

Bernardo Lucas Martino

**SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS
UTILIZANDO A REDE GSM/GPRS**

Viçosa, MG

2019

Bernardo Lucas Martino

SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS UTILIZANDO A REDE GSM/GPRS

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 402 – Projeto de Engenharia II – e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador Prof. Dr. Fernando Falco Pruski

Coorientador M.Sc. Rafael Iria Rodrigues

Viçosa, MG

2019

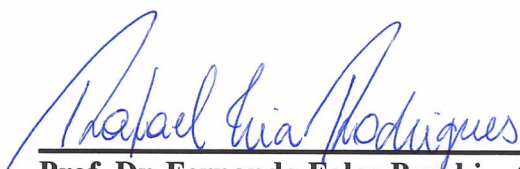
BERNARDO LUCAS MARTINO

**SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS UTILIZANDO A REDE
GSM/GPRS**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 402 – Projeto de Engenharia II e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 10 de dezembro de 2019.

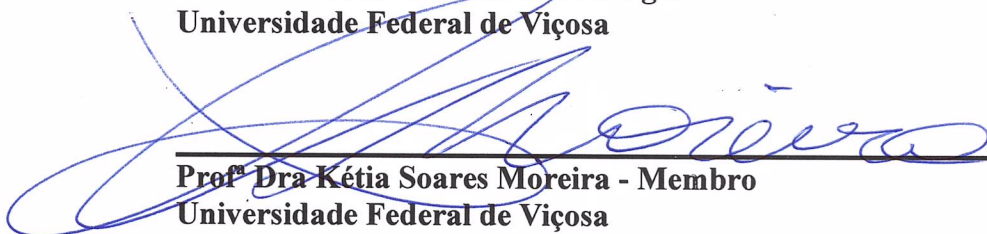
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Fernando Falco Pruski - Orientador
M.Sc. Rafael Iria Rodrigues – Coorientador
Universidade Federal de Viçosa



Prof. Dr. Denílson Eduardo Rodrigues - Membro
Universidade Federal de Viçosa



Prof. Dra Kétia Soares Moreira - Membro
Universidade Federal de Viçosa

Dedico este trabalho aos meus pais Eliana e Luciano, que sempre acreditaram no meu potencial e me ajudaram a cada etapa dessa conquista. Amo vocês mais que tudo.

Agradecimentos

Agradeço a minha mãe Eliana, minha heroína, que me deu apoio e incentivo nas horas difíceis em que o desânimo e o cansaço eram presentes, ao meu Pai Luciano que sempre me aconselhou a cada passo dessa jornada e ao meu irmão Victor pelos momentos de companheirismo e por sempre me fazer entender a importância da família.

Agradeço à minha namorada, Marina, por todo o seu apoio e carinho, pelas palavras doces, pelos abraços apertados e por fazer meus dias mais alegres. Aos meus amigos de infância: Igor, Caio, Jow, Christian, Luiz, Duduzão e Breno, agradeço pela amizade de décadas, vocês são os melhores amigos que alguém poderia pedir.

Agradeço ao professor Pruski pela orientação, pela confiança e pelas oportunidades que me foram oferecidas. Obrigado ao Rafael Iria pelo imenso apoio na elaboração deste trabalho, pelas correções, pelos incentivos e por todo o aprendizado. Obrigado aos professores Rodolpho e Brandão e aos técnicos Cristiano e Lúcio por me ajudarem na minha formação profissional. Aos demais que me ajudaram de alguma forma a chegar até aqui, meu muito obrigado.

*“Julgue seu sucesso pelas coisas que
você teve que renunciar para conseguir.”
(Dalai Lama)*

Resumo

Sistemas de telemetria automatizados são cada vez mais presentes no monitoramento de variáveis como temperatura, radiação solar, nível d'água, pH do solo, luminosidade, velocidade do vento e umidade do ar pois possuem um custo operacional menor quando comparados com as metodologias que necessitam de operadores para realizar medições. Dentre as tecnologias disponíveis hoje no mercado para a transmissão sem fio de dados, a rede de telefonia móvel é uma das opções mais interessantes para aplicações à longas distâncias, pois apresenta uma infra estrutura bem desenvolvida com cobertura nacional e um baixo custo de implementação quando comparada com outras redes. Sendo assim, o presente trabalho se baseou na hipótese de que o desenvolvimento de um sistema de transmissão de dados utilizando a rede GSM possa constituir-se em uma importante ferramenta para as áreas de gestão e planejamento de recursos, visto que ele permite o monitoramento de variáveis importantes em tempo real. Dessa forma esse trabalho teve como objetivo a criação de um protótipo de um sistema de aquisição e transmissão automática de dados, o que acarretou no desenvolvimento de uma placa de circuito impresso, dotada de um módulo de comunicação GSM, capaz de ler e transmitir dados de sensores de temperatura e luminosidade via mensagens de texto SMS aos usuários do sistema, além de um aplicativo de celular para gerenciar a obtenção dos dados. Foram realizados três experimentos com o protótipo desenvolvido, com os quais foi possível constatar que ele conseguiu não só reconhecer automaticamente seus usuários, mas também interpretar e executar diferentes comandos de leitura. Por fim esse trabalho descreve os custos da construção do protótipo e faz uma análise sobre a adaptabilidade do sistema desenvolvido.

Palavras-chaves: GSM; telemetria; sensores; aplicativo; microcontrolador; placa de circuito impresso; módulo GSM.

Abstract

Automated telemetry systems are increasingly been used for monitoring variables such as temperature, water level, lightness, solar radiation, soil pH, wind speed and air humidity as they have a lower operating cost when compared to methodologies that require operators to perform measurements. Among the technologies available today for wireless data transmission, the mobile phone network is one of the most interesting options for long-distance applications because of it's well-developed infrastructure with nationwide coverage and a low implementation cost when compared with other networks. Thus, this paper was based on the hypothesis that the development of a data transmission system using the GSM network can be an important tool for water resources management and planning since it allows real-time monitoring of important variables. In order to create a prototype of a system of automatic data acquisition and transmission, a printed circuit board equipped with a microcontroller and a GSM communication module, capable of reading and transmit data from temperature and light sensors through SMS text messages to it's users was created along with a mobile app to manage the data collection. Three experiments were carried out with the developed prototype, showing that it could not only automatically recognize its users, but also interpret and execute different read commands. Finally, this paper describes the prototype construction cost and analyzes the developed system's adaptability capacity.

Keywords: GSM; telemetry; sensors; app; microcontroller; printed circuit board; GSM module.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Estrutura de uma rede GSM	14
Figura 2 – Arquitetura de transmissão de dados GSM	17
Figura 3 – Mapa de processos	18
Figura 4 – LM35	19
Figura 5 – LDR	20
Figura 6 – Luxímetro	21
Figura 7 – Curva de Calibração do LDR	21
Figura 8 – Módulo SIM800L	22
Figura 9 – Diagrama resumido de um microcontrolador	23
Figura 10 – Pinos do PIC18f2550	24
Figura 11 – Dispositivos Auxiliares	24
Figura 12 – Interface do Eagle Cadsoft	25
Figura 13 – Circuito de Alimentação	26
Figura 14 – Circuitos ARES	26
Figura 15 – Leitura de Sensor	27
Figura 16 – Compilador CCS-PCWHD	28
Figura 17 – Fluxograma do firmware	29
Figura 18 – Comandos AT	31
Figura 19 – Rotina de configuração do SIM800L	32
Figura 20 – Buffer	32
Figura 21 – Função para extrair o remetente do buffer	33
Figura 22 – Mensagem recebida da PCI	33
Figura 23 – Emulador Android Studio	34
Figura 24 – Atividade Principal	36
Figura 25 – Atividade Conversões	37
Figura 26 – Protótipo	38
Figura 27 – Primeiro Experimento - Código “\$00’	38
Figura 28 – Primeiro Experimento - Código “\$01”	39
Figura 29 – Primeiro Experimento - Código “\$10’	39
Figura 30 – Primeiro Experimento - Código “\$11”	39
Figura 31 – Segundo Experimento - Código “\$00’	40
Figura 32 – Segundo Experimento - Código “\$10’	40
Figura 33 – Segundo Experimento - Código “\$01’	40
Figura 34 – Segundo Experimento - Código “\$11’	41
Figura 35 – Terceiro Experimento	42

Lista de tabelas

Tabela 1 – Principais periféricos do PIC 18F2550	23
Tabela 2 – Sintaxe dos Comandos AT	30
Tabela 3 – Custos do Projeto	42

Lista de abreviaturas e siglas

GSM	Global Systems Communications.
GPRS	General Packet Radio Services.
MS	Mobile Station.
SMS	Short Message Service.
AT	Attention.
CMOS	Complementary metal-oxide-semiconductor.
PIC	Programmable Interface Controller.
USART	Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter.
CI	Circuito-integrado.
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia.
PCI	Placa de circuito impresso.
LDR	Light dependent resistor.
USB	Barramento Serial Universal.
GND	Terra.
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter.
App	Aplicativo.
ICSP	In-Circuit Serial Programming.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
2	JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS	16
2.1	Justificativa	16
2.2	Objetivos Gerais e Específicos	16
3	MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1	Desenvolvimento eletrônico	18
3.1.1	Sensores	18
3.1.1.1	Temperatura	18
3.1.1.2	Luminosidade	19
3.1.2	Módulo GSM	20
3.1.3	Microcontrolador PIC18f2550	22
3.1.4	Dispositivos auxiliares	23
3.1.5	PCI - Apollo	24
3.2	Comunicação	27
3.2.1	Microcontrolador / módulo GSM	27
3.2.2	Modulo GSM / smartphone	32
3.3	Desenvolvimento do aplicativo de Celular no Android Studio	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1	Aplicativo Android - Afrodite	35
4.1.1	Atividade Principal	35
4.1.2	Atividade Conversões	36
4.2	Experimentos	37
4.3	Custos do Projeto	41
4.4	Capacidade de adaptação do sistema	43
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
5.1	Conclusão	44
5.2	Trabalhos Futuros	44
	REFERÊNCIAS	46

1 Introdução

Sistemas capazes de adquirir e transmitir dados sem fio se fazem cada vez mais presentes em diversas áreas, como no telemonitoramento médico, no controle do sistema elétrico de potência, na indústria 4.0 e estudos climáticos, uma vez que eles permitem a automatização de diversos processos e a conectividade entre dispositivos. Esses sistemas de telemetria automatizados visam diminuir o custo operacional das metodologias tradicionais que necessitam de um operador para realizar medições. Um exemplo de onde essa automação e conectividade vem crescendo no cenário nacional são as estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Hoje o instituto administra mais de 700 estações meteorológicas espalhadas por todo território brasileiro, que coletam dados de variáveis climáticas como radiação, temperatura, umidade relativa do ar, dentre outras.

Apesar da grande maioria delas serem automáticas, ainda existem estações convencionais [INMET 2019], pois como a automatização dessa coleta é relativamente recente no país, existem constantes discussões sobre sua confiabilidade, custo e dificuldade de manutenção [Sentelhas et al. 1997], porque a ocorrência de falhas nesses dispositivos pode acarretar perdas de informações ou a necessidade da utilização das estações convencionais. Por outro lado, essa tecnologia tende a substituir o processo manual de coleta de dados [Sousa, Antunes e Cabral 2015], tornando os sistemas telemétricos, hoje, o foco de vários pesquisadores [Ionel, Vasiu e Mischie 2012].

Dentre as tecnologias wireless necessárias à telemetria, as mais conhecidas são o Bluetooth, o Wi-Fi, a rede de telefonia celular (GSM/GPRS) e a comunicação via satélite. O Bluetooth é comumente usado para aplicações de curtas distâncias, confinadas em até 100 m, como por exemplo, para conectar periféricos (mouse, teclado e joysticks) a um computador. Essa tecnologia já é presente nos aparelhos celulares, o que ajuda na simplicidade de sua utilização. Já o Wi-Fi, e mais especificamente o Wireless Local Area Network (WLAN), é um sistema capaz de transmitir grandes quantidades de dados em frequências elevadas, que variam entre 54 Mbps e 600 Mbps. Entretanto, ela é recomendada para distâncias médias pois o aumento da sua área de cobertura, principalmente com o uso de topologias de malha, representa um acréscimo significativo na complexidade da rede [Mulla et al. 2015]. Para uma telemetria a longas distâncias a comunicação via satélite é uma opção bem conhecida, apesar de mesma apresentar um elevado custo operacional e de implementação [Liberalquino 2010].

A rede de telefonia celular, por sua vez, é destinada a transmissões a longas distâncias [Mulla et al. 2015]. Ela conta com diversos serviços presentes nas tecnologias 1G, 2G, 3G e 4G, como telefonemas, mensagens de texto e acesso a internet que, gradativamente,

vem se tornando cada vez mais atrativas [Pirotti e Zuccolotto 2009]. Apesar dela não ser recomendada para aplicações que dependam de uma comunicação contínua, visto que sua disponibilidade depende da densidade populacional nos locais da aplicação, a rede de telefonia celular possui uma infra estrutura bem desenvolvida [Mulla et al. 2015], haja vista que ela está presente em todos os 5570 municípios brasileiros com a tecnologia 2G, 5467 com a 3G e 4554 com a 4G [ANATEL 2018]. Isso proporciona a rede GSM uma cobertura nacional e uma disponibilidade de serviços bastante interessante quando comparada com as demais tecnologias.

