

UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO
SUL
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

JAMENSON GUILHERME OZELAME

**PROTÓTIPO MICROCONTROLADO PARA TELEMETRIA DE UNIDADES
CONSUMIDORAS DE BAIXA TENSÃO**

Ijuí
2017

JAMENSON GUILHERME OZELAME

PROTÓTIPO MICROCONTROLADO PARA TELEMETRIA DE UNIDADES
CONSUMIDORAS DE BAIXA TENSÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica da
Universidade Regional do Noroeste do Estado
do Rio Grande do Sul como requisito parcial
para obtenção do grau de Engenheiro
Eletricista

Orientador: Prof. Me Mauro Fonseca Rodrigues

Ijuí
2017

JAMENSON GUILHERME OZELAME

**PROTÓTIPO MICROCONTROLADO PARA TELEMETRIA DE UNIDADES
CONSUMIDORAS DE BAIXA TENSÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica da
Universidade Regional do Noroeste do Estado
do Rio Grande do Sul como requisito parcial
para obtenção do grau de Engenheiro
Eletricista

Prof. Me Mauro Fonseca Rodrigues
UNIJUI

Prof. Me Eliseu Kotlinski
UNIJUI

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado forças para seguir na minha graduação, e por me proporcionar a possibilidade de estudar em uma universidade reconhecida.

Aos meus pais, pelos seus ensinamentos, e principalmente pelo apoio dispensado a mim, com palavras de carinho e amor quando mais precisei força para prosseguir.

A minha irmã pelo incentivo em toda minha caminhada.

A minha esposa pela compreensão das horas ausentes e pelo apoio nos momentos de angústia antes das provas.

Ao Grupo Creluz que me proporcionou cursar Engenharia Elétrica, realizando assim um dos meus sonhos, e me auxiliando em meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Aos mestres pelas orientações, e conhecimento transmitido durante minha jornada acadêmica.

Ao meu orientador professor Mauro, pelo incentivo e principalmente pela atenção dispensada a mim através de seus ensinamentos.

Aos meus amigos que mesmo distante, sempre tiveram palavras de apoio e encorajamento.

A todos que de uma forma ou outra, contribuíram para que eu pudesse encerrar essa etapa.

Obrigado.

RESUMO

A porta de entrada para as *Smart Grids* são os medidores inteligentes. Atualmente, o elevado custo para substituição dos medidores instalados por medidores inteligentes se torna um empecilho para que haja uma evolução das destas redes inteligentes no país, com isso, soluções de baixo custo e de fácil aplicação devem ser criadas. Dessa forma propõe-se, neste trabalho, o desenvolvimento de um protótipo de telemetria microcontrolado, focado em coletar a leitura do consumo de energia dos medidores eletrônicos monofásicos, sem que haja a necessidade de substituição dos equipamentos existentes. O protótipo desenvolvido e detalhado ao longo do estudo é modular, sendo segregado em módulo de aquisição, módulo de controle e módulo de envio. Este trabalho aborda meios de obtenção da leitura do medidor, com base nas normativas aplicadas a ele; meios de envio da leitura coletada e funções do sistema de controle; focando nas necessidades dos consumidores e das concessionárias de energia elétrica, em ter um equipamento versátil, de baixo custo e que atenda os requisitos normativos do setor. Também é apresentada a montagem do protótipo, destacando testes efetuados e resultados obtidos com a implantação do módulo de coleta de leitura. Para verificar o processo como um todo, é criado um banco de dados *web* para o envio das informações coletadas simulando assim o método de coleta, tratamento e envio dos dados pelo protótipo.

Palavras-chaves: *Smart Grid*, telemetria, medidor inteligente, medidor de energia eletrônico, microcontrolador.

ABSTRACT

The gateway for Smart Grids are the smart meters. Currently, the high cost of replacing meters installed by smart meters becomes an obstacle to the evolution of Smart Grids in the country, therefore, low cost and easy to use solutions must be created. Thus, the development of a prototype of microcontrolled telemetry is proposed, focused on collecting the reading of the energy consumption of single-phase electronic meters without the need to replace existing equipment. The proposed prototype is modular, being segregated in acquisition module, control module and sending module. This work deals with means of obtaining the reading of the meter, based on the norms applied to it; means of sending the collected reading and functions of the control system; focusing on the needs of consumers and electric utilities, to have a versatile, low-cost equipment that meets the regulatory requirements of the sector. Also the assembly of the prototype is carried out, presenting tests carried out and results obtained with the implantation of the module of collection of reading. In order to verify the process as a whole, a web database is created to send the information collected, thus simulating the method of collecting, processing and sending the data through the prototype.

Keywords: Smart Grid, telemetry, smart meter, electronic power meter, microcontroller.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aquisição de dados	17
Figura 2 – Variação de resistência com a luz.....	18
Figura 3 – Faixa de operação do LDR	19
Figura 4 – Configuração típica do fotodiodo.....	19
Figura 5 – ZigBee x demais conexões sem fio.....	20
Figura 6 – Arquitetura em árvore.....	21
Figura 7 – Arquitetura em malha	22
Figura 8 – Arquitetura em estrela	22
Figura 9 – Diagrama esquemático de um microcontrolador típico	27
Figura 10 – Arquitetura harvard e von-neumann.....	27
Figura 11 – Configuração <i>pull-up</i> e <i>pull-down</i>	29
Figura 12 - Registrador ADCON1.....	31
Figura 13 – Configurações ADCON1	32
Figura 14 – Ciclo de conversão A/D	33
Figura 15 – Conexão SPI entre um mestre e um único escravo	35
Figura 16 – Conexão entre mestre e vários escravos	36
Figura 17 – Transmissão USART assíncrona	37
Figura 18 – Transmissão USART síncrona.....	38
Figura 19 - Vista frontal medidor eletromecânico	41
Figura 20 - Medidor eletrônico.....	41
Figura 21 – Porta óptica com conector magnético	44
Figura 22 - Protótipo proposto.....	46
Figura 23 - Aquisição de dados.....	47
Figura 24 - Aquisição com LDR.....	49
Figura 25 - Pinos Atmega 328P	50
Figura 26 - Configuração de data e hora.....	50
Figura 27 - Log de leituras gravado.....	51
Figura 28 - Dados no servidor web	53
Figura 29 - Teste aquisição de dados	54
Figura 30 - Teste de envio – dados enviados.....	55

Figura 31 - Teste de envio – dados recebidos	55
Figura 32 - Teste de gravação - envio.....	56
Figura 33 - Teste de gravação - log gravado.....	56
Figura 34 - Tensão no comparador	59
Figura 35 - Interferência da luminosidade do ambiente	60
Figura 36 - Definição do nível de tensão	61
Figura 37 - Leitura coletada.....	62
Figura 38 - Curva de carga obtida.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Substituição de medidores em programas de P&D	17
Tabela 2 – Padrões IEEE 802.11	23
Tabela 3 – Conversão A/D por bit	31
Tabela 4 – Taxa de erro em comunicação assíncrona.....	39
Tabela 5 - Leituras realizadas	59
Tabela 6 - Valor dos componentes.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	Analógico/Digital
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
bps	Bits por segundo
Celpe	Companhia Energética de Pernambuco
CISC	<i>Complex Instructions Set Computers</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
cm	Centímetro
DSSS	<i>Direct Sequence Spread Sprectrum</i>
EDGE	<i>Enhanced Data Rates For GSM Evolution</i>
FHSS	<i>Frequency Hopping Spread Spectrum</i>
GHz	Giga hertz
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
HR-DSSS	<i>High Rate Direct Sequence Spread Spectrum</i>
HSPA	<i>High Speed Packet Access</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IP	Internet Protocol
kbps	Quilo bits por segundo
Kh	Constante do medidor
kWh	quilo watt hora
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
Light	Light Serviços de Eletricidade
mA	Mili Ampere
MAC	<i>Media Access Control</i>
Mbps	Mega bits por segundo
MHz	Mega Hertz
mm	Milímetros
NBR	Norma Brasileira
ns	Nano segundo
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
pF	Pico Faraday
PTT	<i>Push to talk</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
REN	Resolução Normativa

RISC	<i>Reduced Instructions Set Computers</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
USART	<i>Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter</i>
V	Volts
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>
µs	Micro segundos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo geral	14
1.1.2	Objetivos específicos.....	14
1.2	Estrutura do trabalho	15
2	EMBASAMENTO TEÓRICO.....	16
2.1	<i>Smart grid</i>	16
2.2	Aquisição de dados.....	17
2.2.1	Resistor dependente de luz.....	18
2.2.2	Fotodiodo	19
2.2.3	Fototransistor.....	20
2.3	Transmissão de dados.....	20
2.3.1	ZigBee	20
2.3.2	Redes locais sem fio	23
2.3.3	Redes ethernet	24
2.3.4	GPRS	24
2.3.5	SMS.....	25
2.3.6	Rádio frequência	26
2.4	Microcontrolador	26
2.4.1	Arquitetura e conjunto de instruções	27
2.4.2	Portas I/O	29
2.4.3	Conversor A/D	30
2.4.4	Interrupções	34
2.4.5	Comunicação em microcontroladores	34
2.4.5.1	SPI.....	34
2.4.5.2	USART	36
3	O MEDIDOR ELETRÔNICO SEM MONITORAMENTO REMOTO.....	40
3.1	Medidores eletromecânicos	40
3.2	Medidores eletrônicos	41
3.2.1	Sinalizador de consumo efetuado	42
3.2.2	Comunicação.....	43
3.3	Oportunidade encontrada.....	44
4	DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	46
4.1	Modelo proposto	46
4.1.1	Aquisição de dados	47
4.1.2	Controlador.....	49
4.1.3	Transmissão de dados	51
4.2	Montagem final	53
4.3	Testes efetuados	54
4.3.1	Teste aquisição de dados.....	54
4.3.2	Teste de envio de dados	55
4.3.3	Teste gravação de dados	56
5	RESULTADOS OBTIDOS	58
5.1	Leituras realizadas	58

5.2	Simulação completa do processo.....	62
5.3	Custo	63
5.4	Aquisição de curva de carga	63
5.5	Possibilidades de adaptações e aplicações	64
5.5.1	Aferição de medidores.....	64
5.5.2	Tarifa branca	65
5.5.3	Sensor de falta	66
5.5.4	Controle de consumo pelo consumidor	66
6	CONCLUSÃO	68
6.1	Sugestão para projetos futuros	69
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

1 INTRODUÇÃO

O conceito de *Smart Grid* é um importante instrumento para as distribuidoras, segundo Cagnon, et al., (2007) os mecanismos de coleta de dados serão utilizados em importantes atividades dentro dos sistemas de distribuição tanto em atividades operacionais como de planejamento. Isso irá garantir maior segurança nas operações e um índice de acerto nos planejamentos mais elevado, porém esses mecanismos de acompanhamento devem ser viáveis economicamente.

“o desenvolvimento de equipamentos destinados ao gerenciamento em sistemas de energia elétrica, que apresente baixo custo e facilidade de implementação, apresenta-se como uma solução para uma grande quantidade de unidades consumidoras” (CAGNON, et al., 2007 p. 1)

O custo atualmente elevado dos equipamentos destinados à coleta de informações das unidades consumidoras inviabiliza sua aplicação nas unidades consumidoras de baixa tensão. Dessa forma para que haja a transformação, citada por Falcão (2010), da atual rede elétrica para as *Smart Grids* devem ser elaboradas soluções de baixo custo e grande utilização.

Ao final do segundo trimestre de 2017, no Brasil havia 81.289.996 unidades consumidoras (ANEEL, 2017a), a substituição dos medidores existentes na rede de distribuição por medidores inteligentes vai onerar as distribuidoras, devido ao alto custo e o número de equipamentos, além de fazer com que retirem da rede, medidores em funcionamento. Essa substituição também vai onerar o consumidor, uma vez que a remuneração dos investimentos compõe a tarifa de energia (ANEEL, 2015a).

Somado ao custo envolvido para a substituição dos medidores outros fatores são relevantes como mão de obra, logística, produção de medidores entre outros itens. Sendo possível não realizar a troca do medidor existente, o processo para alteração das redes atuais para redes inteligentes se torna mais rápido e barato.

Segundo o Relatório Ouvidoria Setorial em Números (ANEEL, 2017b), desconsiderando as reclamações relativas à Interrupção do Fornecimento de Energia, 7,64% de todas as reclamações recebidas nas distribuidoras são referentes à erro de leituras nas unidades consumidoras. Destas reclamações 55,58% delas foram consideradas como procedentes, ou seja, realmente ocorreu o erro na leitura

das unidades consumidoras.

Além da redução da confiança do consumidor em relação à distribuidora, existem custos envolvidos com o erro em uma leitura como: refaturamento e emissão de nova fatura, deslocamento até a unidade consumidora para conferir a leitura e entrega da nova fatura, que causam prejuízos às distribuidoras. Realizando as leituras de forma automatizada poderá haver uma redução no número de reclamações e na verificação de procedência das reclamações relativas a erros de leituras, gerando ganhos de eficiência nos processos das distribuidoras.

Isso exposto, o presente trabalho busca o desenvolvimento de um protótipo de telemetria voltado para medidores monofásicos eletrônicos de baixa tensão como uma solução que atenda às distribuidoras à medida que irá diminuir seu custo operacional, ampliar sua eficiência e, principalmente, sem a necessidade da substituição dos equipamentos de medição atualmente instalados e também atenda ao consumidor, pois não onera a tarifa e aumenta sua satisfação.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Construir um protótipo microcontrolado de telemetria voltado à coleta do consumo do valor de kWh dos medidores eletrônicos monofásicos instalados em unidades consumidoras de baixa tensão seguindo as seguintes disposições:

- baixo custo;
- sistema de aquisição adaptável aos medidores de energia que estão instalados nas unidades consumidoras;
- sistema de envio de dados modular onde a forma de transmissão possa ser otimizada para o menor custo.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são os seguintes:

- verificar os modelos e características dos medidores monofásicos utilizados pelas distribuidoras atualmente e as normativas aplicadas a eles;

- analisar tipos e configurações de sensores que poderão ser utilizados na coleta de leituras dos medidores (interface: medidor x protótipo);
- analisar métodos de comunicação que poderão ser utilizados para envio das informações coletadas (interface: protótipo x sistema de faturamento);
- desenvolver o protótipo de telemetria;
- coletar a leitura através do protótipo desenvolvido;

1.2 Estrutura do trabalho

O trabalho está dividido em seis capítulos:

- O primeiro capítulo contempla a introdução do trabalho, apresentando objetivo geral e objetivos específicos;
- O segundo capítulo apresenta o embasamento teórico, trazendo o funcionamento de componentes envolvidos no protótipo e conceitos utilizados durante a montagem;
- No terceiro capítulo é abordado sobre os medidores atualmente utilizados pelas distribuidoras, verificando normativas e funcionamento dos equipamentos;
- No quarto capítulo é apresentado o desenvolvimento do protótipo, descrevendo o modelo proposto, funcionamento de cada etapa envolvida e montagem final com alguns testes efetuados;
- O quinto capítulo apresenta os resultados obtidos após o protótipo desenvolvido e em funcionamento;
- O sexto capítulo contempla a conclusão do trabalho e propostas para desenvolvimentos futuros

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1 *Smart grid*

Segundo relata Vale (2014) as redes elétricas inteligentes, em inglês *Smart Grid*, possuem a capacidade de integrar inteligentemente o comportamento e ações realizadas pelos usuários conectados a ela, disponibilizando energia elétrica de forma econômica e segura. Com a utilização de produtos e serviço inovadores, elas facilitam a operação de geradores, disponibilizam mais informações aos consumidores, melhoram os níveis de confiabilidade e dos serviços disponibilizados (VALE, 2014).

Por sua vez, Pelegrini (2014) define que as redes inteligentes são redes onde há o emprego de tecnologias para monitoramento e controle do transporte e distribuição de energia elétrica em tempo real e com implantação de uma via de duas mãos para informações entre concessionários e clientes.

