertura e fechamento das válvulas e da pressão de serviço do setor.

Figura 30: Módulo com quatro sensores de pressão, indicados pelo retângulo, instalados no cavalete de válvulas



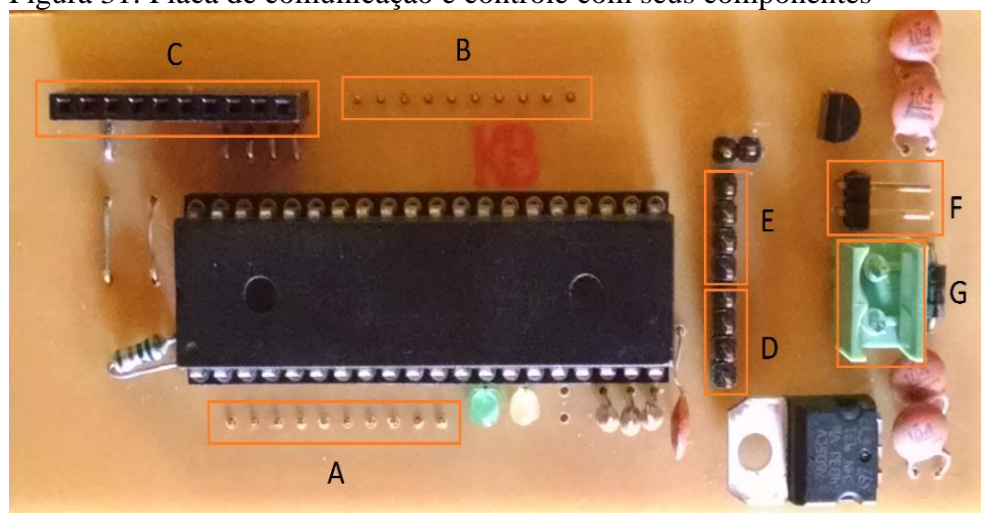
Fonte: Próprio autor.

### 3.2.2.6 Placa de Controle e Monitoramento (PCM)

A placa de comunicação e monitoramento é o módulo principal e presente em todos os módulos. Na PCM é executado o algoritmo de funcionamento da RSSF além de fazer a interface com o aplicativo *IrrigBlue*. Como foi concebido, possibilita a comunicação via Rádio (Transceptor TRF 2.4G), serial (*Bluetooth*), e USB. Possui 16 portas de entrada/saída, sendo 8 digitais + 8 digitais/análogicas, além de um terminal contador para leitura de sensores capacitivos de umidade do solo. A Figura 31 apresenta a PCM.



Figura 31: Placa de comunicação e controle com seus componentes



Fonte: Próprio autor.