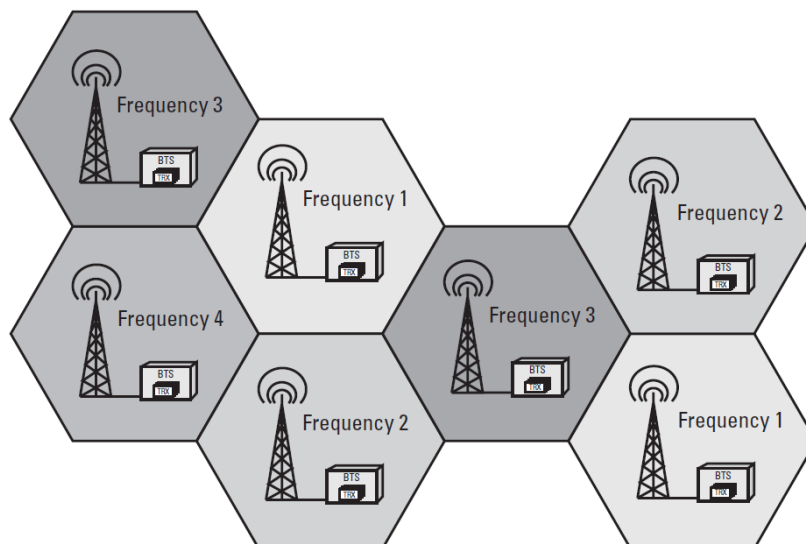
O *Global Systems Communications* (GSM) para telefonia celular foi desenvolvido no início da década de 80 pelo *Groupe Spéciale Mobile* para suplantiar os diversos padrões de telefonia existentes em cada país até então. Antes de sua implementação os usuários eram impossibilitados de transitarem internacionalmente utilizando os serviços de telefonia móvel [Bodic 2005]. Embora o sistema tenha sido pensado inicialmente apenas para a Europa, a rede demonstrou condições de se tornar um modelo global [Pirotti e Zuccolotto 2009, Heine e Horrer 1999]. A primeira geração (1G) do sistema, introduzida no mercado em 1991, era caracterizada por ser analógica e sem fio, já a segunda geração, 2G, por sua vez possuía tecnologia de comunicação digital, o que a possibilitava uma melhor qualidade de voz e maior disponibilidade de serviços. Em seguida surgiu a geração 2.5G, em 2001, também conhecida como GPRS (General Packet Radio Services) que fez com o que os dados da rede de telefonia fossem enviados em pacotes, permitindo assim a conexão com a Internet. No ano de 2004 a terceira geração (3G) foi introduzida no mercado possibilitando diversas melhorias aos serviços tradicionais e também ao acesso à Internet [Bodic 2005]. Por fim, em 2013 chegou ao Brasil a quarta geração (4G), também chamada de *Long-Term Evolution* (LTE), que conta com uma disponibilidade ainda maior de Internet se comparada à tecnologia 3G [Dahlman, Parkvall e Skold 2013].

A rede GSM/GPRS é configurada de acordo com o conceito de célula pois o espectro de frequência disponível à comunicação móvel é limitado, dessa forma diversos usuários conseguem utilizar a mesma banda de frequência simultaneamente, porque cada célula da rede utiliza uma faixa de frequência diferente da vizinha (Figura 1). Para uma rede GSM, quanto menor a célula, maior é a reutilização de frequência da rede e maior o custo de sua infraestrutura [Bodic 2005, Heine e Horrer 1999].

Nessa arquitetura, cada cliente usa uma estação móvel (MS) que se comunica com a estação transceptora base (BTS) no centro da célula por meio de ondas de rádio. O MS pode ser um telefone celular ou um módulo GSM e é identificado através de um número único de 15 dígitos chamado IMEI (*INTERNATIONAL MOBILE EQUIPAMENT IDENTIFY*). Além disso, esses aparelhos também devem ser equipados com um chip SIM (Subscriber Identity Module), cujo número de reconhecimento é chamado IMSI (International Mobile Subscriber Identity), de forma que mesmo se o usuário trocar de terminal, o cartão SIM

irá identifica-lo [Fischer 2016].

Figura 1 – Estrutura de uma rede GSM



Fonte: Retirado de [Heine e Horrer 1999]

Nesse trabalho o serviço GSM/GPRS utilizado é o Short Message Service (SMS), já incluído na tecnologia 2.5G, que permite a troca de mensagens curtas de texto (160 caracteres) entre os assinantes [Bodic 2005]. Ele foi escolhido pois é o serviço mais simples e com maior cobertura que pode ser aplicado para a automação de sistemas de aquisição e transmissão automática de dados. Uma característica deste serviço é que ele permite a um MS receber ou enviar mensagens, a qualquer momento, independentemente de chamada de voz ou dados em andamento. Dessa forma, a entrega das mensagens é assegurada pela rede e se alguma falha temporária ocorrer, a mensagem fica armazenada até que o destino esteja novamente disponível [Dias e Sadok 2001].

O envio de dados e comandos via mensagens de texto não é algo inovador. Essa tecnologia é usada em várias áreas como, por exemplo, para alarmes de segurança, equipamentos eletrônicos em “Smart Homes” ou mesmo em estações meteorológicas [Nasution et al. 2017, Yubo, Yunfeng e Zhiwei 2014, Xingang Guo e Yu Song 2010]. Empresas como a Squitter Soluções em Meteorologia e Hidrologia e a Sigma Sensors já fabricam estações meteorológicas automáticas que utilizam a rede GSM para telemetria de dados.

As estações meteorológicas automáticas do INMET são exemplos de como o uso da rede GSM se destaca em relação às demais tecnologias. Para as estações meteorológicas do instituto que utilizam a rede de telefonia para a transmissão de dados, o custo operacional é de R\$250,00/mês por estação, enquanto as que utilizam a comunicação via satélite custam R\$700,00/mês [INMET 2019]. Apesar do GSM não ter uma cobertura tão abrangente

quanto a satélite, ela apresenta uma diminuição significativa de custo para as estações meteorológicas, tornando a rede mais atrativa para essa aplicação.

2 Justificativa e Objetivos

2.1 Justificativa

Mediante as abordagens apresentadas, o presente trabalho se baseia na hipótese de que o desenvolvimento de um sistema de transmissão de dados utilizando a rede GSM possa constituir de uma importante ferramenta para as áreas de gestão e planejamento de diferentes recursos, visto que essa tecnologia permite a obtenção de dados de variáveis importantes em tempo real e, conseqüentemente, possibilita que medidas mitigadoras possam ser tomadas com antecedência.

2.2 Objetivos Gerais e Específicos

O objetivo geral desse trabalho foi desenvolver um sistema de aquisição e transmissão automática de dados utilizando a rede GSM.

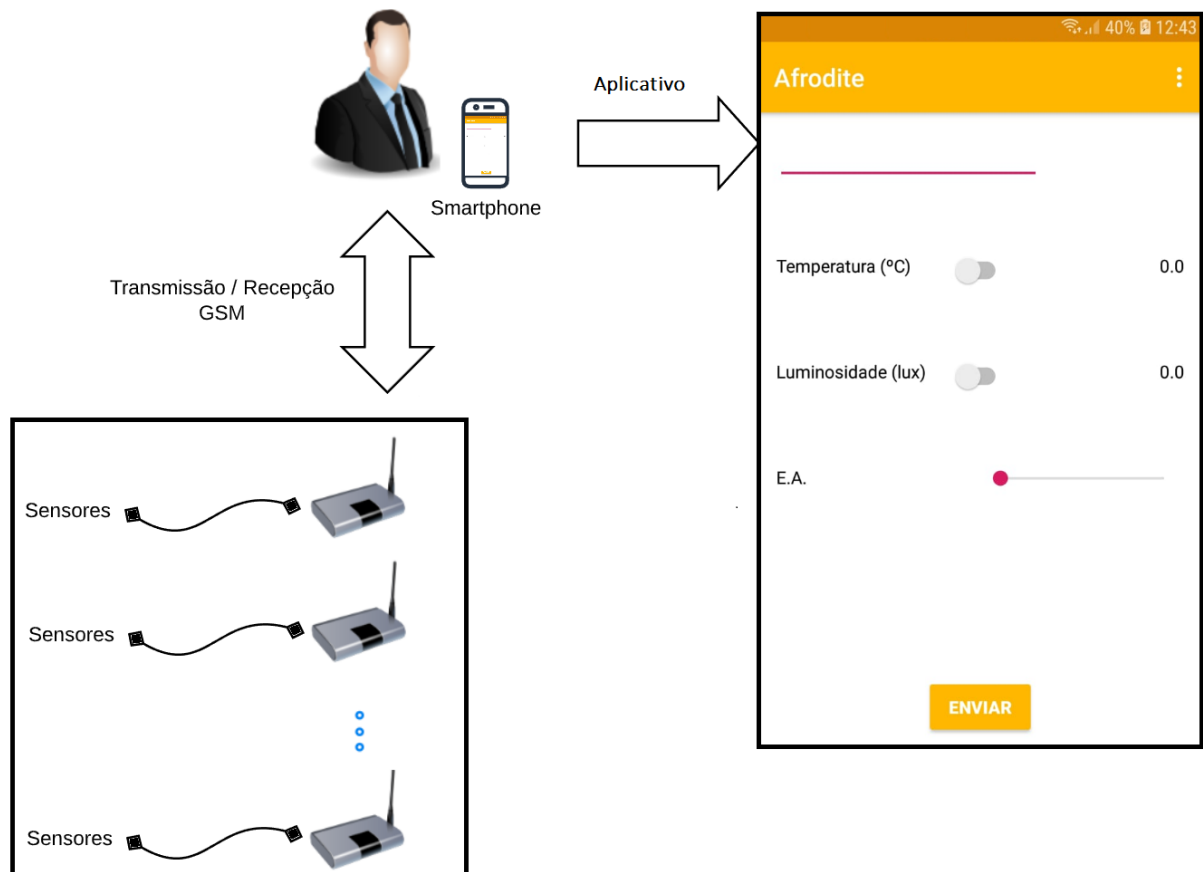
Objetivos específicos:

1. Desenvolver um hardware capaz de se conectar à rede GSM e enviar dados de seus sensores via SMS;
2. Desenvolver um firmware para gerenciar a comunicação entre o usuário e o hardware;
3. Desenvolver um aplicativo para gerenciar a obtenção automática de dados do dispositivo.

3 Materiais e Métodos

O propósito desse trabalho foi desenvolver um sistema de transmissão de dados utilizando a rede GSM. Sendo assim foi desenvolvido um protótipo constituído de uma placa de circuitos impressos (PCI) contendo sensores de temperatura e luminosidade, um firmware destinado ao microcontrolador da PCI para leitura e transmissão dos valores medidos pelos sensores e um aplicativo de celular para que o usuário final pudesse gerenciar a aquisição de dados desse dispositivo. A Figura 2 ilustra o esquema geral do sistema proposto desde a leitura dos sensores até o usuário final.

Figura 2 – Arquitetura de transmissão de dados GSM

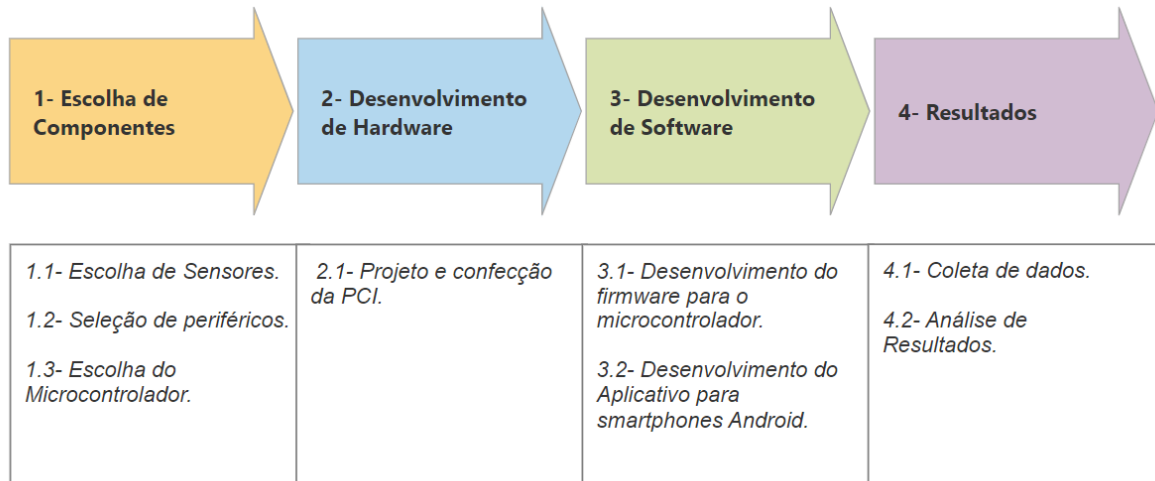


O dispositivo eletrônico possui entrada para sensores analógicos e digitais sendo que, para essa aplicação, foram utilizados sensores de temperatura e luminosidade devido ao seu baixo custo e facilidade de implementação. Esse dispositivo possui um módulo de transmissão GSM com um chip SIM (da operadora Vivo) para o envio das informações dos sensores na forma de SMS. Cada dispositivo trabalha no modo escravo, sendo necessário enviar uma solicitação de leitura para que a transmissão das informações ocorra e cada um dos dispositivos pode trabalhar de forma individualizada, reconhecendo automaticamente o solicitante/remetente. A solicitação é enviada pelo aplicativo, de forma que o usuário

deve seleccionar os sensores dos quais ele deseja obter as informações e recebe como resposta um buffer de dados que é processado pelo aplicativo.