“Existem várias definições para o conceito de redes inteligentes, mas todas convergem para o uso de elementos digitais e de comunicações nas redes que transportam a energia. Esses elementos possibilitam o envio de uma gama de dados e informação para os centros de controle, onde eles são tratados, auxiliando na operação e controle do sistema como um todo.”
(MME, 2010)

Dessa forma, a implantação de um projeto de *Smart Grid* passa pela substituição dos medidores convencionais por medidores inteligentes capazes de oferecer mais funcionalidades (RIVERA, et al., 2013), as quais podem ser envio de dados de leitura para a distribuidora, corte e religação remota, informações ao consumidor como consumo por horário, entre outros.

Estados Unidos, Europa e Japão indicam o término dos planos de substituição dos medidores existentes por medidores inteligentes entre 2022 e 2030 (RIVERA, et al., 2013). Já no Brasil o principal mecanismo de entrada e financiamento de projetos de *Smart Grids* é o Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL (PELEGRINI, 2014). Dentro de alguns desses projetos já foram realizadas ações de substituição de medidores, conforme os dados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Substituição de medidores em programas de P&D

Distribuidora	Medidores Instalados/Substituídos
Cemig	4.200
Light	400.000
Eletrobrás Amazonas	14.500
Ampla	10.000
Celpe	831
EDP	15.300
AES Eletropaulo	60.000

Fonte: Elaborado pelo Autor com dados apresentados por Pelegrini (2014)

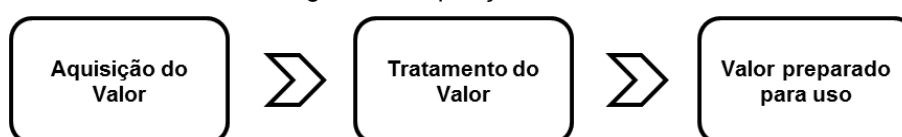
Os projetos de P&D em desenvolvimento variam entre projetos pilotos como na Celpe, que consiste na instalação de 831 medidores inteligentes em unidades consumidoras do Grupo B, os quais possuem funcionalidades de: levantamento da curva de carga, identificação de falta e corte e religamento remotos (PELEGRINI, 2014). E projetos de desenvolvimento de produtos como na Light, que desenvolveu dois equipamentos com as seguintes funcionalidades: envio de alertas sobre eficiência energética e conjunto de LEDs indicativos do consumo de energia, os quais foram instalados em 400 mil unidades consumidoras (PELEGRINI, 2014).

2.2 Aquisição de dados

De forma geral, a aquisição de dados é um processo de transformação de fenômenos físicos/naturais em sinal elétrico, o qual após sua leitura, é convertido para sinal digital, podendo assim, através de dispositivos como os microprocessadores, realizar sua leitura, processamento e armazenamento (SERRANO, et al., 2005).

O escopo genérico de um fluxograma de aquisição de dados pode ser observado na Figura 1, onde o processo se desencadeia na aquisição do valor que é a captura da grandeza a ser medida (SERRANO, et al., 2005). Em um exemplo didático, imagina-se a necessidade de obtenção da temperatura de um determinado ambiente, esse item seria representado por um termômetro.

Figura 1 – Aquisição de dados



Fonte: Adaptado (SERRANO, et al., 2005)

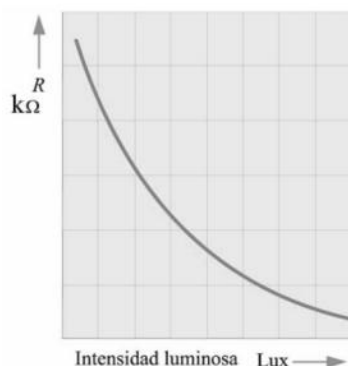
A segunda etapa é o tratamento do valor, onde a grandeza medida é preparada para o formato requisitado e então ocorre o entendimento da variável no sistema em que está sendo trabalhado. No exemplo, esse item seria representado por uma escala graduada de temperaturas para que seja realizada a leitura adequada do valor medido pelo termômetro. Por fim, tem-se o valor da variável em que o valor era desconhecido, agora em grandeza e formato preparado para sua aplicação.

Serão apresentados alguns dispositivos que possivelmente irão compor o protótipo desenvolvido ou participar de seu estudo e elaboração.

2.2.1 Resistor dependente de luz

O LDR (*Light Dependent Resistor*) é um sensor composto de certas substâncias as quais seus valores de resistência elétrica variam de acordo com a luminosidade em que está exposto. A Figura 2 apresenta a variação de resistência em função da intensidade de luz incidente (THOMAZINI, et al., 2004).

Figura 2 – Variação de resistência com a luz

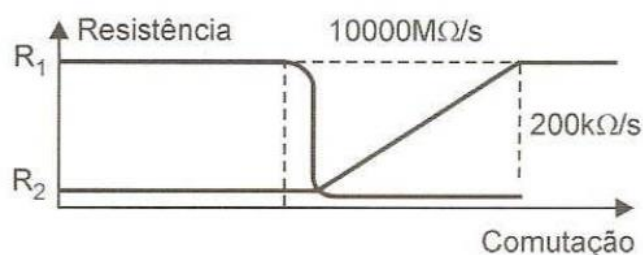


Fonte: (MIGUEL, 2014 p. 88)

Comumente os LDR's apresentam tamanho entre 1 e 2,5 cm de diâmetro. O seu tamanho irá influenciar em seus valores de resistência máxima (no escuro) e mínima (totalmente iluminado). A verificação dessas grandezas pode ser realizada com a utilização de um multímetro. Eles apresentam maior sensibilidade à luz vermelha tendendo para a laranja e possuem sensibilidade para o infravermelho (THOMAZINI, et al., 2004)

“O tempo de resposta de um fotorresistor é representado como o tempo necessário para a condutância subir a 63% do valor de pico após a célula ter sido iluminada (tempo de subida), e o tempo necessário para a condutância descer a 37% do valor de pico após ter sido removida a luz (tempo de descida).” (THOMAZINI, et al., 2004 p. 64)

Figura 3 – Faixa de operação do LDR



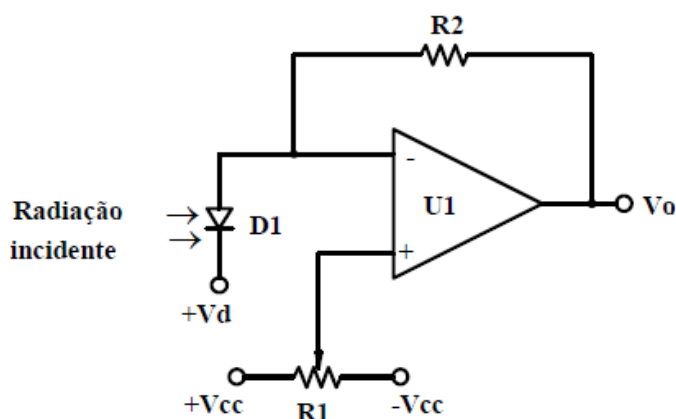
Fonte: (THOMAZINI, et al., 2004)

O LDR é um dispositivo lento onde a resposta de transição de um ambiente totalmente iluminado (resistência mínima) para o escuro (resistência máxima) é maior que o tempo de resposta para a situação inversa, como pode ser observado na Figura 3 (THOMAZINI, et al., 2004)

2.2.2 Fotodiodo

O fotodiodo é um diodo cuja junção está exposta à luz. Segundo Hausmann (2000) são constituídos de junção p-n e quando expostos à luz sua corrente reversa aumenta. É geralmente utilizado como fonte de corrente, pois a intensidade de corrente elétrica é diretamente proporcional à iluminação em que está exposto. Na Figura 4, pode-se visualizar uma configuração típica para o fotodiodo onde o amplificador operacional é utilizado para aumentar a capacidade de atuação.

Figura 4 – Configuração típica do fotodiodo



Fonte: (HAUSMANN, 2000)

Para que os efeitos de fontes de iluminação externas sejam o mínimo possível, o fotodiodo é encapsulado para que a luz incida apenas por um pequeno orifício.

2.2.3 Fototransistor

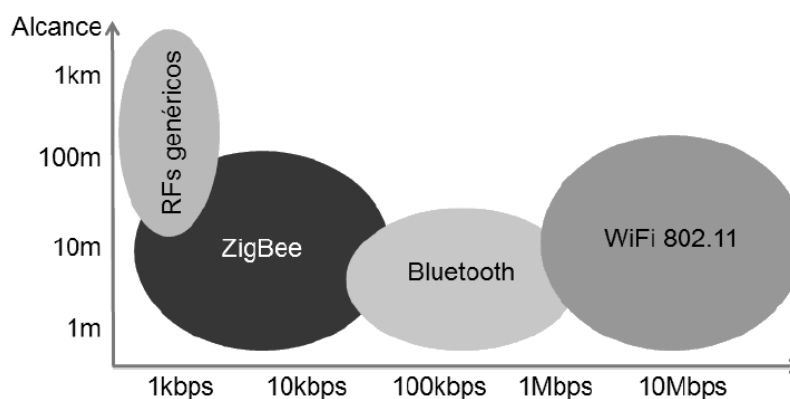
O fototransistor atua de forma equivalente ao fotodiodo onde a junção coletor-base fica exposta à luz. É um dispositivo sensível à radiação luminosa e possui uma taxa de comutação menor que a do fotodiodo. Possui diversas aplicações como: sensores de contraste, sensores de luminescência, sensores de distância e sensores analisadores de cores (THOMAZINI, et al., 2004).

2.3 Transmissão de dados

2.3.1 ZigBee

Desenvolvido pela ZigBee Alliance, seguindo o padrão IEEE 802.15.4. de comunicação sem fio, o ZigBee é um protocolo de comunicação sem fio projetado de forma que permita uma comunicação confiável, com taxas de transmissão baixas e com baixo consumo de energia (LUIZ, 2012).

Figura 5 – ZigBee x demais conexões sem fio



Fonte: (LUIZ, 2012)

O ZigBee opera em três faixas de frequências: 868 MHz, 915 MHz e 2,4 GHz (LUIZ, 2012). Pode-se visualizar na Figura 5 que o ZigBee atua em faixas de transmissão e com distâncias limite de envio de dados menores que as demais topologias de comunicação sem fio, porém isso é compensado pelo seu consumo de energia muito baixo.

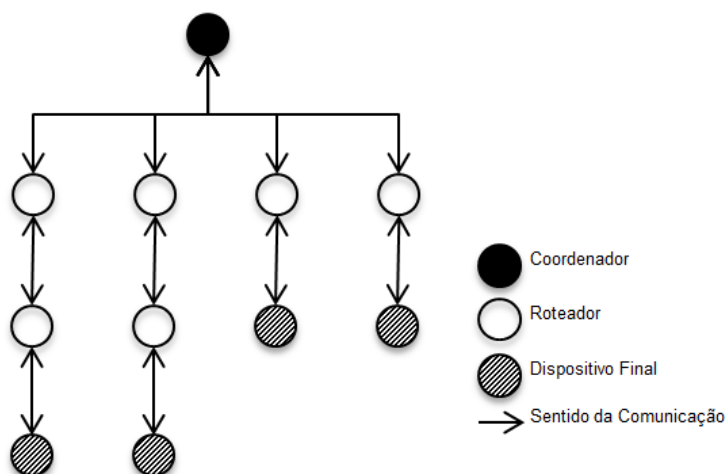
As redes ZigBee são constituídas por três tipos de dispositivos. O coordenador que é responsável pelo início de uma WPAN (*Wireless Personal Area*

Network) e pelo aceite dos pedidos de conexão à rede. O roteador que é o dispositivo que se associa à WPAN, que conecta os demais dispositivos à rede e envia e recebe os dados. E o dispositivo final, que passa a maior parte do tempo em hibernação e não realiza roteamento (SILVA, 2011).

“De acordo com o Padrão ZigBee, este implementa as arquiteturas de rede em estrela (star) e árvore (tree), enquanto o Padrão ZigBee Pro (2007) implementa também arquitetura de rede em malha (mesh), podendo alcançar grandes áreas e distâncias com muita robustez do protocolo e com latências razoavelmente baixas”. (LUIZ, 2012 p. 24)

Na Figura 6 é possível visualizar os dispositivos alocados em uma rede de arquitetura árvore.

Figura 6 – Arquitetura em árvore

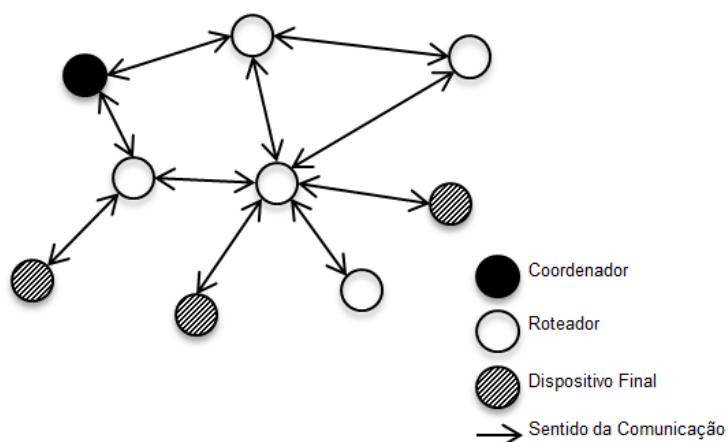


Fonte: Adaptado (LUIZ, 2012)

Nas redes em árvore os dispositivos são alocados como pai e filho. O dispositivo coordenador é a raiz da topologia, os dispositivos roteadores são alocados como filho do coordenador e os dispositivos finais como filho dos roteadores. Nessa topologia os nós filhos só se comunicam com seus nós pais formando uma estrutura de hierarquia em nível.

As redes em malhas, também conhecidas como *peer-to-peer*, possuem formação parecida com a topologia árvore com o diferencial que os dispositivos roteadores se comunicam entre si, como visto na Figura 7.

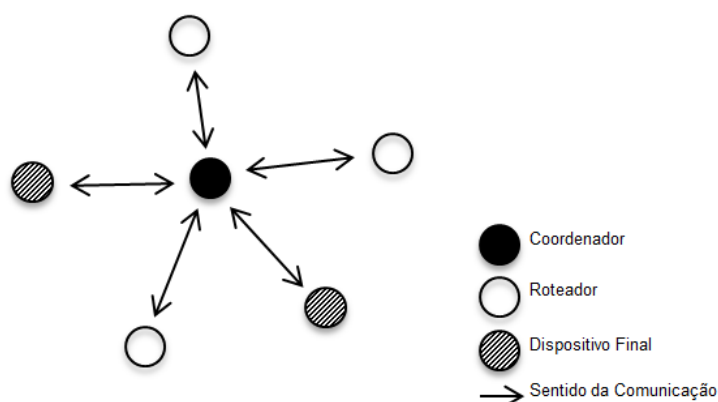
Figura 7 – Arquitetura em malha



Fonte: Adaptado (LUIZ, 2012)

Na arquitetura em estrela os dispositivos se conectam a um coordenador central, como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Arquitetura em estrela



Fonte: Adaptado (LUIZ, 2012)

Foi implementado por Monsignore (2007) um projeto para avaliar o padrão ZigBee em sensoriamento de ambientes o qual mostrou-se eficiente para esse tipo de utilização. A comunicação apresentou sucesso entre nós a 15 metros de distância tanto em ambiente aberto quanto com obstáculos. O consumo de energia também se apresentou dentro do esperado, apresentado um baixo consumo de energia com consumo de corrente inferior a 30 mA.

2.3.2 Redes locais sem fio

A *Wireless Local Area Network* (WLAN) é uma rede local sem fio padronizada pela IEEE 802.11. Possui sua grande atratividade no fato de não exigir a necessidade de licença oficial para funcionamento, contando ainda com uma alta taxa de transmissão de dados (TOSTA, 2012). Outro ponto de atratividade da WLAN é a mobilidade que ela impõe a seus usuários e a facilidade de instalação uma vez que oferece uma dificuldade mínima ao ponto que é comparada com as redes cabeadas convencionais (TOSTA, 2012).