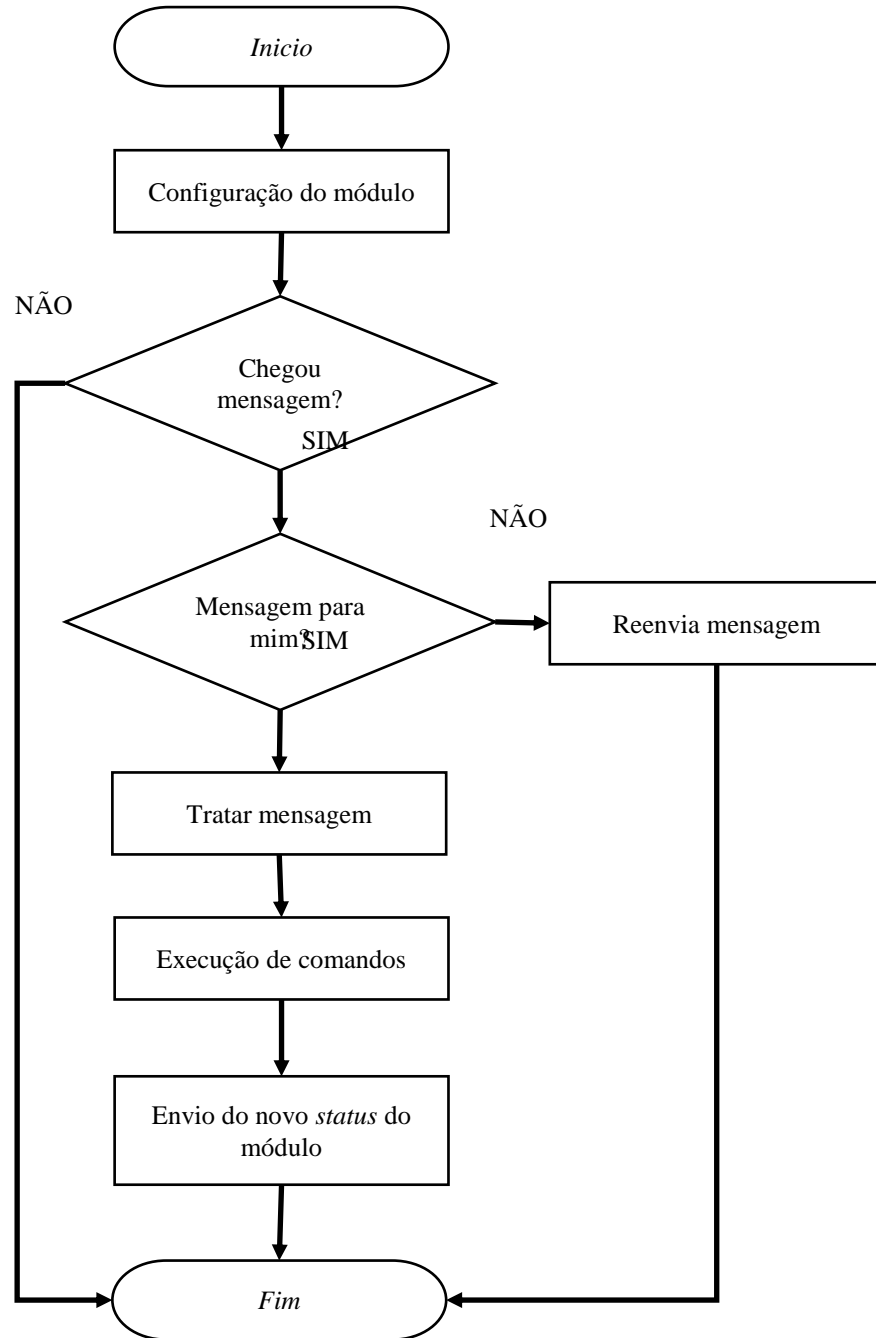
Segue a descrição dos itens:

- A) barramento referente as 8 portas analógicas/digitais e ao contador (A1, A2, A3, A4, Contador, A5, A6, A7 e A8);
- B) barramento referente as 8 portas digitais (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7 e D8);
- C) barramento referente ao transceptor;
- D) conector para o *Bluetooth*;
- E) conector para cabo USB;
- F) terminal para alimentação (+12 V) de módulos auxiliares; e,
- G) terminal para alimentação (+12 V) do módulo de comunicação e controle.

Na Figura 32 é apresentado o fluxograma de funcionamento dos módulos. No qual, o módulo realiza as configurações referentes aos terminais, configuração do rádio transceptor, configuração do módulo *Bluetooth* e fusíveis do microcontrolador.