O desenvolvimento metodológico seguiu o mapa de processos descrito na Figura 3.

Figura 3 – Mapa de processos



3.1 Desenvolvimento eletrônico

Para o desenvolvimento do dispositivo eletrônico foi necessário definir os sensores que serão utilizados na aplicação, o módulo GSM de transmissão de dados, os protocolos de comunicação e o microcontrolador. Além disso, foi necessário desenvolver uma placa de circuito impresso para integrar todos os componentes utilizados na aplicação.

3.1.1 Sensores

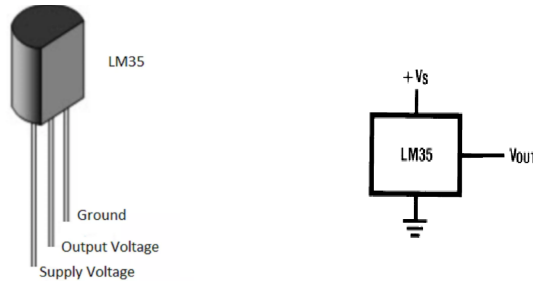
Devido à facilidade de implementação, nesse trabalho foram utilizados os sensores de luminosidade e temperatura para representar as variáveis monitoradas pelo sistema, entretanto é importante ressaltar que o projeto desenvolvido permite a implementação de sensores adicionais seguindo a estrutura de software descrita no decorrer desse capítulo.

3.1.1.1 Temperatura

O LM35 é um circuito-integrado (CI) cuja tensão de saída é linearmente proporcional à temperatura (em graus Celsius). A simplicidade de sua utilização advém do fato do mesmo não requerer nenhum dispositivo externo de calibração ou corte para fornecer precisões de 0.5 °C. Além disso o sensor possui uma sensibilidade de 10 mV °C⁻¹ e precisão, na resolução de 10 bits, de 0.488 °C/bit.

A Figura 4a abaixo ilustra a polaridade do sensor de temperatura, assim como seu esquema de ligação (Figura 4b) [National Semiconductor 2000].

Figura 4 – LM35



(a) Sensor LM35

(b) Ligação

Fonte: Retirado de [National Semiconductor 2000]

As principais características do LM35 são:

- Faixa de medição entre 2 °C e 150 °C (para a configuração apresentada na Figura 4b).
- Sensibilidade de 10 mV °C⁻¹.
- Precisão de 0.5 °C em 25 °C.
- Opera com tensões entre 4 até 30 V.
- Menos de 60 µA de corrente de dreno.
- Precisão na resolução de 10 bits de até 0.488 °C/bit.

Para converter os valores em bits do LM35 foi necessário fazer um escalonamento da escala de bits (0 a 1023) para a escala de temperatura (2 a 150 °C). Assim temos

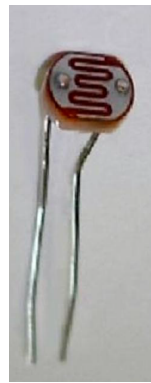
$$T = 0.144V_b + 2 \quad (3.1)$$

onde T é a temperatura dada em °C e V_b é o valor lido pelo sensor em bits. Esse método foi escolhido devido às dificuldades encontradas no processo de calibração do sensor, além do fato de pois sua função no ensaio era obter diferenças de temperatura.

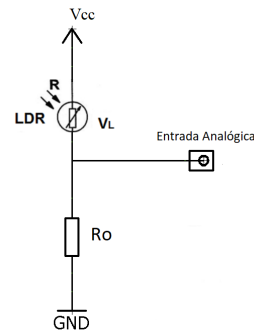
3.1.1.2 Luminosidade

Para leitura de luminosidade foi utilizado o *Light Dependent Resistor* (LDR). O sensor (Figura 5a) é composto por um material semicondutor, de sulfeto de cádmio ou o sulfeto de chumbo, e atua como uma resistência elétrica que é alterada com o aumento da intensidade da luminosidade. O esquema de ligação necessário para se ler o LDR está ilustrado na Figura 5b.

Figura 5 – LDR



(a) LDR



(b) Conexão do LDR

A resistência do LDR varia de forma não linear tal que

$$R = \lambda L^{-\gamma} \quad (3.2)$$

onde R é resistência elétrica do sensor, L é a iluminação em lux (lx), λ é o pico de resposta espectral (Nm) e γ é uma constante fornecida pelo fabricante. Como, a partir da topologia da Figura 5b, R também pode ser definido como

$$R = \frac{R_o V_{cc}}{V_o} - R_o \quad (3.3)$$

onde R_o é a resistência em série com o LDR (em Ω), V_o é a tensão em R_o (em V) e V_{cc} é 4.4 V, foi possível determinar os valores de $\lambda = 106972$ e $\gamma = 0,60$ calibrando o LDR com o auxílio do luxímetro *UT383* (Figura 6) e do software Microsoft Excel (versão gratuita). A curva de calibração construída para o LDR está ilustrada na Figura 7, onde a aproximação teve um coeficiente de determinação (R^2), definido como uma medida da proporção da variabilidade da resistência do LDR em função da variabilidade de luminosidade de 0.9991, o que indica uma boa aproximação para o comportamento da resistência do sensor.

3.1.2 Módulo GSM

Para realizar a transmissão dos dados foi utilizado o módulo SIM800L, que possibilita a conexão entre o dispositivo eletrônico e a rede GSM/GPRS. Esse módulo possui um *chip* SIM800L *quad-band* desenvolvido pela SIMCom [SIMCom 2013] conectado à uma placa eletrônica, facilitando o acesso aos pinos de controle do chip (Figura 8).

As principais características do SIM800L estão listadas abaixo:

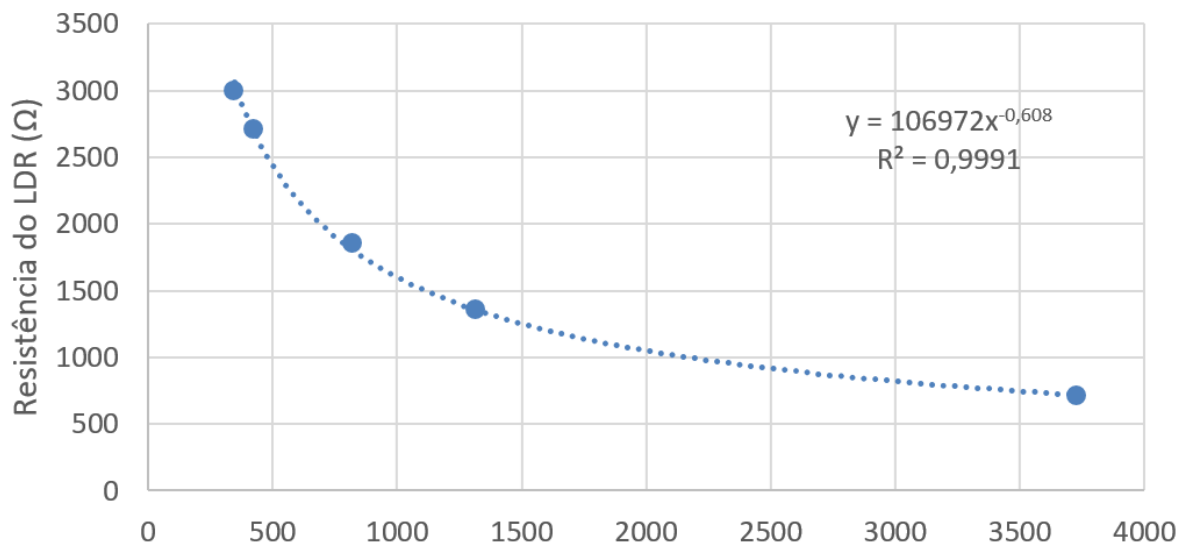
- Alimentação com tensão de 3.3 a 4.5 VDC.
- Possui um *socket* dedicado à cartões SIM.

Figura 6 – Luxímetro



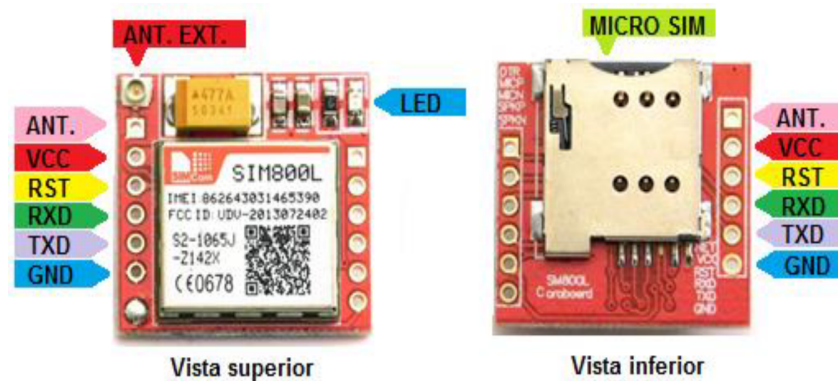
Figura 7 – Curva de Calibração do LDR

Resistência vs Luminosidade



- Opera nas quatro bandas das operadoras de telefonia GSM (850, 900, 1800 e 1900 MHz).
- Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) com velocidade de até 115200 bps.
- Potência máxima de saída de +33 dBm para frequências de operação de 850 e 900 MHz ou de +30 dBm para frequências de 1800 e 1900 MHz.
- Corrente máxima de 2 A.
- Consumo de 2.5 mA em espera.

Figura 8 – Módulo SIM800L



Fonte: Retirado de [NETTIGO 2019]

- Sensibilidade de 107 dBm nas 4 frequências. .

O módulo utiliza protocolo de comunicação serial UART, que é uma maneira de se transmitir informações na forma de bits, enviando-os um por vez através de um canal de transmissão. Ela foi desenvolvida com o intuito de permitir a troca de informações entre dispositivos digitais de maneira assíncrona, em que o transmissor e o receptor são sincronizados a cada byte. A comunicação entre os dispositivos é iniciada por meio do envio de um *start bit*, que é seguido pelos bits referentes à informação transmitida, pelos bits de paridade e pelo *stop bit*, que encerra a comunicação. À velocidade dessa transmissão é dado o nome de *bound rate* e normalmente deve ser configurada de forma igual tanto no dispositivo transmissor quanto no receptor [Pereira 2014], entretanto, o módulo SIM800L possui um mecanismo de identificação automático dessa velocidade, facilitando assim sua configuração.

O padrão utilizado com a interface UART para a comunicação entre o módulo e o microcontrolador foi o RS-232, cujo o funcionamento necessita de três conectores, sendo eles: o pino de transmissão de dados (TX), de recepção de dados (RX) e, por fim, o fio referente ao terra (GND). É importante ressaltar que o RS-232 trabalha usualmente com nível de tensão Transistor to Transistor Logic (TTL), ou seja, 5 V, e pode chegar a velocidades de transmissão de até 20 Kbps [Axelson 2007].

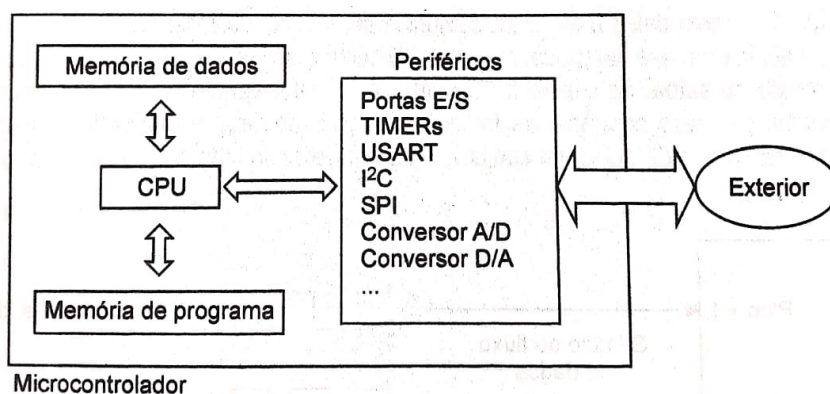
3.1.3 Microcontrolador PIC18f2550

Mediante as características do sistema e visualizando aplicações futuras (comunicação USB e controle de processos), foi escolhido o microcontrolador PIC18f2550, desenvolvido pela empresa MICROCHIP, cujo o diagrama resumido de sua arquitetura básica está ilustrado na Figura 9 [Miyadaira 2009].

As principais características do PIC18F2550 são listadas abaixo:

- Alimentação com tensão de 4.2 V a 5.5 V.
- Corrente máxima de 25 mA.
- Capacidade de operar com cristais oscilatórios com frequências de até 20 MHz.
- Conversores analógico-digital de 10-bits.
- Interface de dados UART e padrão de comunicação RS-232.

Figura 9 – Diagrama resumido de um microcontrolador



Fonte: Retirado de [Miyadaira 2009]

A Tabela 1 descreve os principais periféricos do microcontrolador, assim como quais deles foram utilizados. Os pinos do microcontrolador estão ilustrados na Figura 10.

