

**TRABALHO DE GRADUAÇÃO**

**Automação e monitoramento remoto de sistema  
de irrigação na agricultura.**

**Vinícius Galvão Guimarães**

**Brasília, Fevereiro de 2011**



**ENGENHARIA  
MECATRÔNICA**  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia  
Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

## TRABALHO DE GRADUAÇÃO

# **Automação e monitoramento remoto de sistema de irrigação na agricultura.**

**Vinícius Galvão Guimarães**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro de Controle e Automação.

### **Banca Examinadora**

Prof. Adolfo Bauchspiess, UnB/ ENE  
(Orientador)

---

Eng. Agrônomo Lúcio Taveira Valadão, Emater-DF

---

Prof. Gerson Henrique Pfitscher, UnB/ ENE

---

Brasília, Julho de 2011  
**FICHA CATALOGRÁFICA**

GUIMARÃES, VINÍCIUS GALVÃO Automação e monitoramento remoto de sistema de irrigação na agricultura , [Distrito Federal] 2011. xvii, 123p.,297 mm (FT/UnB, Engenheiro, Controle e Automação, Ano). Trabalho de Graduação – Universidade de Brasília.Faculdade de Tecnologia. 1.Automação na agricultura2. <i>Software</i> supervisorío 3.Controle em distância4.Sistema integrado I. Mecatrônica/FT/UnB II. Título (série)	
---	--

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Guimarães, V.G, (2011). Automação e monitoramento remoto de sistema de irrigação na agricultura. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação FT.TG-nº, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 123p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Vinícius Galvão Guimarães.

AUTOMAÇÃO E MONITORAMENTO REMOTO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO NA AGRICULTURA: Concepção, projeto e construção de um sistema de controle na irrigação agrícola.

GRAU: Engenheiro                      ANO: 2011

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Trabalho de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desse Trabalho de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Vinícius Galvão Guimarães  
SQN212 Bloco Dap311 – Asa Norte.  
70236-120 Brasília – DF – Brasil.

### **Dedicatória(s)**

*A inclusão de uma página de dedicatória é opcional e fica a critério de cada autor. No caso de optar-se pela inclusão da mesma, este espaço, nesta formatação, deve ser empregado para tal. Para trabalhos em dupla, o autor 1 deve preencher a coluna a direita enquanto o autor 2 preencherá a coluna a esquerda.*

*Nome do Autor 1*

# AGRADECIMENTOS

*Nome do Autor.*

## RESUMO

Este trabalho propõe um sistema de automação remota de irrigação, fornecendo praticidade e melhoria no modo de se manejar sistemas de irrigação na agricultura. Muitos dos problemas ou soluções técnicas na produção de alimentos relacionam-se com a irrigação. Sistemas de irrigação bem planejados, mas que não possuem boa administração e manejo não expressam seu potencial, podendo ocasionar perdas significativas de produtividade nas culturas. Várias empresas produzem *softwares* e *hardwares* capazes de automatizar e monitorar sistemas diversos ou mesmo próprios para a produção agrícola. Um dos problemas desses produtos é que os *hardwares* são constituídos de sistemas fechados e não fornecem um sistema integrado de monitoramento remoto. Quando fornecido, normalmente é destinado às grandes empresas, o que exige investimentos fora do alcance de pequenos produtores rurais. Em relação aos *softwares*, como os supervisórios, existem os de livre acesso e modificação que proporcionam funcionalidades e facilidades interessantes, como registros, gráficos, alarmes e etc. Além de usar protocolos padrões que permitem a interoperabilidade. Entretanto seria necessário um bom estudo a respeito destes, custo esse que inicialmente (fase inicial de desenvolvimento) pode ser mais bem investido se desenvolvendo um programa mais objetivo. O *software* necessário para essa automação de pequenas produções pode ser relativamente simples, pois a irrigação nessas propriedades possui uma lógica administrativa diferenciada da produção em larga escala de commodities ou de sistemas de irrigação em áreas de lazer e condomínios. A falta de mão-de-obra no campo, a diversificação de cultivos, a quantidade e a diversidade de tarefas a serem executadas diariamente diferenciam as pequenas propriedades produtivas. Portanto, visando ao aumento da qualidade da irrigação e conseqüentemente a melhoria na produção com baixo investimento e grande objetividade, este projeto irá possibilitar gerenciar e atuar com o devido tratamento especialista e fornecer o monitoramento necessário e suficiente para o manejo de água em sistemas de irrigação.

Palavras Chave: automação, irrigação, monitoramento remoto, controle.

# ABSTRACT

This work proposes a system for remote automation of irrigation, providing a practical and improved way to manage irrigation systems in agriculture. Many of the problems or technical solutions in food production are related to irrigation. Well-designed irrigation systems without a good administration and management do not express their potential, which may cause significant losses in crop productivity. Several companies produce software and hardware that can automate and monitor different systems and even the agricultural production. One of the problems in these products are at the hardware, they are closed systems and generally do not offer integrated system of remote monitoring. When offered, they are usually intended for large companies, which require investments beyond the reach of small producers. Regarding the software, even if they are free to access and modification, the features provided are over the necessary and changing its code would need a good study on this. The software required for the automation of small production can be relatively simple and straightforward. There is no reason to invest efforts to adapt the technology, because the irrigation at small properties has a different administrative logic of large-scale production of commodities or irrigation systems in areas of leisure and condominiums. The lack of manpower in the field, their low education level, crop diversification, quantity and diversity of tasks to be performed daily differentiate the small farms productive. Therefore, to increase the quality of irrigation and consequently the improvement in production with low investment and great earnestness, this project will enable us to manage and work with the specialist treatment they need and provide the monitoring necessary and sufficient for the management of water in irrigation systems.

Keywords: Automation; Irrigation; remote monitoring; control;

# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1. ASPECTOS GERAIS.....	11
1.2. ADMINISTRAÇÃO DA IRRIGAÇÃO.....	13
1.3. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	13
1.4. OBJETIVO DO PROJETO .....	14
1.5. APRESENTAÇÃO DO MANUSCRITO.....	15
<b>CAPÍTULO 2 – SISTEMA DE IRRIGAÇÃO .....</b>	<b>16</b>
2.1. AMBIENTE .....	16
2.2. SISTEMA DE BOMBEAMENTO .....	17
2.3. REGISTROS E VÁLVULAS .....	18
2.4. EMISSORES .....	18
2.5. VARIÁVEIS NO MANEJO DA ÁGUA.....	20
2.6. SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADAS ATUAIS.....	20
<b>CAPÍTULO 3 – ESTRUTURA MECÂNICA E ELÉTRICA .....</b>	<b>10</b>
3.1. ASPECTOS GERAIS.....	10
3.2. PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO .....	11
3.3. ESTRUTURA E FUNCIONAMENTO GERAL.....	13
3.4. MÓDULO COMUNICADOR DETALHADO.....	16
3.4.1. COMUNICADOR UTILIZADO .....	16
3.4.2. CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO.....	19
3.4.3. CIRCUITOS AUXILIARES.....	20
3.5. MÓDULO CENTRAL DETALHADO .....	22
3.5.1. CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO.....	24
3.5.2. MICROPROCESSADOR CENTRAL.....	25
3.5.3. CONEXÃO COM O MÓDULO COMUNICADOR.....	27
3.5.4. CONVERSÃO DE NÍVEIS LÓGICOS.....	27
3.5.5. COMUNICAÇÃO ENTRE MÓDULO CENTRAL E SETOR.....	29
3.5.6. TEMPORIZADOR CENTRAL.....	31
3.5.7. SENSOR DE TEMPERATURA .....	33
3.5.8. SENSOR DE CHUVA.....	34
3.5.9. DEMAIS PERIFÉRICOS PREVISTOS .....	35
3.5.10. ENTRADA DE GRAVADORA .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

3.5.11. CONECTORES DO MÓDULO .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.6. MÓDULO SETOR DETALHADO .....	37
3.6.1. ELEMENTOS DE ATUAÇÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>CAPÍTULO 4 – SOFTWARE E SISTEMA EMBARCADO .....</b>	<b>46</b>
4.1. ASPECTOS GERAIS.....	46
4.1. MONITORAMENTO E <i>SOFTWARE</i> SUPERVISOR.....	46
4.1.1. SISTEMAS EXISTENTES ATUAIS .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.1.2. PROPOSTA DE NOVO SOFTWARE SUPERVISÓRIO ...	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.1.3. RESULTADOS ESPERADOS.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>CAPÍTULO 5 – INTEGRAÇÃO E FUNCIONAMENTO GERAL DO SISTEMA .....</b>	<b>61</b>
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>68</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>70</b>
ANEXO 1: EXEMPLOS DE REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>72</b>
APÊNDICE 1: DEDUÇÃO DA EQUAÇÃO 2.7 .....	73

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. <i>Software</i> desenvolvido para configuração e monitoramento do sistema. ....	14
Figura 2.1. Exemplo de sistema de irrigação convencional. ....	17
Figura 2.2. Exemplo de motobomba utilizada na irrigação. ....	17
Figura 2.3. Registros utilizados em sistemas de irrigação convencional. ....	18
Figura 2.4. Aspersionador de impacto fornecido pela empresa Rain Bird. ....	19
Figura 2.5. Aspersionador Low Flow (LF2400) fornecido pela empresa Rain Bird. ....	19
Figura 2.6. Programador da série STPi da Rain Bird. ....	21
Figura 2.7. Exemplo de sistema Rain Bird de controle a distância por diferentes vias de comunicação. ....	21
Figura 3.1. Sistema integrado de controle da irrigação. ....	11
Figura 3.2. Organização do sistema automatizado. ....	11
Figura 3.3. Exemplo de processo de fabricação de PCB. ....	12
Figura 3.4. Diagrama de blocos do <i>hardware</i> , visão geral. ....	13
Figura 3.5. Camadas de comunicação entre dois dispositivos. ....	14
Figura 3.6. Placa e circuito utilizado como módulo comunicador. ....	16
Figura 3.7. Microchip SIM900D, módulo GSM/GPRS. ....	17
Figura 3.8. PCB projetada para receber o chip SIM900D (visão do fundo). ....	18
Figura 3.9. Esquemático de alimentação do módulo comunicador. ....	19
Figura 3.10. Circuito de potência para ativação dos LEDs. ....	20
Figura 3.11. Esquemático de conexão do pino PWRKEY. ....	20
Figura 3.12. Esquemático de conexão dos pinos do cartão SIM com os pinos do módulo GSM/GPRS. ....	21
Figura 3.13. Padrão de conexão entre o módulo comunicador e central. ....	21
Figura 3.14. Placa e circuito do módulo central. ....	23
Figura 3.15. Projeto de PCB para o módulo central (visão do fundo). ....	24
Figura 3.16. Esquemático de alimentação do módulo central. ....	24
Figura 3.17. Microprocessador ATMEL, ATMEGA328p. ....	25

Figura 3.18. Gravadora ISP montada em laboratório. ....	26
Figura 3.19. Conexão necessária para comunicação entre o módulo central e comunicador.....	27
Figura 3.20. Diagrama de fluxo de comunicação UART. ....	28
Figura 3.21. Esquemático dos conversores de nível lógico. ....	28
Figura 3.22. Esquemático de ligação da interface <i>two-wire</i> . ....	29
Figura 3.23. Esquema de ligação do extensor ICC.....	30
Figura 3.24. Conexão e cabos Rj-45. ....	30
Figura 3.25. Conexão Rj-45 utilizada no projeto.....	31
Figura 3.26. Chip RTC DS1307.....	32
Figura 3.27. Cristal de quartzo usado em sistemas RTC.....	32
Figura 3.28. Esquemático de ligação do circuito RTC. ....	32
Figura 3.29. Circuito integrado LM35. ....	33
Figura 3.30. Esquemático de ligação do sensor junto ao AmpOp, onde TEMP_3 é a alimentação do LM35, o TEMP_2 é o terra do circuito e o TEMP_1 é a saída do sensor. ....	34
Figura 3.31. Sensor de chuva RSD-BEX, adquirido da Rain Bird. ....	35
Figura 3.32. Relés trifásicos TST-10A e TST-40AS-P, respectivamente. ....	36
Figura 3.33. Placa do módulo setor.....	37
Figura 3.34. Válvulas série DV fornecida pela Rain Bird. ....	38
Figura 3.35. Funcionamento do ULN2003A.....	38
Figura 3.36. Esquemático de ligação das válvulas solenoides. ....	39
Figura 3.37. Sensor de umidade SMRT-Y fornecido pela Rain Bird. ....	40
Figura 3.38. Sensor de umidade do tipo eletrodos em bloco de gesso (20cm de comprimento, 5cm de diâmetro). ....	40
Figura 3.39. Esquemático de ligação do sensor de umidade.....	41
Figura 3.40. Curva de retenção de água no solo, em que se define a capacidade de campo (CC) , o ponto de murcha permanente (PMP), a capacidade total de água disponível (CAD), e o coeficiente de disponibilidade (p), para o perfil de 0 cm a 90 cm do Latosolo Vermelho Escuro da área experimental da EmbrapaMilho e Sorgo. ....	42

Figura 3.41. Recipiente para teste de umidade. ....	42
Figura 3.42. Relação de resistência elétrica e umidade do solo e sua curva de calibração obtida. ....	44
Figura 3.43. Gráfico de leitura sequencial da umidade durante o processo de calibração.....	45
Figura 4.1. Prévia do software supervisor em desenvolvimento. ....	47
Figura 4.2. <i>Software</i> de monitoramento e programação do sistema de irrigação automatizado.....	48
Figura 4.3. Menu e barra de atalhos Hidrauto. ....	49
Figura 4.4. Aba da opção Arquivo. ....	49
Figura 4.5. Aba da opção Maps.....	50
Figura 4.6. Aba da opção Conexão. ....	51
Figura 4.7. Aba da opção Configurações. ....	51
Figura 4.8. Parâmetros da Aba Configurações.....	51
Figura 4.9. Campo de configurações do setor. ....	52
Figura 4.10. Tela de gráficos gerais do sistema (dados meramente ilustrativos). ....	53
Figura 4.11. Primeira Aba: configuração de horários do dia selecionado. ....	54
Figura 4.12. Segunda Aba: configuração de horários com periodicidade de dias. ....	54
Figura 4.13. Terceira Aba: visualização dos horários na semana do dia selecionado. ....	54
Figura 4.14. Quarta Aba: copia de configuração de um dia fonte para o selecionado. ....	55
Figura 4.15. Quinta Aba: copia de todos os horários de um setor para outro. ....	55
Figura 4.16. Estrutura de funcionamento dos <i>softwares</i> central e setor, com suas bibliotecas. ....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Definição dos pinos utilizados.....	21
Tabela 3.2. Dados de umidade obtidos. ....	43

# LISTA DE SÍMBOLOS

## Símbolos Latinos

$A$	Área	$[m^2]$
$C_p$	Calor específico a pressão constante	$[kJ/kg.K]$
$h$	Entalpia específica	$[kJ/kg]$
$\dot{m}$	vazão mássica	$[kg/s]$
$T$	Temperatura	$[^{\circ}C]$
$U$	Coefficiente global de transferência de calor	$[W/m^2.K]$

## Símbolos Gregos

	Difusividade térmica	$[m^2/s]$
	Variação entre duas grandezas similares	
	Densidade	$[m^3/kg]$

## Grupos Adimensionais

$Nu$	Número de Nusselt
$Re$	Número de Reynolds

## Subscritos

$amb$	ambiente
$ext$	externo
$in$	entrada
$ex$	saída

## Sobrescritos

$\cdot$	Variação temporal
$-$	Valor médio

## SIGLAS

EMBRAPA	Empresa Brasileira de pesquisa agropecuária
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
SMS	Short Message Service
API	Application Programming Interface
TCP	Transmission Control Protocol
IP	Internet Protocol
SMT	Surface mount technology
PCB	Printed Circuit Board
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
TTL	Transistor-Transistor Logic
LED	Light Emitter Diode
RTC	Real Time Counter
LARA	Laboratório de Automação e Robótica
TJB	Transistor de junção bipolar
RTC	Real Time Clock
IIC	Inter-Integrated Circuit
I <sup>2</sup> C	Mesmo que IIC
ISP	In-system programming
SO	sistema operacional
A/D	Analógico/Digital
AmpOp	Amplificador Operacional
CI	Circuito Integrado
PMP	Ponto de Murcha Permanente
CC	Capacidade de Campo
TDT	Time-domain transmissometry
IDE	Integrated Development Environment
HTML	HyperText Markup Language
RAM	Random Access Memory
DNS	Domain Name System
UTC	Tempo Universal Coordenado
EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory

# CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

## 1.1. ASPECTOS GERAIS

Tratando-se de produção agrícola, há muitas variáveis a se controlar, assim como inúmeras etapas, equipamentos e aspectos de gestão para se cuidar. Entre os sistemas de grande importância, se destaca a irrigação, capaz de fornecer um elemento imprescindível para a planta, especialmente em épocas pouco chuvosas. Contudo, manejar a água de irrigação não é uma tarefa simples, podendo ser estendido ou resumido como: definir quando irrigar e quanto de água aplicar. Assim, a capacidade de monitorar e alterar conscientemente os parâmetros dessa irrigação torna-se de grande importância.

Segundo COELHO, COELHO FILHO e OLIVEIRA(2005), a agricultura irrigada ocupava em torno de 18% da área total cultivada no planeta, consumindo 70% do total de água de qualidade usada, superior ao setor industrial (21%) e doméstico (9%). Ainda que pequena a parcela do total cultivado, esta área contribui com 42% da produção total. O Brasil, em particular, possui índices semelhantes em relação ao seu total cultivado. Apesar da evolução da tecnologia, favorecendo a redução do consumo de água, estima-se que em 2025 três bilhões de pessoas serão afetadas pela escassez de recursos hídricos. A agricultura irrigada, para manter-se sustentável, em termos ambientais, precisa ser eficiente no uso da água na irrigação.

E quais os outros problemas da má irrigação? A aplicação de pouca água (irrigação com déficit) pode ser um desperdício óbvio, tendo em vista que a produção não poderia obter o benefício esperado. Por sua vez, a aplicação excessiva é muito mais destrutiva, pois satura o solo, o que impede a sua aeração, lixivia nutrientes, induz maiores evaporação e salinização e, posteriormente, pode elevar o lençol freático para um nível que somente pode ser drenado a um alto custo. Além disso, o excesso propicia microclima favorável ao desenvolvimento de doenças, que podem causar prejuízo à cultura(ALBUQUERQUE e DURÃES, 2008). Exemplos das principais perdas diretas ao agricultor são:

- **Desperdício de fertilizantes:** Levados pela água em excesso que ultrapassa a profundidade das raízes, contaminando as fontes subterrâneas.
- **Aumento do custo da produção:** Maior consumo de energia para bombeamento da água.
- **Doenças provocadas por fungos e falta de aeração nas raízes:** O excesso de água promove a proliferação de fungos no solo e nas raízes, bem como a redução da aeração do solo, fatores esses que inibem o desenvolvimento da planta.

Sistemas eletrônicos e autônomos permitem uma grande melhoria na aplicação de projetos já realizados para determinado plantio. A introdução deste elemento em uma produção agrícola reduz, não só problemas de caráter humano de má operação, como também o consumo de insumos e o custo de produção. Ainda sim, a complexidade de se realizar o manejo da produção é tão elevada, que é inviável se projetar sistemas completamente autônomos.

Dessa forma, faz-se necessário o monitoramento e a alteração de determinados parâmetros dependendo dos resultados do plantio, época do ano e estágio de desenvolvimento da planta. Para minimizar esses erros poder-se-ia variar a frequência de irrigação de acordo com os estágios da cultura (ALBUQUERQUE e DURÃES, 2008).

A irrigação moderna é bastante avançada e possui variados tipos de automação, entretanto o pequeno e médio agricultor, nem sempre têm total acesso a essas tecnologias, seja por problemas financeiros ou por falta de conhecimento. Em diversos casos o sistema de irrigação é consideravelmente bem planejado e possível de gerar bons resultados, mas pode faltar devido monitoramentodos parâmetros deste processo para poder corrigir problemas em um curto espaço de tempo, suficiente para minimizar as perdas. Existem vários exemplos de sistemas bem acompanhados e com excelentes resultados, mas é claro que um auxílio eletrônico irá complementar essa tarefa, possivelmente melhorando ou facilitando o trabalho.

Processos de simplificação de metodologias para o manejo de irrigação têm sido adotados por pequenos agricultores visando economia, simplicidade e rapidez na leitura de variáveis do solo. Um exemplo prático foi a adoção do aparelho Irrigas, desenvolvido pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), como método alternativo ao uso do tradicional tensiômetro.

A tecnologia cada vez mais ocupa novos ambientes. Prova disso é que, hoje, muitos filhos de pequenos agricultores e até mesmo os trabalhadores rurais estão tendo mais e mais contato com a informática e outras tecnologias. Isso é, favorecido pelo aumento dos índices de escolarização, a facilidade e necessidade de se aproximar da tecnologia, além de programas do governo, ações de organização não governamentais de extensão rural e inclusão digital. Levar bem-estar, cidadania, crédito, investimentos, bem como melhores e mais modernas condições de trabalho para o campo podem contribuir para contrapor um grave problema da agricultura família brasileira, que é o êxodo rural, um fenômeno preocupante, que reduz o efetivo de agricultores responsáveis por mais 70% dos alimentos colocados à mesa dos brasileiros, criando ainda maiores problemas sociais na cidade.

É necessário investir mais esforços para levar mais tecnologia e qualidade de vida para o campo, valorizando a nobre atividade de produzir alimentos, contribuindo para sua permanência no campo, gerando mais eficiência e qualidade.

## **1.2. ADMINISTRAÇÃO DA IRRIGAÇÃO**

É comum observar em vários sistemas de irrigação em que os comandos e o manejo são muito dependentes de atuação humana e mesmo quando os projetos foram bem planejados e implantados, o rendimento não é tão elevado quanto um sistema automático e mais independente. Irrigação mal planejada e manejada pode representar importante fator no resultado da produção, podendo haver perdas superiores a 50% em situações extremas.

O simples fato de não controlar com precisão o tempo de irrigação em determinado setor pode provocar perdas de produção, desperdício de energia, aumento de custos de produção, dentre outras consequências.

A eficiência média de irrigação em nível nacional está estimada em 60%, significando que, para cada 10.000 de água necessária às plantas por hectare, são necessários 16.667 litros de água irrigados. Do total demandado pelas plantas, 97% são transpirados, portanto, um retorno de 9.700 litros para a atmosfera, na forma de vapor ou de água pura. Os 6.667 litros tendem a evaporar da superfície do solo ou percolar e preencher os lençóis subterrâneos, que podem retornar ou não ao mesmo curso d'água de onde foi retirada. A elevação dessa eficiência em apenas 5% representaria uma economia de 1.282 litros por hectare, que não precisariam mais ser bombeados e retirados da fonte d'água(COELHO, COELHO FILHO e OLIVEIRA, 2005).

## **1.3. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA**

O controle sobre a irrigação da propriedade é muitas vezes realizado manualmente. Como já comentado anteriormente, esse processo está sujeito a muitas falhas que acarretam prejuízo. Um sistema automatizado mais acessível às pequenas propriedades é muitas vezes muito simples e difícil de monitorar.