Tabela 2 – Padrões IEEE 802.11

PADRÃO	TÉCNICA	BANDA	VELOCIDADE
802.11	FHSS	2,4 GHz	1 Mbps
802.11	DSSS	2,4 GHz	2 Mbps
802.11a	OFDM	5 GHz	Até 54 Mbps
802.11b	DSSS	2,4 GHz	Até 11 Mbps
802.11g	OFDM	2,4 GHz	Até 54 Mbps
802.11n	MIMO:OFDM	2,4 GHz e/ou 5 GHz	Até 600 Mbps (teórico)

Fonte: (TOSTA, 2012)

Segundo Tanenbaum (2003), é possível utilizar cinco técnicas de transmissão distintas para envio dos quadros MAC de uma estação para outra em redes sem fio: o FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*), o DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*), o HR-DSSS (*High Rate Direct Sequence Spread Spectrum*), o OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) e o Infravermelho. Cada técnica possui uma banda de transmissão e velocidade máxima atingível como pode ser observado na Tabela 2.

Loffagem (2013) relata que o alcance das redes sem fio depende de diversos fatores, porém fator o mais representativo é o tipo de antena utilizado no sistema. No sistema de antena não direcional as ondas de rádio são irradiadas e/ou capturas em todas as direções. Já no sistema de antena direcional as ondas são irradiadas e/ou capturadas em uma única direção. O ganho da antena é sua principal característica e está diretamente relacionada ao seu alcance, quanto maior o ganho maior será o alcance da rede.

2.3.3 Redes ethernet

Padronizada pelo IEEE 802.3, a ethernet é um meio físico para mover dados entre dois ou mais dispositivos conectados a um *hub*, roteador ou comutador. Utilizada desde 1980, ela oferece boas taxas de transferência como 10 Mbps, 100 Mbps e até 1000 Mbps (DULANEY, et al., 2009).

Cada pacote de dados enviado contém informações sobre o remetente e o destinatário. Todas as placas conectadas na rede percebem o envio e o destinatário recebe o pacote enviado. A ethernet é um dos meios mais utilizados para criação de redes de computadores (DULANEY, et al., 2009).

2.3.4 GPRS

A tecnologia GPRS (*General Packet Radio Service*) foi desenvolvida devido à necessidade de acesso à internet através de celulares. A tecnologia anterior, o GSM (*Global System for Mobile Communications*), havia sido desenvolvido para garantir boa qualidade de voz, com possibilidade de transmissão de dados entre pontos da rede, porém não foi preparada para o acesso à internet, pois essa necessita que os dados sejam transportados por pacotes, através do protocolo IP, o que não ocorria nas redes GSM (SATO, 2011).

“A rede GPRS pode ser considerada como um revestimento à rede GSM, acrescentando tráfego orientado a pacotes mediante leves modificações da arquitetura. A rede GPRS pode ser analisada como sendo “GSM + dados”. Sua integração com a rede Internet permite o envio e o recebimento de dados de uma forma bem simples por qualquer aparelho que utiliza esta tecnologia”. (TATEOKI, 2007 p. 29)

A integração entre o sistema GSM com o GPRS recebeu o nome de geração 2,5G alcançando taxas de transferência de em média 40 kbps (SATO, 2011). Várias características entre os dois são compartilhadas, como técnicas de modulação, bandas de frequência e estrutura de *frames*, com o diferencial de que no GPRS a cobrança é efetuada pela quantidade de dados transmitidos e não por tempo de conexão como no GSM (TATEOKI, 2007).

Ainda na geração 2,5G existe a tecnologia EDGE, que consiste em uma evolução do GPRS. Com taxas médias de transmissão entre 110 kbps e 120 kbps, a EDGE pode transmitir dados a até 384 kbps e também suporta serviços como o PTT (*Push to talk*) (NIKOLOFSKI, 2011).

Na terceira geração, conhecida como 3G, as taxas de transmissão aumentaram com a introdução de novas tecnologias como a UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*), que possui uma velocidade média de transmissão entre 220 kbps e 320 kbps podendo atingir taxas de até 2 Mbps (NIKOLOFSKI, 2011). As redes com tecnologia HSPA podem atingir taxas de até 5,7 Mbps, com velocidade média de transmissão entre 144 kbps e 384 kbps (NIKOLOFSKI, 2011).

Oliveira (2012) instaurou um sistema de irrigação de pomares controlado remotamente, no qual o controle é efetuado através de um sistema de supervisão instalado em um computador pessoal acoplado a um módulo GPRS que é o responsável pelo envio das mensagens de controle para a planta. O resultado mostrou-se satisfatório com a ressalva da disponibilidade de sinal para a rede GPRS.

Pantoja Neto (2013) também ratifica a eficiência de um sistema de comunicação GPRS o qual apresentou confiabilidade e taxas de transferências suficientes para a aplicação, novamente com a ressalva da necessidade de sinal para a rede GPRS, utilizando-se dessa tecnologia para realizar troca de dados entre um CLP e uma estação SCADA.

2.3.5 SMS

O SMS (*Short Message Service*) é uma forma de comunicação textual entre dois dispositivos móveis ou fixos onde é possível escrever uma mensagem de no máximo 134 caracteres de 8-bits (THIAGO, et al., 2011).

Além de transportar conteúdo de texto, através de um SMS é possível transportar conteúdos binários. Também permite envio e recebimento de mensagens com utilizadores de redes fixas, serviços IP e redes sociais da Web 2.0 (LEITÃO, et al., 2009).

Pinto e Mathias (2009) se utilizaram do SMS com sucesso para controle a distância de uma rede de domótica, apontando como item negativo o fato de que a mensagem SMS não é entregue em tempo real, atrasando assim, os comandos enviados.

2.3.6 Rádio frequência

A transmissão através de rádio frequência é realizada pela emissão de uma onda eletromagnética onde a informação é adicionada através de um processo de modulação podendo ser ela áudio, vídeo ou dados (VALGAS, 1999). Se utilizando das ondas eletromagnéticas as quais se propagam no ar, vácuo, água e até mesmo através de alguns sólidos (VALLE, 2013) essas informações são enviadas de um ponto a outro.

Segundo Tanenbaum (2003) o volume de dados que uma onda eletromagnética pode transportar depende de sua largura de banda, sendo possível codificar alguns bits por Hertz em frequências baixas, podendo chegar a diversos gigabits em altas frequências. Tanenbaum (2003) também relata que as ondas de rádio são fáceis de gerar e podem percorrer longas distâncias sendo amplamente utilizadas para comunicação, dependendo de suas condições de propagação frequência e intensidade.

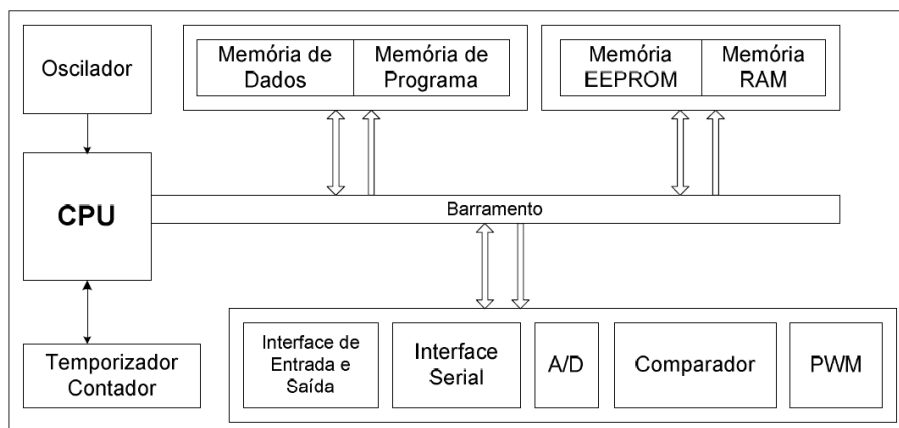
2.4 Microcontrolador

O microcontrolador é definido por Lima (2012 p. 9) como “um sistema microprocessado com várias funcionalidades (periféricos) disponíveis em um único chip”. Souza (2003b p. 23), o define como “um ‘pequeno’ componente eletrônico, dotado de uma ‘inteligência’ programável, utilizado no controle de processos lógicos”.

Basicamente é possível resumi-lo em um microprocessador com memórias de programa, de dados e RAM, temporizadores e circuitos de *clock* embutidos onde existe a possibilidade de desenvolvimento de diversas funcionalidades com a utilização de um número reduzido de componentes (LIMA, 2012).

De maneira geral o esquema de um microcontrolador é conforme a Figura 9, apresentando algumas variações de acordo com cada fabricante. Não são todos os microcontroladores, variando conforme cada modelo, que possuem certas funções como, por exemplo, conversores A/D (analógico/digital).

Figura 9 – Diagrama esquemático de um microcontrolador típico



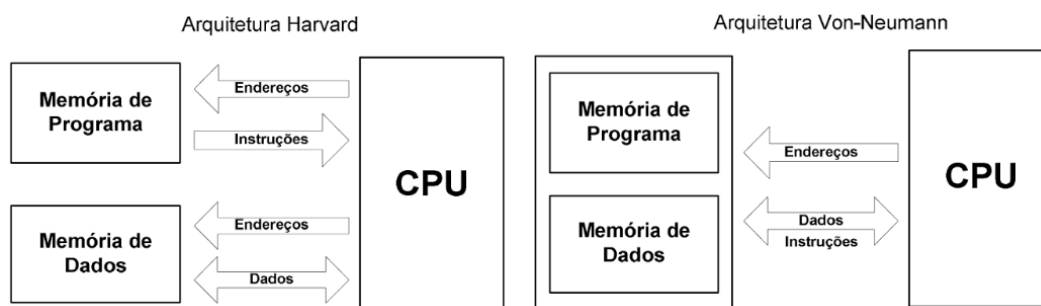
Fonte: (LIMA, 2012 p. 10)

A seguir serão descritas algumas características e funções principais dos microcontroladores que são conceitos importantes para o entendimento e foram utilizadas durante a construção do protótipo proposto. Como já citado a quantidade de fabricantes e famílias de microprocessadores é grande, assim, durante a abordagem desses conceitos poderão ser utilizadas referências que remetam a um tipo ou outro de microcontrolador específico, porém de forma conceitual o que se aplica a um tipo se aplica a outro.

2.4.1 Arquitetura e conjunto de instruções

Na Figura 9 consta como um dos componentes do microcontrolador o item barramento. Esse barramento, quanto à sua organização, pode ser classificado em duas arquiteturas: Harvard e Von-Neumann (LIMA, 2012). Como mostrado na Figura 10, a arquitetura Harvard possui dois barramentos internos, um que transporta instruções e outro para o transporte de dados (LIMA, 2012).

Figura 10 – Arquitetura harvard e von-neumann



Fonte: (LIMA, 2012 p. 5)

Na arquitetura Von-Neumann existe apenas um barramento interno. Dados e instruções são transportadas pelo mesmo barramento, com isso não é possível executar busca de dados e instruções ao mesmo tempo (LIMA, 2012). Segundo Souza (2003b) na arquitetura Harvard isso não ocorre, pois ela permite que enquanto uma instrução é executada outra pode ser buscada na memória, tornando o processamento mais rápido.

Tratando do conjunto de instruções dos microcontroladores, pode-se classificar em dois tipos, a arquitetura CISC (*Complex Instructions Set Computers*) e a arquitetura RISC (*Reduced Instructions Set Computers*) (LIMA, 2012). Essas arquiteturas se diferenciam entre si quanto à quantidade e tipo de instruções (LIMA, 2012).

Na arquitetura RISC é utilizado um conjunto pequeno e simples de instruções. Utilizando um conceito de carga e armazenamento utilizando registradores de uso geral, uma tarefa é executada com mais códigos (LIMA, 2012). Em um exemplo onde seja necessário multiplicar os valores contidos no endereço 0 pelo valores contidos no endereço 3, armazenando o resultado na posição 0, tem-se:

“Para um microprocessador RISC, a resolução do problema seria feita por algo como:
 LOAD A,0 //carrega o registrador A com o conteúdo do endereço 0
 LOAD B, 3 //carrega o registrador B com o conteúdo do endereço 3
 MULT A,B //multiplica o conteúdo A com o de B, o resultado fica em A
 STORE 0,A //armazena o valor de A no endereço 0 ” (LIMA, 2012 p. 7)

Em microcontroladores com arquitetura CISC, segundo Lima (2012) o mesmo exemplo seria resolvido da seguinte forma:

“MULT 0,3 //multiplica o conteúdo do endereço 0 com o do endereço 3
 //armazena o resultado no endereço 0 “ (LIMA, 2012 p. 7)

Isso ocorre porque na arquitetura CISC as instruções são mais complexas e em maior número, pois o objetivo é executar as tarefas com um número mínimo de instruções (LIMA, 2012). Essa diferença em relação ao número de instruções de cada arquitetura fica mais evidente com as informações apresentadas por Souza (2003b) sobre o microprocessador PIC.

“Os PICs utilizam uma tecnologia chamada RISC, (...). Desta forma, os PICs possuem cerca de 35 instruções (o número correto varia de acordo com o microcontrolador), muito menos que os microcontroladores convencionais (CISC) que chegam a possuir mais de cem instruções.” (SOUZA, 2003b pp. 22-23)

Como o número de instruções é reduzido, a arquitetura RISC requer mais códigos para executar a mesma tarefa, porém, mesmo assim, é mais rápida porque a execução de cada linha de código é realizada a cada ciclo de máquina, derivado diretamente do *clock*, ao ponto que na arquitetura CISC cada linha pode levar vários ciclos de *clock* para ser executada (LIMA, 2012).

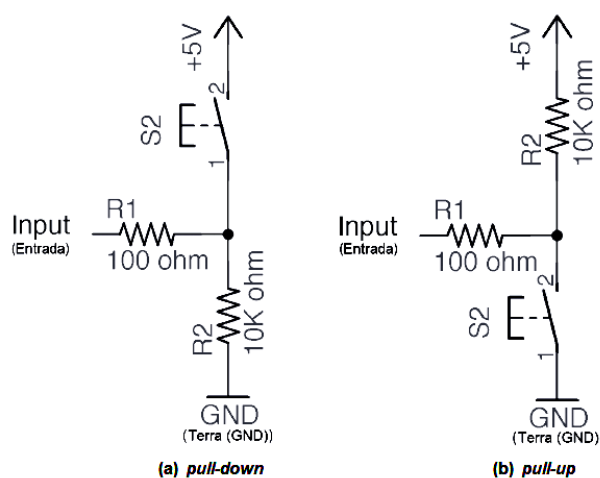
2.4.2 Portas I/O

No uso de microcontroladores um item fundamental, que se deve ter conhecimento, é de como são escritos e lidos dados nas portas de entrada e saída, também conhecidas como Portas I/O (*Input/Output*). A quantidade de portas disponíveis, as funções que elas executam e a forma de realizar suas configurações depende de cada microprocessador (LIMA, 2012).

De maneira geral as portas I/O têm função de leitura, modificação e escrita podendo ter sua função alterada pino a pino, ou seja, em um mesmo conjunto de portas pode-se ter pinos de entrada e saída (LIMA, 2012).

Internamente, nas portas de I/O existem resistores de *pull-up* ou *pull-down*, como apresentados na Figura 11, que podem ou não serem ativados, esses resistores são necessários para garantir o nível alto ou nível baixo nas portas do microprocessador (McROBERTS, 2011).

Figura 11 – Configuração *pull-up* e *pull-down*



Fonte: Adaptado McROBERTS (2011)

Quanto à configuração, as portas I/O possuem três comandos básicos: definição se o pino é entrada ou saída, definição do nível lógico do pino e leitura de

dados inseridos no pino (LIMA, 2012). Essas configurações são efetuadas através de registradores.