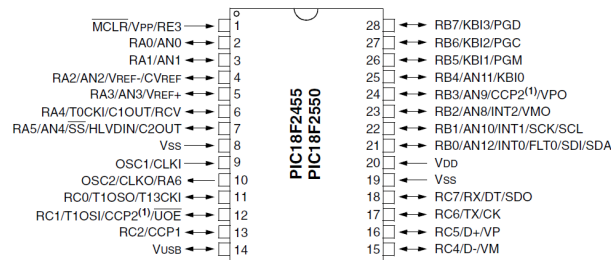
Tabela 1 – Principais periféricos do PIC 18F2550

	Portas de entrada ou saída digital(I/O)	TIMERS	Conversores analógico/digital de 10 bits.	Protocolos de Comunicação Serial
Disponível	Barramentos A, B, C e E	TIMER 0 TIMER 1 TIMER 2 TIMER 3	Barramento A B0 a B4	USB UART
Utilizado	E3 - MCLR C0 - LED1 C1 - LED2 B6 - PGC B7 - PGD	TIMER 0	A0 - LM35 A1 - LDR	UART (C6 e C7)

3.1.4 Dispositivos auxiliares

Para o funcionamento da PCI foi necessário a utilização de dois elementos externos, sendo eles o gravador k-150 e a bateria UP1270E. O k-150 (Figura 11a) é um dispositivo para

Figura 10 – Pinos do PIC18f2550



Fonte: Retirado de [MICHOSHIP 2006]

gravação de códigos para microcontroladores PIC. Este gravador possui um soquete tipo Zero Insertion Force (ZIF) de 40 pinos, que contém, além do soquete, uma pequena alavanca que permite travar o chip. Esse soquete reduz possíveis danos ao CI, se comparado com os soquetes tradicionais. Além disso o gravador conta com um conector para programação ICSP, que possibilita a gravação *on board*.

Para a alimentação da PCI foi utilizada a bateria UP1270E (Figura 11b) de 12 V e 7 A h, para possibilitar que o dispositivo projetado consiga operar sem a necessidade de ser conectado à rede elétrica.

Figura 11 – Dispositivos Auxiliares



(a) K-150



(b) Bateria

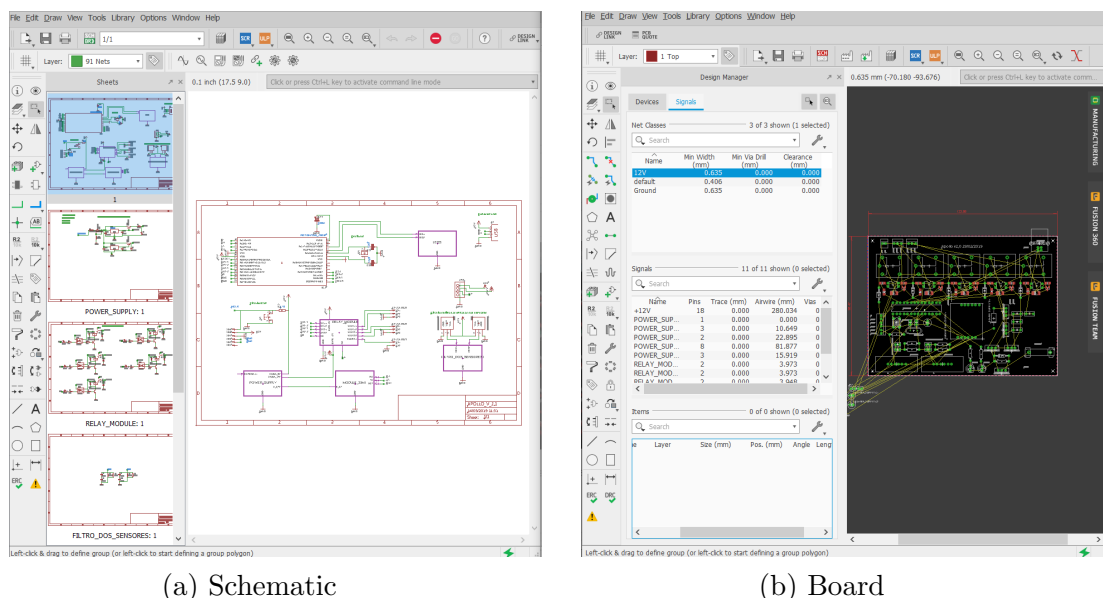
Fonte: <<https://www.mercadolivre.com.br/>>

3.1.5 PCI - Apollo

A placa eletrônica desenvolvida nesse trabalho, nomeada “Apollo”, foi projetada utilizando o software Eagle Cadsoft (versão gratuita). O projeto foi feito em duas telas, sendo a primeira (Figura 12a) referente ao esquemático do projeto e a segunda (Figura

12b) referente ao roteamento da PCI. O programa retorna ao usuário dois arquivos, sendo o da primeira tela um arquivo na extensão *.sql* e o da segunda na extensão *.brd* (a confecção do hardware foi feita pela empresa Digicart, de Florianópolis - SC).

Figura 12 – Interface do Eagle Cadsoft



Apollo foi projetada para que o microcontrolador realize a leitura de sensores analógicos e transmitir os dados obtidos via SMS. Seus circuitos fundamentais são o circuito de alimentação, o circuito de acionamento de LEDs, o circuito de leitura de sensores, o In-Circuit Serial Programming (ICSP) e o circuito de comunicação serial entre o microcontrolador e o módulo GSM. Apollo também conta com uma porta USB, além de circuitos de acionamentos de 12 V, via relés, que foram inseridos no projeto visando futuras aplicações da PCI.

O circuito de alimentação da Apollo (Figura 13), foi desenvolvido para fornecer a ela tensões de 4.4 V e 3.7 V a partir dos 12 V disponibilizados pela bateria. Ele conta com um regulador de tensão L7805 (5 V) conectado um transistor TBJ e um diodo, possibilitando assim alcançar ambas as tensões desejadas. A topologia criada também conta com um fusível de 2.5 A, que atua como uma proteção contra altas correntes, e um MOSFET IRF9530, que garante um fluxo unidirecional da fonte de alimentação para a PCI, protegendo Apollo em caso de polarização reversa de sua bateria [Pürschel 2009].

O circuito de acionamento de LEDs na PCI conta com dois LEDs, um amarelo e um verde. Com o auxílio do TIMER 0 do microcontrolador, o LED amarelo foi programado para piscar periodicamente (a cada segundo), com o intuito de sinalizar ao usuário não só que a placa foi energizada mas também que o firmware está funcionando corretamente. Já o LED verde foi utilizado para permitir que um operador consiga acompanhar tanto a

rotina de configuração configuração do módulo GSM, que será descrita no decorrer deste capítulo, mas também para indicar quando o dispositivo recebeu um SMS.

O ICSP é uma configuração que permite que um microcontrolador seja programado *on board*. A topologia da Figura 14a foi projetada para permitir não só essa funcionalidade mas também a possibilidade de um operador reiniciar o programa do PIC18F2550 ao apertar o botão existente na placa.

O circuito de comunicação serial da Figura 14b permite que o PIC18F2550 se conecte com o SIM800L. Os detalhes dessa comunicação já foram abordados anteriormente na seção 3.2.1.

Figura 13 – Circuito de Alimentação

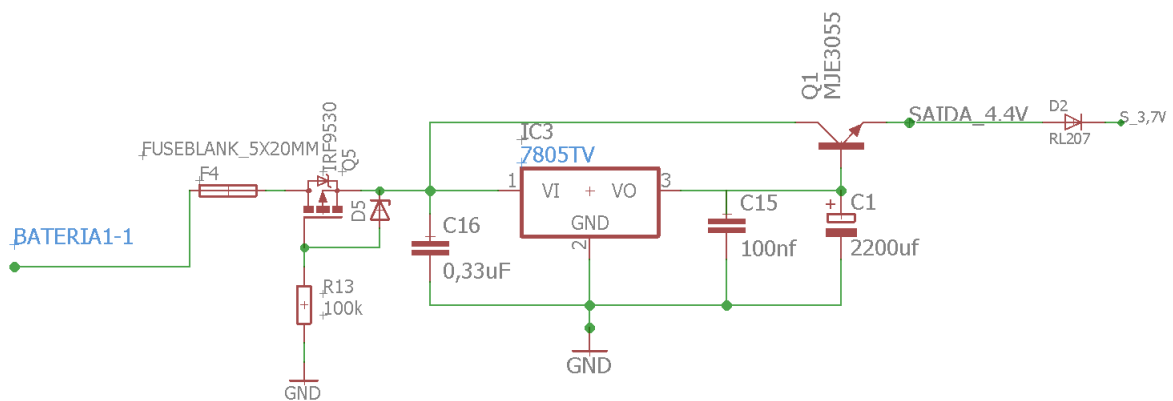
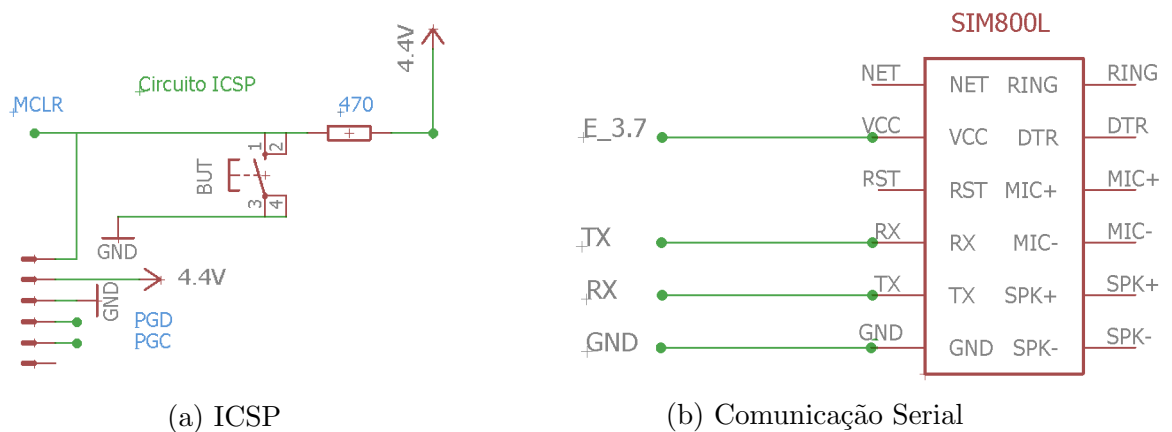


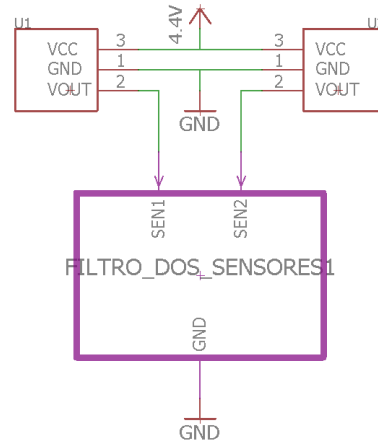
Figura 14 – Circuitos ARES



O circuito para a leitura de sensores, mostrado na Figura 15, conta somente com três conexões. A primeira é referente ao 4.4 V, a segunda ao GND (0 V) e a última à saída de tensão analógica dos sensores (Vout). A topologia conta também filtros RC para a saída de tensão do LM35 e um resistor de *pull-down* para o LDR. É importante ressaltar que os

sensores não foram soldados na PCI mas sim conectados a ela, o que possibilitou maior liberdade para posicionar os sensores durante os experimentos com o protótipo.

Figura 15 – Leitura de Sensor



3.2 Comunicação

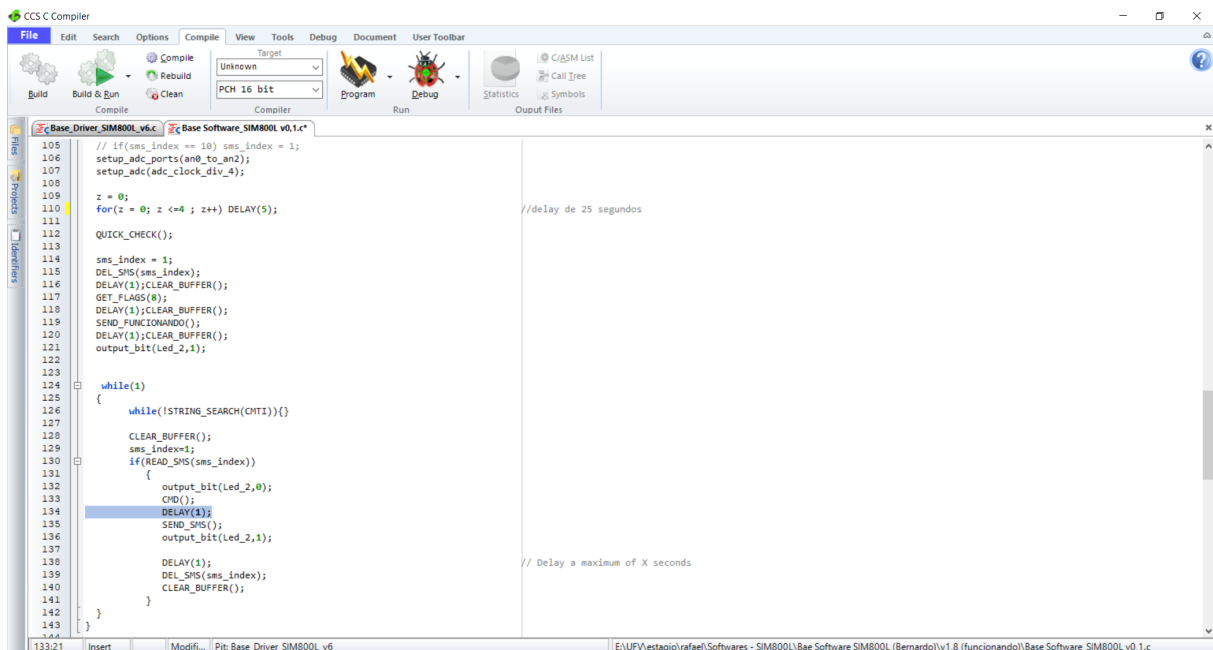
O sistema de transmissão de dados desenvolvido depende da comunicação entre seus diferentes componentes. Essa comunicação se resume em duas etapas: a primeira é entre o microcontrolador e o SIM800L, utilizando os comandos **AT**, feitos por intermédio da interface UART presente em ambos os componentes; a segunda é entre o módulo SIM800L e o smartphone, viabilizada pela rede GSM.