Médios produtores geralmente não possuem um plantio grande suficiente para justificar o investimento nos sistemas automáticos atuais com melhores interfaces e periféricos. Existem alternativas para medir suas variáveis do cultivo e que com administração podem gerar excelentes cultivos. É claro que nem sempre é possível garantir que essa boa administração ocorrerá corretamente, ou frequentemente. Então surge o problema.

## 1.4. OBJETIVO DO PROJETO

Este trabalho objetiva fornecer um sistema complementar, facilitando e possivelmente melhorando o controle do cultivo. Ainda oferece monitoramento à distância, baixo custo de aquisição e instalação, se tornando uma opção viável para o produtor de pequenas culturas e até mesmo para sistemas de jardinagem.

Possui também uma interface mais interessante e atrativa (Figura 1.1), como uma alternativa aos sistemas atuais de interface de botões como mostrado na Figura 2.6. Além de levar tecnologia para o campo, incentivando a permanência rural.

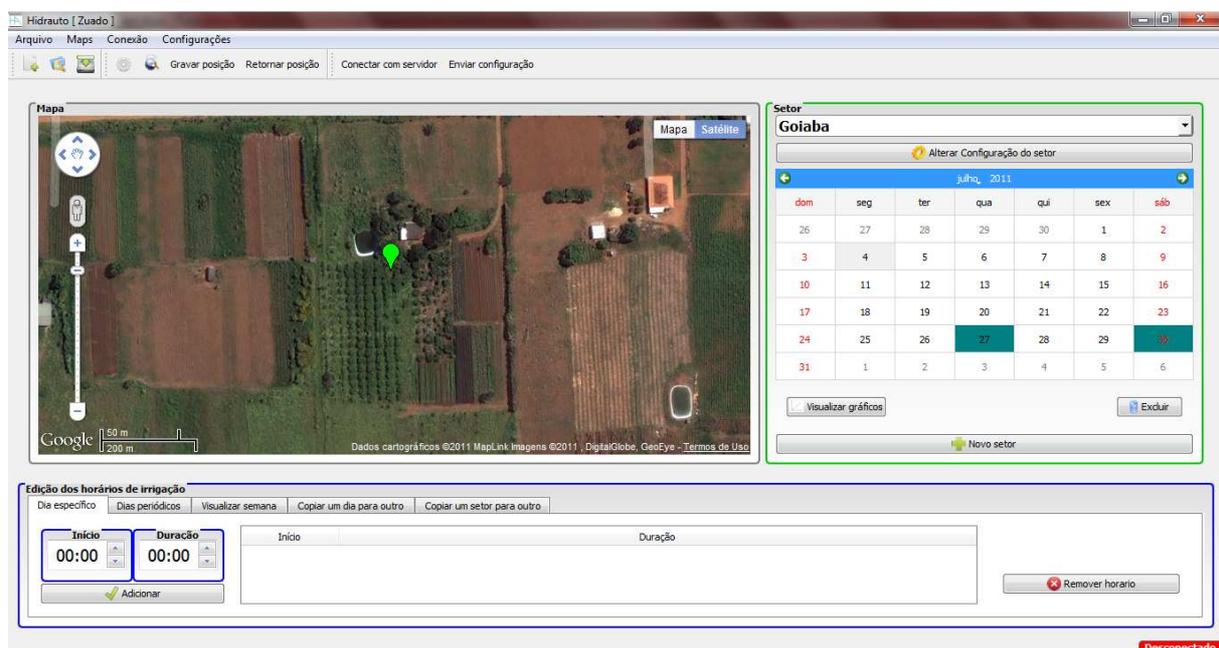


Figura 1.1. Software desenvolvido para configuração e monitoramento do sistema.

Para isso, são necessários alguns elementos neste sistema:

- Projeto e desenvolvimento de uma lógica de controle e programação de todo o sistema de irrigação.
- Construção de um sistema físico (*Hardware*) para realizar todas as tarefas;
- Desenvolvimento de um sistema virtual de visualização, monitoramento e administração de toda a estrutura, *softwares*.
- Integração entre esses elementos e modularização, de forma a garantir uma rápida manutenção do sistema.

Ao decorrer deste documento serão apresentados todos os métodos e procedimento para se garantir todas essas características.

**1.5. APRESENTAÇÃO DO MANUSCRITO**

BLAA

# CAPÍTULO 2 –SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Neste capítulo é descrito como funciona e como se estrutura um sistema de irrigação, suas principais variáveis para um controle automatizado e alguns sistemas atuais automatizados.

## 2.1. AMBIENTE

Existem diversos tipos de sistemas de irrigação, variando sua utilização de acordo com o plantio, ambiente, disponibilidade de mercado entre outros. Normalmente, um projeto é realizado sobre uma estrutura relativamente simples, onde alguns elementos são fundamentais:

- **Fonte de água ou reservatório:**A captação de água ocorre diretamente em cursos d'água, canais de irrigação ou cisternas. Normalmente são utilizados reservatórios escavados para armazenamento de água, que, apesar do seu custo de instalação, compensam por proporcionar certa autonomia e redução de custos de energia para bombeamento até as áreas irrigadas. A disponibilidade de água subterrânea ou superficial deve ser explorada racionalmente, minimizando o problema do desperdício de água na adução, distribuição e aplicação, visto que os mananciais de água têm suas limitações.
- **Sistema de bombeamento:** Necessário para gerar a pressão de irrigação.
- **Sistema de filtragem (quando existir):** Utilizados para garantir a qualidade da água irrigada e o adequado funcionamento do sistema de irrigação. Pode ser precedido por um sistema de fertilização, que aumenta a qualidade da produção.
- **Sistema de distribuição:**Canos e derivações, registros e demais conexões, de forma a distribuir água aos setores determinados.
- **Sistema de emissores:** Responsável pela distribuição de água no solo, de preferência o mais uniformemente possível.

Um exemplo de integração convencional entre esses elementos pode ser dado como na Figura 2.1.

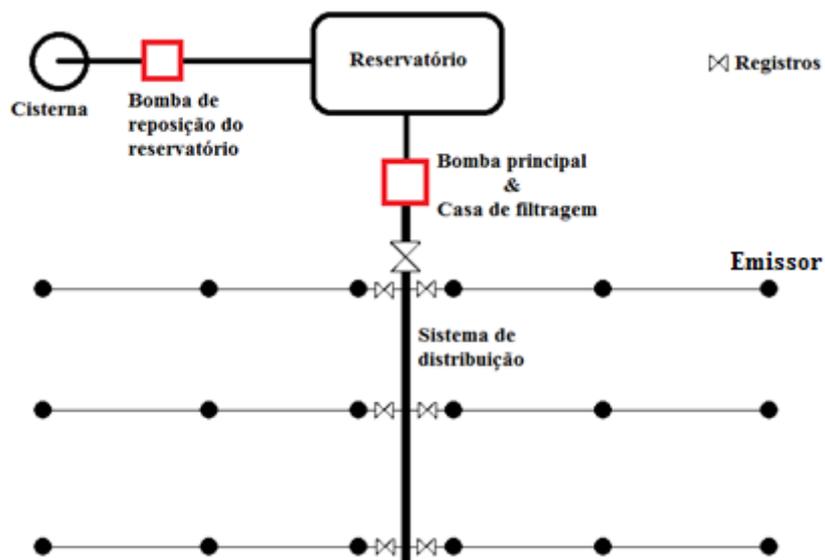


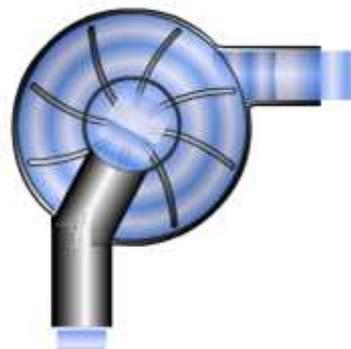
Figura 2.1. Exemplo de sistema de irrigação convencional.

De uma forma geral, todos esses elementos são projetados e realizados por um técnico agrícola com conhecimento sobre o assunto. A forma de como se estruturar ou de qual aspersor utilizar é algo extremamente sutil e varia de plantio para plantio.

## 2.2. SISTEMA DE BOMBEAMENTO



(a) Motor elétrico acoplado ao rotor.



(b) Rotor centrífugo.

Figura 2.2. Exemplo de motobomba utilizada na irrigação.

O sistema de bombeamento convencional pode variar em sua forma de funcionamento, mas devido à praticidade e disponibilidade, os sistemas elétricos são utilizados em larga escala. Uma bomba elétrica como a mostrada na Figura 2.2(a), nada mais é do que um motor elétrico acoplado a um rotor (Figura 2.2(b)) capaz de puxar e empurrar a água por toda a tubulação. As características elétricas e modo de funcionamento de um motor são geralmente bem conhecidos. O projeto e instalação destas bombas são

determinados por um técnico agrícola capacitado, de forma que a única preocupação é a ativação ou desativação deste componente.

Por esse motivo, a bomba elétrica se torna mais acessível à instalação de sistemas automáticos.

### 2.3. REGISTROS E VÁLVULAS



Figura 2.3. Registros utilizados em sistemas de irrigação convencional.

Registros, como o apresentado na Figura 2.3, são bastante utilizados em propriedades de pequeno porte devido ao seu baixo custo e robustez. Um dos problemas deste elemento é sua necessidade de operar manualmente, dependendo da ação de um trabalhador. Como mencionado em 1.1, essa dependência é suscetível a erros, que levam ao desperdício ou problemas mais graves.

O termo válvula possui certa diferença semântica em relação ao campo da automação, que em geral se refere às componentes capazes de abrir e fechar uma via. Já no campo agrícola este termo é comumente associado à um retentor de fluxo, ou seja um regulador de pressão que fornece uma saída mais constante. Sendo assim, para fins de adaptação linguística neste trabalho, o termo registro será associado ao componente abre/fecha de vias e o termo válvula ao componente regulador de pressão.

### 2.4. EMISSORES

Diversas empresas fabricam emissores das mais variadas características e formatos. Cada uma consegue, em suas pesquisas, atingir diferentes níveis de eficiência em dispersão de água. Um dos convencionais e largamente utilizados aspersores convencionais e atuais são os chamados “Aspersores de impacto” (Figura 2.4). No caso da irrigação por aspersão, os sistemas de aspersão convencional de alta pressão do tipo

canhão são os de mais baixa eficiência (50 % - 60 %) (COELHO, COELHO FILHO e OLIVEIRA, 2005).

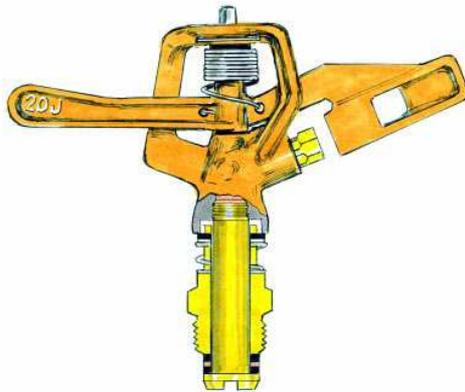


Figura 2.4. Aspersor de impacto fornecido pela empresa RainBird.

A evolução dos sistemas de aspersão os tornou mais eficientes e podem ser instalados para melhorar a qualidade da produção e evitar desperdícios. Estes possuem um custo levemente maior, mas ainda assim acessível ao pequeno e médio produtor. Como é o caso do aspersor da Figura 2.5, que possui uma eficiência de aproximadamente 80%.



Figura 2.5. Aspersor LowFlow (LF2400) fornecido pela empresa RainBird.

Além desses emissores, existem outros sistemas de grande eficiência, como sistemas de gotejamento, micro aspersores e outros. O fato é que cada vez mais se deseja obter uma irrigação de precisão, ou seja, com alta eficiência e quantidades corretas de aplicação. Este projeto não se restringe a nenhum emissor específico, pois o que importa é somente a necessidade de se ativar ou não o fluxo de água.

## 2.5. VARIÁVEIS NO MANEJO DA ÁGUA EM SISTEMA AUTOMATIZADO

Entre diversas variáveis possíveis de se analisar em sistemas de irrigação, algumas ganham destaque por sua maior influência para a administração e controle dos parâmetros. Isto garante eficiência satisfatória e bons resultados. Algumas dessas variáveis utilizadas neste projeto são:

- **Umidade do solo:** Geralmente dada em porcentagem de água no solo. Importante fator, pois dele pode-se inferir o quanto o solo precisa ou não ser irrigado, variando de plantio para plantio.
- **Temperatura ambiente:** Influencia na evapotranspiração daquele ambiente e consequentemente na necessidade de água.
- **Ocorrência de chuva:** Dependendo da quantidade de água precipitada, o sistema de irrigação pode ser desligado, evitando aplicação desnecessária.

Existem várias maneiras de definir o momento certo de fazer a irrigação e quanto de água aplicar. Esses fatores são baseados em fatores do solo, do clima e das plantas (VALADÃO, 2007).

A vazão em sistemas bem projetados geralmente é conhecida e estável, bastando então considerar o tempo de aplicação para se conhecer o volume de água aplicada.

Para a administração da umidade do solo é necessário se conhecer previamente as características do local. A realização de exames do solo pode permitir ao especialista estipular quanto de umidade é necessário para cada plantio.

## 2.6. SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADAS ATUAIS

Algumas empresas fabricam atualmente sistemas de controle de irrigação do mais simples até o mais complexo e integrado possível. A dificuldade encontrada nesses sistemas está predominantemente no fato de serem sistemas fechados e privados, ou seja, não se tem ao certo uma viável maneira de extrair ou inserir funções específicas junto a eles. Por exemplo, um produto comercializado pela RainBird, voltada aos pequenos produtores, apresentado na Figura 2.6, permite a fácil alteração manual de quando e quanto irrigar, porém não fornece nenhum outro *software* ou interface capaz de apresentar variáveis necessária para monitorar a correta administração do plantio.



Figura 2.6. Programador da série STPi da Rain Bird.

Existem ainda equipamentos mais elaborados (Figura 2.7), em que o sistema pode ser monitorado a distância e automatizado na região de instalação. Estes sistemas podem se comunicar com estações meteorológicas e outros controladores, permitindo um sistema integrado e eficiente da irrigação.

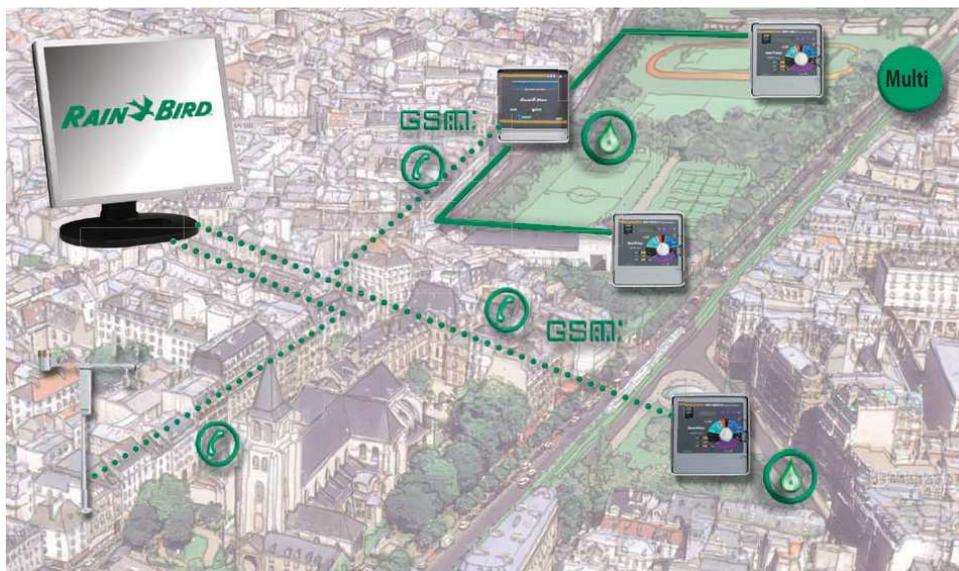


Figura 2.7. Exemplo de sistema Rain Bird de controle a distância por diferentes vias de comunicação.

O problema desses sistemas é que são direcionados aos grandes produtores e demais empresas que podem arcar com um alto investimento. Portanto o pequeno e médio produtor fica somente com algumas alternativas simples, que poderiam ser tão viáveis e objetivas quanto e ainda melhorar sua administração e controle sobre sua produção.

# CAPÍTULO 3 –ESTRUTURA MECÂNICA E ELÉTRICA

## 3.1. ASPECTOS GERAIS

Criação de sistemas necessita de muitos fatores. Para começar, é interessante se iniciar pelo protótipo, aonde será possível observar diversos problemas, erros e principalmente melhorias. Ainda mesmo antes de iniciar um protótipo, devem-se realizar estudos e/ou testes sobre todos os componentes que se imagina necessário. A construção de protótipos exige também muitos equipamentos de suporte e verificação de problemas.

Multímetros, osciloscópios e principalmente uma fonte regulada com limitador de corrente são componentes obrigatórios para se iniciar o projeto de um *hardware*. Mesmo quando se conhece sobre o assunto, a chance de falha e imprevistos é altamente possível, por isso deve-se sempre estar prevenido e apoiado por fontes de pesquisa e equipamentos. É muito comum, durante testes, a ocorrência de erros ou pequenos objetos caídos sobre o circuito, podendo gerar curtos e danos ao sistema.

Durante o desenvolvimento deste projeto, ocorreram falhas humanas e imprevistos que, junto a utilização de uma fonte simples (não regulada e não limitada), provocaram danos gravíssimos nos circuitos. Havendo trilhas destruídas e circuitos queimados. Foi necessário trocar componentes e corrigir ou até mesmo refazer parte do projeto. Após o uso de um ambiente mais organizado e equipamentos mais adequados, não ocorreu nenhum imprevisto novamente.

Na construção de novos sistemas é sempre interessante utilizar outros pequenos módulos já fabricados ou projetados, pois evitam erros comuns desnecessários que atrasam e desperdiçam o investimento, seja de tempo ou mesmo financeiro.

Para a instalação de um sistema automático é necessário que se tenha atuadores e sensores. No caso deste sistema de automação, existe no mercado variedades suficiente de cada sensor e atuador necessários, com baixo custo. Desta forma, diversos componentes deste projeto foram adquiridos e integrados, facilitando o desenvolvimento.

Diversas fontes, como livros, artigos, trabalhos anteriores e até mesmo internet podem fornecer muitas soluções práticas e até mesmo mais eficientes que aprimoram a qualidade de um sistema.

A grande quantidade de componentes e módulos utilizáveis nesse setor da agricultura fornece uma atmosfera de integração para a automação muito completa. Por isso é óbvio que diversos componentes não justificam serem recriados, mas sim adquiridos e integrados para manter o baixo custo e robustez do sistema.

A seguir serão discutidos todos os processos mecânicos e elétricos criados e integrados neste projeto (Figura 3.1), dando-o a utilidade desejada. É possível observar desde então que existem 3 módulos principais. Cada módulo possui sua função específica e funcionamento bem definidos.

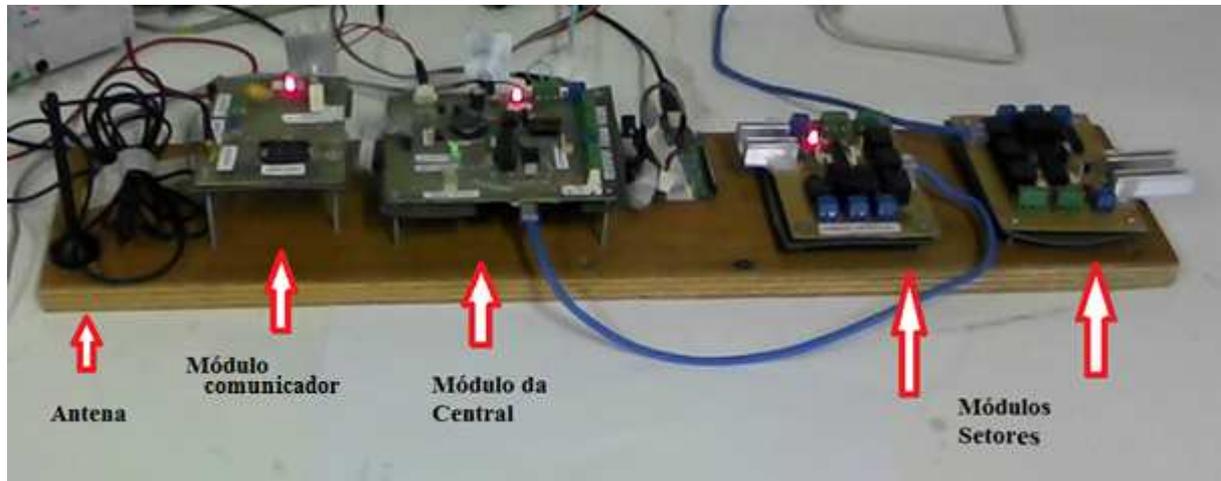


Figura 3.1. Sistema integrado de controle da irrigação.

A distribuição do sistema projetado em um ambiente de irrigação é apresentado na Figura 3.2 .

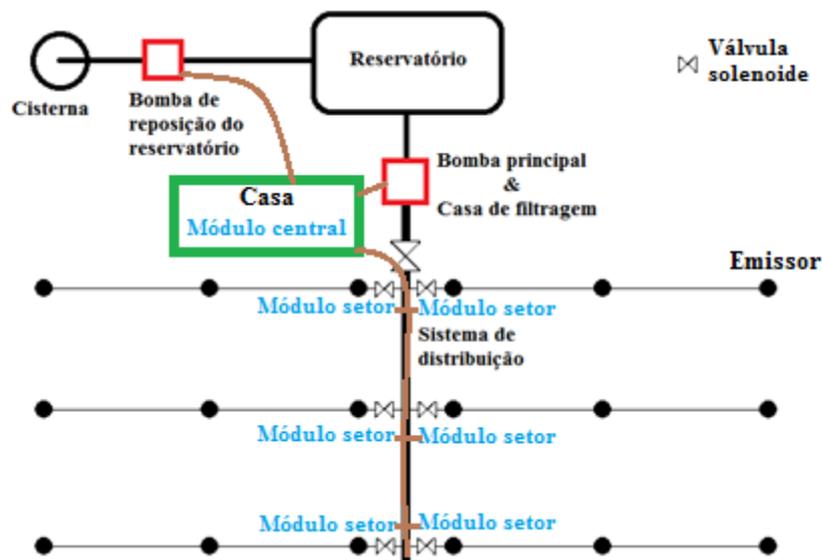


Figura 3.2. Organização do sistema automatizado.

### 3.2. PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

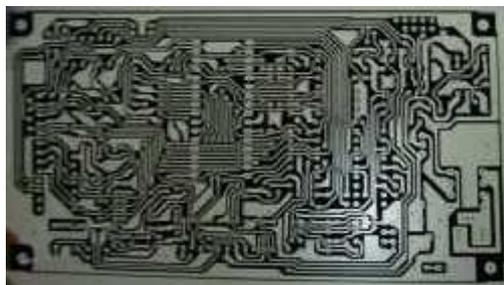
Placas de circuito impresso (PCB) são altamente utilizadas em projetos de circuitos eletrônicos. Elas facilitam muito o trabalho em geral, além de permitirem uma melhor organização geral de todo o circuito.