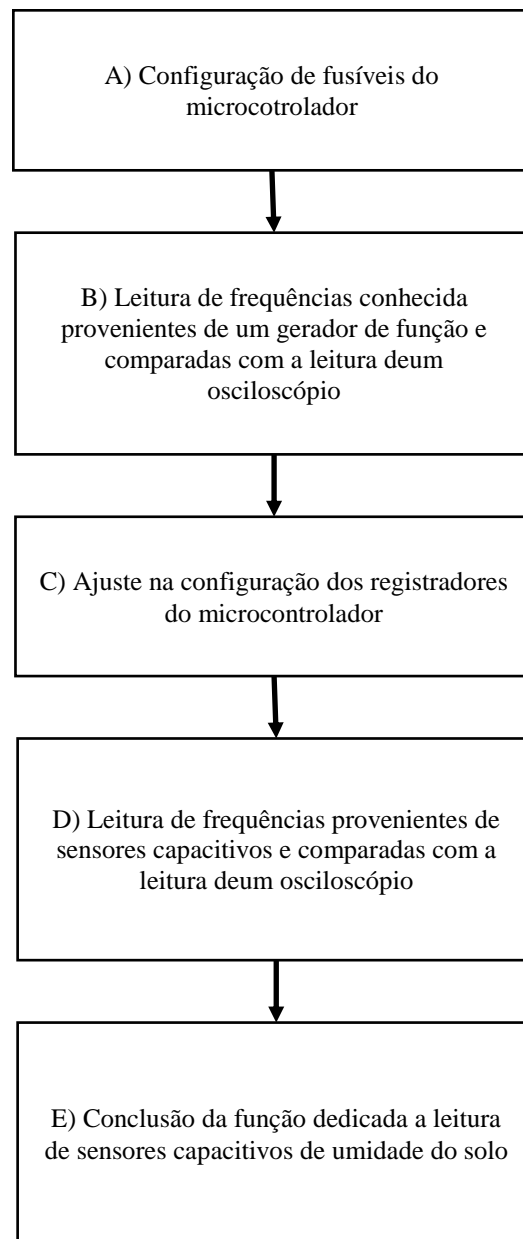
A partir de então inicia um uma rotina de checagem de recebimento de mensagens via rádio ou serial e com a chegada da mesma é identificado o destino da mensagem. Caso não seja para esse módulo, a mensagem é reenviada com a identificação de que é um o reenvio, evitando sobrecarregar à RSSF com o envio sucessivo da mesma mensagem. Sendo para este módulo, ocorre o tratamento da mensagem, execução dos comandos solicitados e posterior envio da confirmação de execução dos comandos. O ajuste da aquisição de dados de sensores capacitivos de umidade do solo se deu conforme o diagrama apresentado na Figura 33.

Figura 32: Fluxograma de funcionamento dos módulos



Fonte: Próprio autor.

Figura 33: Diagrama para ajuste da aquisição de dados de sensores capacitivos de umidade do solo



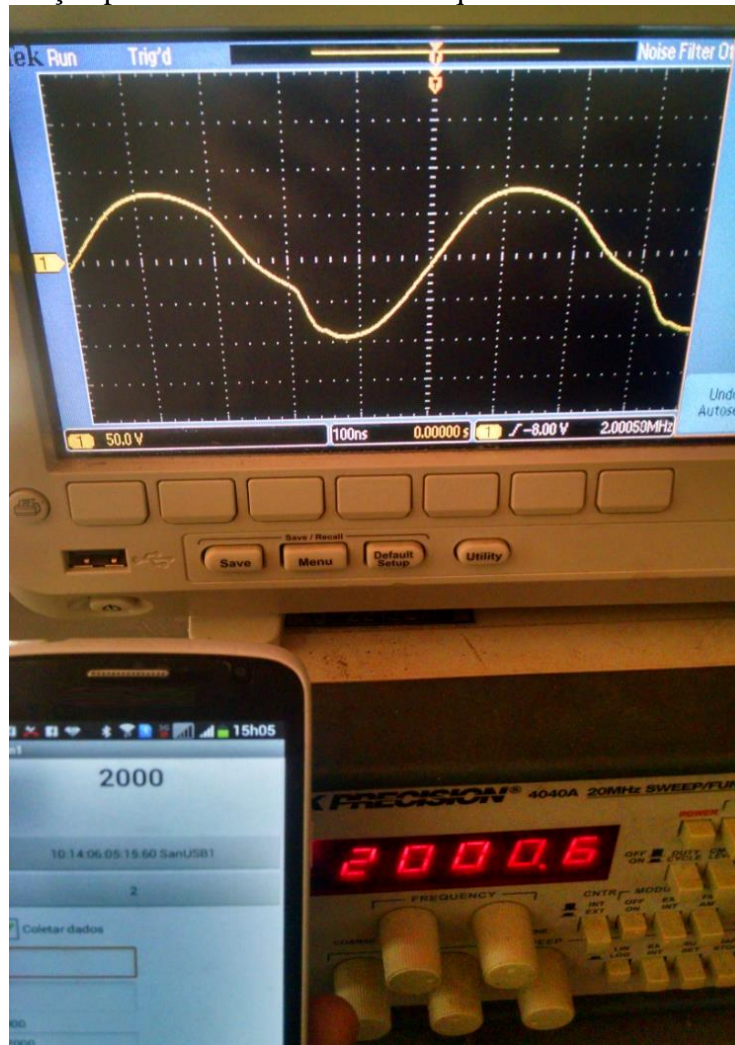
Fonte: Próprio autor.