Para coordenar essa comunicação foi preciso criar um firmware para o microcontrolador contendo todas as rotinas de código necessárias para esse processo. Para tanto foi utilizado o software CCS-PCWHD (versão gratuita) pois ele conta com várias ferramentas como um *debugger*, que é usado para testar o código e encontrar seus erros e um monitor serial para testar comunicações entre a placa eletrônica e o computador. Além disso, por meio do seu *compilador* gera-se um arquivo *.hex. necessário para a gravação do programa no microcontrolador. O CCS também possui funções específicas e *drivers* para acionar os periféricos do microcontrolador, como seus conversores analógico-digital, temporizadores e transmissores RS-232. A Figura 16 ilustra um exemplo de programa.

3.2.1 Microcontrolador / módulo GSM

Para o PIC18F2550 se comunicar com o SIM800L utiliza-se os comandos AT, que são cadeias de caracteres que compreendem pelo menos um identificador de comando [Panditji e Gaylord 1996]. Na literatura encontra-se uma extensa lista desses comandos que possibilitam a realização de tarefas como enviar mensagens de texto SMS, realizar chamadas, identificação do estado de baterias, entre outros serviços [Jawarkar et al. 2008].

Figura 16 – Compilador CCS-PCWHD

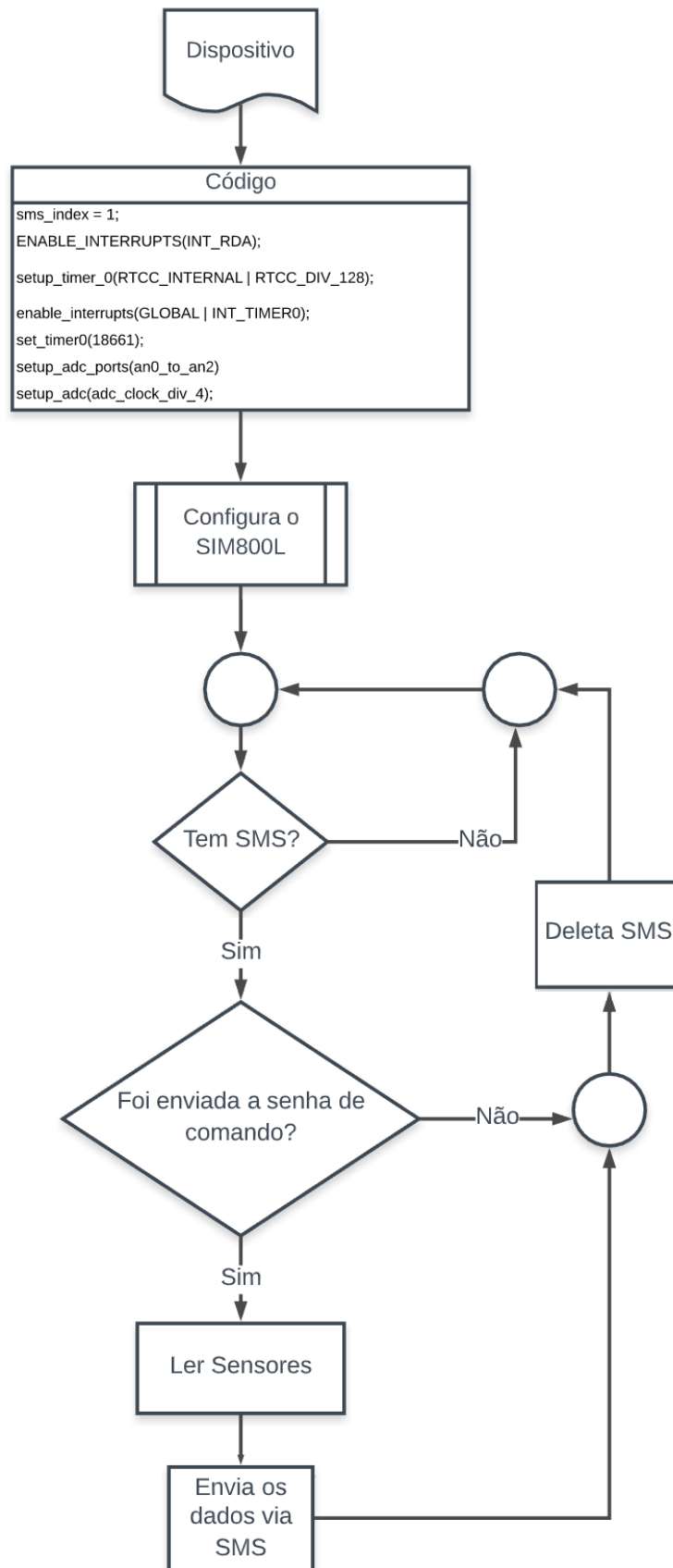


Como o sistema de telemetria desse trabalho funciona de forma Mestre-Escravo, em que o equipamento aguarda as instruções do usuário para realizar suas tarefas, foi preciso configurar o SIM800L de tal forma que ele fosse capaz não só de receber esses comandos, mas também enviar ao usuário o resultado da tarefa realizada, ambas ações via SMS.

Para realizar essa configuração, o microcontrolador precisa enviar uma série de comandos ao módulo quando a PCI é energizada, conforme ilustrado no fluxograma da Figura 17. Os comandos utilizados nessa configuração são: AT, ATZ, AT+CMGF, AT+CPMS e AT+CNMI. As funções desses e outros comandos AT presentes no firmware desenvolvido se encontram abaixo:

- AT: Testa se módulo está respondendo.
- ATZ: Redefine configurações de forma padrão.
- AT+CMGF: Seleciona o formato do SMS.
- AT+CMGR: Lê mensagem SMS.
- AT+CMGD: Deleta mensagem SMS.
- AT+CMGS: Envia SMS.
- AT+CPMS: Configura as preferências de armazenamentos de mensagens.
- AT+CNMI: Configura os alertas de mensagens SMS.

Figura 17 – Fluxograma do firmware



Para o desenvolvimento do firmware foi importante levar em consideração a sintaxe dos comandos AT, pois o mesmo identificador pode realizar diferentes funções, conforme explicitado na Tabela 2. A Figura 18 ilustra, com trechos de código, as sintaxes usadas para os comandos.

Tabela 2 – Sintaxe dos Comandos AT

Comando de Teste	AT+<x>=?	O equipamento móvel retorna a lista de parâmetros, intervalos e valores definidos com Comando de Escrita correspondente ou por processos internos.
Comando de Leitura	AT+<x>?	Este comando retorna o valor atuais do(s) parâmetro(s)
Comando de Escrita	AT+<x>=<...>	Este comando define valores de parâmetros
Comando de Execução	AT+<x>	Lê parâmetros invariantes afetados por processos internos do equipamento GSM.

Toda vez que um comando AT é enviado ao módulo pelo microcontrolador, o mesmo retorna uma string “OK”, caso a tarefa tenha sido realizada com sucesso, ou uma string “ERROR”, caso contrário. Sendo assim, a medida em que os comandos vão sendo enviados, o microcontrolador espera o feedback positivo antes de prosseguir com a rotina. O trecho de código responsável pela configuração do módulo é mostrado na Figura 19, em que a função “CHECK_UP” realiza as chamadas dos comandos citados anteriormente. Esse código permite que um operador acompanhe a rotina de configuração do módulo por meio de sinais luminosos, que são emitidos a cada comando bem sucedido dessa configuração, facilitando reparos e manutenções no equipamento. É importante ressaltar que o próprio módulo SIM800L também possui um LED próprio que auxilia na identificação de falhas do sistema, conforme descrito na especificação do componente.

Quando uma mensagem de texto chega ao módulo configurado (Figura 18a a Figura 18e), ele envia ao PIC18F2550 um alerta de mensagem. Esse último, por sua vez, responde com o comando da Figura 18g, que o permite ler esse SMS. O módulo, então, entrega ao microcontrolador uma string de caracteres (Figura 20) contendo não só o SMS em questão, mas também o remetente, a hora e a data em que a mensagem foi recebida. São essas informações que permitem que o sistema desenvolvido consiga identificar seus usuários sem a necessidade de um cadastro prévio, que são colhidas do buffer por meio de rotinas de busca, como ilustrado na Figura 21. Ao receber esse SMS, o microcontrolador verifica se a mensagem possui uma senha para constatar se o remetente está autorizado a enviar tarefas à estação. Esta senha é um “\$” no início da mensagem. Uma vez que a senha foi conferida, o microcontrolador executa a leitura dos sensores requisitados e então envia ao SIM800L um comando para que ele envie um SMS ao remetente com valores

obtidos. Esse comando funciona da seguinte forma: para enviar uma mensagem de texto para um número de telefone +55(XX)1234-5678, basta mandar para o módulo uma string de caracteres “AT+CMGS” seguido do número de telefone e do texto da mensagem. Por fim, um comando de “Ctrl+Z” é enviado para o MS reconhecer o fim do SMS conforme o algoritmo ilustrado abaixo em linguagem C.

```
printf("AT+CMGS=\""+55XX12345678\""\r");
printf("Mensagem");
putchar(0x1A); // Equivalente a Ctrl+Z
```

Figura 18 – Comandos AT

```
int1 CHECK_COM()
{
    counter_read=0;
    printf("AT\r");
    DELAY(5);
    return(STRING_SEARCH(OK));
}
```

(a)

```
int1 RESET()
{
    counter_read=0;
    printf("ATZ\r");
    DELAY(5);
    return(STRING_SEARCH(OK));
}
```

(b)

```
int1 SET_SMS_MODE()
{
    counter_read=0;
    printf("AT+CMGF=1\r");
    DELAY(5);
    return(STRING_SEARCH(OK));
}
```

(c)

```
int1 SET_MEM_MODE()
{
    counter_read=0;
    printf("AT+CPMS=\"SM\", \"SM\", \"SM\"\r");
    DELAY(5);
    return(STRING_SEARCH(OK));
}
```

(d)

```
int1 SET_CNMI_MODE()
{
    counter_read=0;
    printf("AT+CNMI=2,1,2,0,0\r");
    DELAY(5);
    return(STRING_SEARCH(OK));
}
```

(e)

```
int1 DEL_SMS(int index)
{
    counter_read=0;
    printf("AT+CMGD=%d\r", index);
    DELAY(5);
    return(STRING_SEARCH(OK));
}
```

(f)

```
int1 READ_SMS(int index)
{
    counter_read=0;
    printf("AT+CMGR=%d\r", index);
    DELAY(5);
    return(STRING_SEARCH(OK));
}
```

(g)

Figura 19 – Rotina de configuração do SIM800L

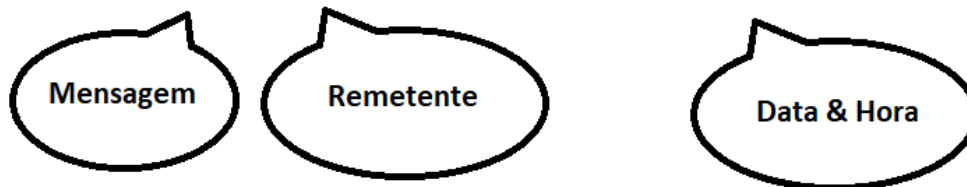
```

void GET_FLAGS(int16 rodada){
  if(CHECK_UP(rodada))
  {
    CLEAR_BUFFER();
    delay_ms(300);
    output_bit(Led_2,1);
    delay_ms(300);
    output_bit(Led_2,0);
  }
  else
  {
    delay_ms(300);
    while(!CHECK_UP(rodada))
    {
      delay_ms(300);
      output_bit(Led_2,0);
    }
    output_bit(Led_2,1);
    delay_ms(300);
  }
  DELAY(1);
}

```

Figura 20 – Buffer

+CMGR: "\$11","+5531987654321","","19/12/10,14:00:00+22"