“Os registradores de I/O são o painel de controle do microcontrolador, pois todas as configurações de trabalho, incluindo acesso às entradas e saídas, se encontram nessa parte da memória. É fundamental compreender que são esses registradores que dão acesso às funcionalidades do microcontrolador, pois possuem todas as informações referentes aos periféricos e ao processamento da CPU.” (LIMA, 2012 p. 23)

A informação de qual registrador utilizar e como definir suas configurações pode ser obtida através do *datasheet* do fabricante. Por exemplo, os microcontroladores da família PIC utilizam o registrador TRISx para definir a configuração de entrada ou saída do pino, e o registrador PORTx para efetuar as operações de leitura e escrita nos pinos (SOUZA, 2003a). Já na família ATmega, o registrador PORTx é usado para escrever os valores nos pinos, o registrador DDRx é utilizado para definir se o pino é entrada ou saída, e para leitura do dado no pino é utilizado o registrador PINx (LIMA, 2012).

2.4.3 Conversor A/D

Para que o microcontrolador trabalhe com variáveis analógicas como tensão senoidal, por exemplo, é necessária a realização de uma transformação do sinal analógico para o sinal digital através de um processo de discretização do sinal, haja vista que o componente só entende valores digitais. Quanto mais complexo for o sistema a ser implantado, maior será a quantidade de entradas analógicas necessárias.

Conforme Souza (2003a) a resolução, ou seja, o menor valor lido é dado pelo número de bits do conversor e é definido por:

$$\text{resolução} = \frac{V_{\text{ref}}}{2^n} \quad (1)$$

Onde n é o número de bits do conversor e V_{ref} é a tensão de referência.

Utilizando como referência o conversor A/D do PIC 16F877A, a conversão é realizada do bit mais significativo para o menos significativo já que o bit mais significativo representa cinquenta por cento da tensão de referência (SOUZA, 2003a). Se esse bit estiver em 1 já conclui-se que a tensão de entrada é maior que a metade da tensão de referência. Para o próximo bit tem-se metade da metade da

tensão de referência, ou seja, 25%, no próximo 12,5% e assim sucessivamente até o bit menos significativo (SOUZA, 2003a), conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Conversão A/D por bit

% do sinal	Bit	mV
50%	10 (Msb)	2.500
25%	9	1.250
12,5%	8	625
6%	7	312,5
3%	6	156,25
2%	5	78,13
1%	4	39,06
0,39%	3	19,53
0,20%	2	9,77
0,10%	1 (Lsb)	4,88

Fonte: Adaptado Souza (2003a)

O PIC 16F877A possui oito canais de analógicos, porém internamente apenas um sistema de conversão analógico/digital assim é possível realizar apenas uma conversão de cada vez (SOUZA, 2003a). Pode-se definir quais os canais serão utilizados através do registrador ADCON1, apresentado na Figura 12, apontando 0 ou 1 nos bits PCFG3:PCFG0 (MICROCHIP, 2001).

Figura 12 - Registrador ADCON1

ADCON1 REGISTER (ADDRESS 9Fh)

U-0	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7							bit 0

Fonte: (MICROCHIP, 2001)

Na Figura 13 visualizam-se as configurações possíveis para o registrador ADCON1, onde é possível definir quais portas serão utilizadas para leitura analógica, quais portas serão utilizadas como I/O e ainda a tensão de referência para a conversão (SOUZA, 2003a).

Figura 13 – Configurações ADCON1

PCFG3:PCFG0: A/D Port Configuration Control bits:

PCFG3: PCFG0	AN7 ⁽¹⁾ RE2	AN6 ⁽¹⁾ RE1	AN5 ⁽¹⁾ RE0	AN4 RA5	AN3 RA3	AN2 RA2	AN1 RA1	AN0 RA0	VREF+	VREF-	CHAN/ Refs ⁽²⁾
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	VDD	Vss	8/0
0001	A	A	A	A	VREF+	A	A	A	RA3	Vss	7/1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	VDD	Vss	5/0
0011	D	D	D	A	VREF+	A	A	A	RA3	Vss	4/1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	VDD	Vss	3/0
0101	D	D	D	D	VREF+	D	A	A	RA3	Vss	2/1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	VDD	Vss	0/0
1000	A	A	A	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	VDD	Vss	6/0
1010	D	D	A	A	VREF+	A	A	A	RA3	Vss	5/1
1011	D	D	A	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	4/2
1100	D	D	D	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	3/2
1101	D	D	D	D	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	2/2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	VDD	Vss	1/0
1111	D	D	D	D	VREF+	VREF-	D	A	RA3	RA2	1/2

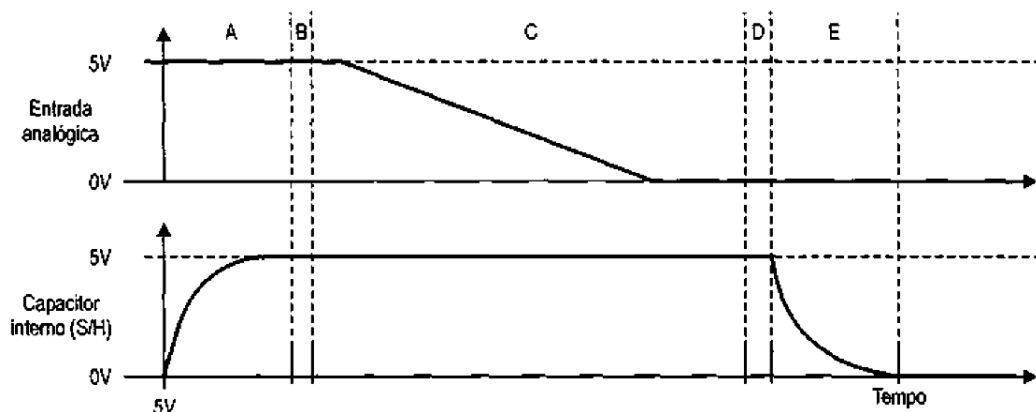
A = Analog input D = Digital I/O

Fonte: (MICROCHIP, 2001)

Segundo Souza (2003a) para a conversão o PIC se utiliza de um capacitor interno de 120 pF ligado ao canal analógico que estará sendo utilizado. Ele captura a amostra carregando o capacitor e ao iniciar o processo de conversão o capacitor é desconectado do canal analógico mantendo a tensão no capacitor, assim toda a conversão é executada com a leitura armazenada no capacitor (SOUZA, 2003a). Até que esse ciclo seja concluído e o capacitor seja novamente conectado ao canal analógico as variações de tensão que eventualmente ocorram na entrada analógica não serão convertidas, então para que não ocorram erros na conversão esses tempos de preparação e coleta da leitura devem ser respeitados (SOUZA, 2003a).

Na Figura 14 tem-se o gráfico do ciclo da conversão A/D onde “A” é o tempo de adequação do capacitor, onde se adota o tempo de 40 μ s (SOUZA, 2003a) que garante, na pior condição, tempo suficiente para a carga do capacitor. “B” é tempo de desligamento do capacitor que por ser muito pequeno (na casa dos ns) pode ser desconsiderado (SOUZA, 2003a). “D” e “E” são os tempos de religamento do capacitor e nova adequação do capacitor onde novamente adota-se 40 μ s (SOUZA, 2003a) como tempo que garantirá o intervalo necessário.

Figura 14 – Ciclo de conversão A/D



Fonte: (SOUZA, 2003a p. 133)

Antes de verificar o tempo da etapa “C”, é necessário saber que o conversor possui uma frequência de trabalho a qual pode ser definida pela frequência do oscilador do PIC dividida por umas das três opções configuráveis através dos bits ADCS1:ADCS0 do registrador ADCON0, ou ainda utilizando um RC interno dedicado a isso (SOUZA, 2003a). Essa última opção está disponível para que o PIC possa realizar conversão no modo SLEEP (SOUZA, 2003a).

No caso do PIC 16F877A o tempo da etapa “C” pode ser definido pela seguinte equação:

$$Tempo_C = 10.T_{AD} + 2.T_{AD} \quad (2)$$

Onde T_{AD} é o tempo de conversão de cada bit definido pela frequência apontada no registrador ADCON0 (SOUZA, 2003a). Por exemplo, utilizando um cristal externo de 4 MHz e definido a frequência de trabalho de FOSC:8, 24 μ s será o tempo mínimo para o bom funcionamento da conversão.

Como o conversor analógico do PIC 16F877A é de 10 bits, para armazenar esse resultado serão necessários dois registradores: um armazena a parte alta do número e outro a parte baixa, esses registradores são chamados de ADRESH e ADRESL (SOUZA, 2003a). Isso possibilita trabalhar com valores menores que os 10 bits da conversão justificando para esquerda ou para direita o valor desses registradores.

2.4.4 Interrupções

Segundo Lima (2012) as interrupções são processos que interrompem a execução de tarefas dentro do microcontrolador, sendo fundamentais para a simplificação de determinadas tarefas e deixando o desempenho do processamento mais eficiente. As interrupções podem ser tanto externas quanto internas.

As interrupções externas são empregadas para avisar o microcontrolador que algum evento externo a ele ocorreu, o qual pode ser um botão pressionado ou um sinal de outro sistema digital. Muitas vezes, elas são empregadas para retirar a CPU de um estado de economia de energia, ou seja, para 'despertar' o microcontrolador. (LIMA, 2012 p. 163)

Dessa forma, a interrupção externa é acionada com estímulos externos e independe da rotina que esteja sendo executada no microcontrolador; ao receber esse estímulo externo a função será desviada para a função de interrupção externa, após a execução dessa função o controlador volta à função que estava executando.

As interrupções internas ocorrem sempre que determinado evento acontece, como as interrupções de *timer* por exemplo. Essas interrupções ocorrem sempre que ocorre o estouro em um determinado registrador de controle, desviando a função principal para a função de interrupção (SOUZA, 2003b).

As interrupções internas de *timer* são bastante utilizadas para controle de tempo, assim o microcontrolador não precisa executar verificações constantes para garantir que o tempo esteja sendo contabilizado (SOUZA, 2003b).

Cabe ressaltar que essas interrupções podem ser usadas ou não, conforme a necessidade do sistema projetado para o microcontrolador. Assim, se estiverem desabilitadas, os eventos não desviarão o programa principal para uma função específica da interrupção.

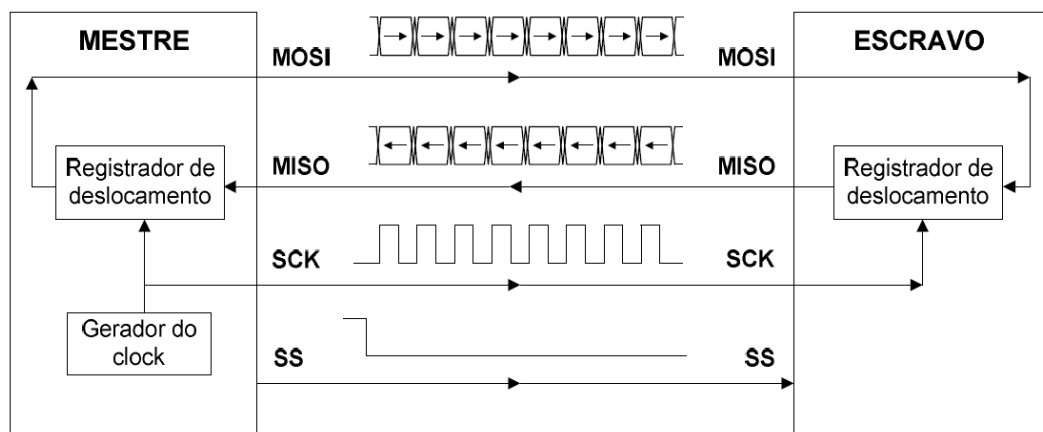
2.4.5 Comunicação em microcontroladores

2.4.5.1 SPI

Criado pela Motorola o SPI (*Serial Peripheral Interface*) é um padrão de comunicação serial criado com o propósito de ser utilizado como padrão de comunicação entre microcontroladores e periféricos, onde podem ser enviadas e recebidas mensagens de qualquer tamanho com conteúdos variados (LIMA, 2012).

O SPI opera em modo mestre e escravo com comunicação síncrona através de três vias: *Clock*, *Data In* e *Data Out* e um pino adicional (SS) para seleção do dispositivo escravo (SOUZA, 2003a).

Figura 15 – Conexão SPI entre um mestre e um único escravo



Fonte: (LIMA, 2012 p. 318)

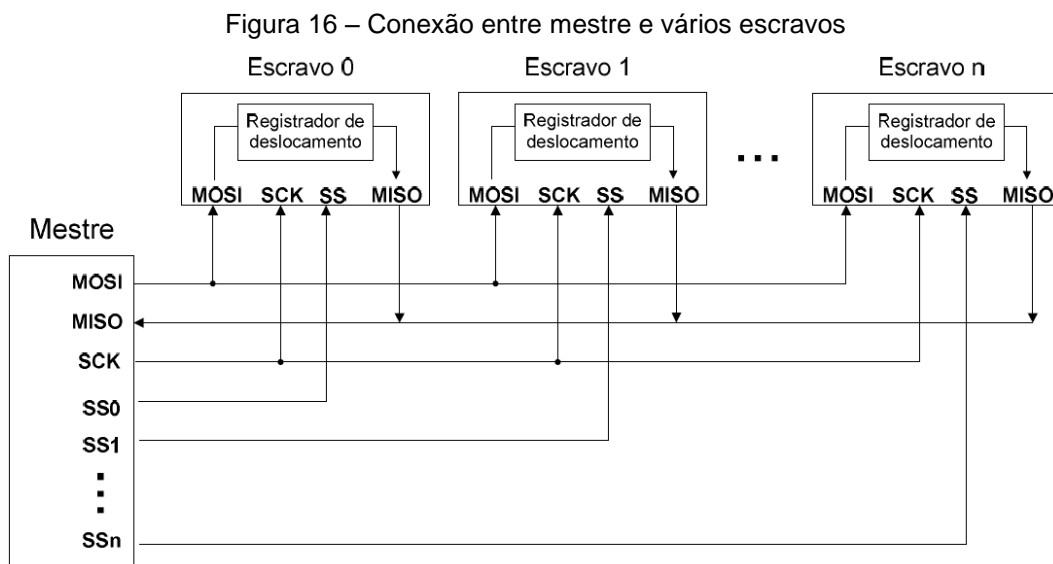
Na comunicação SPI, o dispositivo configurado como mestre comanda o sincronismo através da emissão do sinal de *clock* (LIMA, 2012). Para cada pulso do sinal de *clock* um bit é enviado do registrador de deslocamento do dispositivo mestre para o registrador de deslocamento do dispositivo escravo e um bit do escravo é enviado ao mestre. A cada oito pulsos de *clock* a informação que estava no dispositivo mestre é transmitida ao escravo e vice-versa (SOUZA, 2003a). Na Figura 15 é apresentada uma conexão entre um dispositivo mestre e um escravo.

Como a comunicação ocorre em sentido duplo, podem ocorrer três situações:

- “ - **Master envia dado válido / Slave envia dado não válido:** Neste caso o Master está enviando algum dado para o Slave; porém não interessa a informação que é enviado pelo Slave nesse momento. É muito comum quando o Master está fazendo uma pergunta ao Slave(...)
- **Master envia dado não válido / Slave envia dado válido:** Este caso é o complementar ao anterior. Depois que o Master efetuou uma pergunta e o Slave a processou, uma resposta deverá ser retornada (...)
- **Master envia dado válido / Slave envia dado válido:** (...) é usado para aumento da velocidade. Por exemplo: o Master faz uma pergunta e ao mesmo tempo recebe a resposta da pergunta anterior.” (SOUZA, 2003a p. 242)

Existe a possibilidade de conexão de um dispositivo mestre a mais de um dispositivo escravo (LIMA, 2012), dessa forma para cada dispositivo escravo há um pino SS o qual é controlado pelo mestre (SOUZA, 2003a). Com isso não haverá

interferência de um dispositivo no outro. Na Figura 16 é visualizada uma configuração desse tipo.