- A) Primeiro foram identificadas as configurações necessárias para utilização do contador existente no microcontrolador da PCM e configuração prévia dos registradores referentes ao TIMER0, tempo de leitura e redutor de frequência (prescaler).
- B) Um gerador de função foi utilizado para gerar frequências conhecidas, onde foi possível identificar um padrão linear de leitura da PCM e identificar o multiplicador necessário para equalizar o valor do contador com a frequência gerada pelo gerador de função. Nesse passo

também foi utilizado um osciloscópio para aferir os valores de frequência emitidos pelo gerador de função (Figura 34).

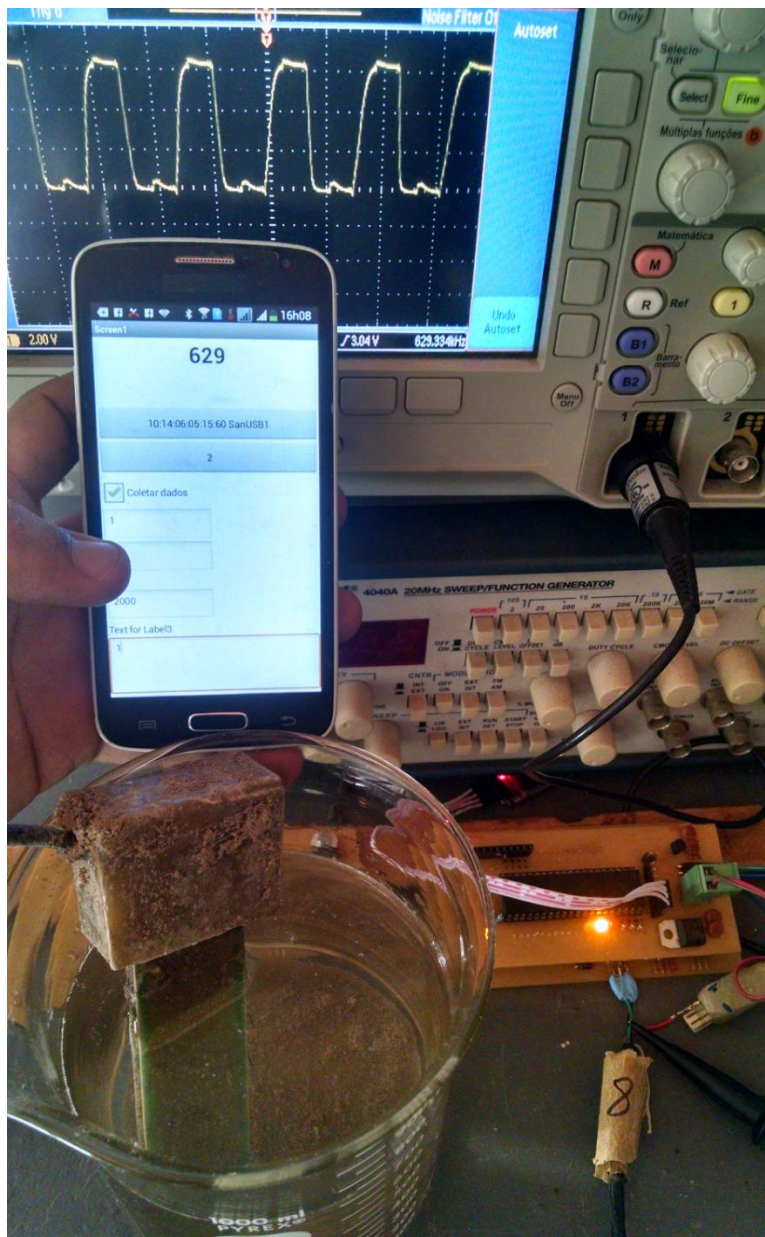
- C) Identificando o multiplicador, o código foi corrigido para que a resposta do módulo fosse dada em frequência de pulsos (em kHz).
- D) Com o novo código em execução, os sensores foram lidos em paralelo com o osciloscópio e constatados que os valores informados pelo módulo foram compatíveis com o gerado pelos sensores (Figura 35).
- E) De posse das configurações necessária e da calibração, foi criada uma função para leitura de sensores capacitivos facilitando a implementação de novos códigos.