3.2.2 Modulo GSM / smartphone

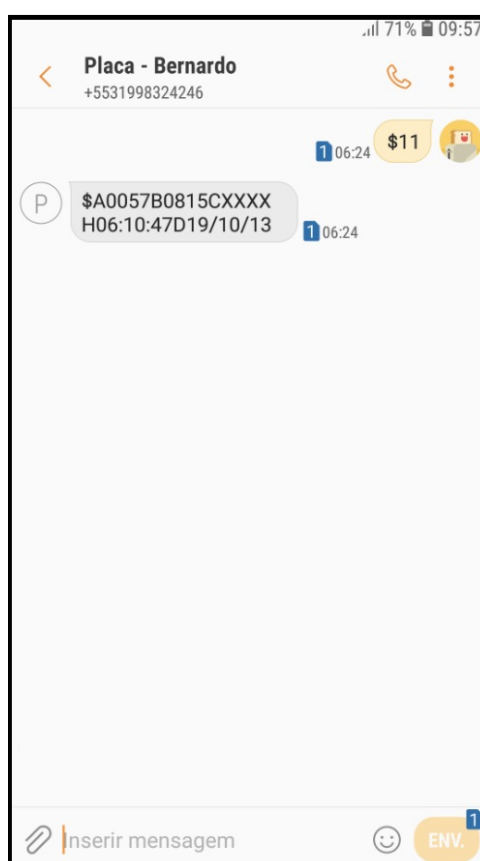
A comunicação entre o dispositivo e o smartphone é feita por SMS. O usuário que deseja obter os dados de um sensor conectado ao dispositivo precisa enviar uma mensagem de solicitação à PCI contendo a senha de comunicação (\$) e um código binário, como mostrado na Figura 22 que exemplifica uma solicitação para obter os dados ambos sensores conectados ao dispositivo. O código em questão é composto de dois dígitos binários (0 ou 1), sendo o primeiro referente ao sensor de temperatura e o segundo ao sensor de luminosidade, assim, se o usuário não quiser medir uma as duas grandezas ele deve enviar a mensagem contendo um 0 no dígito correspondente ao sensor indesejado. Quando o dispositivo recebe a mensagem do usuário ele lê os sensores requisitado e envia uma mensagem da seguinte forma: "\$A0057B0815CXXXXH05:11:22D19/09/25". Nessa string, os caracteres "A" e "B" precedem os valores dos sensores em uma escala de 0 a 1023 bits. Se um sensor não for solicitado ou não estiver conectado, são enviados os caracteres XXXX no lugar do valor desse sensor. O caractere "H" da mensagem precede a hora em que o dispositivo recebeu a

Figura 21 – Função para extrair o remetente do buffer

```
void SEARCH_PHONE()
{
  for(i = 0; i < SIZE_BUFFER; i++)
  {
    j = i+1;
    if(Receive_String[i] == '+' && Receive_String[j] == '5' )
    {
      for(k = 0; k < 14; k++)
      {
        j = i+k;
        phone[k] = Receive_String[j];
      }
    }
  }
}
```

ordem de leitura no formato *hora : minuto : segundo*, o caractere “D” precede a data desse evento no formato *dia / mês / ano* e o caractere “C” foi colocado no firmware visando futuras aplicação do dispositivo.

Figura 22 – Mensagem recebida da PCI

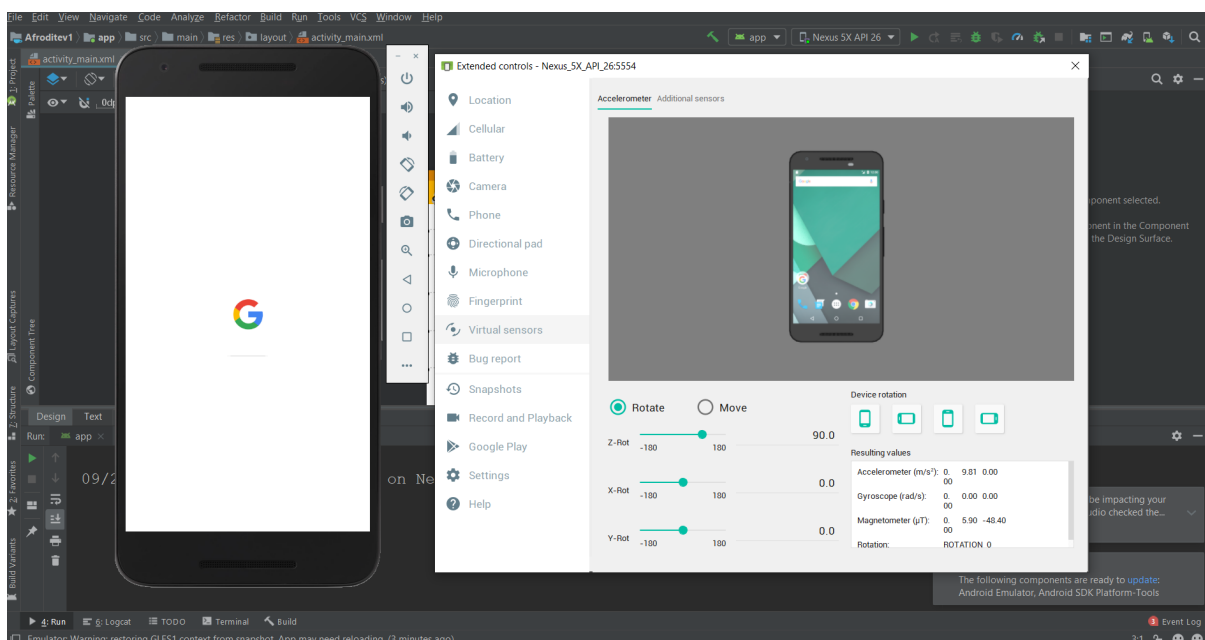


3.3 Desenvolvimento do aplicativo de Celular no Android Studio

Com o intuito de tornar a interface entre o usuário e o dispositivo mais interativa e simples de se interpretar, foi desenvolvido um aplicativo (App) para smartphones no sistema operacional Android. Para criar esse aplicativo foi utilizado o Android Studio, um software desenvolvido pela Google, que possibilita a construção de Apps para os aparelhos Android por meio da linguagem de programação Java [Gonçalves 2016]. Esse software foi escolhido devido a sua simplicidade de utilização e sua variedade de ferramentas, das quais vale a pena ressaltar:

- **Emulador:** uma ferramenta que possibilita que o aplicativo seja testado em um aparelho virtual, sem a necessidade de um dispositivo físico (Figura 23).
- **Editor de layout:** uma interface que possibilita o desenvolvedor criar layouts por meio do método “drag and drop”, em que os elementos do layout são arrastados e posicionados manualmente.

Figura 23 – Emulador Android Studio



O App criado permite que o usuário selecione, de maneira simples e intuitiva, de quais dos sensores da PCI ele gostaria de receber os dados, além de converter automaticamente os valores analógicos em bits para as grandezas temperatura e luminosidade. Essas e outras funções serão descritas mais detalhadamente no Capítulo 4.

4 Resultados e Discussões

Nesse capítulo são descritas as características do aplicativo desenvolvido, assim como os resultados dos experimentos realizados com o protótipo, os custos de desenvolvimento do dispositivo e por fim uma análise da adaptabilidade do sistema.

4.1 Aplicativo Android - Afrodite

O aplicativo desenvolvido foi nomeado Afrodite. Apesar do sistema desenvolvido funcionar sem a existência do App, Afrodite tem o intuito de gerar uma interface mais simples para o usuário, além de disponibilizar funcionalidades adicionais para o sistema, como a solicitação automática de dados e um sistema de conversão dos valores dos sensores.

4.1.1 Atividade Principal

A primeira tela do aplicativo é a Atividade Principal (Figura 24a), que permite ao usuário selecionar de quais sensores ele gostaria de obter informação. Afrodite permite a aquisição de até 2 sensores da PCI que podem ser selecionados por meio dos 2 switches no centro da tela, cada um referente a um sensor específico. No canto superior esquerdo da tela existe um campo destinado á inserção do número de telefone do módulo SIM800L. Uma vez que os sensores foram selecionados e o número de telefone digitado, basta que o usuário clique no botão **ENVIAR** e o aplicativo envia uma mensagem codificada para o número SIM, conforme explicado na seção 3.2.2. Quando o celular recebe um SMS, o aplicativo confere se essa mensagem tem exatos 34 caracteres e se ela é precedida do caractere \$ para então atualiza o valor do sensor, como mostrado na Figura 24b.

A Atividade Principal possui um campo com a abreviação “E.A.”que é destinado ao envio automático e periódico de mensagens sem a necessidade de se clicar no botão **ENVIAR** repetidas vezes. O usuário ajusta o intervalo de tempo entre os envios por meio da *seekbar* em uma escala de 0 a 60 minutos e, caso o valor ajustado for diferente de 0, o envio automático é ativado (Figura 24c), caso contrário, o envio é desativado. Apesar do aplicativo não reter o histórico de dados, todas as mensagens recebidas e enviadas pelo telefone do usuário estão salvas no histórico de mensagens do celular, permitindo assim o resgate dessas informações.

Por fim, a Atividade Principal conta com um menu que pode ser acessado clicando no ícone do canto superior direito (Figura 24d), que permite que o usuário migre para uma segunda atividade presente na Afrodite, a Atividade Conversões.

Figura 24 – Atividade Principal

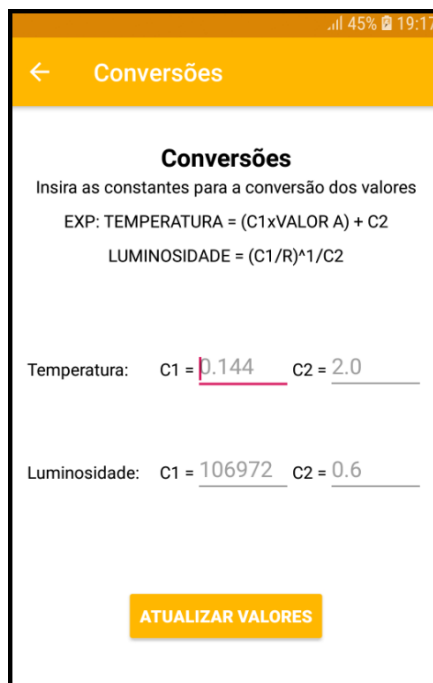


4.1.2 Atividade Conversões

Quando o usuário entra nessa atividade ele se depara com a tela da Figura 25, que o possibilita converter os valores dos sensores da **Atividade Principal** por meio das equações 3.1 e 3.2 descritas anteriormente na seção 3.1.1. Inicialmente, os sensores iniciam as constantes C_1 e C_2 com os valores 0.144 e 2 respectivamente para o sensor de temperatura, e 106972 e 0.6, para o LDR. Para gravar alterações o usuário deve apertar o botão **ATUALIZAR VALORES**, e então, essa atividade é encerrada e o aplicativo

migra novamente para a **Atividade Principal**. A partir desse ponto, todos os dados que forem enviados ao celular serão tratados pelas novas constantes inseridas.

Figura 25 – Atividade Conversões



Conversões

Insira as constantes para a conversão dos valores

EXP: TEMPERATURA = (C1xVALOR A) + C2

LUMINOSIDADE = (C1/R)¹/C2

Temperatura: C1 = 0.144 C2 = 2.0

Luminosidade: C1 = 106972 C2 = 0.6

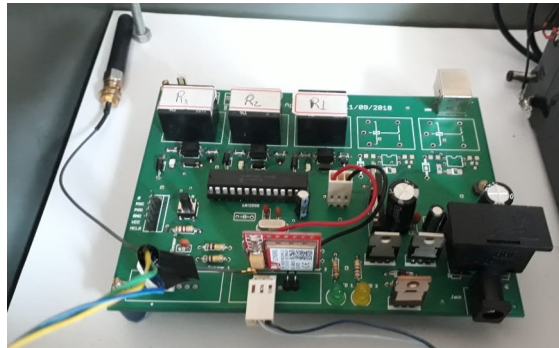
ATUALIZAR VALORES

4.2 Experimentos

Para verificar o funcionamento do sistema proposto foram realizados três experimentos com o protótipo (Figura 26). O primeiro (Figura 27 a Figura 30) consistiu em utilizar um celular para enviar quatro SMS à PCI contendo os códigos “\$00, \$01, \$10 e \$11”, requisitando-a os valores analógicos dos sensores, a hora e a data em que ela recebeu o comando. Conforme mostrado nas Figuras 27c, 28c, 29c e 30c, o dispositivo não só reconheceu automaticamente o número de telefone do usuário, mas também distinguiu e respondeu corretamente a cada um dos comandos enviados. É importante ressaltar que sempre que o dispositivo recebia uma mensagem o LED verde existente na PCI piscava, permitindo que o usuário pudesse acompanhar esse processo.

O segundo teste (Figura 31 a Figura 34) objetivou validar o funcionamento do aplicativo desenvolvido de forma que, ao invés do usuário escrever os quatro códigos dos SMS manualmente como no teste anterior, fosse utilizado o App para requisitar à PCI os valores de temperatura e luminosidade do ambiente. O experimento demonstrou que o aplicativo conseguiu buscar corretamente os valores do histórico de mensagens do celular e mostra-los nos displays correspondentes (Figuras 31c, 33c, 32c e 34c), onde os valores mostrados foram convertidos conforme explicado na seção 4.1.2.