Fonte: (LIMA, 2012 p. 319)

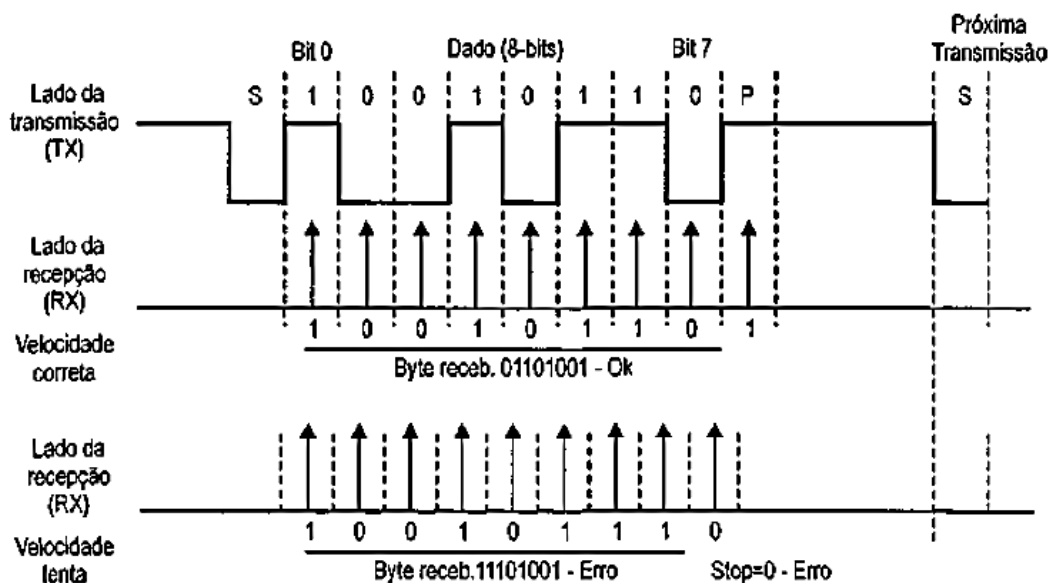
O SPI, em sistemas de múltiplos escravos, pode ocupar muitos pinos para a seleção dos escravos, porém, é um protocolo simples onde os dados podem ser enviados e recebidos ao mesmo tempo, de fácil programação e com a possibilidade de ser implantado, através de programação, mesmo sem a existência de módulo SPI no microcontrolador (LIMA, 2012).

2.4.5.2 USART

A comunicação USART (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*) é um protocolo de comunicação universal que trabalha tanto de modo sincronizado como não sincronizado (SOUZA, 2003a). Este protocolo é utilizado para comunicação com diversos sistemas eletrônicos, como nas, largamente utilizadas, comunicações RS232 e RS485 (LIMA, 2012).

Quando se está trabalhando com o modo não sincronizado a comunicação é realizada através de duas vias, ambas utilizadas para dados. Uma delas fica com a função de envio (Tx) e a outra com a recepção dos dados (Rx) (SOUZA, 2003a). Como nesse modo de comunicação não há pulso de *clock* o sincronismo é efetuado na própria via de dados através da velocidade de transmissão ou *Baud Rate* (SOUZA, 2003a).

Figura 17 – Transmissão USART assíncrona



Fonte: (SOUZA, 2003a p. 300)

Conhecendo o valor da *Baud Rate* (em bits por segundo - bps) é possível determinar o tempo para transmissão de cada bit, criando um sincronismo somente de tempo necessário, calculado através da equação (3) para transmissão/recepção dos dados (SOUZA, 2003a).

$$T_{BIT} = \frac{1}{BaudRate} \quad (3)$$

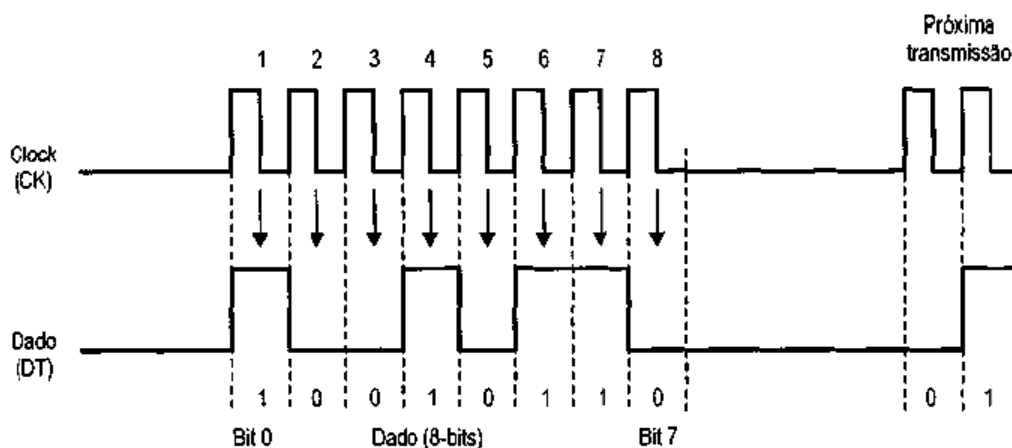
A transmissão inicia através do *Start Bit* que passa para nível baixo o Tx, o qual tem o valor 1 definido como *stand-by*. Após o *start bit*, são transferidos 8 bits de dados e mais um bit chamado *stop bit* com valor padrão em 1, que sinaliza o final da transmissão (SOUZA, 2003a).

Este *stop bit* é necessário para garantir que a leitura dos dados de transmissão ocorreu de forma correta, por exemplo, a leitura desse bit com um valor diferente de 1 pode indicar um erro de temporização na transmissão (SOUZA, 2003a). Na Figura 17 é apresentado o processo de transmissão USART assíncrono graficamente.

No modo de transmissão síncrona também são utilizadas duas vias para comunicação, porém uma delas é para o sinal de *clock* (SOUZA, 2003a). Trabalhando em sistema mestre e escravo para cada pulso de *clock* um bit de dado é transferido, onde o tempo de duração da transmissão de cada bit também é

definido pelo *baud rate* (SOUZA, 2003a). O sinal alto no *clock* indica o início da transmissão como mostra a Figura 18.

Figura 18 – Transmissão USART síncrona



Fonte: (SOUZA, 2003a p. 302)

Como a *baud rate* tem um valor diferente da frequência de operação do microprocessador e a construção dessa taxa de transferência é baseada na frequência de operação é necessário um ajuste. Esse ajuste é realizado em um registrador específico do microprocessador, por exemplo, no ATmega 328P conforme determina o *datasheet* do fabricante, o registrador usado é o UBRR0 (ATMEL, 2015). O valor a ser inserido nesse registrador pode ser calculado pela Equação (4) quando o modo de operação for normal e assíncrono.

$$UBRR0 = \frac{f_{osc}}{16 \cdot BaudRate} - 1 \quad (4)$$

“A faixa de operação do receptor é dependente do descasamento entre a taxa de comunicação do transmissor e a sua taxa de comunicação gerada internamente (*baud rate*). Se o transmissor estiver enviando bits muito rapidamente, ou muito devagar, ou ainda, se o *clock* gerado internamente não tiver a frequência base similar a do transmissor, o receptor não será capaz de sincronizar” (LIMA, 2012 p. 350)

Esse descasamento entre as taxas e o valor utilizado para o ajuste pode causar um erro o qual pode ser calculado, em modo de operação normal e assíncrono, por:

$$Erro [\%] = \left(\frac{\frac{f_{osc}}{16(UBRR0 + 1)}}{Taxa\ de\ Transmissão} - 1 \right) \cdot 100\% \quad (5)$$

Na Tabela 4 são apresentados os valores de erro calculados para diferentes *baud rate* e frequências de operação do microcontrolador utilizado no exemplo.

Tabela 4 – Taxa de erro em comunicação assíncrona

fosc	1 MHz		2 MHz		4 MHz		8 MHz		16 MHz		20 MHz	
Baud Rate (kbps)	UBRR0	Erro	UBRR0	Erro	UBRR0	Erro	UBRR0	Erro	UBRR0	Erro	UBRR0	Erro
2,4	25	0,2%	51	0,2%	103	0,2%	207	0,2%	416	-0,1%	520	0,0%
4,8	12	0,2%	25	0,2%	51	0,2%	103	0,2%	207	0,2%	259	0,2%
9,6	6	-7,0%	12	0,2%	25	0,2%	51	0,2%	103	0,2%	129	0,2%
14,4	3	8,5%	8	-3,5%	16	2,1%	34	-0,8%	68	0,6%	86	-0,2%
19,2	2	8,5%	6	-7,0%	12	0,2%	25	0,2%	51	0,2%	64	0,2%
28,8	1	8,5%	3	8,5%	8	-3,5%	16	2,1%	34	-0,8%	42	0,9%
38,4	1	-18,6%	2	8,5%	6	-7,0%	12	0,2%	25	0,2%	32	-1,4%
57,6	0	8,5%	1	8,5%	3	8,5%	8	-3,5%	16	2,1%	21	-1,4%
76,8			1	-18,6%	2	8,5%	6	-7,0%	12	0,2%	15	1,7%
115,2			0	8,5%	1	8,5%	3	8,5%	8	-3,5%	10	-1,4%
230,4					0	8,5%	1	8,5%	3	8,5%	4	8,5%
250					0	0,0%	1	0,0%	3	0,0%	4	0,0%
550							0	0,0%	1	0,0%		
1000									0	0,0%		
Max	62,5 kbps		125 kbps		250 kbps		0,5 Mbps		1 Mbps		1,25 Mbps	

Fonte: Adaptado Atmel (2015)

Ao escolher a frequência de operação e a taxa de transferência deve-se manter o erro com valores entre $\pm 1\%$ e $\pm 3\%$ (LIMA, 2012).

3 O MEDIDOR ELETRÔNICO SEM MONITORAMENTO REMOTO

A Resolução Normativa Aneel nº 414/2010, obriga as distribuidoras de energia elétrica a instalar equipamentos de medição nas unidades consumidoras, salvo onde o fornecimento de energia elétrica for provisório. A escolha desse equipamento de medição fica a cargo da distribuidora podendo ela, a suas custas, instalar os equipamentos que julgar necessário para a realização da medida das grandezas relacionadas ao faturamento de energia elétrica.

“Art. 72. A distribuidora é obrigada a instalar equipamentos de medição nas unidades consumidoras, exceto quando o fornecimento for provisório ou destinado para iluminação pública, semáforos, iluminação de vias internas de condomínios (...)

Art. 73. O medidor e demais equipamentos de medição devem ser fornecidos e instalados pela distribuidora, às suas expensas, exceto quando previsto o contrário em legislação específica.

(...)

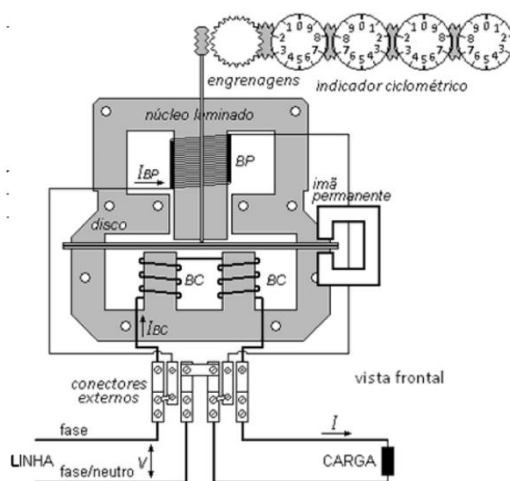
§ 3º Fica a critério da distribuidora escolher os medidores, padrões de aferição e demais equipamentos de medição que julgar necessários, assim como sua substituição ou reprogramação, quando considerada conveniente ou necessária, observados os critérios estabelecidos na legislação metrológica aplicáveis a cada equipamento.” (ANEEL, 2010 p. 58)

Os medidores instalados pelas distribuidoras devem seguir as características construtivas previstas na regulamentação metrológica correspondente do INMETRO, bem como seus modelos devem ser aprovados por portaria específica (ANEEL, 2016b).

3.1 Medidores eletromecânicos

Segundo Senra (2013), os medidores eletromecânicos do tipo indução são compostos basicamente por: bobina de potencial (BP), bobina de corrente (BC), disco de alumínio, ímã permanente, núcleos para acomodação das bobinas BP e BC e indicador ciclométrico para mostrar a energia medida, conforme pode ser visualizado na Figura 19. Os medidores eletromecânicos foram largamente utilizados, porém se tornaram obsoletos e foram substituídos pelos medidores eletrônicos. Atualmente somente medidores eletrônicos são instalados pelas distribuidoras.

Figura 19 - Vista frontal medidor eletromecânico



Fonte: Senra (2013 p. 319)

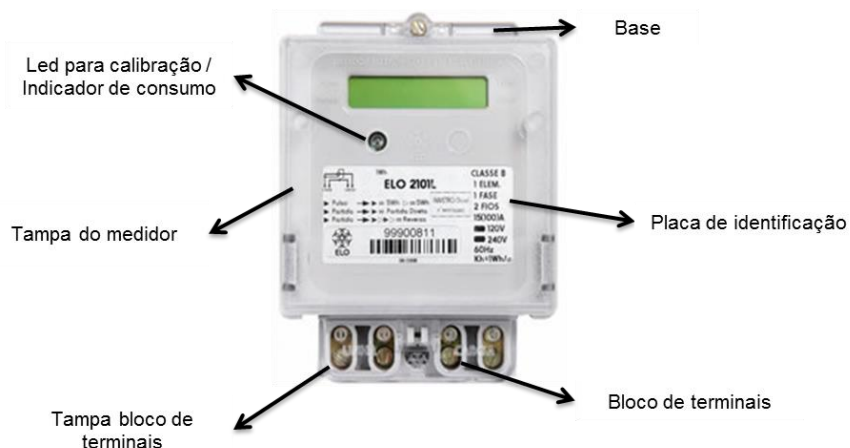
“Assim, o disco dará um certo número de voltas (constantes) por Wh. O movimento do disco é transmitido, por meio de um sistema mecânico de engrenagens, ao mostrador do instrumento que indicará em kWh a quantidade de energia elétrica absorvida pela carga.” (MÍNGUEZ, 2007 p. 14)

O valor da constante de disco K_d , representa a quantidade de kWh que é registrado em uma volta completa no disco (SENRA, 2013). Esse valor varia de fabricante para fabricante e deve vir especificado na placa de identificação do medidor conforme especificado na Portaria Inmetro nº 285/08 (INMETRO, 2008).

3.2 Medidores eletrônicos

Na Figura 20 são apresentados os principais itens que compõem o medidor eletrônico conforme descrição da NBR 14519 (ABNT, 2000).

Figura 20 - Medidor eletrônico



Fonte: Elaborado pelo autor com base na NBR 14519 (ABNT, 2000)

Nos medidores eletrônicos a medição do consumo de energia é baseada na medição instantânea de corrente e tensão, onde o produto desses valores representa o consumo instantâneo (NANSEN, 2011). A potência média consumida em um intervalo T pode ser calculada através de:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt \quad (6)$$

Para um sistema discreto considerando um intervalo de tempo igual a um segundo e N o número de amostras no intervalo considerado, tem-se:

$$Wh = \frac{1}{3600 \cdot N} \sum_{i=0}^{\infty} (i_i \cdot u_i) \quad (7)$$

No medidor os valores instantâneos de corrente e tensão são obtidos através de um conversor analógico-digital e o produto dessas grandezas é realizado por um chip dedicado. O somatório dos produtos entre tensão e corrente é armazenado e apresentado através de um display (NANSEN, 2011).