Figura 34: Bancada de testes utilizando osciloscópio e gerador de função para calibrar leituras de frequência do *hardware*



Fonte: Próprio autor.

Figura 35: Bancada de testes utilizando osciloscópio e sensor capacitivo de umidade do solo para validar leitura de frequência do *hardware*

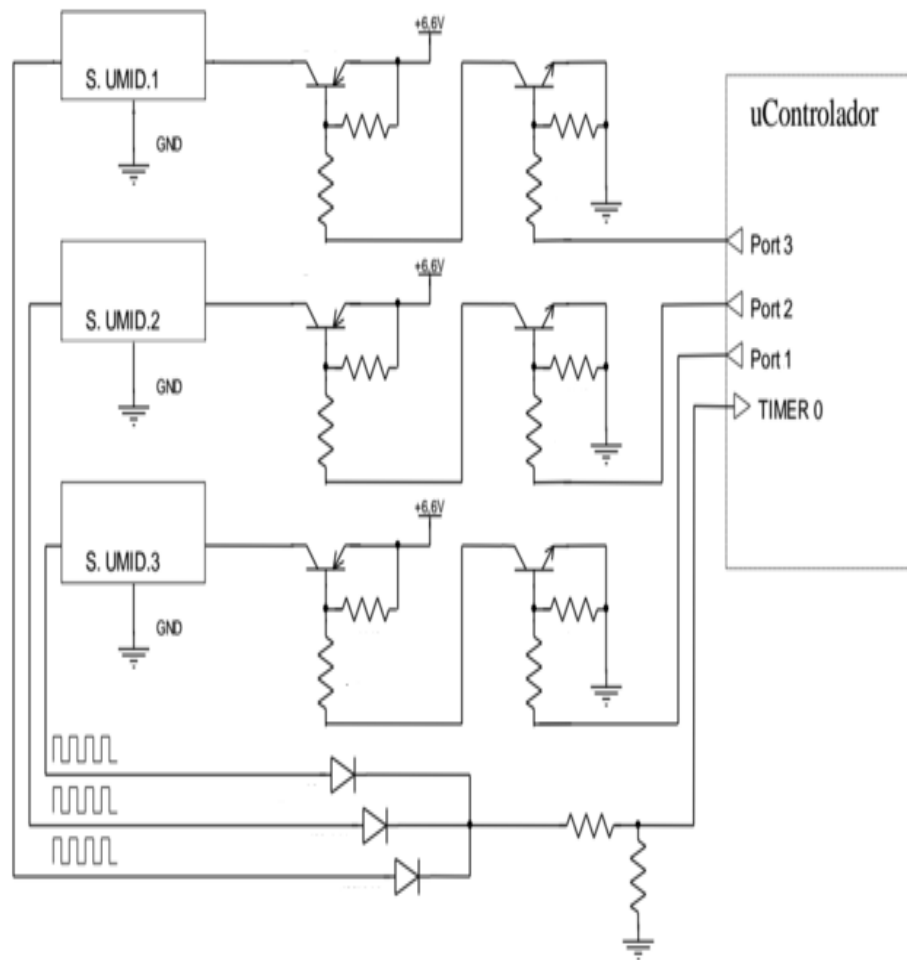


Fonte: Próprio autor.