Uma vez que se tenha um *software* de desenho de PCB, deve-se configura-lo devidamente para atender às especificações exigidas pela empresa ou sistema que irá fabricar a placa. Regras de espessura mínima da trilha, furos e espaçamentos são muito importantes para garantir o correto funcionamento e se evitar problemas de curto circuito entre outros.

Um importante procedimento é de se colocar plano terra em todo o resto da placa, ou seja, deixar regiões de cobre conectado ao terra preenchendo os espaços ao redor das trilhas, pois isso evita interferências e problemas com manuseio do circuito quando ligado.

Algumas mais vantagens de se trabalhar com circuitos impressos é que sistema fica mais firme, evita falhas e diminui o espaço ocupado total. O único problema é que se exige certo conhecimento do projetista na área, pois existem diversos detalhes a serem observados quando se trabalha com circuitos muito pequenos e próximos uns dos outros.

A fabricação de placas por encomenda necessita de tempo para receber o produto e certa confiabilidade do projeto estar corretamente desenhado. Uma alternativa muito viável é se produzir essas placas pessoalmente em laboratório. No LARA (Laboratório de Automação e Robótica), é possível se projetar e fabricar cada placa.



(a) Exemplo de circuito impresso em folha transparente.



(b) Placa virgem coberta de resina em fotossensível.

Figura 3.3. Exemplo de processo de fabricação de PCB.

A solução mais tradicional, utilizando papel, ferro de passar roupa, a placa virgem e o percloroeto de ferro proporcionam uma boa ferramenta para se iniciar um projeto, testes e etc. No LARA, devido ao trabalho anterior de certos alunos, se tornou possível realizar outro processo de fabricação semelhante que é de certa forma simples também. Ele consiste do seguinte processo:

- Limpeza das placas com palha de aço.
- Impressão em folha transparente do negativo do circuito (Figura 3.3(a)), de forma que onde houver trilha fiquem escuro e os demais transparentes.

- Distribuição de uma camada uniforme de resina sobre toda a placa virgem aonde for existir trilhas (Figura 3.3(b)), sempre em ambiente escuro.
- Aquecimento da placa com resina por 20 minutos a 80°C.
- Coloca-se a folha impressa sobre a placa com resina, e se expõe todo o conjunto à luz UV (ultravioleta) por aproximadamente 3 minutos.
- Remove-se a resina não exposta utilizando uma solução XXXX
- Com as trilhas já desenhadas com resina sobre o cobre, retira-se a folha impressa e mergulha-se a placa em solução de percloro de ferro.
- Mexendo o conjunto, aos poucos o cobre irá sair nas partes descobertas, somente deixando metal nas partes protegidas pela resina.
- Por fim, lave-se todo o material e placa, finalizando o processo.

Têm-se, ao final, placas de excelente qualidade e prontas para utilização. Lembrando somente que ainda é necessário se fazer os furos para o encaixe dos componentes.

### 3.3. ESTRUTURA E FUNCIONAMENTO GERAL

O sistema *hardware* como um todo pode ser dividido e analisado em blocos como mostrado no diagrama da Figura 3.4.

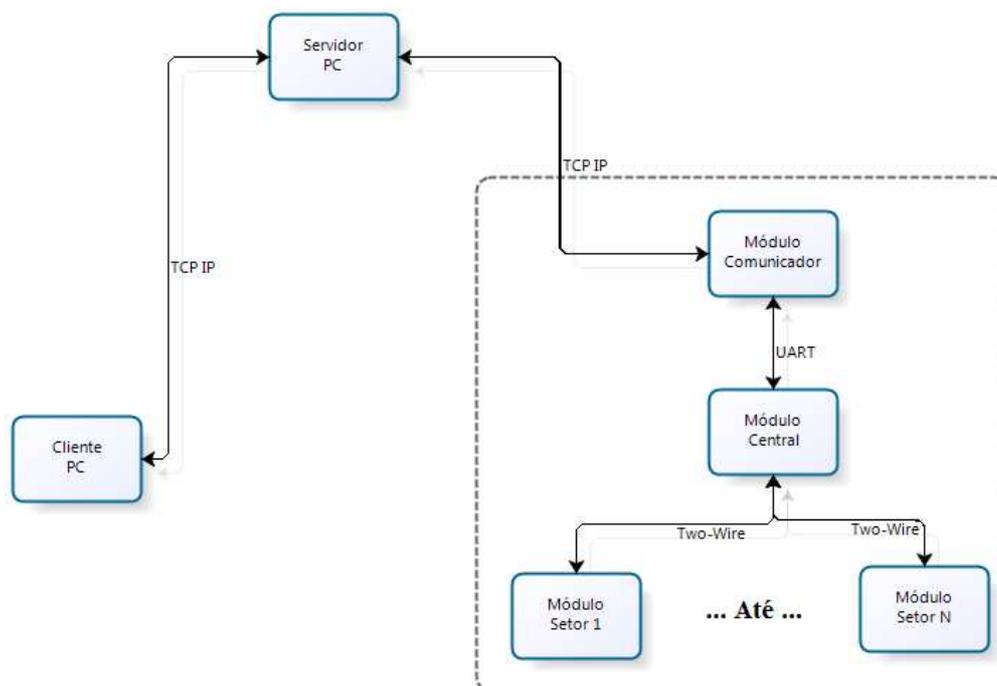


Figura 3.4. Diagrama de blocos do *hardware*, visão geral.

É importante lembrar que em uma comunicação entre dispositivos podem haver várias camadas que tornam todo o processo possível. Essas camadas, como mostrada na Figura 3.5, podem ser diferentes em cada elo de comunicação deste sistema.

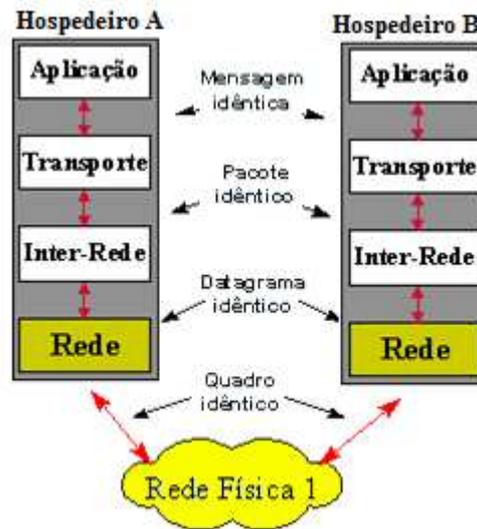


Figura 3.5. Camadas de comunicação entre dois dispositivos.

A estrutura geral de comunicação é baseada no protocolo TCP/IP (conjunto de protocolos de comunicação entre computadores em rede, aonde TCP vem de Protocolo de Controle de Transmissão e IP de Protocolo de Interconexão). Os blocos cliente, servidor e lógica de trabalho serão discutidos nos capítulos posteriores, por se tratarem de programas *software* desenvolvidos neste trabalho.

O módulo comunicador é responsável por toda troca de mensagens entre central, servidor e, conseqüentemente, com o cliente. Este módulo pode ser substituído por qualquer sistema que seja capaz de se comunicar pelo protocolo TCP/IP e conseqüentemente ter acesso à redes de computadores. Neste projeto é utilizado um circuito integrado (CI) capaz de se interligar ao sistema GPRS (Serviço Geral de Pacotes de Rádio). Este serviço é geralmente fornecido por operadoras de celular compatíveis, permitindo ao sistema possuir uma conexão via TCP/IP ao servidor. Todos os detalhes deste circuito serão discutidos na sessão 3.4.

Já o módulo central trata de interpretar e atuar sobre todas as mensagens recebidas e respostas esperadas pelo cliente. Gerencia algumas atividades periódicas (como sincronização do relógio geral) e alguns sensores (como sensor de chuva, temperatura entre outros). Alguns controles de atuação fundamentais também são realizados pelo módulo central, como ativação de motores e comandos de configuração dos módulos setores. Este módulo possui também três saídas de ligação para os setores, mas isso não restringe todo o

sistema à poucos setores, pois o protocolo de comunicação fornece a possibilidade de se conectar diversos dispositivos sobre a mesma linha de comunicação.

É possível fazer uma analogia de todo o sistema como o corpo humano. O módulo comunicador seria como os ouvidos e boca, responsáveis por receber e transmitir mensagens para os meios externos. O módulo central seria como o cérebro, responsável pela coordenação geral das operações. E como esperado, os módulos setores são as extremidades e nervos sensoriais do corpo, onde se trabalha diretamente sobre os alguns atuadores e se captam parâmetros de sensores fundamentais, como o de umidade.

O módulo setor é dado como escravo, pois ele somente toma decisões baseado nos comandos enviados pela central. Possui alguns sensores (sensor de umidade do solo e vazão) e um circuito de ativação do solenoide do registro que permite a irrigação de determinado setor. Existe uma configuração armazenada que rege todas as decisões deste módulo. A principal característica deste elemento é que ele atua sobre somente um setor de irrigação, ativando no máximo três solenoides ao mesmo tempo e possui três conexões de comunicação. Com somente uma dessas conexões o setor é totalmente integrado ao sistema (alimentado, conectado e pronto para atuar), restando mais duas conexões disponíveis para ligar mais outros dois módulos setores.

Desta forma todo o sistema pode possuir diversos setores, com todos eles ligados um ao outro em série, sem a necessidade de se ter número igual de encaixes físicos no circuito da central.

Em todos os módulos é colocado um LED (Diodos Emissores de Luz) indicador de presença de energia, ou seja, após o circuito regulador de tensão há, caso aceso, tensão de saída para aquele módulo.

No desenvolvimento de circuito e sistemas existe um detalhe que muitas vezes acaba não sendo uma preocupação inicial, mas que é fundamental para a qualidade e a longevidade de todo o sistema: os conectores. Esses elementos podem evitar mau contato, erros humanos na conexão ou até mesmo ruídos. A escolha correta depende do local, ambiente, posição, funcionalidade e principalmente facilidade do componente em determinado sistema.

Neste projeto, alguns encaixes tiveram que ser trocados para melhorar a segurança do sistema e garantir melhor funcionalidade. É interessante escolher entradas que possuam impedimentos físicos contra conexão invertida. Em cada conector foi pensado e avaliado a melhor característica possível e disponível. Atualmente existe uma imensa variedade de conectores, portanto é claro que com uma pesquisa mais voltada para esta melhoria, seria possível utilizar outros componentes ainda mais adequados para cada ponto do atual projeto, mas este não é exatamente o objetivo deste trabalho.

Todos os circuitos e protocolos internos, sejam na camada física ou de aplicação de comunicação entre os módulos, serão discutidos nos capítulos seguintes.

### 3.4. MÓDULO COMUNICADOR DETALHADO

O módulo comunicador é somente um intermediário entre as mensagens trocadas entre a central e o servidor/cliente. Para o correto funcionamento de todo o sistema, basta que este intermediário receba e envie todas as mensagens da central via protocolo UART (Receptor/Transmissor universal assíncrono).

Este protocolo é comumente utilizado em sistemas embarcados para comunicação entre componente. Ele possui diversos padrões de velocidade e algumas configurações que permitem aumentar a confiabilidade de sua transmissão. A configuração padrão e utilizada neste projeto é de 9600bps (bits por segundo), nenhuma paridade e 1 bit de parada.

#### 3.4.1. COMUNICADOR UTILIZADO

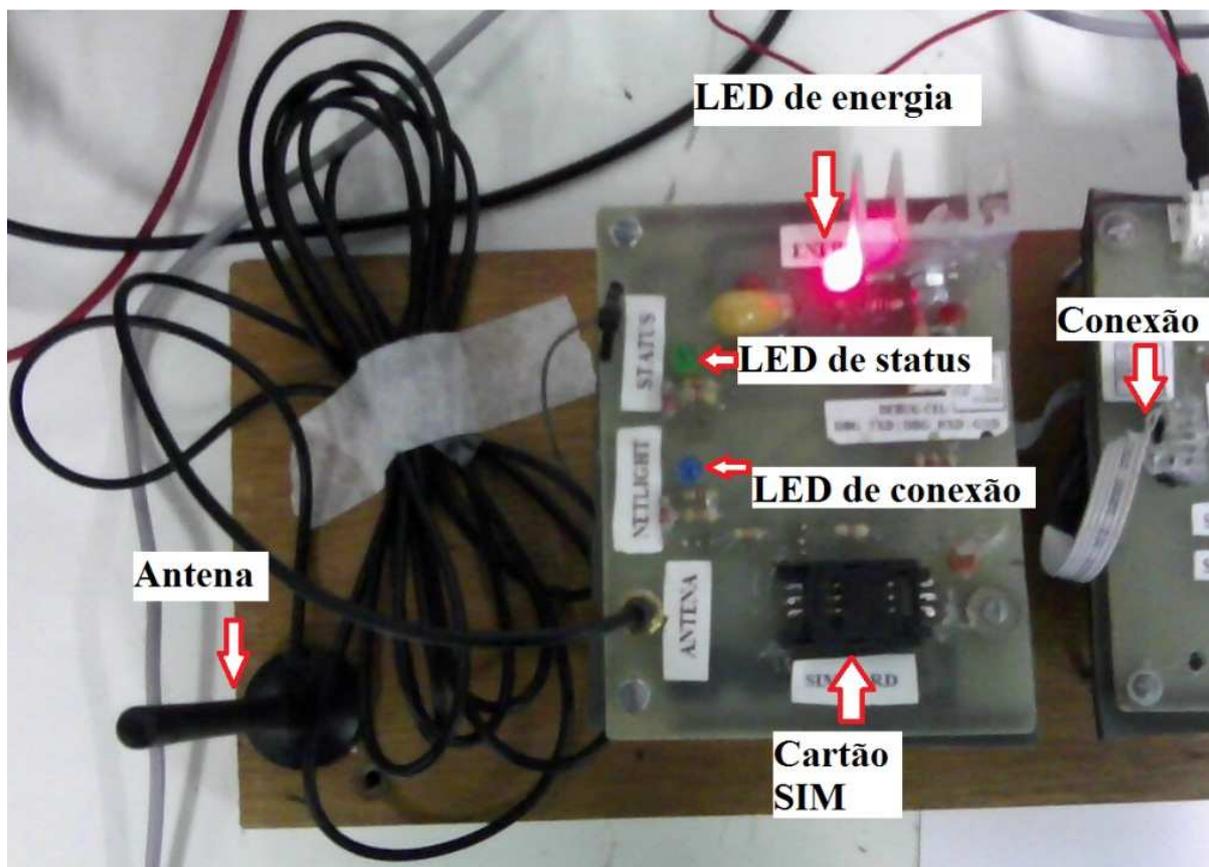


Figura 3.6. Placa e circuito utilizado como módulo comunicador.

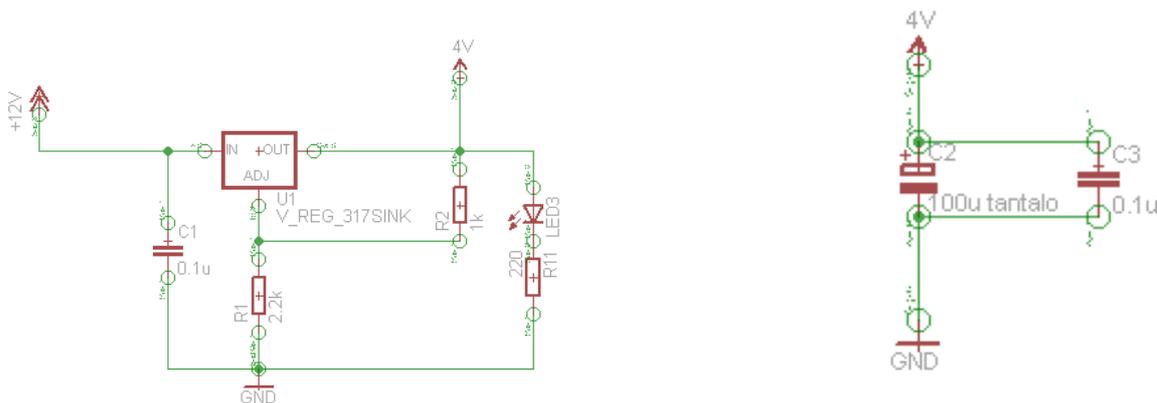
Neste projeto foi escolhido trabalhar com um comunicador wireless. O microchip da empresa SIMCOM, modelo SIM900D (Figura 3.7) é o componente utilizado para integrar a





### 3.4.2. CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO

O esquemático de alimentação deste sistema é apresentado na Figura 3.9.



(a) Alimentação com regulador LM317.

(b) Regulagem de tensão com capacitor.

Figura 3.9. Esquemático de alimentação do módulo comunicador.

A Figura 3.9(a) apresenta um esquema de regulagem de tensão para o módulo GPRS comunicador utilizado. É utilizado um circuito integrado LM317, onde a tensão de saída varia de acordo com a configuração de resistores acoplados.

O manual do circuito LM317 afirma que este componente suporta uma corrente típica de até 2,2A e atua fornecendo sempre que possível 1,25V de tensão entre seus pinos OUT (saída) e ADJ. Dessa forma, na equação( 1 )define-se a tensão de saída.

$$V_{out} = 1.25\left(1 + \frac{R1}{R2}\right) \quad (1)$$

A configuração apresentada, onde se aplicada 12V de entrada, um resistor R1 de 1kΩ e R2 de 2.2kΩ, obtem-se uma tensão de saída igual a 4V, necessária segundo a especificação do componente SIM900D.

Já na Figura 3.9(b) mostra um circuito que ajuda a manter a alimentação sobre o componente constante. Com um capacitor de 100µF de tântalo em paralelo a um de 0,1µF cerâmico, faz-se uma boa regulagem. Os capacitores cerâmicos possuem rápida resposta, necessárias para alimentar o sistema durante pequenos e fortes picos de alta frequência. Os capacitores de tântalo guardam uma grande quantidade de carga, podendo sustentar a

alimentação durante momentos de grande corrente. É muito importante que esse suporte de capacitores esteja bem perto dos pinos de entrada do microchip, possibilitando a rápida resposta.

### 3.4.3. CIRCUITOS AUXILIARES

Nesta placa ainda existe também mais dois circuitos acoplados de potência (Figura 3.10), onde se alimentam LEDs. Um é responsável por indicar quando o chip está ligado (verde) e o outro por indicar quando e como está a conexão do sistema com a rede da operadora (azul).

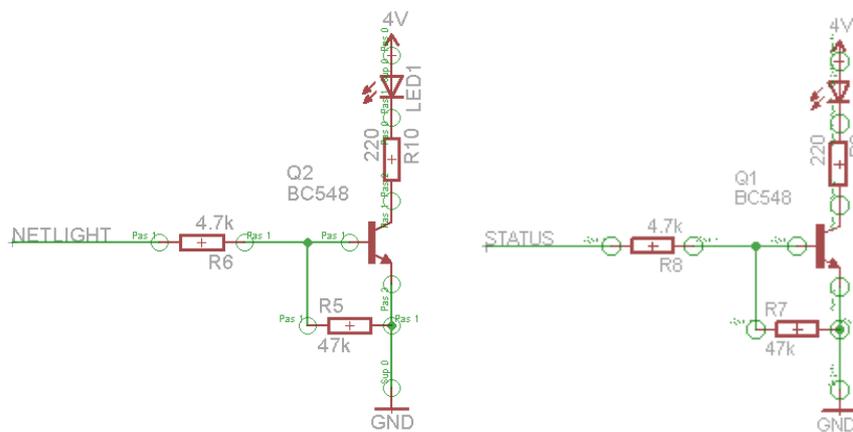


Figura 3.10. Circuito de potência para ativação dos LEDs.

Semelhante aos circuitos de potência do LED, o circuito da Figura 3.11, o processo de ligar e desligar o módulo é feito por um sinal enviado para um transistor que aterra o pino PWRKEY do chip SIM900D. Quando conectado ao terra por mais de 1500ms, o chip se alterna entre ligado/desligado.

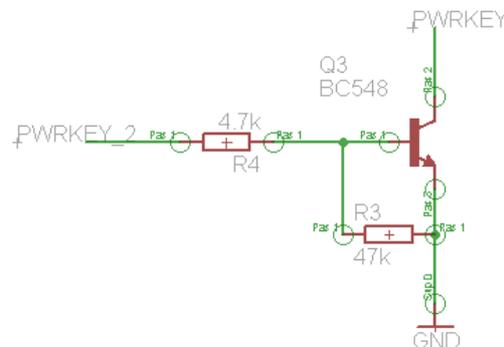


Figura 3.11. Esquemático de conexão do pino PWRKEY.

Para o devido registro e acesso à rede da operadora, é necessário um cartão SIM. Com este, dependendo do pacote de dados assinado com a operadora, faz-se possível

realizar todas as operações que um celular comum faz, incluindo conectar-se na internet. O chip SIM900D oferece uma conexão muito simples com os cartões SIM. A Figura 3.12 apresenta o circuito de conexão necessário.

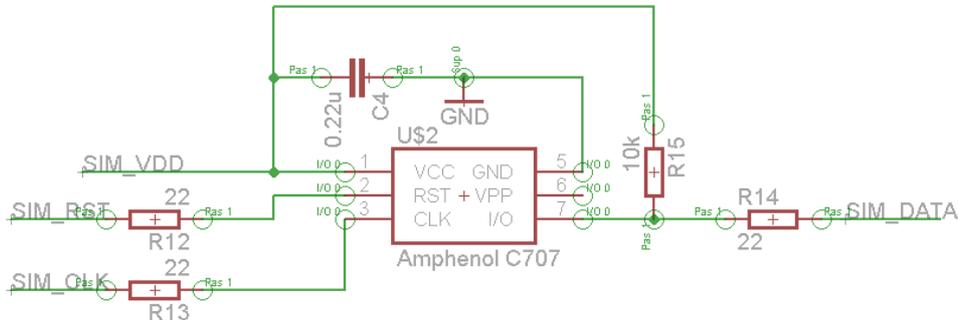


Figura 3.12. Esquemático de conexão dos pinos do cartão SIM com os pinos do módulo GSM/GPRS.

A comunicação entre o cartão e o módulo GSM/GPRS é automaticamente controlada internamente no chip SIM900D. Isso inclui a identificação da presença deste e sua tensão de alimentação, que varia entre 1.8V e 3V.

Para uma padronização da conexão entre o módulo comunicador e o módulo central, existe uma sequência definidas de pinos que irão se conectar uma placa com a outra. A Figura 3.13 representa todas as posições de pinos deste padrão.

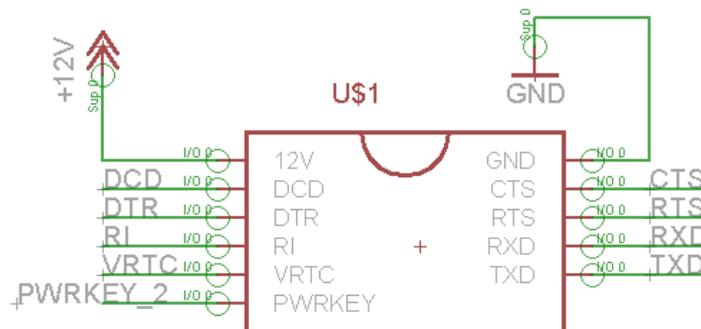


Figura 3.13. Padrão de conexão entre o módulo comunicador e central.