Os medidores eletrônicos comercializados no Brasil devem seguir as especificações da NBR 14519 – Medidores eletrônicos de energia elétrica (estáticos), que fixa as condições mínimas aplicadas aos medidores eletrônicos monofásicos e polifásicos para medições em corrente alternada (ABNT, 2000).

3.2.1 Sinalizador de consumo efetuado

Segundo a ABNT (2000) os medidores eletrônicos devem possuir um indicador de operação. Esse indicador de operação consiste em um sinal visível que demonstre a operação do medidor, dessa forma, os medidores apresentam um LED indicador que tem o seguinte funcionamento: quando há fluxo de energia o LED piscará em pulsos correspondentes à quantidade de energia ativa que está passando, já quando não há fluxo de energia o LED fica desligado (ELO, 2009).

A cadência de pulso deste LED indicativo está relacionada à constante Kh do medidor, com o valor expresso em Watt-hora ela representa a relação entre a quantidade de energia que está sendo medida e a quantidade de sinais luminosos emitidos (ABNT, 2000). O valor da constante Kh deve ser apresentado na placa de identificação do medidor e é calculado de acordo com a equação (8), onde I_n

representa a corrente nominal, V_n é a tensão nominal e N o número de elementos (ABNT, 2000).

$$Kh = \frac{I_n \cdot V_n \cdot N}{\text{Pulsos/hora}} \quad (8)$$

Ainda, esse LED indicativo associado à constante Kh é utilizado para calibração dos medidores, uma vez que representa o fluxo de energia passante no medidor. A calibração é realizada através do método do wattímetro e com o auxílio de um cronômetro é medido o tempo entre um pulso e outro.

Método do wattímetro - Consiste em submeter o medidor a uma potência de valor constante e por um tempo determinado. A tensão e a corrente devem ser mantidas dentro de $\pm 2,0\%$ e a potência deve ser mantida dentro de $\pm 0,2\%$. A fim de se conseguir o valor da energia de referência (real) seja obtido com a mínima incerteza, o cronômetro deve ter precisão de 0,1 segundo. (SENRA, 2013 p. 336)

A verificação do erro pode ser efetuada pela aplicação da equação apresentado por Senra (2013):

$$\varepsilon W = \frac{(3600 \cdot Kh) - P \cdot t}{P \cdot t} \cdot 100\% \quad (9)$$

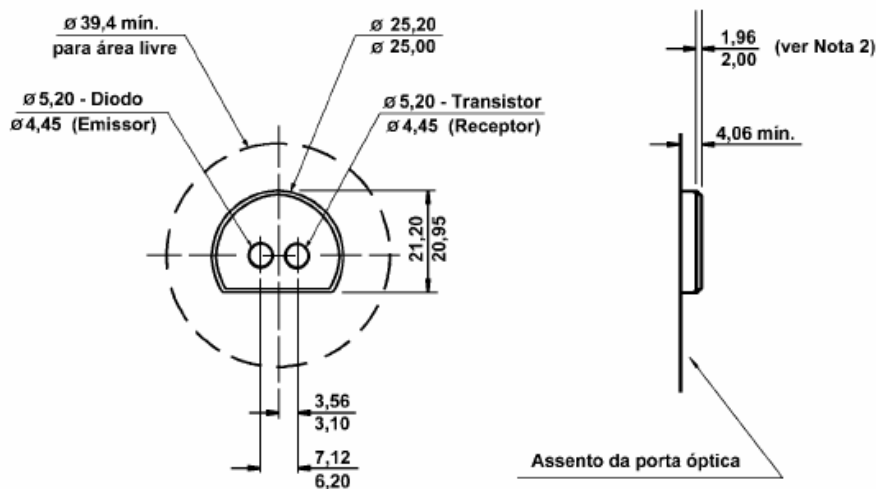
Onde P é a potência conectada, em Watts, e t é o tempo cronometrado, em segundos.

3.2.2 Comunicação

A ABNT (2000) estabelece duas formas de comunicação para os medidores: a porta óptica e a saída serial. A saída serial deve ser composta ou por dois terminais com +5 V sobreposto ou de dois terminais com coletor aberto, com comunicação assíncrona unidirecional e transmissão a 110 *bauds*, entre outras definições (ABNT, 2000).

Já a porta óptica com conector magnético deve seguir as dimensões apresentadas na Figura 21 e deve possuir acoplamento óptico através de infravermelho com distâncias entre transmissor e receptor de 10 mm com tolerância de 1 mm, a transmissão é assíncrona com taxa inicial de 9600 *bauds* (ABNT, 2000).

Figura 21 – Porta óptica com conector magnético



Fonte: (ABNT, 2000 p. 8)

Atualmente alguns fabricantes estão disponibilizando em alguns medidores uma saída de pulso. Geralmente em modo coletor aberto, ela emite um pulso para cada vez que o LED indicativo pulsa e representa o mesmo valor de Watt-hora que a constante Kh do medidor (ELO, 2009).

A ABNT (2008) define em sua norma NBR 14522:2008 um padrão de comunicação para os sistemas de medição de energia elétrica, estabelecendo uma metodologia para comunicação convencional leitor-medidor, direcional leitor-medidor, comunicação remota síncrona e saídas de usuário, entre outros itens.

3.3 Oportunidade encontrada

Conforme relatado anteriormente o processo de implantação de *Smart Grids* passa pela utilização de medidores inteligentes com capacidade de aquisição e envio de dados para as distribuidoras.

Atualmente grande parte dos medidores existentes na rede são eletrônicos, haja vista que essa tecnologia está disponível para as distribuidoras desde o ano de 2000, entretanto esses medidores, mesmo sendo eletrônicos, possuem em sua grande maioria somente a função de registro de consumo de energia elétrica.

Como mencionada em capítulos anteriores, a troca de forma massiva dos medidores existentes acarretaria em uma elevação de tarifa ao consumidor final e

um desembolso financeiro elevado para as distribuidoras. Apresentando assim, uma distância elevada entre o tipo de equipamento necessário para a implantação de redes inteligentes e o tipo de equipamento instalado na rede atualmente.

Se todos os medidores eletrônicos possuísem ao menos uns dos módulos de comunicação apresentados no item 3.2.2 o processo de transição seria relativamente simples, porém não é essa a realidade.

Dentro desse cenário percebeu-se a oportunidade de aproximar o conceito de *Smart Grid* sem a necessidade de substituição dos medidores atualmente instalados nas redes de distribuição. Uma vez que por força de regulamentação, todos os medidores devem possuir um LED indicativo do consumo e a pulsação desse LED representa, conforme explicado anteriormente, o fluxo de energia passante no medidor, contando o número de pulsos é possível determinar o valor do kWh lido.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

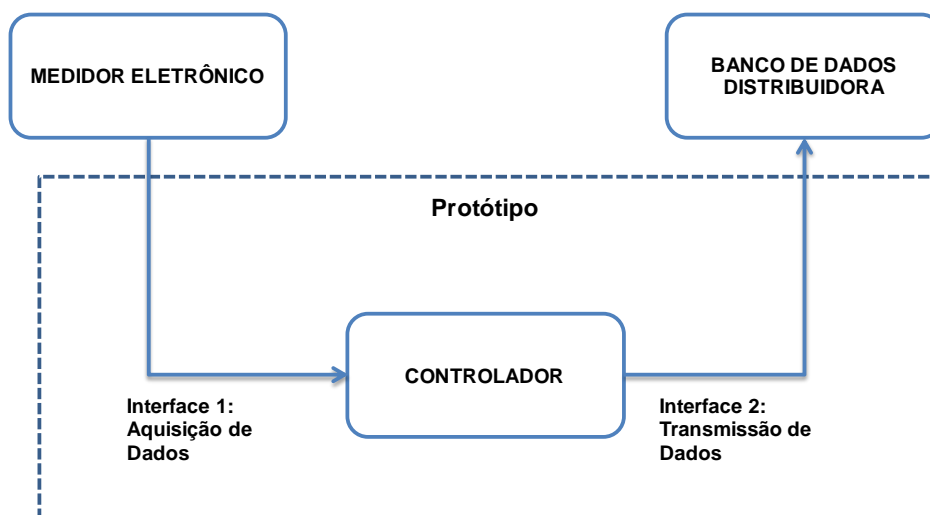
A oportunidade encontrada para aproximar a configuração de rede de distribuição existente a uma configuração de rede de distribuição voltada para a *Smart Grid*, foca na utilização dos medidores eletrônicos atualmente instalados associados a um protótipo para coleta de leitura do consumo em kWh.

Esse capítulo descreve o modelo de protótipo que está sendo proposto, seu funcionamento e as etapas de desenvolvimento.

4.1 Modelo proposto

O protótipo de telemetria para coleta do consumo de energia em kWh utilizando os medidores eletrônicos atualmente instalados nas unidades consumidoras é baseado no conceito apresentado na Figura 22.

Figura 22 - Protótipo proposto



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

O protótipo irá atuar entre o medidor eletrônico instalado na unidade consumidora e o banco de dados da distribuidora, funcionando como ponte entre esses dois itens. Será composto por duas interfaces, uma para aquisição dos dados e outra para transmissão de dados a um banco de dados.

Cada item terá a seguinte função no protótipo:

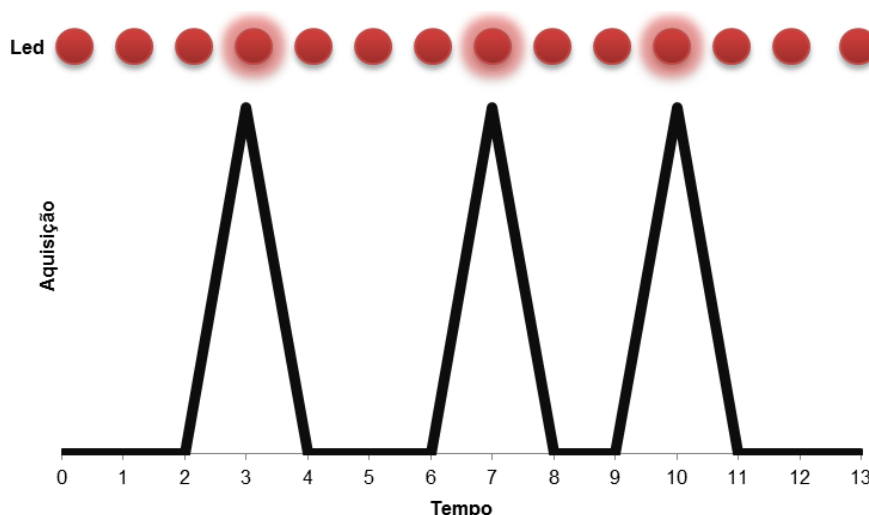
- interface de aquisição de dados: será responsável pela aquisição dos valor de kWh lido pelo medidor e envio desses para o sistema de controle do protótipo.
- sistema de controle: será responsável pelo recebimento dos dados coletados pela interface de aquisição e disponibilização desses dados para a interface de transmissão. Também é responsável pelas funções de gerenciamento do protótipo, como, por exemplo, controle de data e hora.
- interface de transmissão de dados: será responsável pelo envio dos dados coletados na interface de aquisição, disponibilizando os mesmos no formato que a distribuidora necessite.

Como conceito, a interface de transmissão de dados pode ser ajustável para o tipo de transmissão que mais se adeque à necessidade da distribuidora podendo ser através de redes *wireless*, GPRS, cabo de rede, entre outras.

4.1.1 Aquisição de dados

A interface de aquisição de dados tem a função de realizar a leitura do valor de kWh registrado pelo medidor eletrônico e enviar para o sistema de controle do protótipo.

Figura 23 - Aquisição de dados



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

A leitura do valor de kWh será realizada através da contagem dos pulsos do medidor. Como apresentado na Figura 23, para cada vez que o LED do medidor piscar, o sistema de aquisição deve receber um valor alto e acrescentar o valor da

constante kh do medidor ao total de kWh. O valor da constante kh do medidor será a resolução do sistema de aquisição, se o valor de kh for igual a 1 Wh o menor valor que poderá ser lido na interface de aquisição é de 1 Wh.

Inicialmente tentou-se coletar a leitura dos pulsos do medidor através de um fotodiodo. O teste realizado em bancada utilizando um LED qualquer para emissão do pulso mostrou-se satisfatório.

Ao coletar os pulsos diretamente do medidor o resultado foi diferente. Isso ocorreu porque alguns fabricantes de medidores inserem o LED indicador de consumo sob a tampa do medidor e dessa forma fica um espaço de aproximadamente 2 cm entre a tampa e este dispositivo. Devido a esse espaço não foi possível realizar a leitura com o fotodiodo, pois não eram capturados os pulsos do medidor pelo sistema de aquisição.

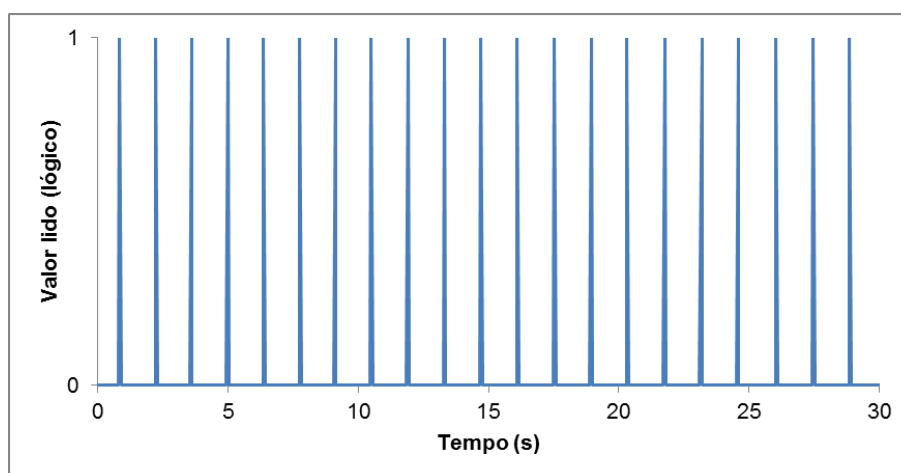
O mesmo ocorreu ao tentar utilizar fototransistor para aquisição das leituras. Apesar dos testes em laboratório terem sido positivos, ao tentar coletar diretamente no medidor o espaço entre a tampa e o LED novamente impossibilitou a leitura, não garantindo a efetividade do sistema e perdendo leituras.

Esses dois modelos testados sofreram, também, forte interferência da luz solar que irradia também o comprimento de onda do infravermelho, afetando diretamente a aquisição em campo e criando um cenário de constante necessidade de ajustes ao sistema de aquisição.

A alternativa que apresentou resultados satisfatórios foi a utilização de um LDR para coleta dos pulsos. Os testes com um LED e diretamente no medidor foram positivos, porém a variação da luminosidade do ambiente começou a interferir de forma significativa, apresentando grandes distorções na leitura.

Para minimizar a interferência da luminosidade do ambiente foi inserido, à interface de aquisição de dados, um comparador de tensão com um arranjo de resistores o qual propiciou sucesso nos testes realizados coletando os pulsos diretamente do medidor.

Figura 24 - Aquisição com LDR



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Na Figura 24, é apresentado trinta segundos de aquisição de leitura através do LDR, onde cada valor lógico 1 representa 1 Wh lido no medidor. No teste realizado leu-se 21 Wh através do módulo de aquisição e pode-se verificar a contagem de 21 pulsos no LED do medidor.

4.1.2 Controlador

O controlador será responsável pelo controle e gerenciamento das informações que estão sendo recebidas pela interface de aquisição de dados e quais os dados devem ser enviados através da interface de transmissão de dados.