### 3.2.2.7 Placa Multiplexadora (PM)

O uso de um multiplexador é fundamental quando existe um número de sensores maior que o número de canais de monitoramento destes sensores. Por esse motivo foi desenvolvido o módulo multiplexador para obtenção dos dados dos sensores capacitivos de umidade do solo, utilizando o circuito desenvolvido por Santos (2013) (Figura 36).

Figura 36: Esquema do circuito multiplexador para sensores capacitivos de umidade do solo

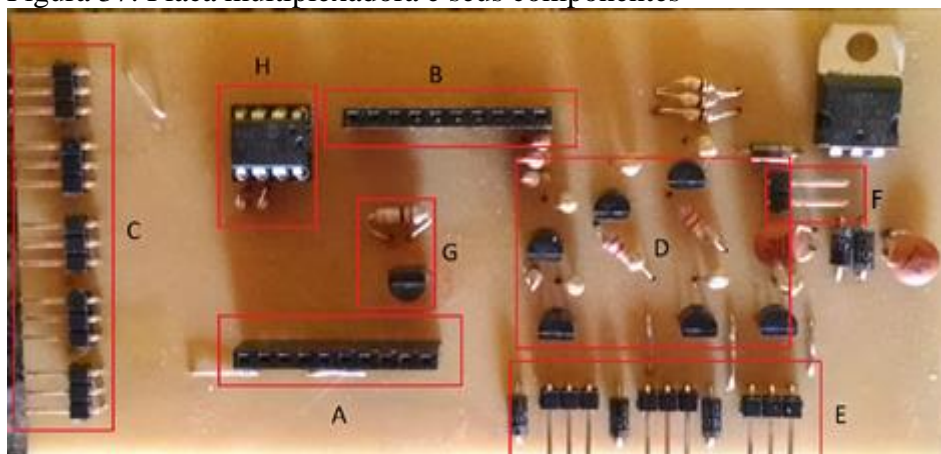


Fonte: Adaptado de Santos, 2013.

Os sensores capacitivos diferem dos sensores de pressão pelo sinal de resposta, em forma de pulsos, e o somatório desses pulsos, no tempo aplicado na equação de calibração dos sensores, permite a obtenção do valor de umidade do solo.

A placa multiplexadora é utilizada para auxiliar a placa de controle e monitoramento que possui apenas um dos contadores disponível para quantificar os pulsos emitidos pelos sensores capacitivos e o mesmo contador é responsável pela leitura intercalada dos três canais disponíveis na placa multiplexadora (Figura 37).

Figura 37: Placa multiplexadora e seus componentes



Fonte: Próprio autor.

Segue a descrição dos itens:

- A) barramentos para controle e monitoramento do módulo;
- B) barramentos para controle e monitoramento do módulo;
- C) cinco terminais para alimentação (+5 V) e monitoramento de sensores analógicos;
- D) multiplexador para controle da alimentação dos sensores capacitivos de umidade do solo;
- E) os terminais para sensores capacitivos;
- F) terminal para alimentação da placa multiplexadora (+12 V);
- G) sensor de temperatura (LM35); e,
- H) suporte para expansão de memória.

## 4 CONCLUSÃO

O hardware desenvolvido realizou satisfatoriamente: a coleta e transmissão de dados de sensores capacitivos; o controle de válvulas de controle *latch*; o controle do conjunto motor-bomba e inversor associado; a interface entre módulos de campo e *software* de gerenciamento da rede.

O aplicativo *mobile* “*IrrigBlue*” possui a capacidade de tratar os pacotes de dados recebidos da RSSF, processando-os e retornando para o usuário status do sistema de irrigação. Além disso, o aplicativo é capaz de gerar pacotes de dados com comandos de acionamento do sistema de irrigação através do *hardware* “*IrrigBlue*”.