Figura 26 – Protótipo

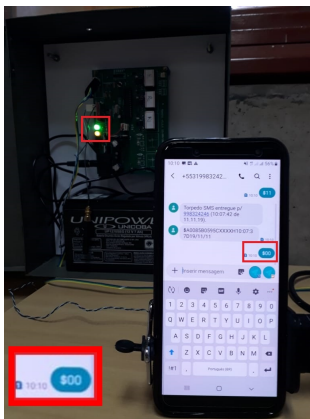


(a) APOLLO

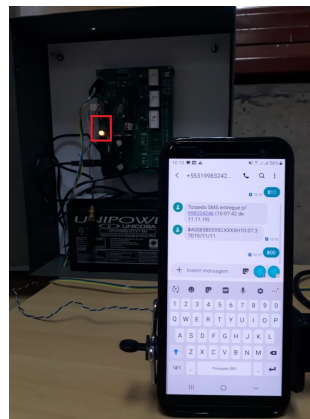


(b) PCI conectada à bateria

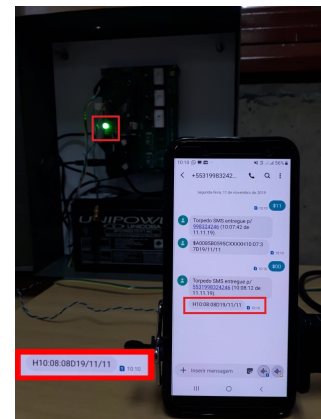
Figura 27 – Primeiro Experimento - Código “\$00”



(a) Envio da Mensagem



(b) PCI Recebendo o SMS



(c) Resposta da PCI

O terceiro experimento teve como objetivo validar o envio automático de mensagens do aplicativo, assim, a Atividade Principal foi ajustada para coletar dados de temperatura e luminosidade a cada 60 minutos no período entre 06:00 e 18:00 nos dias 21/11/2019 e 28/11/2019. A Figura 35 mostra os dados que foram coletados periodicamente durante o experimento, onde o gráfico da Figura 35a mostra uma evolução da luminosidade até as 11 horas e então, quedas sucessivas até as 18 horas. Já o gráfico da Figura 35b mostra uma discreta variação de temperatura ao longo do dia e apresenta valores abaixo do esperado quando comparados aos dados do INMET [INMET 2019], o que pode ter sido causado tanto pelos filtros RC existentes na saída do LM35 quanto pela metodologia de conversão de bits para °C dos valores lidos (seção 3.1.1.1), problema que poderia ser corrigido com

Figura 28 – Primeiro Experimento - Código “\$01”

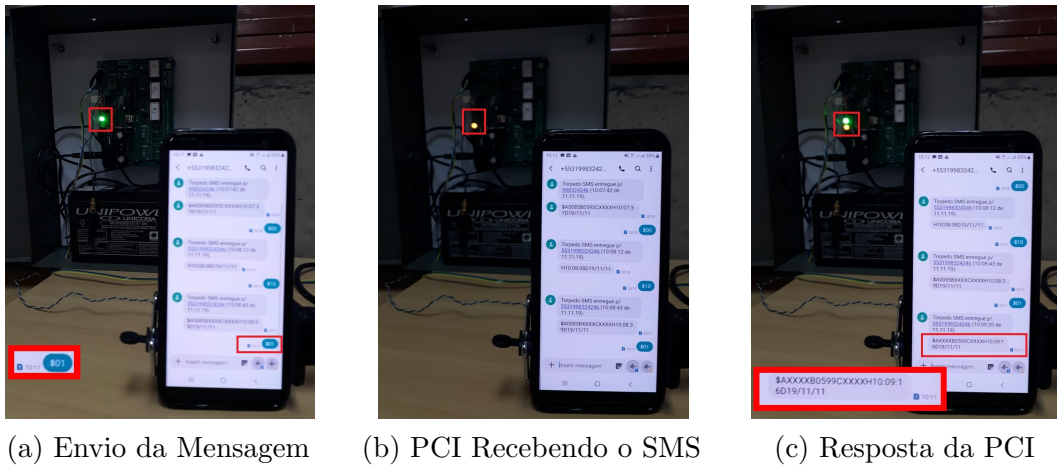


Figura 29 – Primeiro Experimento - Código “\$10”

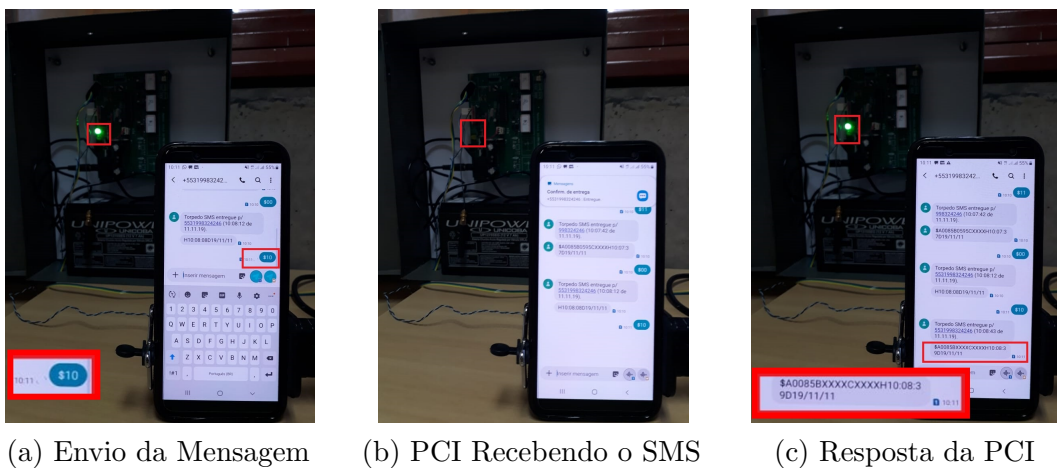


Figura 30 – Primeiro Experimento - Código “\$11”

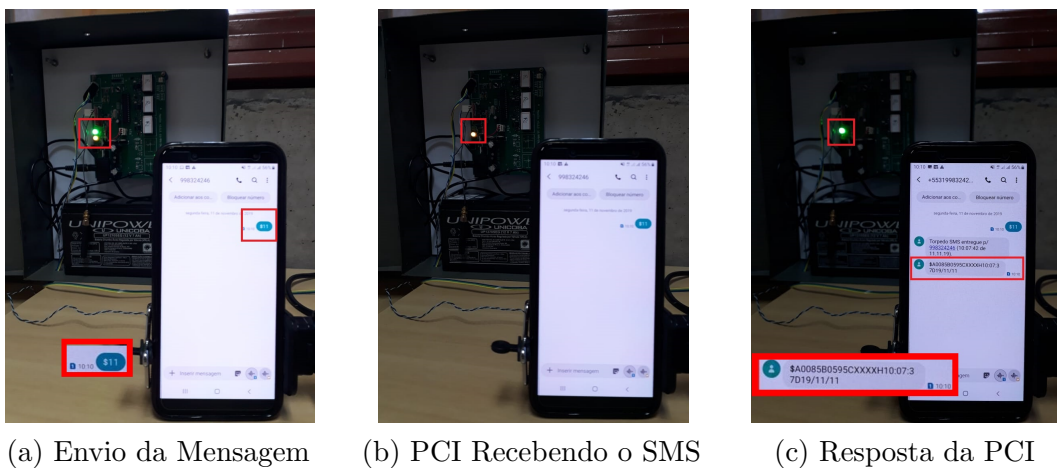


Figura 31 – Segundo Experimento - Código “\$00’

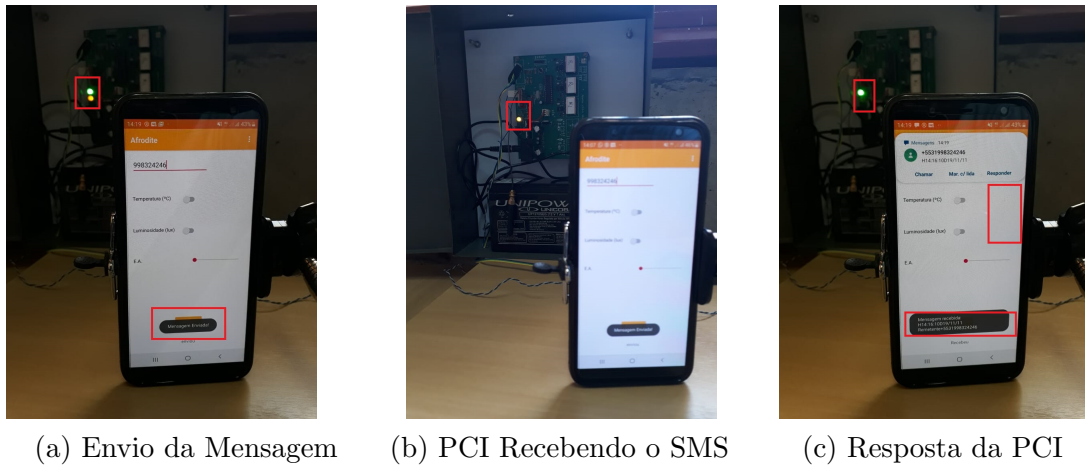


Figura 32 – Segundo Experimento - Código “\$10’

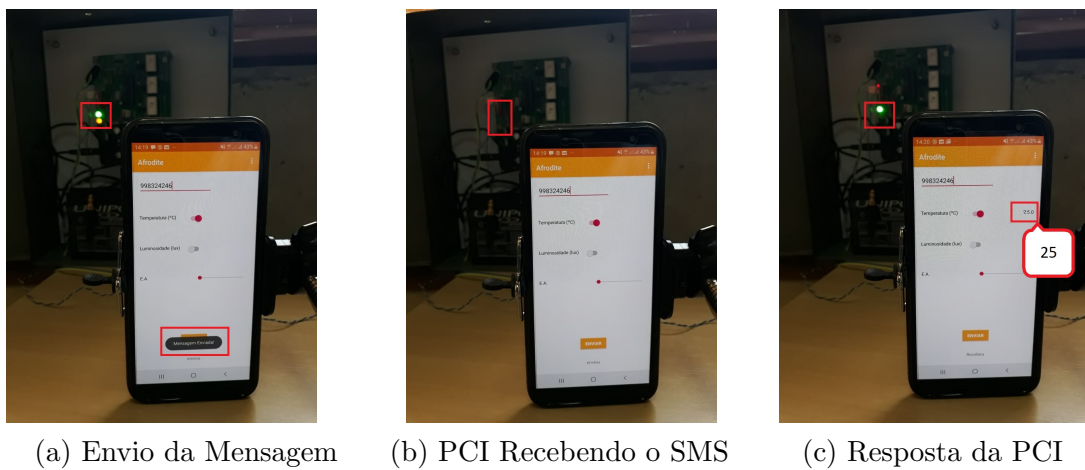


Figura 33 – Segundo Experimento - Código “\$01’

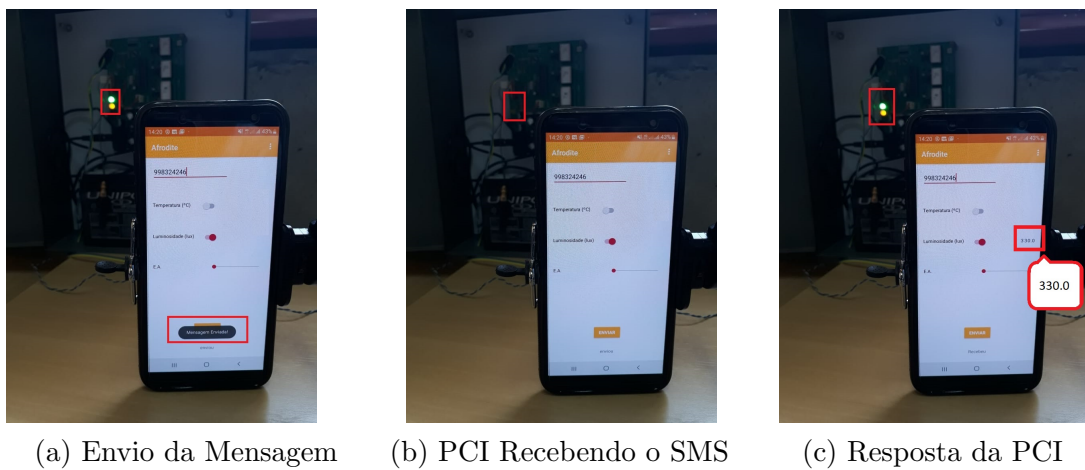
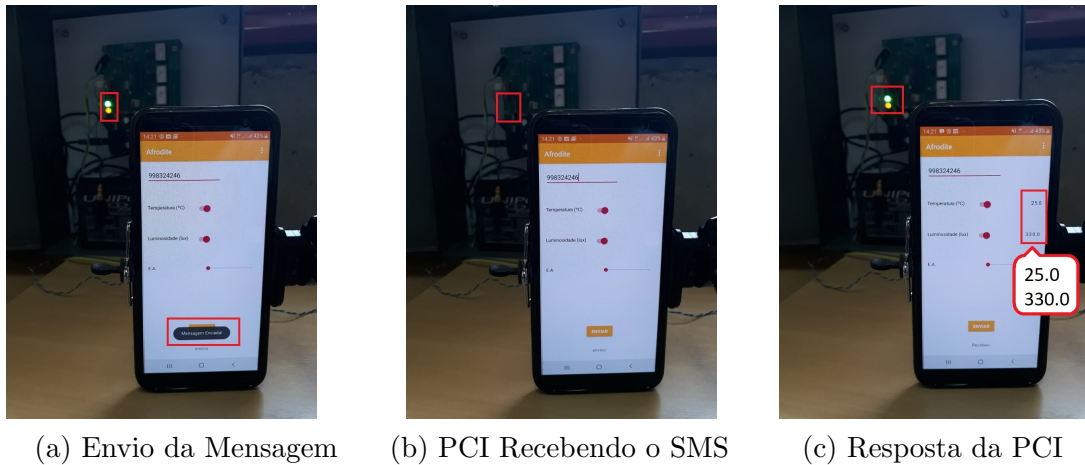