A Tabela 3.1 apresenta a sequência de funcionalidades de cada pino utilizado nesta conexão.

Tabela 3.1. Definição dos pinos utilizados.

PINO	Função	PINO	Função
+12V	Alimentação	GND	Terra

<b>DCD</b>	Indicador usado na comunicação	<b>CTS</b>	Indicador usado na comunicação
<b>DTR</b>	Indicador usado na comunicação	<b>RTS</b>	Indicador usado na comunicação
<b>RI</b>	Indicador de eventos de chamada, SMS e etc	<b>RXD</b>	Receptor UART (3.3v)
<b>VRTC</b>	Alimentação do contador de tempo real (RTC)	<b>TXD</b>	Transmissor UART (3.3V)
<b>PWRKEY_2</b>	Entrada do sinal de Ligar/Desligar		

Para possibilitar uma futura pesquisa de problemas ocorrendo dentro do chip, os pinos **DBG\_RXT** e **DBG\_TXD** foram deixados disponíveis. Estes pinos transmitem informações que ajudam a encontrar pontos de falha no processo, comumente chamados *DEBUG* (Termo inglês referente à ferramenta de identificação de erro em um sistema).

### 3.5. MÓDULO CENTRAL DETALHADO

Este módulo possui extrema importância em todo o sistema, pois gerencia todos os demais processos, além dos existentes internamente.

O módulo central (Figura 3.14) e setor possuem certas características e modo de operação que se assemelham entre si, diferenciando somente na questão de quem controla e quem recebe comandos. Isso caracteriza uma relação mestre e escravo, termo comumente utilizado na informática.

Para maior precisão de tempo, o sistema possui integrado ao módulo central um chip de RTC (Relógio de Tempo Real). Este possui baixo consumo, longa durabilidade e maior precisão.

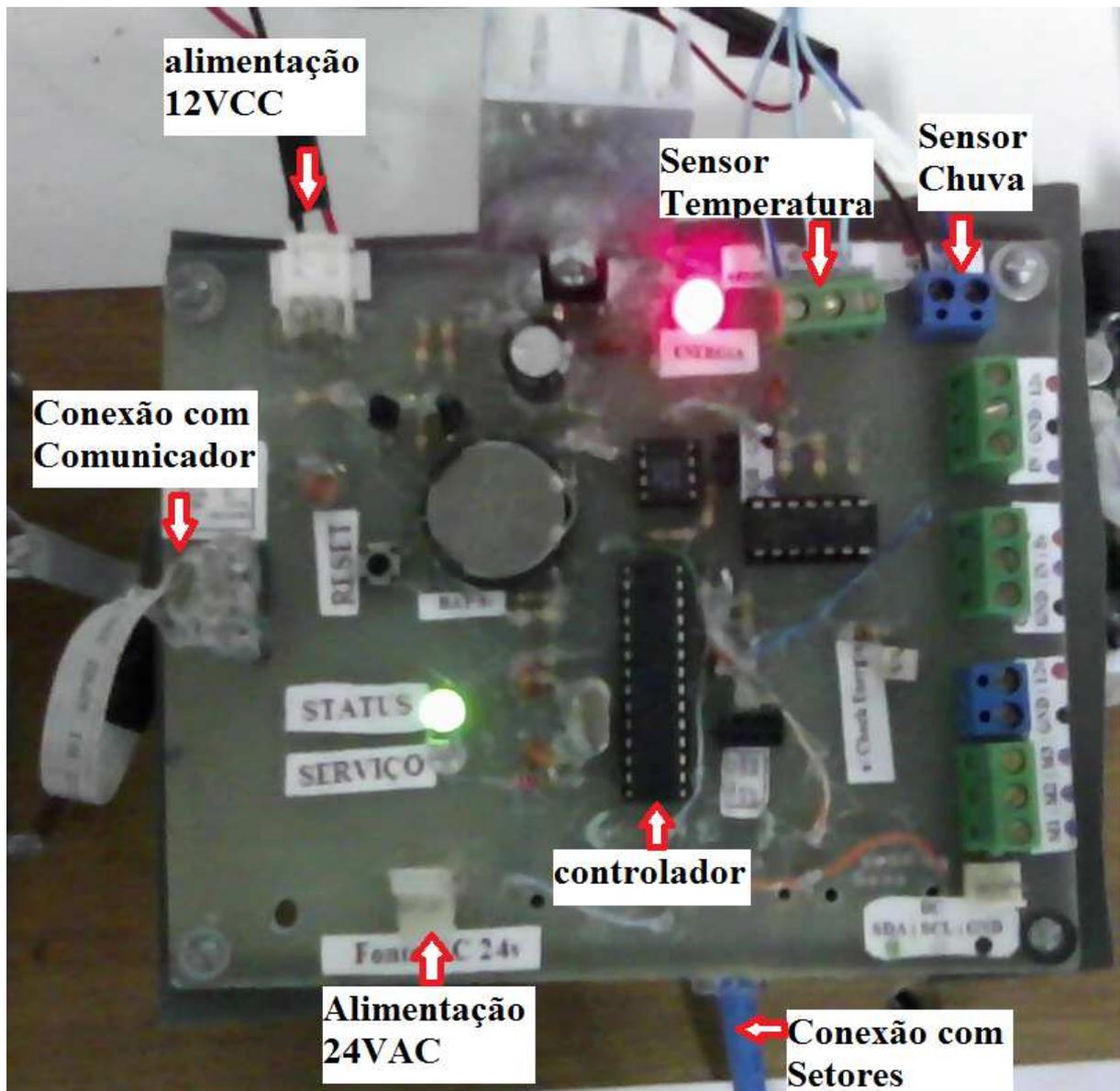


Figura 3.14. Placa e circuito do módulo central.

Todo esse circuito também foi projetado e desenvolvido utilizando o processo de fabricação de PCB mencionado anteriormente. Dessa forma a XXX apresentada o circuito projetado para receber os componentes que formam o módulo central.

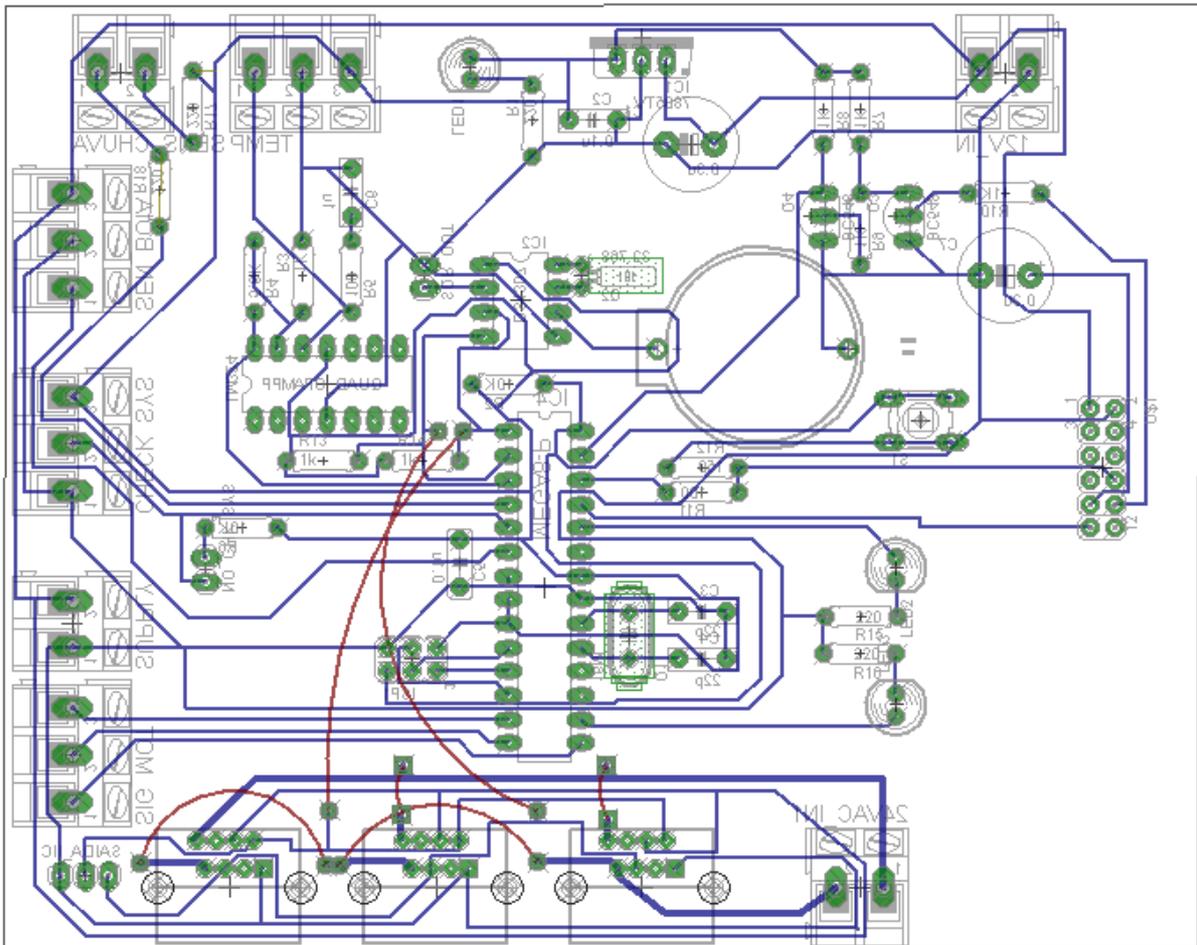


Figura 3.15. Projeto de PCB para o módulo central (visão do fundo).

### 3.5.1. CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO

O esquemático de alimentação deste sistema é apresentado na Figura 3.16.

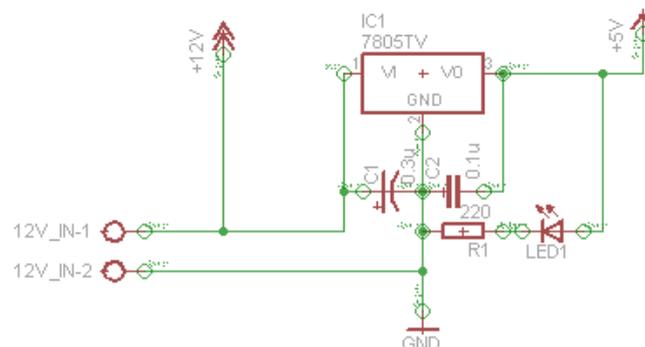


Figura 3.16. Esquemático de alimentação do módulo central.

A entrada principal 12V (corrente contínua) de alimentação é feita neste componente, que por sua vez distribui para todos os demais periféricos, como módulo comunicador e setor (esses recebem uma alimentação derivada da entrada de 12V, portanto possuem seus

próprios reguladores de tensão). Utilizando um circuito integrado LM7805 (regulador de tensão 5V), obtêm-se uma fonte de alimentação regulada capaz de sustentar todo o módulo e ainda fornecer algumas saídas necessárias para alguns periféricos, como o sistema de checagem de energia, sensores e etc.

Outra importante alimentação é a de 24VAC (corrente alternada) que, distribuída para os setores, poderá ativar os solenoides. Esta tensão é fornecida por um transformador capaz de fornecer até 2A com 24VAC para uma entrada de 220VAC.

### 3.5.2. MICROPROCESSADOR CENTRAL

Com a funcionalidade de gerenciar e comunicar com todos os demais módulos, esse componente é um dos principais componentes de todo o sistema. Portado de diversos atributos e periféricos, esse elemento é uma poderosa e necessária ferramenta para sistemas embarcados. Ainda pode ser programado para atuar de acordo com o necessário para diferentes projetos e possuir uma memória interna de longa duração.

Existem no mercado muitos modelos de microprocessadores, dos mais sofisticados aos mais simples e econômicos. Esses componentes estão presentes em diversos produtos e equipamentos existentes hoje, pois são rápidos nos seus processamentos e ocupam pouco espaço.



Figura 3.17. Microprocessador ATMEL, ATMEGA328p.

Neste projeto, não há a necessidade de um ótimo processador, mas sim de um com baixo custo e fácil operação. Devido a simplicidade de se programa-lo, substituir e ainda adquirir, o microprocessador ATMEGA328p (modelo DIP, conexão de encaixe, ) foi escolhido. Este elemento possui características fundamentais ao desenvolvimento inicial, como:

- Fácil programação
- Fácil substituição
- Gravadora ISP (Programação dentro do sistema) de baixo custo e fácil manuseio
- 32 KB de memória programável
- 1 KB de memória não volátil (que não se apaga ao desligar)

- 3 Temporizadores independentes
- 6 canais de conversão analógico/digital de 10 bits
- Comunicação UART e Two-Wire (semelhante ao IIC)
- Interrupções em todos os pinos
- Compatível com cristais geradores de CLOCK de até 20 MHz.
- Baixo consumo de energia.

Importante lembrar que este componente trabalha com níveis TTL (5V).

Uma facilidade fornecida por estes microchips é a possibilidade de se alterar completamente seus *softwares* sem precisar removê-los das placas onde estão trabalhando. Isto é possível, pois geralmente estes componentes possuem comunicação SPI, umas das interfaces capazes de realizar este processo.

Neste caso, o microprocessador deve possuir um pino chamado *RESET*, capaz de forçar um reinício de todo o programa executado no chip. Durante a inicialização, este componente pode receber sinais específicos em seus pinos MISO, MOSI e SCK. Estes sinais podem iniciar um processo de gravação de seu *software* e continuar recebendo sinal, até que se termine de transmitir todo o programa. Uma gravadora muito simples e de baixo custo disponível é a mostrada na Figura 3.18, onde foi desenhada e montada no próprio LARA.



Figura 3.18. Gravadora ISP montada em laboratório.

Esta gravadora é uma excelente ferramenta durante o desenvolvimento, pois possui saídas (fios coloridos e cinza) que permitem conectar seus pinos diretamente com o microcontrolador localizado em outra placa. Possui LEDs indicadores de *status* (vermelho) e processo de gravação (verde). Para sua utilização, basta instalar um driver no SO (sistema operacional) e utilizar os *softwares* de programação, como o winavr ou arduino.

### 3.5.3. CONEXÃO COM O MÓDULO COMUNICADOR

Como já citado anteriormente, a central e o comunicador possuem uma conexão especial. Com ela é possível que ocorra o correto protocolo entre os componentes.

Neste projeto, como somente foi utilizado o protocolo AT de comunicação via UART, não foi preciso ter acessos a quase nenhum dos pinos citados na Tabela 3.1, pois por meio deste protocolo é possível saber qual o status do módulo GSM/GPRS e quais as respostas geradas por cada comando enviado da central. Sendo assim, os pinos utilizados são os conectados apresentados na .

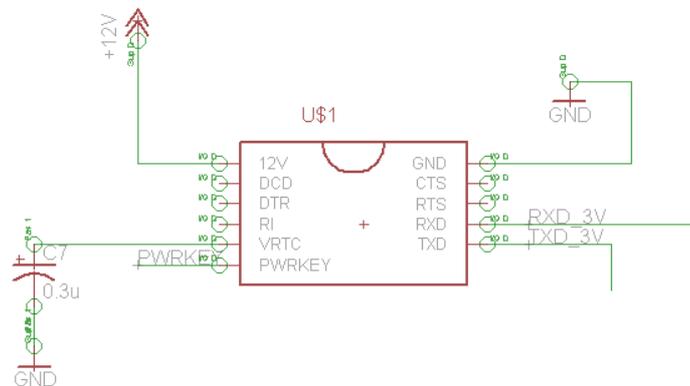


Figura 3.19. Conexão necessária para comunicação entre o módulo central e comunicador.

É interessante observar que o pino VRTC não foi conectado a uma fonte, pois segundo as especificações do próprio fabricante do SIM900D, este componente já é internamente alimentado, somente precisando de um capacitor para segurar a tensão no nível desejado.

Além dos pinos de alimentação fornecidos diretamente pela central (12V e GND), há o pino PWRKEY, conectado diretamente ao microcontrolador, e os de comunicação RXD e TXD, conectados em circuito intermediários de conversão de níveis lógicos.

### 3.5.4. CONVERSÃO DE NÍVEIS LÓGICOS

Todo o processo de conversão depende muito do sentido da informação por aquela via. No caso do protocolo UART, cada pino possui um único sentido, como mostrado na Figura 3.20.

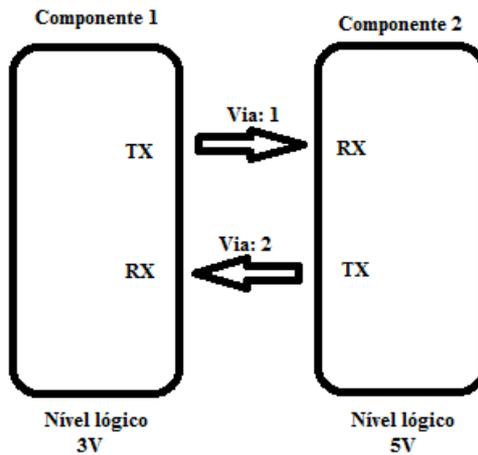
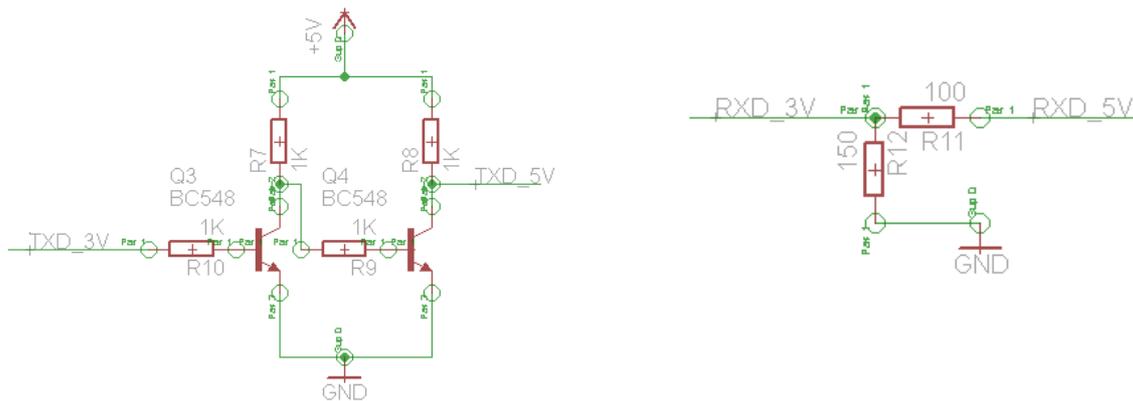


Figura 3.20. Diagrama de fluxo de comunicação UART.

Componentes como o microcontrolador ATMEGA328p e o SIM900D possuem níveis lógicos diferentes. Por isso é necessário um pequeno circuito conversor presente nessas vias, apresentado na Figura 3.21.



(a) Conversor TX 3V/5V, via 1

(b) Conversor RX 3V/5V, via 2

Figura 3.21. Esquemático dos conversores de nível lógico.

O conversor de sinais da via 2 (Figura 3.21(b)) é na verdade um circuito muito simples denominado divisor resistivo, pois só o que é feito é uma redução do nível lógico. Já o conversor presente na via 1 necessita que um sinal de 3V seja transformado em 5V, isso é possível com a utilização de transistores de junção bipolar (TJB) do tipo NPN, alimentados em 5V, mostrados na Figura 3.21(a). São necessários dois transistores, pois nesta configuração o sinal sai invertido do primeiro e é corrigido pelo segundo, mantendo a lógica original.

### 3.5.5. COMUNICAÇÃO ENTRE MÓDULO CENTRAL E SETOR

Diversas interfaces poderiam ser adotadas para se realizar a comunicação entre cada módulo setor e a central. A diferença dentre elas se dá principalmente em relação à distância máxima de comunicação, a taxa de transferência, confiabilidade e meio físico.

A interface utilizada neste projeto é a já existente no microcontrolador ATMEGA328p, *two-wire* que é compatível com a interface IIC (Circuito Inter Integrado). Este protocolo permite inserir, em uma só linha de comunicação, vários componentes. Para isso, cada um inserido nesta linha deve possuir um endereço, no qual irá responder quando solicitado. Os endereços podem variar de 0 a 127, sendo alguns destes reservados para determinadas funções.

Outra vantagem desse protocolo é sua constante verificação de mensagem recebida e sincronização no envio de dados. Cada informação é transmitida com um sinal de sincronismo e para cada *byte* enviado, o receptor responde com um sinal de resposta (ACK).

Apesar de o protocolo IIC ter sido projetado para linha de distâncias inferiores a 10cm ou capacitância até 400pF, o protocolo *two-wire* do microcontrolador permite utilizar maiores correntes e com isso alcançar maiores distâncias.

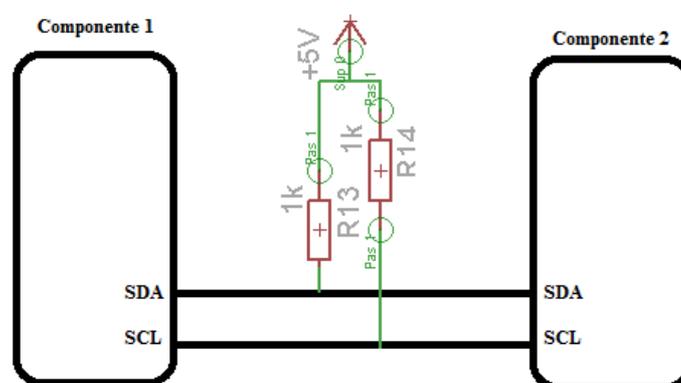


Figura 3.22. Esquemático de ligação da interface *two-wire*.

Em testes reais de operação feitos em laboratório, a interface do microcontrolador, montada segundo a Figura 3.22 com resistores de 1kΩ, conseguiu comunicar 7 metros sem falhas ou atrasos, utilizando a frequência padrão de funcionamento (100KHz).

A frequência de comunicação influencia muito na distância máxima de comunicação. No protocolo IIC, a frequência mínima é de 10KHz, já no *two-wire* o limite é muito baixo, chegando a enviar a até menos de 50Hz. Com isso é possível ampliar ainda mais a distância máxima de comunicação, entretanto não foi testado neste projeto.

Uma alternativa muito viável para se estender as distâncias máximas é a utilização de circuitos integrados extensores, como o P82B715. Segundo o fabricante, utilizando a frequência padrão de comunicação (100KHz), pode-se estender a comunicação em aproximadamente 50 metros ou 3000pF. A Figura 3.23 apresenta a forma de conexão destes componentes demonstradas no manual do fabricante.