A interação do aplicativo *mobile* com o hardware permitiu o desenvolvimento de uma RSSF proporcionando o monitoramento do status do sistema de irrigação e da umidade de solo dos setores irrigados, bem como o controle dos componentes do sistema de irrigação.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para trabalhos futuros é recomendado:

- Implementar o software e hardware “*IrrigBlue*” no controle da irrigação em malha fechada.
- Implementar rotina para armazenar dados de sensores capacitivos de umidade do solo em memória existente na placa multiplexadora, registrando o comportamento do solo durante o seu molhamento e secamento, auxiliando na interpretação de experimentos com laminas de irrigação.
- Implementar a acesso remoto ao sistema permitindo a solicitação de relatórios e configuração via *internet*.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P. E. P. de; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação**. Sete Lagoas: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2008. 528 p.
- AHN, H.-S.; KO, K. H. Simple pedestrian localization algorithms based on distributed wireless sensor networks. **IEEE Trans. Ind. Electron.**, v. 56, n. 10, p. 4296-4302, 2009.
- ARMINDO, R. A. **Desenvolvimento de um aspersor de taxa variada para irrigação de precisão**. 2009. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.
- AWATI, J. S.; PATIL, V. S.; AWATI, S.B. Application of wireless sensor networks for agriculture parameters. **International Journal of Agriculture Sciences**, v. 4, n. 3, p. 213 – 215, 2012.
- BARRENETXEA, G.; INGELREST, F.; SCHAEFER, G.; VETTERLI, M. **SensorScope: out-of-the-box environmental monitoring**. International Conference on Information Processing in Sensor Networks, 2008.
- BENEDETTO, A. Water content evaluation in unsaturated soil using GPR signal analysis in the frequency domain. **Journal of Applied Geophysics**, v. 71, p. 26-35, 2010.
- BERALDO, J. M. G.; CORA, J. E.; FERNANDES E. J. Measurement systems of soil water matric potential and evaluation of soil moisture under different irrigation depths. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 3 maio/jun. 2012.
- CARVALHO, F. B. S. DE; LEAL, B. G.; FILHO, J. V. DOS S.; BAIOCCHI, O. R.; LOPES, W. T. A.; ALENCAR, M. S. DE. Aplicações ambientais de redes de sensores sem fio. **Revista de tecnologia da informação e comunicação**. v. 2, n. 1, 2012.
- CHEN, A.; LAI, T. H.; XUAN, D. **Measuring and guaranteeing quality of barrier-coverage in wireless sensor networks**. Proc. ACM Int. Symp. Mobile Ad Hoc Netw. Comput., p. 421-430, 2008.
- CHENG, C.-T.; TSE, C. K.; LAU, F. C. M. A clustering algorithm for wireless sensor networks based on social insect colonies. **IEEE Sensors J.**, v. 11, p. 711-721, 2011.
- CRUZ, T. M. L. **Estratégia de monitoramento e automação em sistemas de irrigação utilizando dispositivos de comunicação em redes de sensores sem fio**. 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
- EMARKETER INC. Crescimento do mercado mobile no Brasil e no mundo. **Cnova marketplace**. Disponível em: < <http://marketplace.br.cnova.com/artigo/crescimento-do-mercado-mobile-no-brasil-e-no-mundo/>>. Acesso em: 10 mar. 2016.
- FRANGI, J. P.; RICHARD, D. C.; CHAVANNE, X.; BEXI, I.; SAGNARD, F.; GUILBERT, V. New in situ techniques for the estimation of the dielectric properties and moisture content

of soils. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 341, p. 831-845, 2009.

FREITAS, W. A.; CARVALHO, J. A.; BRAGA, R. A.; ANDRADE, M. J. B. Manejo da irrigação utilizando sensor da umidade do solo alternativo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 3, p. 268–274, 2012.

GUANGZHOU HC INFORMATION TECHNOLOGY. **Product data sheet**. Disponível em: <<https://www.olimex.com/Products/Components/RF/BLUETOOTH-SERIAL-HC-06/resources/hc06.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2016.

KARKVANDI, H.; PECHT, E.; YADID-PECHT, O.. Effective lifetime-aware routing in wireless sensor networks. **IEEE Sensors J.**, v. 11, p. 3359-3367, 2011.

KIZITO, F.; CAMPBELL, C. S.; CAMPBELL, G. S.; COBOS, D. R.; TEARE, B. L.; CARTER, B.; HOPMANS, J. W. Frequency, electrical conductivity and temperature analysis of a low-cost capacitance soil moisture sensor. **Journal of Hydrology**, v. 352, p. 367-378, 2008.