Figura 34 – Segundo Experimento - Código “\$11’



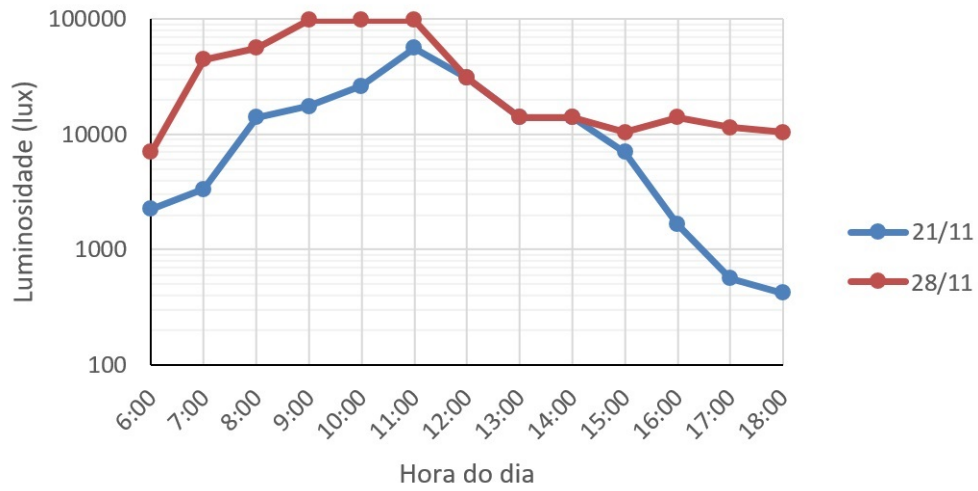
uma calibração do LM35.

Durante a coleta de dados percebeu-se que o envio automático não funcionou corretamente quando o usuário saía do aplicativo pois o *timer* do App não progredia durante essas situações, sendo preciso configura-lo novamente sempre que esse evento ocorria, de forma que o aplicativo teve de ser mantido operando durante toda a coleta de dados.

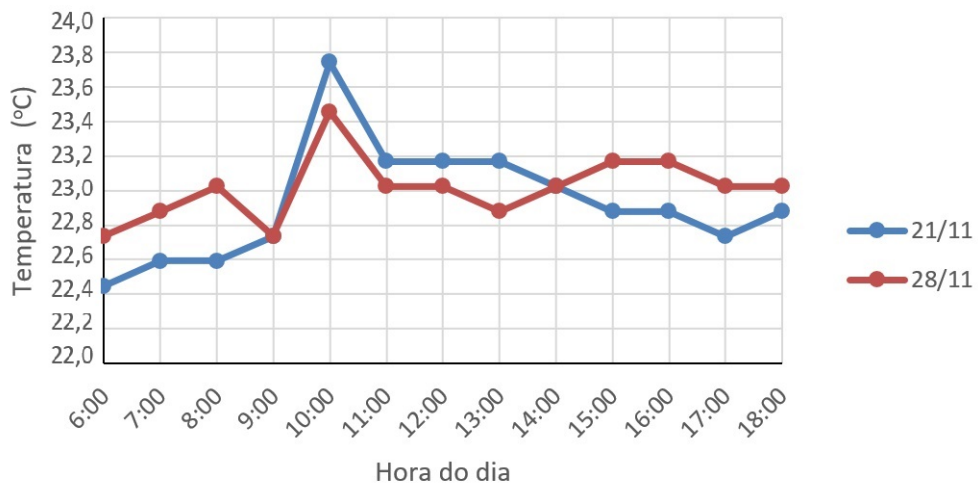
4.3 Custos do Projeto

Os custos dos materiais e da mão de obra necessários para a construção do protótipo desenvolvido estão descritos na Tabela 3, onde a precificação da mão de obra foi feita tomando como base o valor da bolsa de iniciação científica para estudantes de graduação da Universidade Federal de Viçosa. É importante ressaltar que além dos custos descritos na tabela foi utilizado o plano de telefonia **Vivo Controle I**, que acarretou um custo adicional de R\$ 39,99 mensais para a operação do protótipo.

Figura 35 – Terceiro Experimento



(a) Luminosidade



(b) Temperatura

Tabela 3 – Custos do Projeto

	Parte do Sistema	Custo
Material	Microcontrolador	R\$ 40,96
	Módulo GSM	R\$ 57,90
	Sensores	R\$ 12,80
	Componentes Eletrônicos	R\$ 15,46
	Chip Vivo	R\$ 20,00
	Fretes	R\$ 70,00
	Mão de obra	Revisão bibliográfica - PCI (30 dias)
Revisão bibliográfica - PIC (30 dias)		R\$ 400,00
Revisão bibliográfica - Aplicativo (30 dias)		R\$ 400,00
Desenvolvimento do protótipo (60 dias)		R\$ 800,00
Total		R\$ 2217,12

4.4 Capacidade de adaptação do sistema

Uma das grandes vantagens do sistema desenvolvido nesse trabalho foi sua adaptabilidade, devido ao fato dos sensores utilizados não serem soldados na PCI, mas plugados à ela via conectores, permitindo que o usuário possa trocar os sensores utilizados por outros sensores analógicos que funcionem em 4.4 V, como sensores de pressão, corrente e tensão simplesmente conectando-os ao dispositivo. Como a conversão dos valores analógicos nas grandezas desejadas (temperatura e luminosidade) é feita pelo aplicativo, e não pelo microcontrolador, quaisquer alterações feitas nos sensores teriam de ser compensadas somente no aplicativo, sem a necessidade de se alterar o firmware.

Também é importante ressaltar que o protótipo conta com rotinas de identificação de comandos que foram usadas para coordenar qual sensor seria lido pelo microcontrolador, entretanto, essa tecnologia pode ser estendida para realizar outras tarefas como realizar acionamentos ou mesmo requisitar informações adicionais do dispositivo, tal como o nível de sinal da rede.

5 Considerações Finais

5.1 Conclusão

Primeiramente, os experimentos realizados com o protótipo mostraram que ele foi capaz não só de se conectar a rede GSM e reconhecer automaticamente o usuário do sistema, mas também conseguiu interpretar e executar diferentes comandos de leitura e envio de dados dos sensores à ele conectado. Além disso, os LEDs existentes no hardware possibilitaram acompanhamento do processo de configuração do módulo GSM e indicaram corretamente os momentos em que Apollo recebia um SMS.

Já o aplicativo desenvolvido conseguiu não só converter corretamente os valores em bits enviados pelo dispositivo para as respectivas grandezas de cada sensor, mas também foi capaz de realizar solicitações de leitura automáticas e periódicas para o equipamento.

Por fim, é importante ressaltar que o sistema de transmissão automático de dados desenvolvido é facilmente adaptável, de forma que os sensores utilizados podem ser trocados por outros sensores analógicos que funcionem em 4.4 V. Nesse caso, todas as alterações teriam de ser compensadas somente no aplicativo, sem a necessidade de se alterar o firmware.

5.2 Trabalhos Futuros

O sistema apresentado está habilitado a receber diversas melhorias tanto em hardware quanto em software, das quais vale a pena ressaltar:

- Calibração do LM35 para que os valores ilustrados no aplicativo fiquem mais próximos dos valores reais de temperatura;
- Criação de uma nova atividade no aplicativo capaz de construir um banco de dados a partir das informações recebidas pelo smartphone, sem que seja necessário que o aplicativo fique aberto o tempo todo;
- Implementação de rotinas de economia de energia para o microcontrolador;
- Melhorias no projeto da PCI para que a mesma possa armazenar informações em cartões de memória (cartões SD) permitindo que dispositivo funcione também como um *data logger*;
- Criação de um painel blindado para que o equipamento possa ficar exposto ao tempo;

- Desenvolvimento de rotinas no firmware para que os valores dos sensores possam ser solicitados via porta USB;
- Desenvolvimento de um aplicativo para computador que funcione de maneira similar ao Afrodite.

Referências

- ANATEL. *Telefonia Móvel - Municípios atendidos*. 2018. <<http://www.anatel.gov.br/setorregulado/telefonia-movel/115-universalizacao-e-ampliacao-do-acesso/telefonia-movel/423-telefonia-movel-municipios-atendidos>>. Acessado: 2019-05-21. Citado na página 13.
- AXELSON, J. *Serial port complete*. Penram International, 2007. Citado na página 22.
- BODIC, G. L. *Mobile messaging technologies and services: SMS, EMS and MMS*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 14.
- DAHLMAN, E.; PARKVALL, S.; SKOLD, J. *4G: LTE/LTE-advanced for mobile broadband*. [S.l.]: Academic press, 2013. Citado na página 13.
- DIAS, K. L.; SADOK, D. F. H. *Internet móvel: tecnologias, aplicações e qos. XIX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, 2001. Citado na página 14.
- FISCHER, D. R. Utilização da plataforma gsm em um protótipo de medidor de energia elétrica pré-pago em conexão com redes inteligentes. *Revista Científica Semana Acadêmica - ISSN 2236-6717*, 2016. Citado na página 14.
- GONÇALVES, A. L. Desenvolvimento de um aplicativo android utilizando banco de dados não-relacional para organização e controle de presença de um time de futebol. 2016. Citado na página 34.
- HEINE, G.; HORRER, M. *GSM networks: protocols, terminology, and implementation*. [S.l.]: Artech House, Inc., 1999. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 14.
- INMET. *ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS - GRÁFICOS*. 2019. <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf>. Acessado: 2019-12-16. Citado na página 38.
- INMET, I. *Instituto nacional de meteorologia*. [S.l.]: Climatologia, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 14.
- IONEL, R.; VASIU, G.; MISCHIE, S. Gprs based data acquisition and analysis system with mobile phone control. *Measurement*, Elsevier, v. 45, n. 6, p. 1462–1470, 2012. Citado na página 12.
- JAWARKAR, N. P. et al. Micro-controller based remote monitoring using mobile through spoken commands. *Journal of Networks*, Citeseer, v. 3, n. 2, p. 58–63, 2008. Citado na página 27.
- LIBERALQUINO, D. *Desenvolvimento de Plataforma de Comunicação GSM/GPRS para Sistemas Embarcados*. 2010. <https://tcc.ecomp.poli.br/20102/diegotcc.pdf>. Acessado: 2019-03-06. Citado na página 12.
- MICHOSHIP. *PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet 28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology*. [S.l.], 2006. Citado na página 24.

- MIYADAIRA, A. N. Microcontroladores pic18, aprenda e programe em linguagem c. *Editora ÉRICA*, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.
- MULLA, A. et al. The wireless technologies for smart grid communication: A review. In: *IEEE. 2015 Fifth International Conference on Communication Systems and Network Technologies*. [S.l.], 2015. p. 442–447. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 13.
- Nasution, T. H. et al. Electrical appliances control prototype by using gsm module and arduino. In: *2017 4th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 355–358. Citado na página 14.
- NATIONAL SEMICONDUCTOR. *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*. [S.l.], 2000. Citado na página 19.
- NETTIGO. *SIM800L GSM / GPRS module*. 2019. <<https://nettigo.eu/products/sim800l-gsm-gprs-module>>. Acessado: 2019-05-15. Citado na página 22.
- PANDITJI, M. J.; GAYLORD, J. *A method and apparatus for establishing compatibility between communication applications producing at commands and a telephony application programming interface*. [S.l.]: Google Patents, 1996. US Patent 5,574,888. Citado na página 27.
- PEREIRA, F. Microcontroladores pic-programação em c. 7ª edição. *Editora Érica*, 2014. Citado na página 22.
- PIROTTI, R. P.; ZUCCOLOTTO, M. Transmissão de dados através de telefonia celular: arquitetura das redes gsm e gprs. *Revista Liberato, Novo Hamburgo*, v. 10, n. 13, p. 81–89, 2009. Citado na página 13.
- PÜRSCHEL, M. *Automotive MOSFETs Reverse Battery Protection*. 2009. <<https://www.infineon.com/dgdl/Reverse-Battery-Protection-Rev2.pdf?fileId=db3a304412b407950112b41887722615>>. Acessado: 2019-12-15. Citado na página 25.
- SENTELHAS, P. C. et al. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estações convencional e automática. *Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria*, v. 5, n. 2, p. 215–221, 1997. Citado na página 12.
- SIMCOM. *SIM800L Hardware Design*. [S.l.], 2013. Citado na página 20.
- SOUSA, R. R.; ANTUNES, J. P.; CABRAL, I. Estação meteorológica experimental de baixo custo. *Geo UERJ*, n. 27, p. 80–97, 2015. Citado na página 12.
- Xingang Guo; Yu Song. Design of automatic weather station based on gsm module. In: *2010 International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering*. [S.l.: s.n.], 2010. v. 5, p. 80–82. ISSN 2159-6026. Citado na página 14.
- YUBO, S.; YUNFENG, X.; ZHIWEI, Z. A platform for gsm um interface signaling observation. *IET*, 2014. Citado na página 14.