Além disso, o sistema de controle possui as seguintes funções básicas:

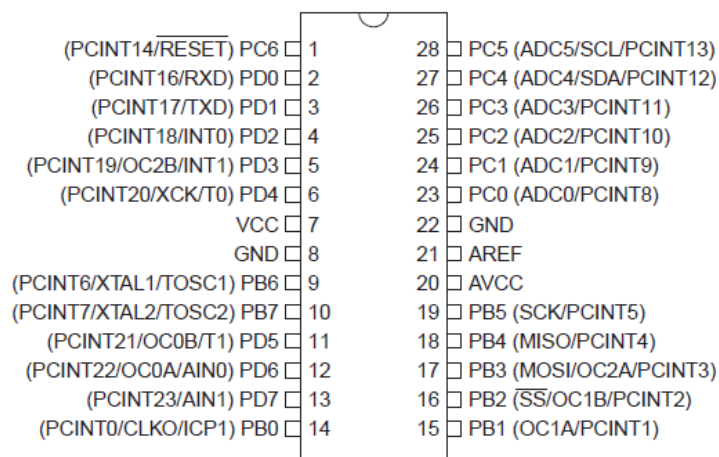
- gerenciamento de data e hora: essa função é destinada ao controle da data e hora do dispositivo que são parâmetros necessários para controle das funções de envio dos dados para interface de transmissão de dados;
- gravação de log de consumo: a função de gravação de log de consumo é responsável pelo armazenamento de um log em cartão SD com os valores de kWh lido. Essa função foi implantada para que em eventuais falhas da interface de transmissão de dados ainda seja possível obter-se os dados lidos pelo protótipo.

O controlador é constituído de um microcontrolador Atmel Atmega 328P com arquitetura RISC, memória EEPROM de 1 kbytes, memória SRAM de 2 kbytes; 10 mil ciclos de gravação/limpeza da memória Flash e 100 mil ciclos para a memória

EEPROM; conversor A/D de 10 bits; comunicação SPI, USART I²C e Serial; 23 pinos I/O entre outras especificações (ATMEL, 2015).

Na Figura 25 é apresentada a pinagem do microcontrolador Atmega 328P. A escolha desse microcontrolador ocorreu em função da disponibilidade e facilidade de acesso a esse componente.

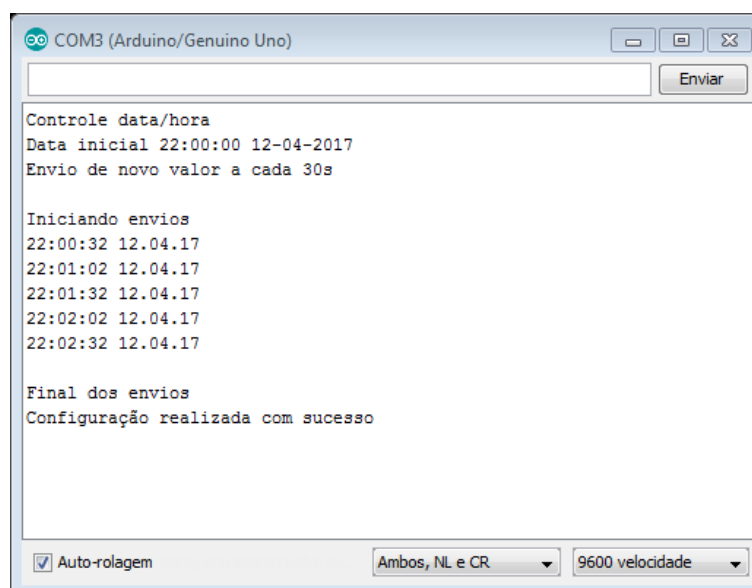
Figura 25 - Pinos Atmega 328P



Fonte: (ATMEL, 2015)

Na programação do sistema de controle foram elaboradas funções que utilizam interrupção externa e interrupção por tempo, comunicação SPI, Serial e I²C se caso seja necessário a troca do microcontrolador utilizado, essas funções devem estar disponíveis no novo microcontrolador.

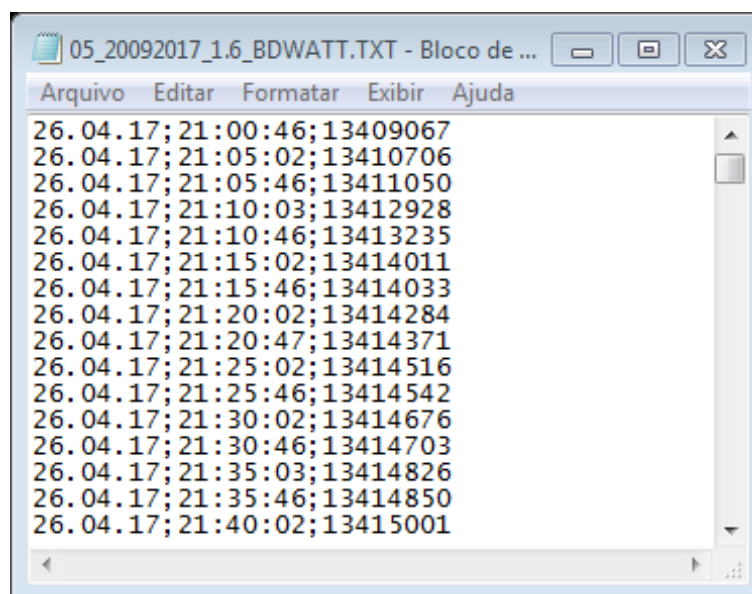
Figura 26 - Configuração de data e hora



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

A Figura 26 mostra o processo de configuração dos valores de data e hora do sistema de controle. Foi optado por utilizar um módulo externo e não controlar esses valores diretamente pelo microcontrolador para diminuir o processamento e ser possível utilizar o estouro de tempo para outras funções.

Figura 27 - Log de leituras gravado



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

A Figura 27 apresenta um dos *logs* gravados durante os testes realizados. No *log* é realizada uma gravação a cada cinco minutos trazendo uma nova linha onde é armazenado a informação de data e hora e o valor de Wh lido.

4.1.3 Transmissão de dados

A interface de transmissão de dados consiste em preparar os dados adquiridos pelo sistema de aquisição e tratados pelo controlador, no formato que a distribuidora necessitar e disponibilizar esses dados em um servidor. Essa tarefa também pode ser realizada pelo software da concessionária no momento da importação, desde que tenha todos os campos necessários para a empresa realizar o processo, descartando aqueles que não forem de seu interesse.

Nessa etapa, diversas formas de comunicação podem ser adotadas como: redes wireless, GPRS, SMS, entre outras. O que define o formato de comunicação é a disponibilidade e o custo envolvido.

Em um primeiro momento, optou-se pelo uso de comunicação via GPRS para envio dos dados para o servidor e o envio de SMS com o valor de kWh lido. Alguns testes foram realizados e chegou-se a enviar SMS com sucesso, porém devido à dificuldade de alimentação do módulo utilizado para essa função não foi possível enviar os dados ao servidor através de comunicação GPRS. Além disso, esse módulo encarece o equipamento a ser instalado, o que poderia inviabilizar seu uso prático.

Diante disso, e como se tem um cronograma a ser cumprido, optou-se pela alteração do modo de conexão e passou-se a utilizar redes Ethernet (LAN) para compor a interface de transmissão de dados. O que definiu a escolha do uso de rede Ethernet para o envio das informações foi a disponibilidade de equipamentos para realizar esse tipo de conexão, além da grande disponibilidade de banda larga em praticamente todos os clientes usuários de energia elétrica. Como mencionado anteriormente, o conceito geral para a interface de transmissão é que seja utilizado o tipo de conexão que esteja disponível para a distribuidora. Assim, será possível diminuir ao máximo o custo do dispositivo. Cabe ressaltar, também, que o protocolo Ethernet utilizado está implementado através de bibliotecas padronizadas e não fazem parte do escopo deste estudo.

Para simular todo o processo, criou-se um servidor web em um domínio gratuito, o qual irá receber o envio das informações coletadas a cada cinco minutos. Lembrando que as medidas exigidas pela Aneel em suas resoluções são obtidas em intervalos de 15 minutos. Estas informações podem ser enviadas em espaço de tempo menores ou maiores, porém, enviando em intervalos muito curtos a capacidade do banco de dados que irá receber essas informações deverá ser elevada e acarretará a necessidade de obter cálculos posteriores para aglomeração dos dados em intervalos normatizados.

Por outro lado, enviando os dados em intervalos mais espaçados pode afetar uma das funções que pode ser agregada ao protótipo como a obtenção de curvas de carga típicas (KAGAN, et al., 2010) através da curva de consumo registrada.

Figura 28 - Dados no servidor web



Registro	Data e Hora	Wh Lido
65	2017-09-23 19:30:16	14074270
64	2017-09-23 19:25:17	14072060
63	2017-09-23 19:20:16	14069860
62	2017-09-23 19:15:17	14067700
61	2017-09-23 19:10:16	14065570
60	2017-09-23 19:05:16	14063470
59	2017-09-23 19:00:18	14061440

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Na Figura 28 são apresentados os dados gravados no servidor web. Lembre-se que esses dados podem ser disponibilizados da forma que a distribuidora necessitar. Eles foram disponibilizados em servidor web somente para simulação do processo completo.

4.2 Montagem final

Definido às funções existentes e configurações a serem utilizadas no protótipo, foi realizada a montagem dos equipamentos para realização dos ensaios em bancada a qual é apresentada no Apêndice 1.

No Apêndice 2, é apresentado um diagrama de blocos da montagem do protótipo realizada para testes em bancada. Nota-se que a interface de aquisição de dados que é composta pelo módulo de aquisição e o medidor configurando-se como fonte de emissão dos dados a serem coletados.

No sistema de controle têm-se os módulos para controle de data e hora e o módulo para gravação do cartão SD. As funções principais do controle são: a aquisição de leitura, a qual é controlada por interrupção externa; o envio de dados e a gravação de *logs*, ambas controladas por interrupção de tempo; e a função de controle de data e hora. Ainda, enquanto protótipo é conectado um computador ao sistema de controle para monitoramento das funções.

Ainda no Apêndice 2, nota-se a interface de transmissão de dados, composta basicamente pelo módulo de envio de dados ethernet, o qual se comunica com o sistema de controle através de comunicação SPI. E o servidor Web que irá simular o

sistema de controle da distribuidora recebendo os dados enviados e armazenando as informações em formato desejado pela empresa.

4.3 Testes efetuados

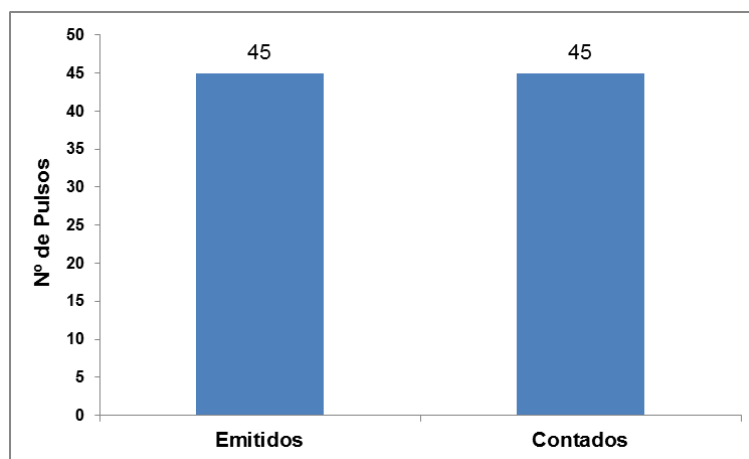
Após a montagem final do protótipo, alguns testes foram realizados para verificar a consistência dos módulos e das funções. Nesse tópico serão apresentados os principais testes realizados.

4.3.1 Teste aquisição de dados

Nesse teste foi conectada uma carga ao medidor por um minuto e realizada a contagem visual de pulsos emitidos pelo medidor e comparado à quantidade de leituras realizadas pelo sistema. Dessa forma é possível verificar se o módulo de aquisição está ou não coletando os pulsos enviados pelo medidor e a execução da função de interrupção externa do sistema de controle.

Para a contagem visual dos pulsos foi utilizada a gravação de um vídeo em *slow motion* o que permite uma contagem visual exata do número de pulsos emitidos.

Figura 29 - Teste aquisição de dados



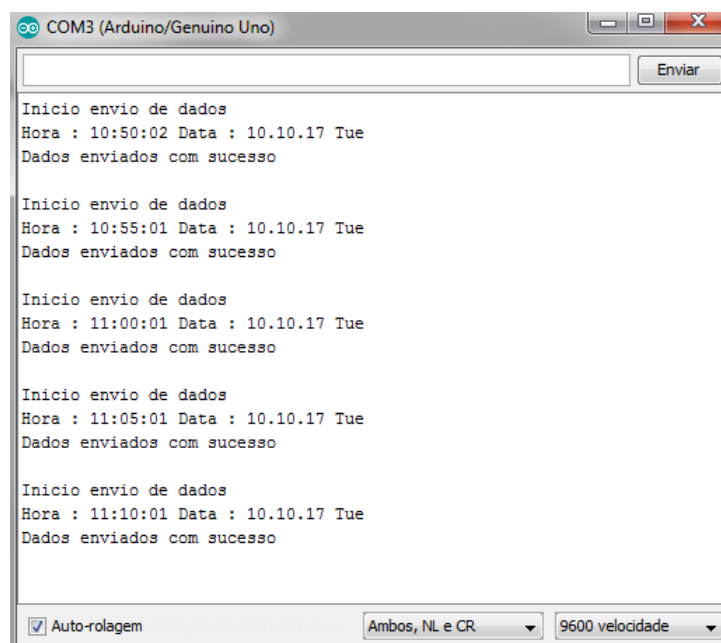
Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Na Figura 29 é apresentado o resultado do teste efetuado, onde durante um minuto o medidor emitiu 45 pulsos no LED e o módulo de aquisição com a função de interrupção externa contou 45 pulsos emitidos.

4.3.2 Teste de envio de dados

Para verificar o envio dos dados ao servidor através da interface de transmissão de dados e a consistência da função de controle de data e hora, programou-se a função para um envio de dados ao servidor web a cada cinco minutos.

Figura 30 - Teste de envio – dados enviados



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Na Figura 30 é possível visualizar o registro do envio realizado pela interface de transmissão de dados, nota-se que o tempo de cinco minutos de intervalo entre um envio e outro está sendo cumprido o que representa o correto funcionamento da função de controle de data e hora.

Figura 31 - Teste de envio – dados recebidos

Teste de Telemetria - Registro de Wh lidos

Registro	Data e Hora	Wh Lido
5	2017-10-10 11:10:06	14465340
4	2017-10-10 11:05:05	14463280
3	2017-10-10 11:00:06	14461260
2	2017-10-10 10:55:05	14459260
1	2017-10-10 10:50:08	14457200

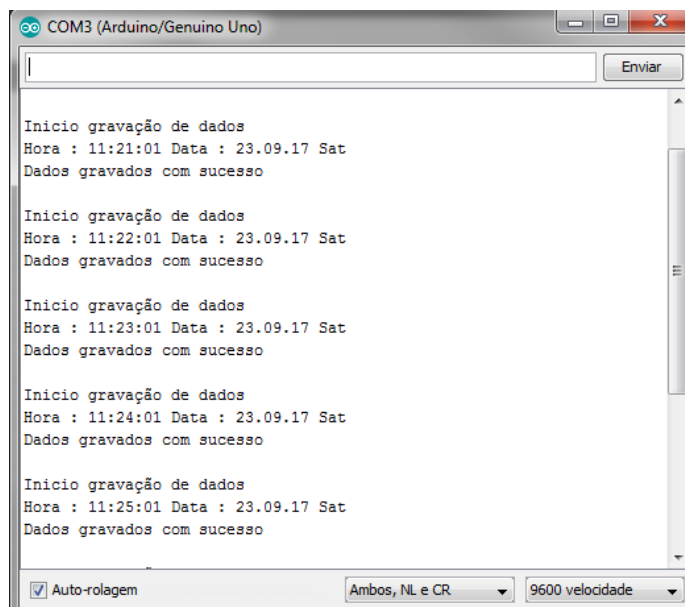
Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

A Figura 31 apresenta os valores recebidos e registrados no servidor web. Há uma pequena diferença entre a hora do envio e a hora do registro no servidor, isso ocorre devido à diferença de horário registrado no servidor e no do sistema de controle, fato comum nesse tipo de interface.