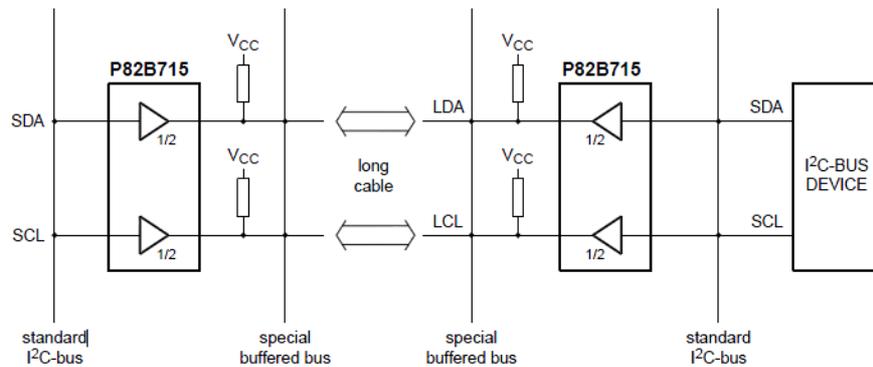


Figura 3.23. Esquema de ligação do extensor ICC.

Desta forma, o protocolo fornecido pelo microcontrolador foi uma boa escolha para a comunicação central-setor deste projeto, ainda que apoiado pelas capacidades do componente P82B715.



Figura 3.24. Conexão e cabos Rj-45.

Por questões de facilidade e confiabilidade no projeto, os cabos RJ-45-568A (Figura 3.24) foram usados para realizar a comunicação entre os módulos.

Esses cabos possuem pares de fios entrelaçados que reduzem o efeito de ruídos externos. Possuem fácil encaixe e remoção, além de serem fáceis de trabalhar.

No circuito do módulo central existem três conexões RJ-45 comuns entre si. Desta forma, com uma só conexão do cabo é possível se conectar oito fios diferentes. Assim, a Figura 3.25 apresenta quais conexões são feitas com este cabo.

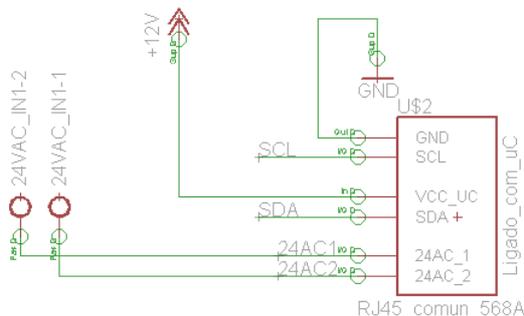


Figura 3.25. Conexão Rj-45 utilizada no projeto.

Portanto, com uma só conexão RJ-45 é possível criar uma linha que alimentará e fornecerá comunicação com vários outros módulos setores. O fato de se transportarem correntes alternadas e contínuas próximas da linha de comunicação não gera falhas ou atrasos segundos as observações feitas anteriormente sobre o protocolo *two-wire*. Testes realizados no laboratório, com um cabo Rj-45 de 5 metros, resultou que a comunicação continuou funcionando a uma distância de 5 metros, mesmo com todas as linhas ativas e frequência de 100KHz.

Para fins de identificação de erros e futuras aplicações, saídas de comunicação *two-wire* ficam disponíveis na placa central, bem como em cada placa de módulo setor, onde também se tem saídas de comunicação UART.

Mais testes necessitam ser feitos para garantir a funcionalidade deste meio de comunicação para a aplicação real de longas distâncias, mas é importante ressaltar que há sempre alternativas viáveis que garantem a funcionalidade deste projeto atual, como o uso dos extensores, substituição dos cabos, diminuição da frequência e aproximação dos módulos setores, utilizando fios para seus sensores.

### 3.5.6. TEMPORIZADOR CENTRAL

Neste módulo central é utilizado um circuito integrado DS1307 (Figura 3.26), capaz de manter uma contagem razoável da medida de tempo durante longos períodos, com baixo consumo. Segundo o fabricante, utilizando-se uma bateria de lítio é possível manter o sistema funcionando corretamente por mais de 10 anos, em condição ambiente.



Figura 3.26. Chip RTC DS1307.

Outra vantagem deste componente é sua interface de comunicação. Utilizando mensagens enviadas pela interface IIC, pode se configurar ou requisitar os segundos, minutos, horas e até mesmo a data completa, como dia, dia da semana, mês, ano. Pode-se também configurar para que este disponibilize em seu pino SQW/OUT uma onda quadrada de frequência configurável, disponível por um conector presente ao lado do DS1307.

Deve-se tomar uma atenção especial com este circuito em relação ao pino  $V_{BAT}$ , pois este deve sempre estar conectado à alguma fonte de energia, para que, em caso de ausência de alimentação, o chip possa continuar operando, sem perder a contagem. É possível alimentá-lo com um capacitor de alta capacitância ou com uma bateria de lítio (utilizado neste projeto).



Figura 3.27. Cristal de quartzo usado em sistemas RTC.

Os pinos x1 e x2 devem ser ligados diretamente a um cristal de quartzo (Figura 3.27) com frequência de 32,768 KHz. Tomado sempre muito cuidado para não deixar trilhas ou fonte de magnetismo muito próximas deste cristal e, de preferencia, um plano terra logo abaixo deste. Esse cristal pode ser facilmente encontrado em placas mãe inutilizadas.

A Figura 3.28 apresenta o esquema de ligação padrão deste RTC.

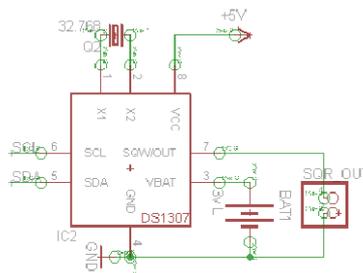


Figura 3.28. Esquemático de ligação do circuito RTC.

### 3.5.7. SENSOR DE TEMPERATURA

Para se medir temperatura, existem vários dispositivos, dos mais precisos aos mais simples. Neste trabalho, a variável de temperatura não necessita de tamanha exatidão, pois somente irá medir a temperatura ambiente. Portanto a utilização do circuito integrado LM35 (Figura 3.29) proporciona uma boa precisão e fácil integração.



Figura 3.29. Circuito integrado LM35.

Este componente, quando alimentado com uma tensão de 5V, fornece em seu pino de saída tensões que correspondem proporcionalmente à temperatura medida. Segundo o fabricante, este elemento possui uma não linearidade máxima de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  e uma precisão típica de  $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$ . A saída é dada em miliampéres, de forma que  $22.5^{\circ}\text{C}$  correspondam a 225mA.

Utilizando o conversor A/D (Analógico/Digital) de 10bits (valores de 0 a 1023), periférico presente no microcontrolador, é possível conhecer qual o valor de tensão presente na saída do sensor de temperatura. Como a tensão máxima medida pelo periférico é de 5V, Tem-se que este possui uma precisão de:

$$(0 - 5V) \rightarrow (0 - 500^{\circ}\text{C}),$$
$$\text{Logo} \rightarrow \frac{5000\text{mV}}{1023\text{bits}} = 4,8\text{mV/bit} \rightarrow 0,48^{\circ}\text{C/bit} \quad (2)$$

Desta forma o conversor só irá identificar mudanças de temperatura para variações de acima de  $0,48^{\circ}\text{C}$ . Para melhor precisão no processo de conversão de informação analógica, utiliza-se um amplificador operacional (AmpOp) ligado segundo a Figura 3.30.

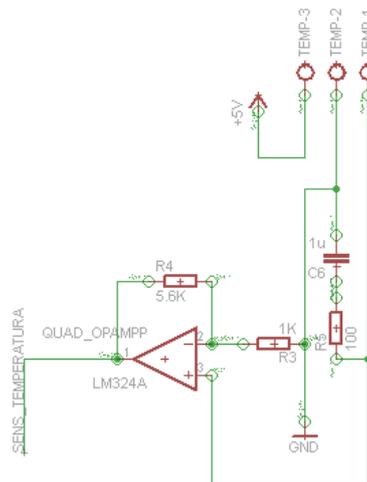


Figura 3.30. Esquemático de ligação do sensor junto ao AmpOp, onde TEMP\_3 é a alimentação do LM35, o TEMP\_2 é o terra do circuito e o TEMP\_1 é a saída do sensor.

Neste circuito é feita a filtragem de pequenas oscilações e a amplificação da tensão de saída do sensor, segundo a equação ( 3).

$$V_{Sens\_temperatura} = V_{TEMP\_1} \left( 1 + \frac{R_4}{R_3} \right) \quad (3)$$

$$3,5V = V_{TEMP\_1} \left( 1 + \frac{5,6\Omega}{1\Omega} \right) = 6,6V_{TEMP\_1} \quad (4)$$

$$\rightarrow V_{TEMP\_1} = 530mV \rightarrow 53^\circ C$$

Assim, o conversor pode possuir mais precisão na variação da temperatura. Sabendo-se que a saída do amplificador irá gerar até 3.5V, segundo especificação do fabricante para alimentação de 5V, e que isso corresponde a 53°C (Eq. ( 4), tem-se uma nova precisão, demonstrada na equação ( 5).

$$(0 - 3,5V) \rightarrow (0 - 53^\circ C),$$

$$Logo \frac{4,8mV/bit}{\frac{3500mV}{53^\circ C}} = 0,07^\circ C/bit \quad (5)$$

Com isso, tem-se um sistema com precisão satisfatória, suficiente para atender aos requisitos deste projeto.

### 3.5.8. SENSOR DE CHUVA

A ocorrência de chuva geralmente reduz a necessidade de irrigação, pois dependendo da quantidade de água precipitada, o solo já atinge o nível desejado para determinado plantio.

O sensor de chuva utilizado foi o RSD-BEX (Figura 3.31), adquirido da empresa RainBird. Este sensor possui baixo custo, robustez e boa medida da quantidade de água precipitada. É fácil de regular a quantidade de água que irá ativa-lo e ainda pode ser configurado para simular a drenagem do solo.

Este componente é na verdade um simples interruptor adaptado junto a um conjunto de material absorvente, capaz de inchar e acionar o interruptor quando em contato com a água.



Figura 3.31. Sensor de chuva RSD-BEX, adquirido da RainBird.

Aplicando-se 5V na entrada do sensor e conectando-se o fio normalmente aberto na entrada do conversor A/D do microcontrolador, torna-se possível saber quando há ou não chuva.

### 3.5.9. DEMAIS PERIFÉRICOS PREVISTOS

Alguns periféricos necessários para o funcionamento completo deste sistema estão previstos para serem projetados, mas por questões de tempo não foi realizado ainda. Isto não atrapalha a correta demonstração e funcionamento parcial, pois os componentes previstos somente servem para atuar e checar sinais que já são emitidos ou verificados pelo projeto atual.

São três componentes:

- Sinais de ativação dos motores
- Sensor de boia do reservatório

- Sensor de energia geral

Está previsto a possibilidade de ativar até três motores simultaneamente. Seria o caso de ter uma motobomba principal da irrigação, uma para reabastecer o reservatório e uma última como opção de auxiliar para outro sistema de irrigação e etc.

O sinal de ativação do motor é configurado junto ao *software*, e é emitido toda vez que um setor inicia sua atividade de irrigação. É previsto um projeto de circuito para ativação de motor trifásico semelhante ao relé (Figura 3.32) produzindo pela empresa METALTEX.



Figura 3.32. Relés trifásicos TST-10A eTST-40AS-P, respectivamente.

Este componente possui procedimentos de ativação segura, garantindo durabilidade e problemas elétricos, como transição de estado no zero volts, circuito *SNUBBER* (proteção de picos em circuitos com características indutivas), proteção contra queda de fase e opta isolamento das entradas de controle. Um microcontrolador de níveis lógicos TTL (5V) é capaz de ativar seguramente motores com até 10A ou 40A, sem demais componentes, utilizando somente estes relés, pois a entrada de controle aceita tensões de 3V a 32V.

O sensor de boia pode ser usado em ambientes onde se possui reservatório e alguma fonte de abastecimento, como cisternas. Quando o nível de água ficar abaixo do especificado, seria possível ligar a motobomba para que o nível correto fosse reestabelecido. Este sistema ainda não foi projetado ainda neste trabalho, portanto é somente um item previsto do sistema.

O sensor de energia geral é um periférico previsto, pois em casos onde o relé trifásico apresentado não seja usado, se torna necessário um circuito para identificar a presença de energia nas três fases necessárias. Isto acontece, pois quando (e geralmente acontece em áreas rurais) cai a energia de uma das fases, deve-se desligar rapidamente os componentes trifásicos, como o motor, com risco de perda parcial ou total de certos componentes ligados à este. Assim o sensor de energia é um auxiliar do circuito de ativação de motores comentado anteriormente.

### 3.6. MÓDULO SETOR DETALHADO

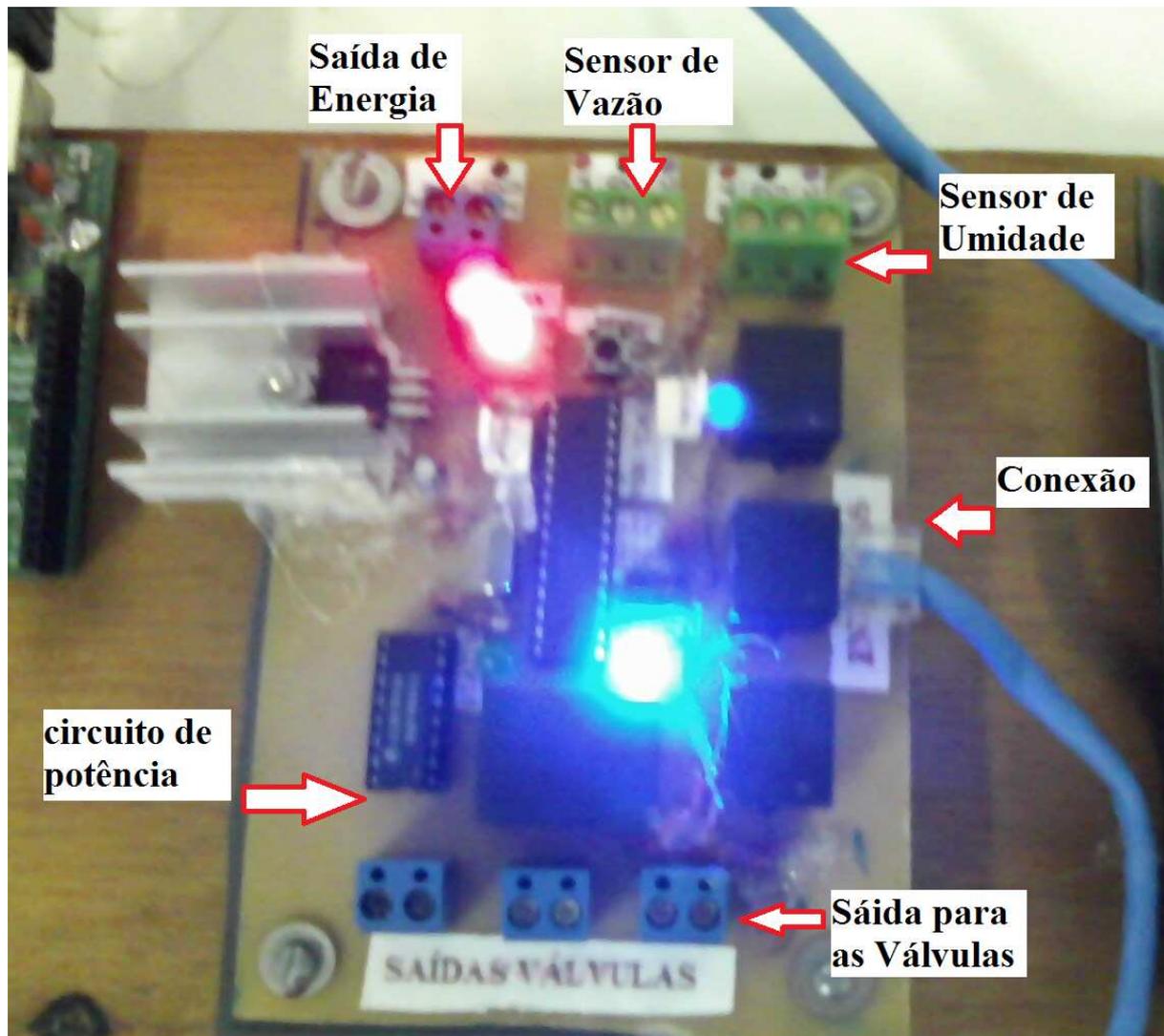


Figura 3.33. Placa do módulo setor.

Este módulo se assemelha ao central. O processador é o mesmo, possui o mesmo método de gravação, encaixe físico e alimentação. Como explicado anteriormente, uma conexão RJ-45 providencia todos os sinais necessários para o funcionamento de um setor.

Para possibilitar a continuidade da linha de comunicação conectada à central, cada setor possui mais três encaixes RJ-45, dessa forma podendo até criar bifurcações da linha principal.

O que difere este elemento dos demais é a capacidade de ativar as válvulas solenoides responsáveis por abrir o registro da irrigação de determinado setor, bem como adquirir dados periódicos da umidade relativa e quantidade de água aplicada.

Existe ainda uma saída de energia, projetada para futuras aplicações. Ela disponibiliza uma tensão de 5V regulada.

### 3.6.1. CIRCUITO DE POTÊNCIA E ATUADOR DOS REGISTROS

A válvula adquirida da RainBird (Figura 3.34) é capaz de abrir e fechar o fluxo de água necessário para a irrigação quando alimentado com uma tensão de 24VAC. Ela possui robustez, regulagem de fluxo e abertura que torna sua utilização bastante viável neste projeto.



Figura 3.34. Válvulas série DV fornecida pela RainBird.

Este atuador trabalha com corrente alternada (0,3A na ativação e 0,19A mantendo ativo) por meio de solenoide, necessitando assim de um circuito de proteção e ativação.

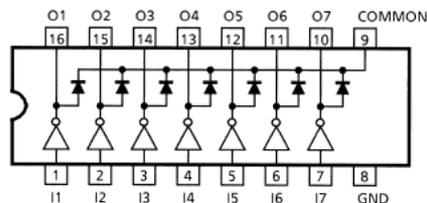


Figura 3.35. Funcionamento do ULN2003A.

O circuito ULN2003AN (Figura 3.35) é capaz de chavear uma saída de até 50V de corrente contínua utilizando somente um sinal de entrada, que pode variar de -0,5 até 30V também CC, fornecendo proteção e facilidade de controle para o microprocessador. Montado segundo o circuito da Figura 3.36, torna-se possível ativar um relé de 12V que irá alimentar a válvula solenoide de corrente alternada.

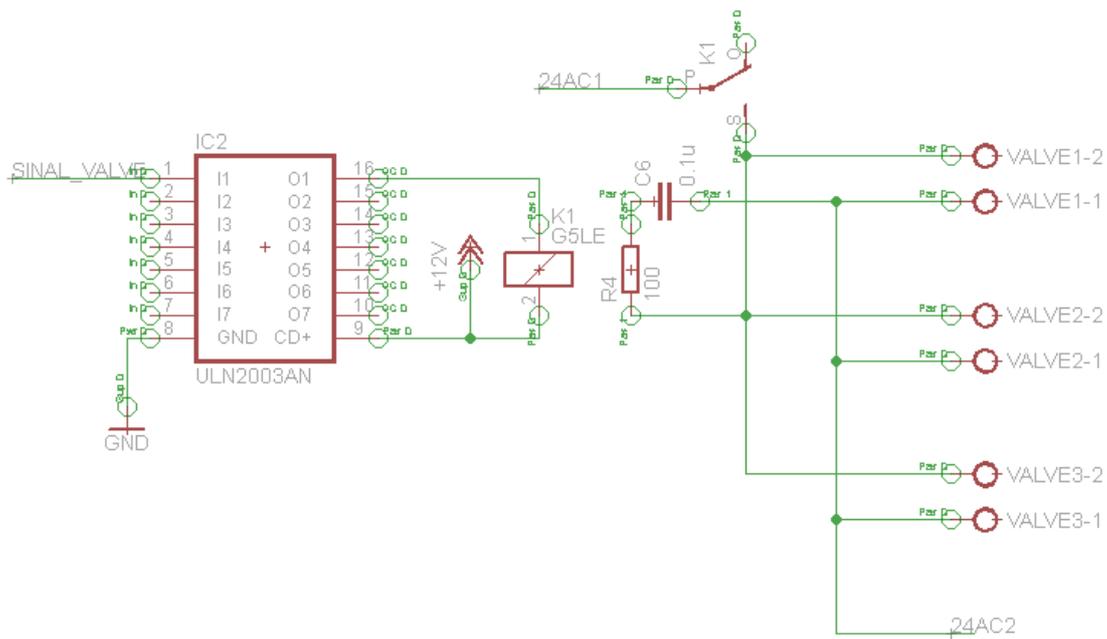


Figura 3.36. Esquemático de ligação das válvulas solenoides.

Entretanto, a maior parte dos circuitos que possuem um indutor (bobina, solenoides e etc) podem gerar picos de tensão durante uma repentina variação da tensão sobre seus contatos. Esses picos podem gerar altas correntes, que danificam o equipamento e o circuito de ativação.

Um meio viável de se minimizar essa rápida variação de tensão e conseqüentemente proteger o circuito é utilizar o chamado *SNUBBER*. Na Figura 3.36, pode-se observar que o capacitor C6 e o resistor R4, em série, estão ligando os dois contatos que alimentam o atuador. Essa ligação permite que a tensão varie suavemente sobre os contatos do indutor, evitando os picos de corrente.

Existem três saídas para ativação de registros, ou seja, cada setor pode ativar, ao mesmo tempo, três válvulas. Devido ao transformador utilizado, o máximo suportado possível é de seis válvulas, dada a corrente de ativação utilizada, ou nove se ativadas sequencialmente.

### 3.6.2. SENSOR DE UMIDADE

A medida da umidade no solo pode ser obtida de diversas formas. Um sensor mais elaborado, como a Figura 3.37, possui maior precisão e também fornece outras medidas, como temperatura do solo e salinidade. Este sensor possui um custo mais elevado e não possui uma interface para enviar suas medidas a outro dispositivo, somente um visor e botões para interface humana. A forma de aquisição deste sensor é bem complexa, pois este funciona com o sistema TDT (*Time-domain transmissometry*).



Figura 3.37. Sensor de umidade SMRT-Y fornecido pela RainBird.

Outros fabricantes, como a Acclima, fornecem o mesmo modelo de sensor, mas com interface serial, acessível a outros microcontroladores.

Em diversos artigos e projetos pesquisados, utiliza-se o sensor de umidade como eletrodos inseridos em material poroso, como gesso, nylon e fibra de vidro. Este sensor possui baixo custo e fácil fabricação. Segundo MACIEL (2005), todos os métodos apresentam limitações, ou ainda um elevado nível de complexidade. Este sensor de gesso utilizado demonstrou ser muito sensíveis a baixos e altos teores de umidade com boa aderência no solo e duração bem satisfatória, podendo chegar a cinco anos de uso.

Neste projeto foi utilizado um sensor umidade (Figura 3.38) semelhante ao citado por MACIEL (2005).



Figura 3.38. Sensor de umidade do tipo eletrodos em bloco de gesso (20cm de comprimento, 5cm de diâmetro).

Segundo MACIEL (2005), um medidor de impedância de corrente alternada, em vez da contínua, que faz com que sejam eliminados os erros causados pela eletrólise e pela polarização no bloco e no solo. Assim, o circuito da Figura 3.39 simula esse procedimento de medição sob corrente alternada.