KOECH, R. K.; SMITH, R. J.; GILLIES, M. H. A real-time optimisation system for automation of furrow irrigation. **Irrigation Science**, v. 32, n. 4, p. 319-327, 2014.

KUMHÁLA, F.; PROSEK, V.; BLAHOVEC, J. Capacitive throughput sensor for sugar beets and potatoes. **Biosystems Engineering**, v. 102, p. 36-43, 2008.

LARRY HARDESTY. The MIT roots of Google's new software. **MIT News Office**. Disponível em: <<http://news.mit.edu/2010/android-abelson-0819>>. Acesso em: 14 mar. 2016.

MACEDO, A. B. M.; MIRANDA, F. R. DE; FILHO, R. R. G.; TEIXEIRA, A. DOS S.; JÚNIOR, J. A. H. C.; ARAÚJO H. F. DE. Desempenho de um sistema de irrigação automatizado através da tensão de água no solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 4, n. 2, p. 78–81, 2010.

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **MIT App inventor**. Disponível em: <<http://appinventor.mit.edu/explore/>>. Acesso em: 14 mar. 2016.

MONSEN-NIA, M.; AMIRI, H.; JAZI, B. Dielectric constants of water, methanol, ethanol, butanol and acetone: measurement and computational study. **Journal of Solution Chemistry**, v. 39, p. 701-708, 2010.

PEREIRA, A. R.; CAMARGO, M. B. P.; NOVA, N. A. V. Coffee crop coefficient for precision irrigation based on leaf area index. **Bragantia**, v. 70, 2011.

QUEIROZ, T. M.; BOTREL T. A.; FRIZZONE, J. A. Development of software and hardware for precision irrigation using the center pivot. **Engenharia Agrícola** (On-line version) v. 28 n. 1, Jaboticabal, jan./mar. 2008.

ROCHA NETO, O. C. ; Teixeira, A. S. ; BRAGA, A. P. S. ; SANTOS, C. C. ; LEÃO, R. A. O. application of artificial neural networks as an alternative to volumetric water balance in drip irrigation management in watermelon crop. **Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 266-279, 2015.

SALVADORI, F.; CAMPOS, M. DE; SAUSEN, P. S.; CAMARGO, R. F. DE; GEHRKE, C.; RECH, C.; SPOHN, M. A.; OLIVEIRA, A. C. Monitoring in industrial systems using wireless sensor network with dynamic power management. **IEEE Trans. Instrum. Meas.**, v. 58, p. 3104-3111, 2009.

SANTOS, C. C. D. **Plataforma de controle sem fio para irrigação de precisão**. 2013. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

SANTOS, L. M.; MELO, W. J.; NETO, L. M.; NOGUEIRA, A. R. A. Determinação dos teores de Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, V e Zn nas frações areia, argila e silte de um latossolo submetido à a dição de lodo de esgoto. **Anais da I Jornada Científica – Embrapa São Carlos** – 28 e 29 de outubro de 2009.

STOIANOV, I.; NACHMAN, L.;MADDEN, S. PIPENET: A wireless sensor network for pipeline monitoring. **Cambridge**, Massachusetts, U.S.A., 2007.

TERUEL,B.; ALVES, E. C. DE S.; ROCCIA, C. J.; ARNOLD, F. J.; BRAVO-ROGER. L. L. Desempenho de rede de sensores sem fio em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 12, p. 1374–1380, 2012.

TSAI, C.-H.; TSENG, Y.-C. A path-connected-cluster wireless sensor network and its formation, addressing, and routing protocols. **IEEE Sensors Journal**, v. 12, n. 6, Cambridge, Massachusetts, U.S.A, 2012.

VARANDAS, J. M. M. **Avaliação da qualidade física do solo em uma escala de microbacia**. 2011. 88 f. Tese (Doutorado em Ciências – Energia nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.

VASCONCELOS, H. S. **Automação de sistema de irrigação em malha fechada utilizando rede sem fio de sensores capacitivos de umidade do solo**. 2013. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.