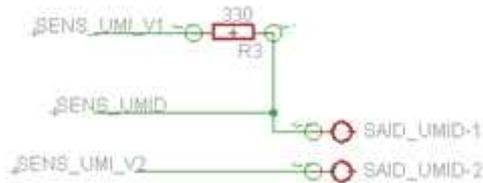


Figura 3.39. Esquemático de ligação do sensor de umidade.

Os pinos SENS\_UMI\_V1 e SENS\_UMI\_V2 estão ligados diretamente ao microcontrolador, que por sua vez fornece 5V e terra alternadamente, realizando a medida da resistência elétrica em intervalos determinados pelo *software*.

Pelo pino SENS\_UMID é feito uma conversão A/D (10 bits → 0~1023) da tensão existente sobre o sensor. Conhecido o divisor resistivo, a saída desta medida é convertida para um valor de resistência segundo a equação ( 6. Testes de medida por este processo, realizado em laboratório, mostraram que o microprocessador diverge de um multímetro profissional por apenas algumas unidades de Ohms.

$$R_{Sensor} = AD_{Conversão} * \frac{R_3}{(1023 - AD_{Conversão})} \quad ( 6 )$$

Segundo MACIEL (2005), a amplitude de determinação da umidade do solo pelo bloco de gesso correspondente a tensões entre 10 e 1500 kPa. A Figura 3.40 apresentada por ALBUQUERQUE e DURÃES (2008), mostra que estes valores geralmente englobam o ponto de murcha permanente (PMP) e a capacidade de campo (CC) dos solos, ou seja, os extremos da faixa de controle desejada.

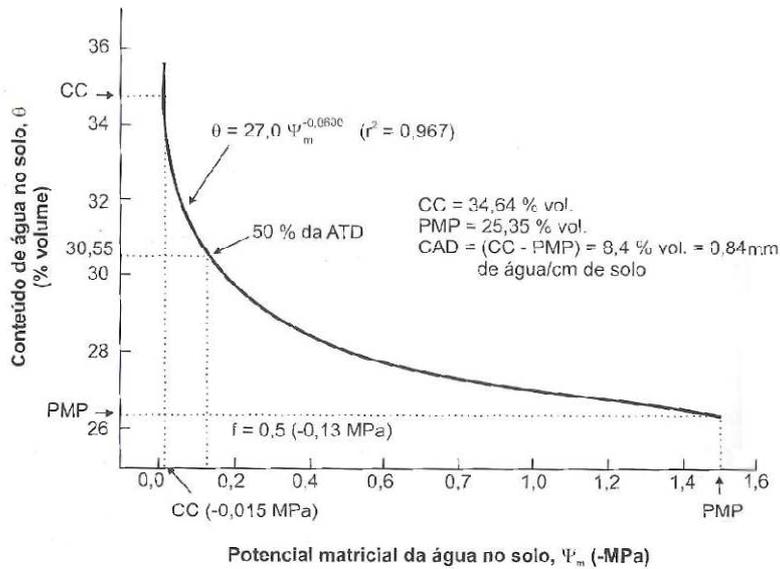


Figura 3.40. Curva de retenção de água no solo, em que se define capacidade de campo (CC), o ponto de murcha permanente (PMP), a capacidade total de água disponível (CAD), e o coeficiente de disponibilidade (p), para o perfil de 0 cm a 90 cm do Latosolo Vermelho Escuro da área experimental da EmbrapaMilho e Sorgo.

Em laboratório foi testado o sensor de bloco de gesso. Para a correta utilização deste elemento, faz-se necessário a calibração. O procedimento foi realizado com base em um sensor calibrado apresentado anteriormente, o SMRT-Y da RAIN BIRD.



Figura 3.41. Recipiente para teste de umidade.

Em um recipiente contendo os dois sensores inseridos completamente em uma altura média semelhante (Figura 3.41), mediram-se a resistência elétrica do sensor de eletrodos e a umidade inferida pelo sensor de referência. A Tabela 3.2 apresenta os resultados obtidos em instantes de amostragem, observando que em alguns momentos foram inseridos mais água (500ml) ao recipiente.

Tabela 3.2. Dados de umidade obtidos.

<b>% de umidade de referência medida</b>	<b>Resistência elétrica do sensor de gesso (k<math>\Omega</math>)</b>	<b>Momento de amostragem (Minutos)</b>
3,1	Inmensurável	0 (insere-se água, após a medida)
4,0	8,529	5
4,3	4,934	10
4,4	3,289	15 (insere-se água, após a medida)
11,8	1,580	20
12,2	1,566	25 (insere-se água, após a medida)
21,4	1,298	30
21,3	1,269	35 (insere-se água, após a medida)
28,7	1,222	40
28,2	1,218	45 (insere-se água, após a medida)
39,0	1,213	50
39,4	1,198	55
39,6	1,205	60
99,9 (Medido em balde somente com água)	1,193	---

É possível observar que durante a absorção inicial de água por todo o sistema solo e sensor, a resistência cai drasticamente e demora aproximadamente 15 minutos para estabilizar. Após este momento inicial, todo o sistema se comporta com mais suavidade e estabiliza com tempo médio de 9 minutos. Isto ocorre até o momento de saturação do sistema, onde o sensor já não responde mais corretamente, pois está cheio de água, como mostra o valor de sua resistência próximas entre si tanto na medida de 39,6%, quanto na 99,9%.

Para a calibração deste sensor, somente foram considerados os dados obtidos na faixa de tensão citadas anteriormente (10 a 1500 kPa ou aproximadamente 21 a 34% de umidade). A Figura 3.42 apresenta o gráfico da correlação entre a resistência elétrica obtida do bloco de gesso e a curva de umidade do solo amostrado.

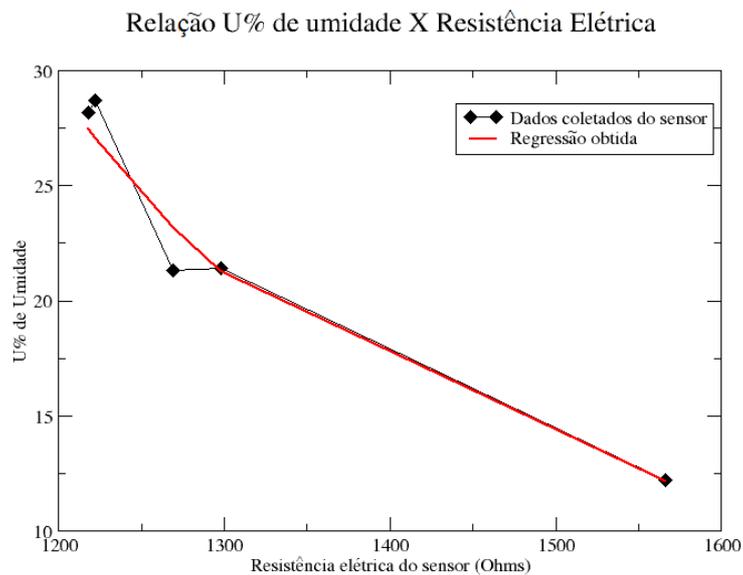


Figura 3.42. Relação de resistência elétrica e umidade do solo e sua curva de calibração obtida.

O gráfico e a calibração foram realizados no *software* GRACE, fornecido em Linux. A curva de calibração utilizada foi a função inversa, baseada em informações de calibração realizadas por Thomson e Armstrong (1987), citado por MACIEL(2005). Esta curva (Eq. ( 7) resultou em bons resultados de umidade, dado a resistência, visto que os erros padrões de calibração foram muito baixos (erro da constante: 0,0118; erro do coeficiente:  $8,93 \cdot 10^{-6}$ ).

$$\%U_{umidade} = \frac{1}{(-0,12467 + 0,00013225 * R_{sensor})} \quad (7)$$

Por este processo foi possível observar também, segundo a Figura 3.43, que o valor da resistência elétrica do sensor varia de forma não linear em relação à quantidade de água aplicada.

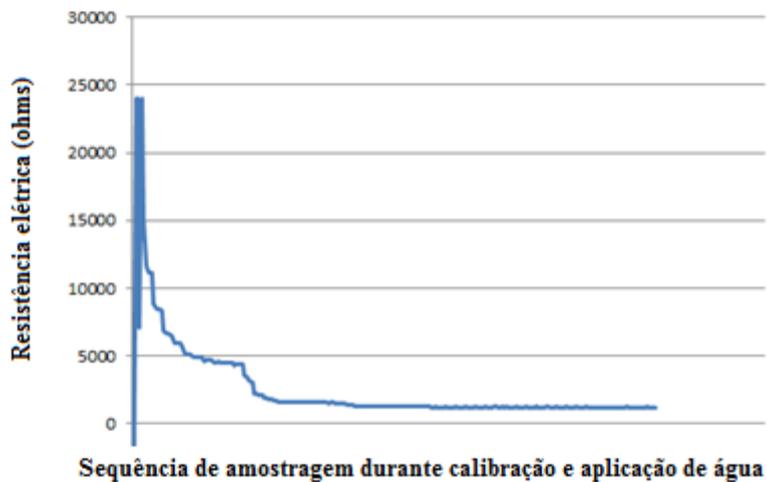


Figura 3.43. Gráfico de leitura sequencial da umidade durante o processo de calibração.

A construção do bloco de gesso pode alterar os parâmetros de calibração em cada caso. Portanto seria possível obter sensores mais rápidos e mais precisos dependendo da forma de construção, diâmetro e tamanho utilizado.

### 3.6.3. SENSOR DE VAZÃO

Medições de vazão não foram realizadas neste trabalho, devido ao alto custo deste sensor, mesmo os adaptados, como no caso de hidrômetros modificados para gerar sinais de pulso.

Este sensor não é de muita utilidade em controle de irrigação, visto sistemas de irrigação fornecem boa confiabilidade de seus parâmetros, assim geralmente bastando saber o tempo de atuação para se determinar a quantidade de água aplicada.

Em todo caso, o módulo setor possui entrada para sinais de pulso produzidos por este sensor. Podendo ser usado ainda para outras aplicações futuras, como um sensor de furto ao se tentar abrir a caixa aonde estão presente os registros.

# CAPÍTULO 4 – SOFTWARECLIENTE EEMBARCADO

## 4.1. ASPECTOS GERAIS

*Softwares* são programas desenvolvidos para interagir com variáveis e lógicas de todo o sistema. Diversas plataformas e estruturas podem ser usados para se desenvolver um programa.

A programação pode depender muito de qual o objetivo se deseja alcançar. Quando se deseja fazer programas para ambientes com alta capacidade computacional e grande espaço para armazenamento de dados, os computadores pessoais (PC) fornecem diversas opções que podem ser fáceis e eficientes e/ou complexas e elegantes.

Já em ambientes onde se necessita de compactos sistemas e pequenos módulos, utiliza-se sistemas embarcados. Este nome é devido a utilização de pequenas centrais de processamento e armazenamento de dados, como os microcontroladores. O processamento destes componentes é geralmente muito limitado e o espaço para se trabalhar com os dados pode ser mínimo, se comparados aos PCs. Deve-se, portanto, observar o método de programação, bem como sua eficiência e objetividade.

Devido a grande variedade de plataformas e linguagem de programação, torna-se necessário a utilização de

## 4.2. SOFTWARECLIENTE EM PC

A utilização de um *software* supervisor completo seria uma boa opção para se realizar o monitoramento deste projeto, no caso de um sistema mais complexo. Para isso existem diversos supervisórios privados e gratuitos, como o Elipse da ElipseSoftware, iFix da GE, InTouch da Wonderware, Factory Link da USData (agora UGS), WinCC da Siemens, IGSS (gratuito em versões mais simples) ou o Lintouch (gratuito e opera em linux).

Contudo, um software desenvolvido pessoalmente para a fase inicial do projeto se faz mais direto e simples operar, atingindo o objetivo e economizando tempo, comparado à integração de um supervisor adquirido que necessita se estudar protocolos e adequar-se a eles.

Há também a necessidade de se executar o monitoramento em qualquer computador de baixo poder computacional. Isso torna o projeto mais portátil e eficaz.

Para isso é preciso se preocupar com a diversidade de linguagens e plataformas de desenvolvimento de programas, além de existir uma diversidade de sistemas operacionais.

Para que o utilizador não se restringisse neste sentido, inicialmente foi desenvolvido um programa (Figura 4.1) na linguagem JAVA, da empresa SUN (atualmente vendida para o ORACLE).É possível ainda utilizar o OpenJDK (implementação de código aberto da plataforma JAVA).



Figura 4.1. Prévia do software supervisorio em desenvolvimento.

O desenvolvimento de um software supervisorio objetivo, realizado em linguagens de alto nível e boa portabilidade, foi um passo inicial para se trabalhar com a integração entre os diversos sistemas deste projeto.O programa em JAVA pode ser interpretado e executado em vários sistemas operacionais, possuindo uma fácil programação e ainda facilitado pela utilização do ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) NETBEANS.

Entretanto, outro ambiente, linguagem e método de programação diferentes foram mais atrativos do que o trabalho já realizado em JAVA. O IDE QT Creator, da empresa NOKIA, que mostrou ser mais prático, rápido e intuitivo. Dessa forma o projeto deixou de operar com a linguagem JAVA e passou a trabalhar com a nova IDE.

O QT é, também, amplamente utilizado e multiplataforma (executa em Windows, Linux e Mac OS X). Possui diversas ferramentas disponíveis (como navegador de páginas, botões, *displays* e outros), vários fóruns de ajuda e troca de conhecimentos, boa documentação e exemplos práticos. Todas essas características associadas à ampla capacidade da linguagem C/C++ faz esta IDE ideal para este projeto.

O funcionamento de todo o programa é baseado na lógica de signals, *slots* e *forms* que permitem uma rápida organização e programação do *software*. Quando ações são efetuadas pelo utilizador, são gerados sinais que estão associados aos métodos chamados que tratarão aquele evento. É possível gerar sinais sem a ação do usuário, que serão tratados pelos seus métodos associados.

A Figura 4.2 apresenta a interface principal utilizada neste projeto, denominada Hidrauto, para a programação e administração de todo o sistema de irrigação, de forma remota e online.

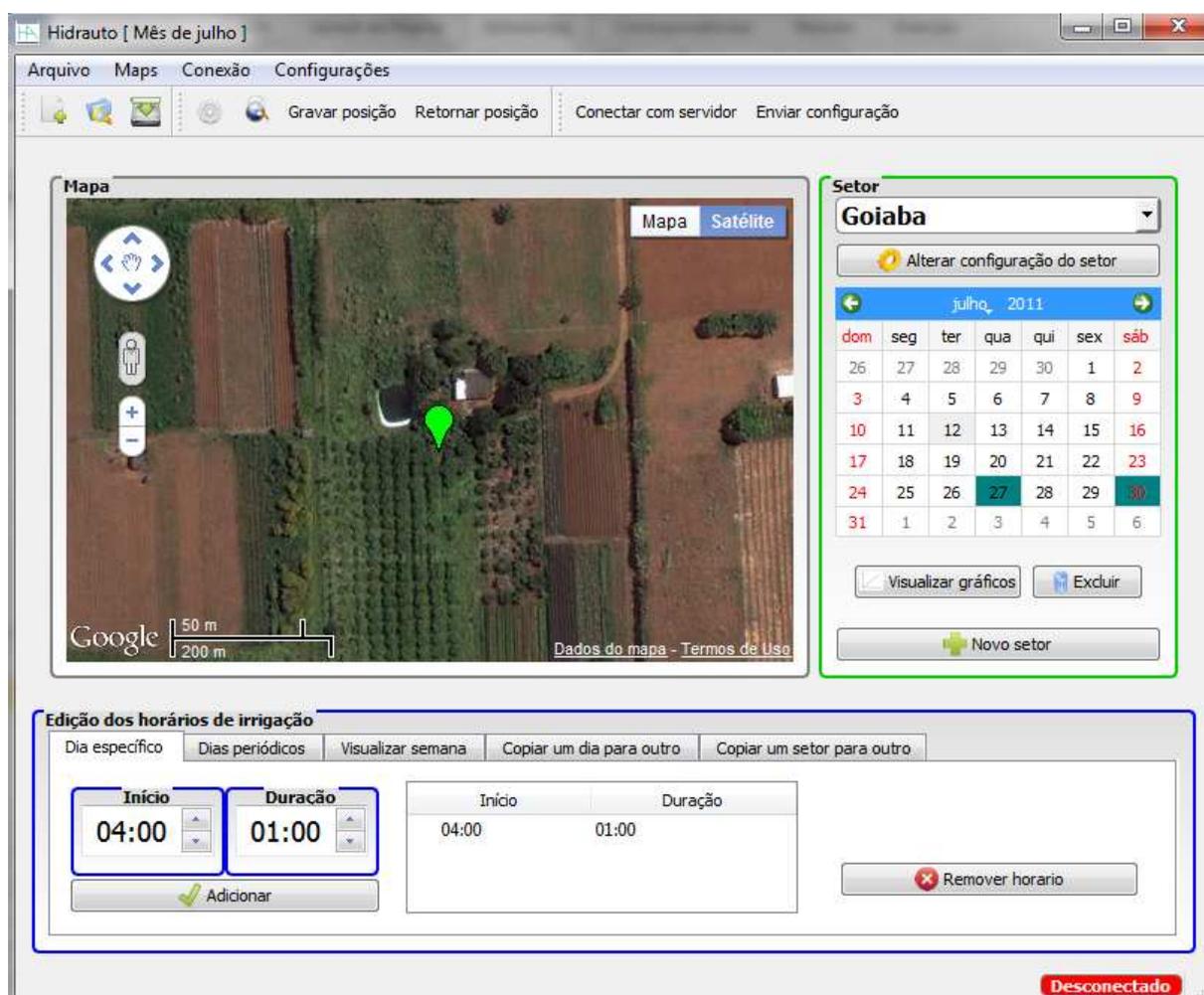


Figura 4.2. *Software* de monitoramento e programação do sistema de irrigação automatizado.

A seguir será detalhada cada opção do programa desenvolvido para o usuário.

#### 4.2.1. OPÇÕES E BARRA DE ATALHOS

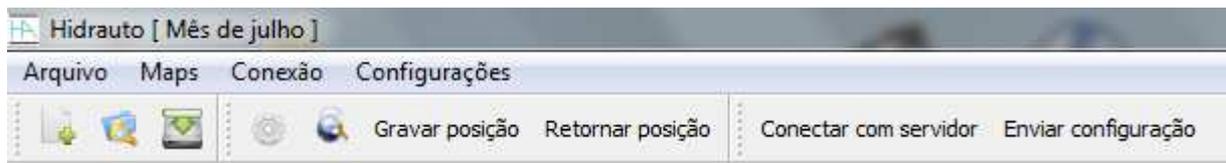


Figura 4.3. Menu e barra de atalhos Hidrauto.

A barra de atalhos é somente uma ligação rápida das opções disponíveis.

Na opção "Arquivo" (Figura 4.4) é possível gerenciar o armazenamento dos dados configurados no programa. Pode-se abrir um projeto antigo, salvar o projeto atual, salvar o projeto atual em outro local e ainda iniciar um novo projeto de irrigação, bem como fechar todo o programa. O programa sempre avisa de que configurações alteradas poderão ser perdidas, caso o projeto atual não esteja salvo. O painel de escolha de arquivos/local, aberto para as opções "Abrir", "Salvar como" e "Salvar" (quando primeira vez) é sempre no formato padrão de cada sistema operacional.



Figura 4.4. Aba da opção Arquivo.

A opção "Maps" (Figura 4.5) oferece a possibilidade de pesquisar um local no mapa disponível pelo programa (utiliza a API Google Maps).

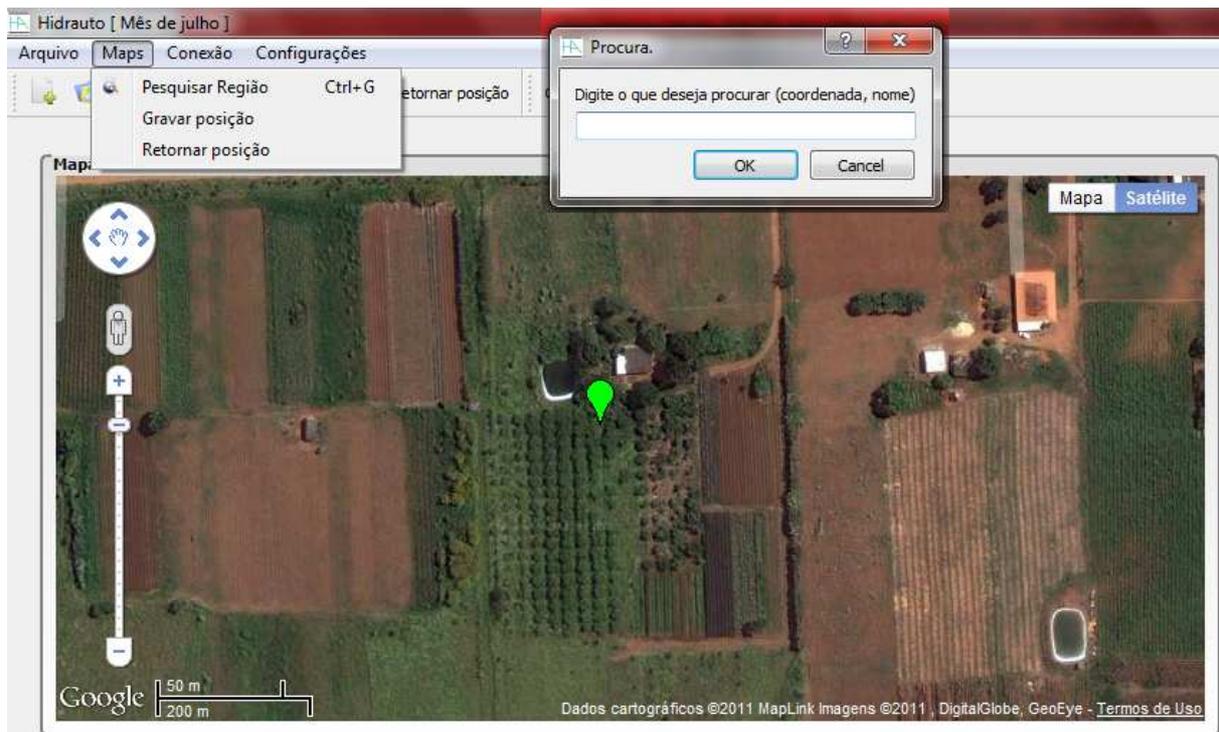


Figura 4.5. Aba da opção Maps.

Encontrado o local desejado, como é o caso da chácara da Figura 4.5, pode-se salvar este ponto clicando em “Gravar posição”. Caso o usuário mexa no mapa, alterando a distância visual (*zoom*) ou posição, é possível retornar a este ponto gravado clicando em “Retornar posição”.

Todo esse processo só foi possível pela integração da linguagem de marcação de hipertexto (HTML), escrito neste projeto, incorporando a linguagem JavaScript com a API Google Maps, junto ao programa desenvolvido em QT, utilizando a ferramenta de navegação de páginas (QWebView). Para isso, é necessário que, na linguagem JavaScript, seja escrita funções (as quais o QWebView terá acesso) para criar e manipular os marcadores de setor, bem como todo o mapa. Essa programação foi também realizada neste trabalho e está disponível nos anexos e CD.

A opção “Conexão” (Figura 4.6) oferece funcionalidades que serão mais bem explicadas posteriormente. Ele oferece conectar e desconectar com o servidor do sistema, bem como transmitir todas as configurações realizadas para a programação da irrigação. Quando o processo de transmissão é inicializado, surge uma barra de progresso ao lado, indicando a atual situação da transferência dos dados.

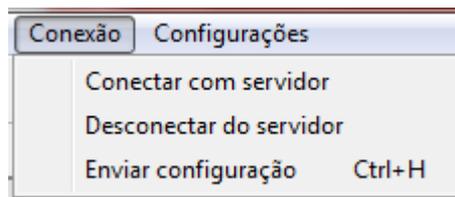


Figura 4.6. Aba da opção Conexão.

Por fim, a opção “Configurações” (Figura 4.7) permite ao usuário definir parâmetros (Figura 4.8) que irão determinar o modo de funcionamento do sistema de irrigação.

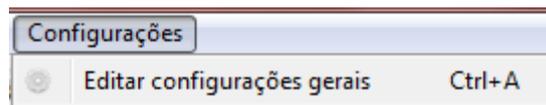


Figura 4.7. Aba da opção Configurações.

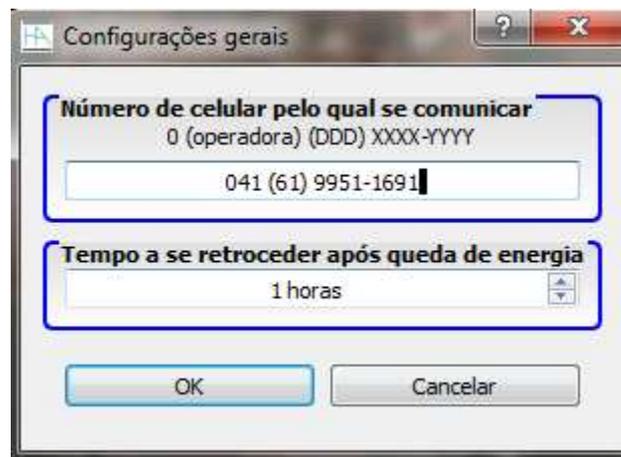
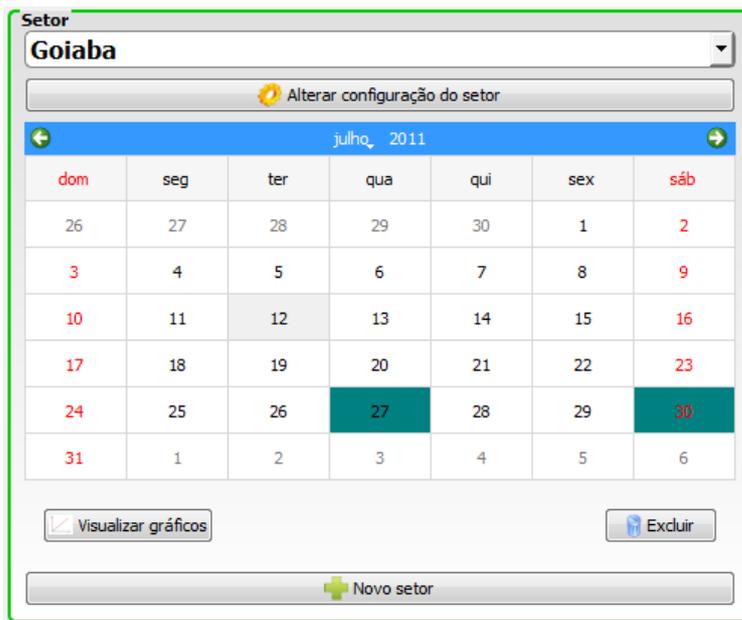


Figura 4.8. Parâmetros daAba Configurações.

#### 4.2.2. CAMPO SETOR DO PROGRAMA



(a) Campo setor



(b) Opções do setor

Figura 4.9. Campo de configurações do setor.

No campo da Figura 4.9(a) é possível criar, alterar e visualizar diversos parâmetros de cada setor de irrigação disponível. É importante observar que para o correto funcionamento do sistema, ao se criar um novo setor, deve-se ter obrigatoriamente um módulo setor (*hardware*) conectado ao módulo central. O sistema é robusto para ignorar a não existência de um setor criado erroneamente, mas isto não é recomendado para o devido funcionamento geral.

No botão “Novo setor” é possível se determinar as configurações de um setor que se deseja inserir no sistema de irrigação automatizado. Enquanto no botão “Alterar configuração do setor” pode-se modificar todos estes parâmetros. Ambos botões exibem a tela de configuração da Figura 4.9(b).

Nenhum setor pode possuir:

- Nome igual a outro setor
- Endereço igual a outro setor
- Nome vazio

Nesta tela da Figura 4.9(b) há a opção de se alterar a posição do marcador que representa o local e situação das válvulas ligadas ao setor configurado. Quando o programa está conectado ao servidor e o módulo central está operando corretamente e conectado, o setor que estiver ativo irá se tornar azul e começará a pular, indicando que aquele setor está ativo, ou seja, irrigando. O Processo lógico desta tarefa será explicado no Capítulo 5.

Existe ainda o botão “Visualizar gráficos” para monitoramento dos parâmetros gerais na forma gráfica, apresentada na tela “Gráficos do sistema” (Figura 4.10).

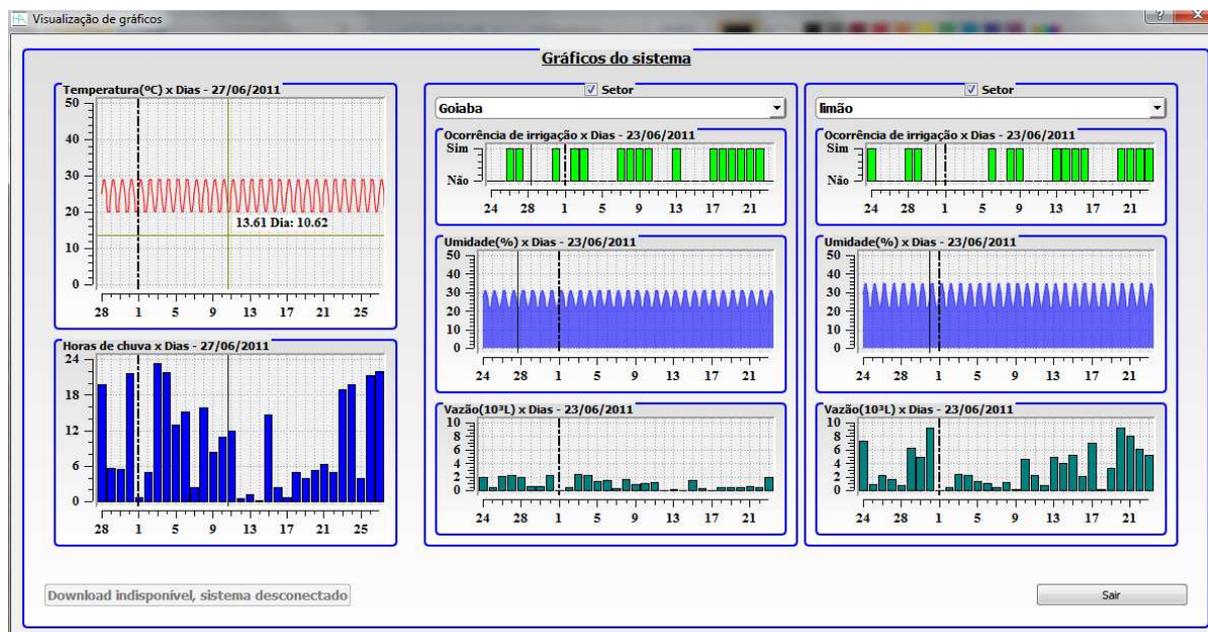


Figura 4.10. Tela de gráficos gerais do sistema (dados meramente ilustrativos).

Nesta tela é possível observar os parâmetros do mês para cada dia, como temperatura, horas totais em que o sensor de chuva esteve ativo, Ocorrência de ativação do setor, umidade do solo e quantidade de água aplicada. Os gráficos possuem uma linha tracejada que indica o dia primeiro do mês atual. Assim, o dia atual está sempre mais a direita e os dados anteriores ao dia primeiro pertencem ao mês anterior.

Para facilitar a manipulação dos gráficos e visualização dos dados, cada gráfico possui ampliação individual, linhas cruzadas paralelas aos eixos X e Y, linhas coincidentes entre gráficos da mesma vertical, texto central da medida sob o ponto do cursor e possibilidade de comparação entre dados de dois setores diferentes.

Os dados devem ser requisitados pelo botão “Download”, quando o sistema estiver conectado. Após salvar o projeto, ficam guardados até que se baixem novos dados e os salve novamente.

Para esta complexa visualização e manipulação dos gráficos é necessário a utilização de um complemento para o QT, chamado Qwt (ambos devem ser recompilados para se integrarem corretamente). Esta ferramenta oferece uma série de novos componentes que permitem realizar um melhor manuseio de gráficos.

Por fim, o botão “Excluir”, que apaga do sistema as configurações do setor selecionado, certificando-se, antes, da confirmação do usuário.

### 4.2.3. CAMPO DE EDIÇÃO DE HORÁRIOS DE IRRIGAÇÃO

Este campo possui cinco abas diferentes, responsáveis por realizar a configuração dos horários. Estas abas estão associadas ao item selecionado no campo setor e ao seu calendário.

Ao selecionar o dia do calendário (isto é feito clicando no dia desejado) e configurar um horário de início e duração na primeira aba (Figura 4.11), automaticamente surgirá uma cor de fundo escura naquele dia, indicando que nele ocorrerá irrigação em pelo menos um momento (Figura 4.9(a)). A remoção de todos os horários de irrigação de determinado dia também irá automaticamente remover a cor de fundo dele.

A interface mostra o título "Edição dos horários de irrigação" e cinco abas: "Dia específico", "Dias periódicos", "Visualizar semana", "Copiar um dia para outro" e "Copiar um setor para outro". A aba "Dia específico" está selecionada. Ela contém dois campos de entrada para "Início" (04:00) e "Duração" (01:00), cada um com setas de navegação. Abaixo deles está um botão "Adicionar" com um ícone de checkmark verde. À direita, há uma tabela com duas colunas: "Início" e "Duração", com o valor "04:00" e "01:00" respectivamente. Abaixo da tabela está um botão "Remover horario" com um ícone de X vermelho.

Figura 4.11. Primeira Aba: configuração de horários do dia selecionado.

A interface mostra o mesmo título e abas. A aba "Dias periódicos" está selecionada. Ela contém um texto: "Configurações do dia 12. Altere-as na aba 'Dia específico'.". À direita, há uma tabela com duas colunas: "Início" e "Duração", com o valor "04:00" e "01:00" respectivamente. Abaixo da tabela está um campo "Repetir" com o valor "a cada 1 dia(s)" e setas de navegação. Abaixo do campo "Repetir" está um botão "Aplicar configuração" com um ícone de checkmark verde.

Figura 4.12. Segunda Aba: configuração de horários com periodicidade de dias.

A segunda aba permite criar configurações periódicas, como irrigar a cada dois dias.

A interface mostra o mesmo título e abas. A aba "Visualizar semana" está selecionada. Ela contém sete abas para os dias da semana: "Domingo", "Segunda", "Terça", "Quarta", "Quinta", "Sexta" e "Sábado". Cada aba contém uma tabela com duas colunas: "Ini" e "Dur". A aba "Terça" está preenchida com o valor "04:00" e "01:00" respectivamente.

Figura 4.13. Terceira Aba: visualização dos horários na semana do dia selecionado.

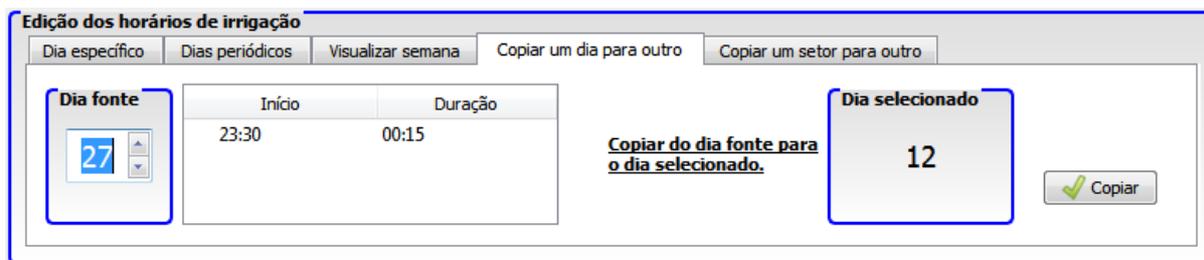


Figura 4.14. Quarta Aba: copia de configuração de um dia fonte para o selecionado.

A quarta aba permite copiar um dia fonte para o selecionado, fazendo configurações não periódicas mais facilmente.

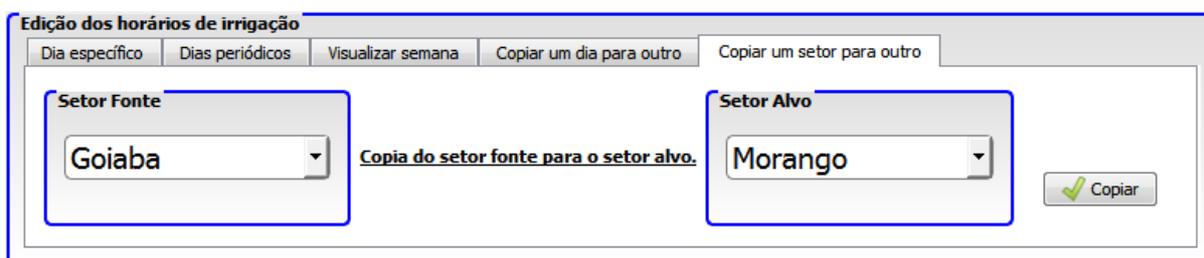


Figura 4.15. Quinta Aba: copia de todos os horários de um setor para outro.

Apesar da possibilidade de se copiar todos os horários de um setor para outro, neste sistema é proibida dupla ativação de setores, ou seja, em nenhum momento pode haver dois setores ativos simultaneamente. Caso ocorra, o sistema avisa sobre o erro e não permite que seja enviada a configuração problemática.

### 4.3. SOFTWARE EMBARCADO

Existem diversos IDEs para se trabalhar com microcontroladores, possuindo ferramentas e bibliotecas que facilitam todo o desenvolvimento. Para o ATMEGA328p é muito comum se utilizar o WINAVR (comumente programada na linguagem C), pois permite desenvolver projetos organizados, bem estruturados e com fácil acesso a maiorias das configurações de mais baixo nível deste componente. Estas IDEs também facilitam o processo de gravação e compilação, integrando todos em um só programa.

No entanto, neste trabalho foi utilizado a IDE Arduino. Nela é possível se programa na linguagem C/C++, fornecendo maiores facilidades, além de bibliotecas prontas. Neste ambiente é possível realizar uma só programação portátil para diversos microcontroladores, permitindo uma rápida migração.

Ao passo que essa IDE fornece mais facilidades, ela também ocupa maior espaço de programação, assim como maior espaço na memória RAM (Memória de Acesso aleatório).

Tendo em vista que o microprocessador utilizado possui apenas 2048 *bytes* de RAM, deve-se evitar ao máximo código com excesso de variáveis e sequências de letras (*Strings*) muito grandes. Quanto mais direto e objetivo for o código, mais estável irá se comportar o componente.

Quando programas são feitos para PC, geralmente recomenda-se evitar o uso de variáveis globais e outras características consideradas má prática de programação. Já em sistemas embarcados, a forma de armazenamento e organização do sistema permite e favorece a utilização de algumas dessas “más práticas”, pois elas evitam o uso desnecessário de variáveis e ainda aumentam a eficiência do código. A maioria das variáveis criadas ocupa espaço permanente na memória RAM, o que justifica utilizar uma variável global ao uso de várias locais para cada método.

A orientação a objeto, característica fornecida pela linguagem C/C++, favorece a boa prática de programação e melhor organização do sistema. Porém, em sistemas embarcados, essa prática pode ocupar mais espaço de memória do que a programação tradicional de funções em C.

Portanto, ao se programar em microcontroladores é sempre necessário observar o quanto de memória esta sendo utilizada, para saber como e o que é possível se inserir neste componente.

A IDE Arduino utilizada não possui uma fácil ferramenta de identificação de erros e/ou mapeamento da memória como em outros disponíveis no mercado. O que justifica seu uso é a facilidade de se adquiri-lo, sem custo (gratuito), bibliotecas disponíveis, linguagem de programação, portabilidade e facilidade de integração com a gravadora utilizada, citada em 3.5.2.

A estrutura geral de funcionamento do *software* embarcado é apresentada pela Figura 4.16. Nela é possível associar que existe um processamento principal periódico que chama métodos de suas bibliotecas, responsáveis por determinado controle do sistema. A estrutura funciona semelhantemente no módulo setor. Portanto são dois *softwares* com funcionamentos parecidos.

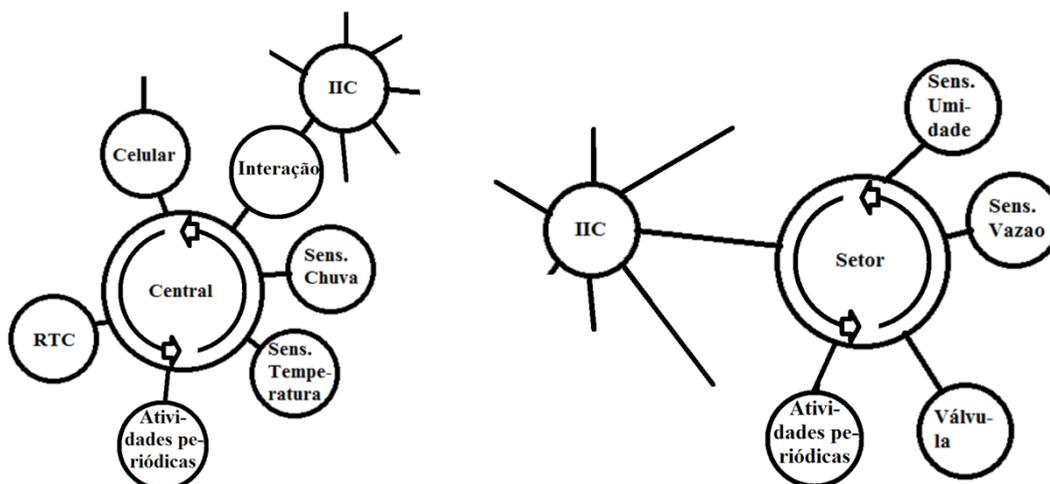


Figura 4.16. Estrutura de funcionamento dos softwares central e setor, com suas bibliotecas.

Devido a quantidade de tarefas e variáveis necessárias no módulo central, toda a programação foi feita na linguagem C, com variáveis globais e, para salvar espaço em RAM, as constantes de frases (*Strings*) foram deixadas na memória de programação, utilizando funções especiais para sua leitura e diretivas específicas para seu armazenamento (PROGMEM).

Nestes softwares, o armazenamento de dados em memória é feito de forma definida e com posições estáticas. Em alguns casos, a manipulação bit a bit foi necessária para economia de espaço em memória.

A Tabela 4.1 apresenta as posições e o que está guardado na memória EEPROM (Memória programável de somente leitura eletricamente apagável, ou seja, memória não volátil) do módulo central, que somente possui 1024 *bytes* de espaço.

Tabela 4.1. Estrutura de armazenamento na memória EEPROM do módulo central.

<b>Posição (0 a 1023)</b>	<b>Informação armazenada</b>
0 a 10	Número de celular configurado para enviar mensagens
11	Tempo de retroação após queda de energia
12 a 51	RESERVADO PARA FUTURAS APLICAÇÕES
53	Dígitos do século atual, 2011 →20
54 a 103	Número de setores conectados, configurados pelo <i>software</i> cliente
104	Ultimo dia de registro, utilizado para controle de registros
105 a 476	Registros de dados de temperatura

477 a 507	Registros de dados da chuva
508 a 1023	RESERVADO PARA FUTURAS APLICAÇÕES

A Tabela 4.2 apresenta as posições e o que está guardado na memória EEPROM do módulo setor, que possui 1024 *bytes* de espaço.

Tabela 4.2. Estrutura de armazenamento na memória EEPROM do módulo setor.

<b>Posição (0 a 1023)</b>	<b>Informação armazenada</b>
0 a 4	Informação sobre o módulo e periféricos conectados: presença de sensor de umidade (1 <sup>o</sup> <i>byte</i> ), presença de sensor de vazão (2 <sup>o</sup> <i>byte</i> ), RESERVADO (3 <sup>o</sup> e 4 <sup>o</sup> <i>byte</i> ), presença de válvulas (5 <sup>o</sup> <i>byte</i> )
5	RESERVADO PARA FUTURAS APLICAÇÕES
6	Ultimo dia de registro, utilizado para controle de registros
7 a 9	Informação sobre duração da inibição pela ocorrência de chuva: número de dias (1 <sup>o</sup> <i>byte</i> ), horas (2 <sup>o</sup> <i>byte</i> ), minutos (3 <sup>o</sup> <i>byte</i> )
10 a 12	Caso ocorra chuva, esses três bytes indicam da mesma forma o dia, hora e minuto do fim desta inibição
13 a 30	RESERVADO PARA FUTURAS APLICAÇÕES
31 a 216	Registros de dados da umidade (1 <i>byte</i> por medida)
217 a 371	Registros de dados de vazão e ocorrência de irrigação (6 <i>bytes</i> por dia, sendo 1 indicando ocorrência de irrigação, 1 reservado e 4, tipo <i>unsignedlong</i> , indicando a vazão)
372 a 557	RESERVADO PARA FUTURAS APLICAÇÕES
558 a 743	RESERVADO PARA FUTURAS APLICAÇÕES
744 a 1023	Configuração de horários de irrigação (cada horário utiliza 4 bytes, por meio de manipulação de bits, organizados segundo aTabela 4.3)

Tabela 4.3. Posição dos bits e informação representada para um horário de irrigação armazenado em memória.

<b>Posição</b>	<b>Informação armazenada</b>
----------------	------------------------------

(0 a 31)

---

0 a 8	Dia do mês
9 a 13	Horas de início
14 a 19	Minuto de início
20 a 24	Hora de término
25 a 30	Minuto de término

#### 4.4. SOFTWARESERVIDOR

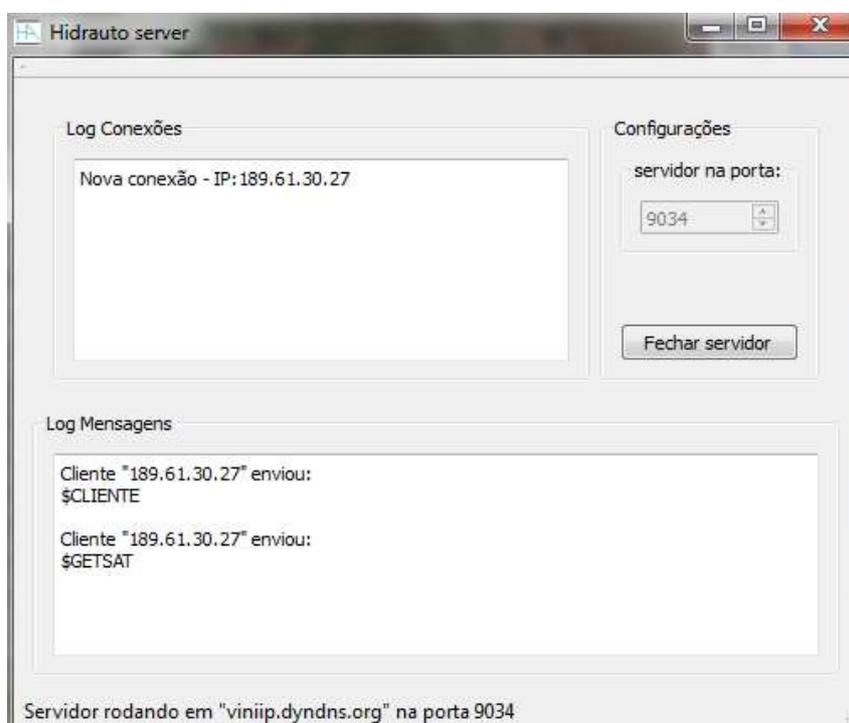


Figura 4.17. Tela de interface do *software* servidor.

A funcionalidade principal deste programa é gerenciar e fornecer conexão constante aos *softwares* cliente e ao módulo comunicador. A segurança e armazenamento de informações, como banco de dados, não é o foco deste trabalho, por isso não foram inseridos neste contexto.

Para fins de desenvolvimento inicial do projeto, um *software* servidor simples foi desenvolvido e instalado em um computador residencial, de baixo poder computacional. No atual sistema, o usuário não necessita realizar identificação.

Como o endereço IP tanto do cliente, quanto do módulo comunicador e servidor são variáveis para cada inicialização, é necessário a utilização de uma referência constante para a conexão entre eles. Utilizando um sistema de nomes de domínios (DNS), serviço disponibilizado por outro servidor (DYNDNS), é possível se manter esta referência atualizada. O roteador LINKSYS possui uma importante ferramenta que atualiza as informações no servidor DNS configurado, toda vez que um novo IP é adquirido. Quando o nome associado ao DNS é requisitado, este retorna o endereço de IP. Desta forma, o *software* cliente pode se conectar ao servidor sempre pelo mesmo DNS, assim como o módulo comunicador.

O atual servidor registra as conexões existentes e repassa todas as mensagens recebidas do cliente para o módulo comunicador e vice versa. Existem ainda as mensagens de sincronização, requisitadas pelo módulo central. Elas permitem que o módulo se mantenha atualizado com data e hora referentes ao seu fuso horário.

# CAPÍTULO 5 – INTEGRAÇÃO E FUNCIONAMENTO GERAL DO SISTEMA

## 5.1. ASPECTOS GERAIS

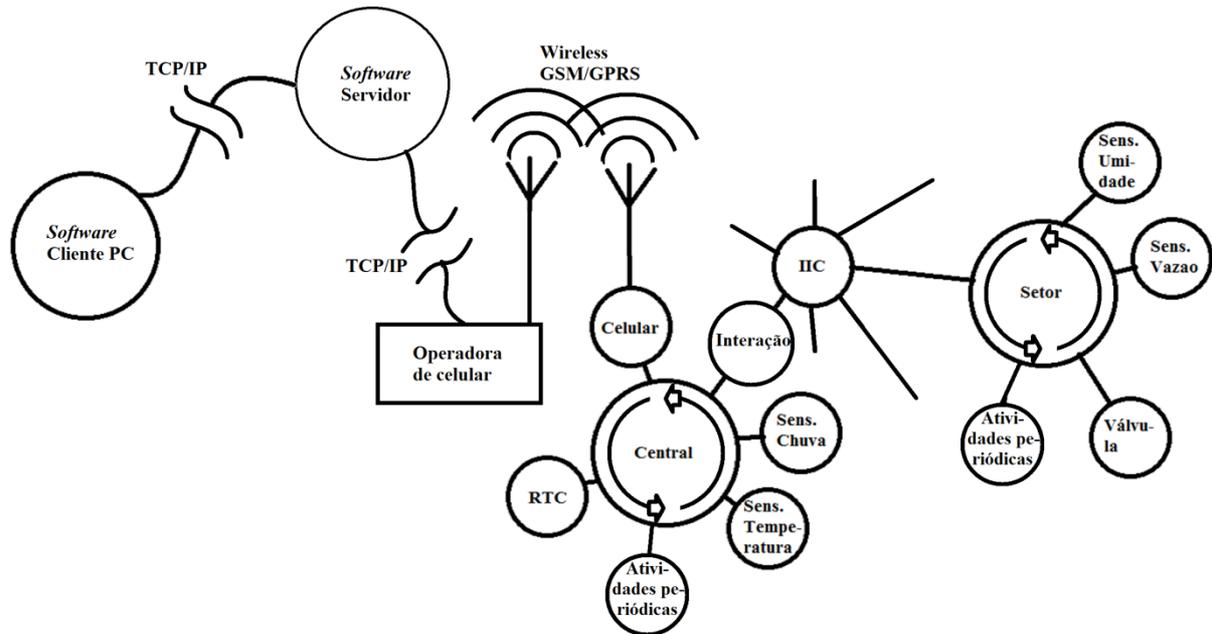


Figura 5.1. Diagrama geral de funcionamento do sistema.

Todos os componentes e meios de comunicação foram explicados nos capítulos anteriores, mas o mais importante é a lógica de operação. Esta determina o funcionamento de todo o sistema.

É importante comentar que as tarefas seguintes ainda se encontram incompletas e, portanto, não estão em exercício no sistema:

- Os dados de sensor nos setores estão sendo lidos e armazenados, mas a forma de envio para a central não está finalizada.
- O controle de umidade não está sendo realizado, ainda que a leitura e armazenamento estejam funcionando corretamente.
- Este projeto prevê um processo de escalonamento das atividades não executadas durante uma queda de energia prolongada. A estrutura para isso já está disponível, mas o processo ainda não foi desenvolvido. Após resolvido o escalonamento, o módulo central envia uma mensagem de texto ao telefone configurado, comunicando o ocorrido.

Os demais procedimentos estão funcionando corretamente, e para compreender todo o sistema, neste capítulo será descrito o processo lógico, as mensagens trocadas entre os módulos e a periodicidade de todas as tarefas.

Para um melhor entendimento das estruturadas mensagens, cada sub índice descreve as informações recebidas e somente apresenta o que envia. Portanto, caso se deseje saber o que significa cada valor dentro da frase enviada, procure informação no módulo que a recebe.

## **5.2. FUNCIONAMENTO DO MÓDULO CENTRAL**

### **5.2.1. SINCRONIZAÇÃO CENTRAL DA DATA E DA HORA**

O processo de sincronização geralmente é feito com algoritmos de verificação de atrasos e tempo de comunicação, para estipular o valor mais próximo possível da medida do tempo. Neste trabalho, atrasos de alguns segundos ou mesmo poucos minutos em relação ao servidor principal não é um problema, visto que todo o sistema não depende de uma exatidão bem definida de horário. A única e principal característica na contagem de tempo do sistema é o sincronismo desta medida entre o módulo central e setor.

A cada 5 minutos o módulo central requisita uma mensagem de configuração. Este tempo pode ser bem maior, mas para fins de definição foi escolhido esse período inicial. A mensagem enviada pela central é no formato "\$GETSYN", o servidor automaticamente responde com as informações no formato "\$SRVSYN,HHMMSSDDMMAAAA", onde HH é a hora, MM os minutos, SS os segundos, DD o dia, MM o mês e AAAA o ano corrente atualizado. Esses dados são enviados segundo a hora UTC (Tempo Universal Coordenado). Por exemplo:

→ Módulo envia: \$GETSYN

→ Servidor responde: \$SRVSYN,05000030032011 → 05:00:00, dia 30 de Fev de 2011

O módulo traduz as informações e verifica se há divergência nas medidas de tempo locais e recebidas. Caso essa diferença seja maior que 1 min, ele automaticamente corrige para o horário e data recebidos.

### **5.2.2. FUNCIONALIDADES GERAIS**

O módulo central pode armazenar até 50 endereços de setores conectados a ele. Outras tarefas periódicas são também realizadas, podendo ser comunicações, instruções ou medições. Essas tarefas estão listadas a seguir:

- Armazenar 31 dias de dados de temperatura, coletados de 2 em 2 horas.
- Armazenar 31 dias de dados sobre a chuva, cada um correspondendo ao tempo total em que o sensor de chuva esteve ativo durante aquele dia, coletados de 6 em 6 minutos, totalizando no máximo 24 horas.
- A cada 5 minutos é feita uma sincronização entre o módulo central e os módulos setores, enviando a mensagem “\$SYN,HHMMSSDDMMAAAA” (semelhante à sincronização central).
- A cada minuto é verificado a situação do sensor de chuva, caso este acuse positivamente, cada setor é avisado pela comunicação IIC, por meio da mensagem “\$CVA”.

### 5.2.3. TAREFAS REALIZADAS POR REQUISIÇÕES

Quando o módulo central recebe alguma mensagem de comando, ela gera uma sequência de tarefas, que podem ou não gerar resposta ao módulo emissor. Um exemplo disso é a conexão de um novo setor. Sempre que um setor é conectado na linha do sistema central, é gerado um pedido de sincronismo geral dos módulos, atualizando o relógio do novo módulo.

O *software* cliente também envia comandos, que serão mais bem explicados posteriormente. A resposta para cada um desses comandos será descrita a seguir.

Quando ocorre a recepção de uma mensagem:

- **\$HDACN1,(Número de setores),(Config. do setor),(Config. do setor)...**: o módulo central decodifica e envia as configurações de periférico para cada módulo setor citado nesta mensagem. Exemplo:

\$HDACN1,02,04211001,02101001 → central envia,

Ao setor de endereço 42 → \$CN1,11001

Ao setor de endereço 21 → \$CN1,01001

Ao servidor → \$RCVED

- **\$HDAHOR,(Endereço do setor),(Número de horários),(Horário),(horário)...**: o módulo central interpreta, divide em frases sequenciais menores e envia as definições de horários para o setor de endereço citado. Exemplo:

\$HDAHOR,021,02,0108000900,2923000100 → central envia,

Ao setor de endereço 21 → \$HOR,01,0108000900,2923000100

Ao servidor → \$RCVED

- **\$HDACN2,(Número de telefone),(Tempo a retroceder após reset),(Número de setores),(Config.Tempo de inibição após chuva do setor)...**: o módulo central traduz, armazena o número de telefone, o tempo a retroceder e envia as definições de tempo de inibição para cada setor de endereço citado. Exemplo:

\$HDACN2,0416199511691,5,02,021020800,042011000→central envia,

Ao setor de endereço 21 → \$CN2,020800

Ao setor de endereço 42 → \$CN2,011000

Ao servidor →\$RCVED

- **\$GETSAT**:o módulo central envia para cada setor uma requisição (“\$ATV”) de sua situação, caso esteja irrigando, responde positivamente, se não responde negativamente. Ao coletar quais setores estão ativos, a central retorna ao servidor uma mensagem com estas informações. Exemplo:

\$GETSAT → central pesquisa e, no caso do setor 21 estar ativo, envia,

Ao servidor →\$SETATV,01,21

- **\$GETINF,(Número de setores),(endereço),(endereço)**: o módulo central reuni os dados dos sensores de temperatura, chuva e, caso o número de setores recebido seja maior que zero, os dados dos sensores de umidade, vazão e ocorrência de ativação de cada setor citado. Exemplo:

\$GETINF,01,21 → central reuni os dados e envia ao servidor,

Primeira mensagem → \$CNTINF,10062011001002003004...

Segunda mensagem → \$SETINF,021,10062011001002003004...

Durante o envio, podem ocorrer erros de recepção das informações ao microcontrolador. Quando isso ocorre, a central automaticamente envia ao servidor um aviso (“\$ERRRES”) de erro, que irá notificar o usuário, pedindo que ele reenvie as configurações.

### 5.3. FUNCIONAMENTO DO MÓDULO SETOR

#### 5.3.1. SINCRONIZAÇÃO SETOR DA DATA E DA HORA

Semelhante a sincronização central, o setor ajusta seu relógio toda vez que recebe uma nova mensagem de hora e data no formato “\$SYN,HHMMSSDDMMAAAA”. A diferença é que não é feita nenhuma verificação do relógio atual, todo comando é aceito e executado segundo os valores recebidos, garantindo um relógio mais próximo do relógio central.

### 5.3.2. FUNCIONALIDADES GERAIS

O módulo setor é projetado para ficar sob a terra, próximo à válvula solenoide em que irá atuar. Ele deve ser impermeável e pequeno.

Pode haver até 70 horários de irrigação por setor, programados via *software* cliente. A duração máxima de cada horário é de 24 horas.

Cada setor possui também informações sobre quanto tempo ele deve ficar inibido, na ocorrência de chuva e quais periféricos estão ligados a ele, por meio de dados enviados pelo *software* cliente.

Este módulo também possui suas tarefas e dados, que são gerenciados da seguinte forma:

- Armazenar 31 dias de dados sobre a umidade do setor medido, coletados de 4 em 4 horas em cada dia. Esses dados desprezam as casas decimais, pois não se tem tamanha precisão para garantir décimos de porcentagem.
- Armazenar 31 dias de dados sobre a ocorrência de irrigação, permitindo confirmar o programa configurado pelo usuário.
- Está previsto o armazenamento de 31 dias de dados sobre a vazão de água no setor, coletados constantemente, indicando o volume total de água aplicado no dia.

### 5.3.3. TAREFAS REALIZADAS POR REQUISIÇÕES

Da mesma forma que a central, este módulo responde a comandos, mas não envia nenhuma outra mensagem, a não ser quando requisitado dados e *status*.

Quando ocorre a recepção de uma mensagem:

- **\$SYN,HHMMSSDDMMAAAA**: o módulo setor traduz a frase e sincroniza seu relógio, como já mencionado anteriormente.
- **\$CN1,(Presença de sensor de umidade),(Presença de sensor de vazão),(Reservado),(Reservado),(presença de válvulas solenoides)**: o módulo setor decodifica e armazena os dados recebidos das configurações de periféricos.
- **\$CN2,(dias de inibição),(horas de inibição),(minutos de inibição)**: o módulo setor interpreta os valores e armazena esses dados em suas configurações na memória.
- **\$HOR,(Sequencia da frase),(Horário),(Horário)...**: o módulo setor identifica, codifica (manipulação de bits) e armazena em memória os horários recebidos na posição referente à sequencia da frase. Cada mensagem possui no máximo dois horários, finalizando a transmissão sempre com "0000000000".

- **\$ATV:** Este comando é sempre acompanhado de uma requisição de *status*, portanto ele indica ao módulo setor que a próxima requisição de dados será para saber se este está ou não irrigando no atual momento.
- **\$GET:** Este comando é semelhante ao “\$ATV”, mas ele indica ao módulo setor que a próxima requisição de dados será para receber todos os valores armazenados pelos sensores deste setor. Este processo ainda não está completamente desenvolvido, portanto não é executado.
- **\$CVA:** o módulo setor imediatamente se desativa, cortando a alimentação das válvulas solenoides, caso estejam operando. Este processo inibe a possibilidade de irrigação durante o tempo configurado pelo comando “\$CN2”.

## 5.4. FUNCIONAMENTO DO SOFTWARE CLIENTE

### 5.4.1. FUNCIONALIDADES GERAIS

Além da rápida e fácil configuração geral do sistema de irrigação, o usuário pode administrar certos parâmetros de seu projeto.

A opção de salvar e abrir arquivos, contendo todas as configurações realizadas para o sistema de irrigação do usuário, possibilita transportar e trabalhar seus projetos em qualquer local ou plataforma que execute o programa. Sem a necessidade de uma conexão a internet.

Existindo a possibilidade de conexão, surgem outras funcionalidades que completam o sistema. Como baixar dados de sensores, configurar os horários de irrigação de cada setor e visualizar a atual situação de ativação deles.

Este *software* possui somente uma tarefa periódica, quando conectado ao servidor: requisitar ao módulo central quais setores estão ativos, pela mensagem “\$SETATV”. Este processo é repetido a cada 20 segundos. Quando um setor é identificado como ativo, seu marcador, caso configurado, inicia um movimento e altera sua cor para azul.

O botão “Enviar configurações”, quando o sistema está conectado ao servidor, também inicia um processo temporário de envio de dados. Este processo se dá pela apresentação da barra de progresso, pausa temporária da tarefa periódica de envio “\$SETATV” e início do contador de tempo limite, o qual acusa quando 20 segundos se passa sem respostas. Quando este tempo se esgota, é feita uma nova tentativa com um prazo maior para resposta, por até no máximo mais três tentativas. Se nenhuma resposta for obtida ainda, é gerado um sinal de erros para o usuário.

Assim o cliente envia inicialmente a mensagem de configuração dos periféricos (iniciada por “\$HDACN1”) e aguarda uma resposta (“\$RCVED”) do módulo central. Este processo se repete para as mensagens “\$HDAHOR” de cada setor e “\$HDACN2”, finalizando o envio dos parâmetros.

O processo de aquisição dos dados de sensor é feita de forma similar, diferenciando somente na mensagem enviada (“\$GETINF”) e na ausência de tentativas (tempo limite único de 1 minuto). Na tela de visualização de gráfico, é possível definir quais e quantos setores serão solicitados, sendo o gráfico da temperatura e da chuva sempre atualizados juntamente.

#### **5.4.2. TAREFAS REALIZADAS POR REQUISIÇÕES**

Algumas mensagens são enviadas pelo servidor, comunicando ao usuário sobre certo aviso. Isso é feito pelo comando inicial “\$AVISO” seguido da informação a ser transmitida.

Há ainda o aviso de erro de transmissão (“\$ERRRES”), enviado pelo módulo central. Este aviso somente comunica ao usuário sobre a necessidade de se reenviar os dados.

# CONCLUSÃO

O objetivo do projeto se demonstra bastante útil ao atual problema enfrentado na irrigação moderna. Causada pela má administração ou pela falta de informação, a queda de produção agrícola provoca muito prejuízo, que muitas vezes inviabilizam novos investimentos e o constante crescimento do negócio.

A realização deste projeto trará uma nova perspectiva de trabalho no meio rural de pequenos e médios produtores. Agora melhor administrada e monitorada, será capaz de render melhores resultados e aumentar seus lucros.

Sistemas de automação costumam requisitar certo investimento inicial, mas devido ao seu incremento de eficiência e produtividade, o projeto gera retornos em lucros, ao final de um pequeno espaço de tempo, maior do que seu valor investido, fora toda a simplicidades e tranquilidade de se operar o manejo de água nesse novo sistema.

Sendo esse um sistema relativamente simples e eficaz, capaz de contribuir para a economia e evitar desperdícios são somente alguns pequenos passos do que se precisa no atual contexto mundial, ou seja, consciência global. O retorno em produtividade será comprovadamente elevado, mas o retorno em conservação do meio-ambiente é ainda maior, mesmo que em alguns casos não parece tão vantajoso financeiramente.

Essa noção de preservação está tomando o pensamento de diversos membros de diferentes classes sociais e por isso o projeto se encaixa perfeitamente no contexto atual mundial. Fornecendo acréscimo de produtividade e redução de desperdício de água e energia elétrica, tem-se então um objetivo traçado e sua meta a ser alcançada.

Dada a complexidade de integração e diversificação do assunto abordado, o que se espera realmente desse projeto é um sistema final automatizado e integrado com um sistema supervisor, funcionando com eficiência, segurança e robustez.

Sendo assim, o real foco deste projeto se dá na integração de sistemas e aplicações práticas, simplificando os atuais processos modernos de automação e viabilizando a instalação destes em ambientes de baixo poder aquisitivo.

## BIBLIOGRAFIA

**Ashcroft.** Disponível em:

<[http://www.ashcroft.com.br/site/fr\\_dresser\\_produtos.asp?id\\_div=4&cat=15&gclid=CN2WwL2O\\_6YCFRRg2godxUd5dQ](http://www.ashcroft.com.br/site/fr_dresser_produtos.asp?id_div=4&cat=15&gclid=CN2WwL2O_6YCFRRg2godxUd5dQ)>.

**Wikipedia.** Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/>>. Acesso em: 02 julho 2011.

**Rain Bird,** 2001. Disponível em: <<http://www.rainbird.com.br>>. Acesso em: Fevereiro 2011.

**Elipse Software,** 2011. Disponível em: <<http://www.elipse.com.br/inicial.aspx?idioma=1>>. Acesso em: 10 Fevereiro 2011.

**Qt - Cross-platform application and UI framework,** 2011. Disponível em:

<<http://qt.nokia.com/>>. Acesso em: 12 julho 2011.

ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação.** Brasília, DF: embrapa, 2008.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L. **Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água.** [S.l.]. 2005.

DE ASSIS, A. C. Sistemas Supervisórios para Automação Industrial usando Software Livre.

**Centralmat,** 2006. Disponível em:

<<http://www.centralmat.com.br/Artigos/Mais/supervisorioLivre.pdf>>. Acesso em: 10 Fevereiro 2011.

**IRRIGAÇÃO. WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre,** 2011. Disponível em:

<<http://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Irriga%C3%A7%C3%A3o&oldid=23616957>>.

Acesso em: 8 Fevereiro 2011.

KLEIN, V. A. **UMA PROPOSTA DE IRRIGAÇÃO AUTOMÁTICA CONTROLADO POR TENSÍOMETROS.** Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo. Passo Fundo, RS. 2001.

MACIEL, W. M. **MONTAGEM E INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DE IRRIGAÇÃO.** UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. CEARÁ. 2005.

NETO, L. G. **Goiaba Produção.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2001.

OPENJDK. **OpenJDK,** 2011. Disponível em: <<http://openjdk.java.net/>>. Acesso em: 9 Fevereiro 2011.

**R. IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO.** Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP. [S.l.].

RAIN Bird. **Rain Bird,** 2011. Disponível em: <<http://www.rainbird.com/>>. Acesso em: 8 Fevereiro 2011.

SISTEMAS de Supervisão e Aquisição de Dados. **WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre,** 2011. Disponível em:

<[http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistemas\\_de\\_Supervis%C3%A3o\\_e\\_Aquisi%C3%A7%C3%A3o\\_de\\_Dados](http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistemas_de_Supervis%C3%A3o_e_Aquisi%C3%A7%C3%A3o_de_Dados)>. Acesso em: 7 Fevereiro 2011.

U-BOX Wireless modules. **U-box,** 2011. Disponível em: <<http://www.u-blox.com/en/wireless-modules.html>>. Acesso em: 6 Fevereiro 2011.

VALADÃO, L. T. **Uso conservativo da água na agricultura irrigada.** Brasília, DF: Projeto água certa, 2007.

# ANEXOS

Anexo 1 – DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS.

Anexo 2 –DISCRIÇÃO DO CONTEÚDO DO CD.

## ANEXO 1: EXEMPLOS DE REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

# APÊNDICES

Apêndice 1 – Dedução da Equação 2.7.

Apêndice 2 – ????????

## APÊNDICE1: DEDUÇÃO DA EQUAÇÃO 2.7

---