4.3.3 Teste gravação de dados

A função de gravação dos dados foi inserida para suprir uma eventual perda de conexão ou erro de envio dos dados para o servidor. Para verificar essa função foi realizado um exame de sua execução onde o *log* deve ser gravado a cada minuto em uma nova linha com valores de data, hora e Wh lido.

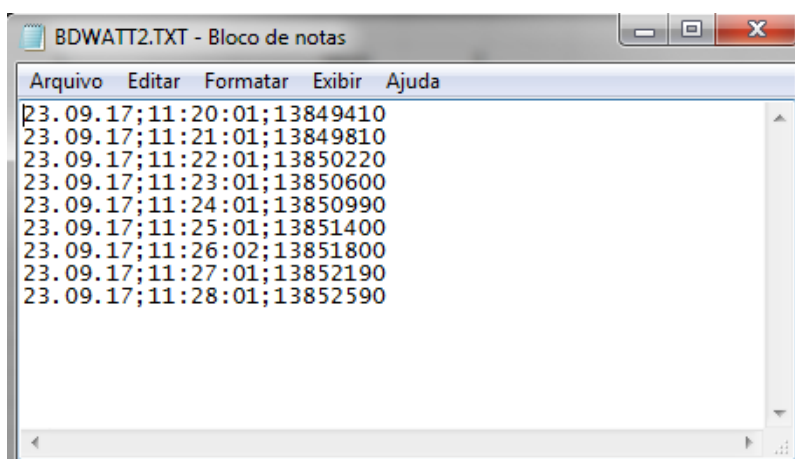
Figura 32 - Teste de gravação - envio



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Na Figura 32 é apresentada a função de registro de *logs* em funcionamento. Nesse momento a função envia as instruções para o cartão de memória para efetuar a gravação.

Figura 33 - Teste de gravação - log gravado



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Na Figura 33 nota-se o registro da gravação realizada no arquivo texto disponível no cartão de memória. Nesse teste foi utilizado um tempo de gravação

diferente dos cinco minutos que foi definido como tempo de gravação do protótipo para verificar se, caso fosse definido outro intervalo de gravação, a parametrização seria possível e confiável.

5 RESULTADOS OBTIDOS

O objetivo desse capítulo é apresentar os principais dados obtidos durante o desenvolvimento das várias versões do protótipo, relatando as principais dificuldades encontradas e os resultados dos experimentos aplicados.

5.1 Leituras realizadas

A principal função do protótipo proposto, é a aquisição da leitura dos medidores eletrônicos monofásicos sem a necessidade de substituição dos medidores existentes por outros que ofereçam essa função. Dessa forma, se não houver êxito na coleta da leitura, o protótipo como um todo falhará.

Buscou-se iniciar o desenvolvimento pelo módulo de aquisição de leitura, pois é a função crucial do protótipo. Esse módulo, ao longo do desenvolvimento, teve quatro versões. Cabe ressaltar que em todas as versões, a luminosidade do ambiente interferia de forma significativa nas medições.

Na versão um e dois, o módulo era composto por um fotodiodo e depois por um fototransistor, respectivamente. Em ambas as versões a distância entre o LED emissor do medidor e o local onde o módulo de aquisição foi acoplado, foi definitiva para que a leitura não ocorresse de forma adequada. Uma vez que a luz emitida pelo LED do medidor não era suficiente para sensibilizar os coletores e contabilizar o número de Wh lido.

Em sua terceira versão, já com LDR como leitor do módulo de aquisição, a distância relatada não foi mais empecilho e a luz emitida pelo LED do medidor passou a sensibilizar o coletor. Porém a luminosidade do ambiente ainda interferia significativamente nas leituras.

Como forma de correção da interferência da luminosidade do ambiente, foi acrescentado ao módulo de aquisição um amplificador operacional como comparador de tensão. Com isso, a luminosidade do ambiente deixou de ser um item crítico o que permitiu a realização dos testes para aquisição de sinal.

Tabela 5 - Leituras realizadas

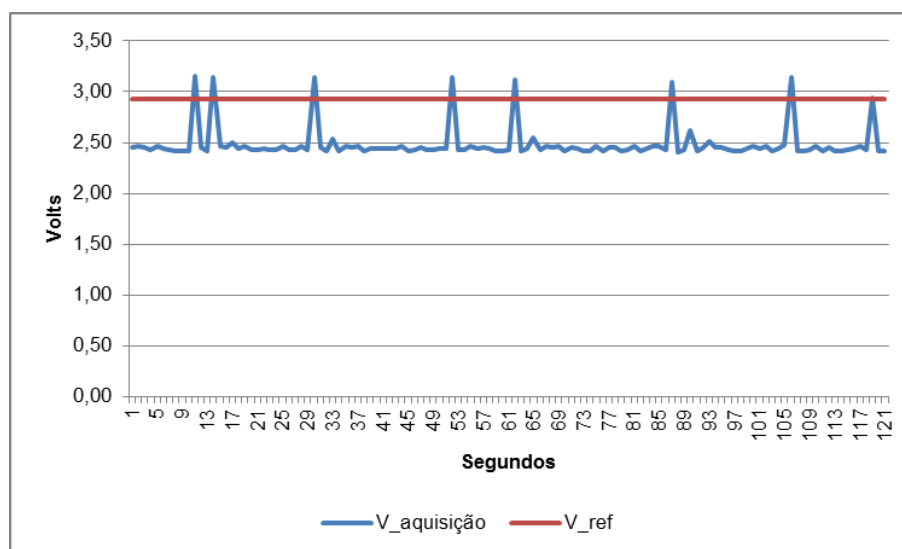
Registro	Leitura Inicial	Leitura Final	kWh Medidor	kWh Aquisição	Erro
1	13.299	13.396	97	94	-3,19%
2	13.409	13.486	77	79	2,53%
3	13.485	13.699	214	233	8,15%
4	13.699	13.737	38	40	5,00%
5	13.741	13.782	41	39	-5,13%
6	13.783	13.812	29	29	0,00%
7	13.818	13.841	23	30	23,33%
8	13.849	13.899	50	50	0,00%
9	13.936	14.099	163	162	-0,62%
10	14.350	14.361	11	11	0,00%

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Na Tabela 5 são apresentadas algumas das leituras realizadas durante a montagem do protótipo. Nos registros de 1 até 5, estava sendo utilizado o LDR sem o comparador de tensão para realizar a leitura, assim a luminosidade do ambiente estava causando grande interferência nas leituras como é possível notar nos valores de erro obtidos.

Inserindo o comparador de tensão a interferência causada pela luminosidade do ambiente diminuiu e foi possível realizar leituras sem erros, como mostra o registro 6 da Tabela 5. Na Figura 34, apresenta-se a aquisição no comparador de tensão, quando há o pulso do LED do medidor o LDR é sensibilizado, fazendo com que a tensão de aquisição seja maior que a de comparação emitindo um pulso alto para o sistema de controle e assim realizando a leitura do consumo.

Figura 34 - Tensão no comparador



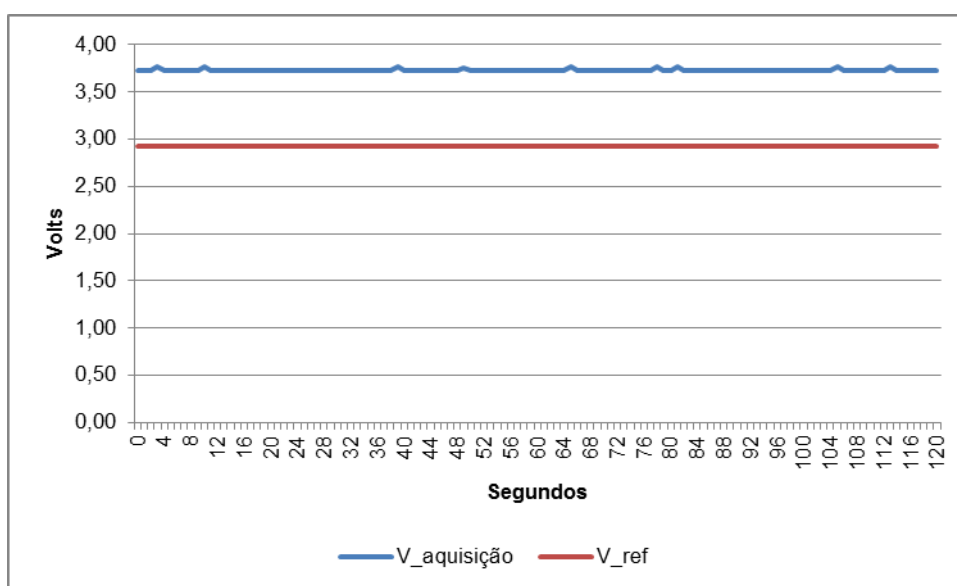
Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Ainda na Tabela 5, a linha com registro nº 7 apresenta um erro de 23,33%, nesse ponto notou-se outra interferência nas medidas. O modelo medidor utilizado para os testes, além do LED indicativo 1 Wh ele possui um segundo LED indicativo de 10 Wh, que segundo o manual do fabricante deveria emitir nove pulsos no LED de 1 Wh e um pulso no LED de 10 Wh (ELO, 2007), porém essa rotina não ocorria na prática e o número de pulsos para cada 10 Wh variava. Por vezes o medidor emitia 9 pulsos para cada 10 Wh, em outros momentos 10 pulsos e as vezes 11 pulsos, tornando um processo randômico que ocasionava erros na leitura.

Para corrigir isso, o LDR de aquisição foi posicionado no LED de pulsos de 10 Wh do medidor. Com isso a resolução do módulo de aquisição foi alterada para que fique de acordo com a resolução do LED de coleta dos pulsos. Assim, o erro verificado na leitura foi de zero, como mostras os registros 8 e 10 da Tabela 5. No registro 9, o erro apresentado ocorre pois o medidor de energia apresenta somente kWh inteiros em seu mostrador podendo assim haver erro de 1 kWh. A tabela completa de teste pode ser visualizada no Apêndice 3.

Os testes foram realizados em ambiente com luz artificial e simulando vários níveis de luminosidade. Ao expor o protótipo à luz natural os resultados foram iguais aos testes com luz artificial com exceção de quando houve incidência direta da luz do sol no módulo de aquisição.

Figura 35 - Interferência da luminosidade do ambiente

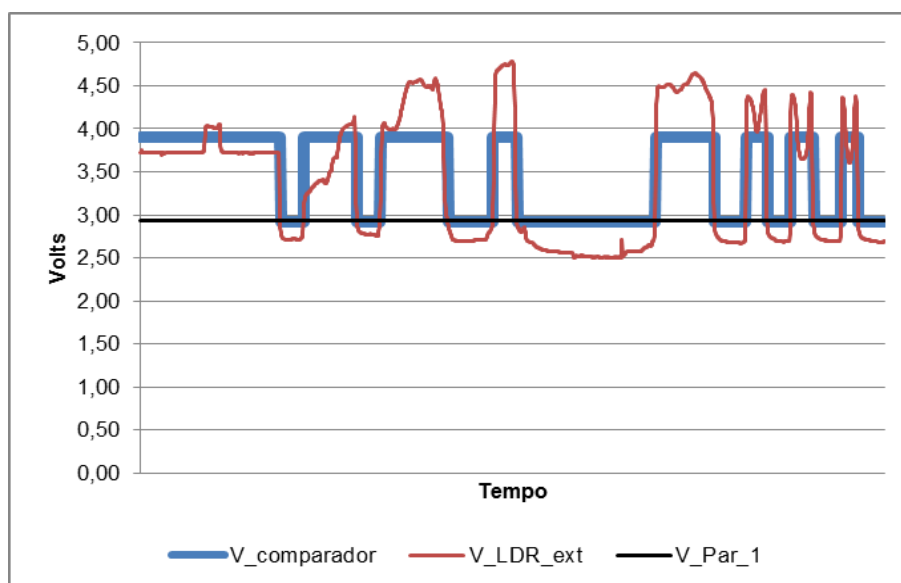


Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Pode-se visualizar na Figura 35, o efeito da incidência direta da luz solar no módulo de aquisição. Nesse caso, a luz intensa do ambiente fez com que a tensão de aquisição ficasse acima da tensão de referência do comparador, emitindo um sinal alto de forma constante ao sistema de aquisição. Ainda assim, nota-se que a sensibilização causada pelo pulso do LED do medidor ainda é percebida pelo módulo de aquisição.

A solução para realizar a aquisição em diferentes níveis de luminosidade encontra-se em possibilitar que o protótipo parametrize o comparador de tensão de acordo com a luminosidade recebida. Para isso incorporou-se ao protótipo um segundo LDR que possui a função de medir o nível de luz no ambiente e a partir dessa medida o sistema de controle irá definir nível de tensão que será atribuído ao controlador.

Figura 36 - Definição do nível de tensão



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

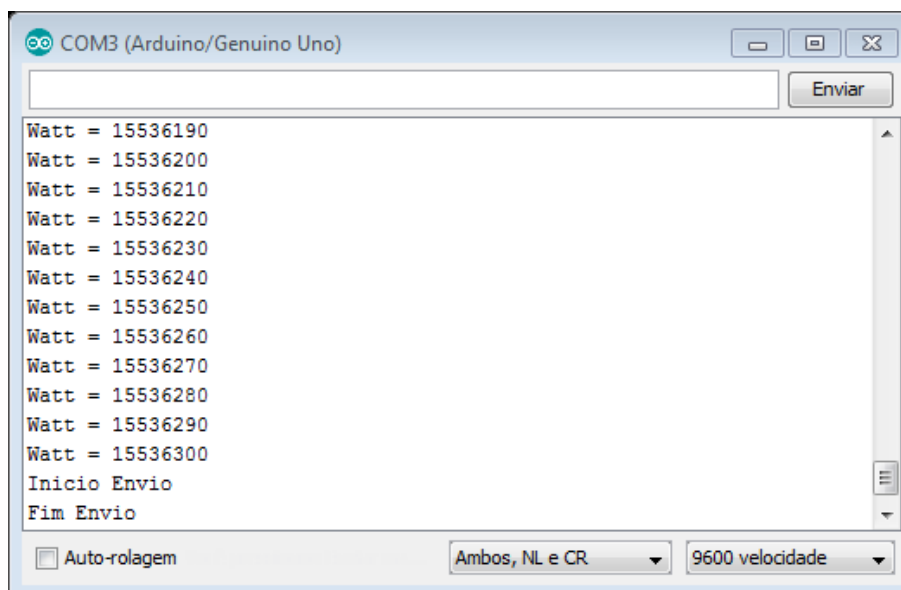
Na Figura 36 é apresentado o funcionamento da parametrização automática levando em consideração um parâmetro pré-estabelecido. Quando a luminosidade for superior ao parâmetro, ativa um valor maior de tensão para o comparador; e, quando a luminosidade é menor que o parâmetro, ativa outro valor de tensão de referência para o controlador. Dessa forma podem ser adicionados vários parâmetros que irão estabelecer a tensão de referência de acordo com a luminosidade do ambiente para que não ocorram interferências nas leituras.

Como os testes em ambiente com iluminação não controlada foram realizados no final do período de elaboração do protótipo, não houve tempo hábil para realizar todas as leituras necessárias, nem sendo possível estabelecer todos os parâmetros para regulação automática da tensão de referência do comparador pelo controlador. Ficando esse item como proposta para trabalhos complementares ao protótipo.

5.2 Simulação completa do processo

O funcionamento completo do protótipo consiste em captar a leitura do medidor, formatar o dado de acordo com a necessidade da distribuidora e enviar para o servidor da mesma. Para simular esse processo de forma completa, criou-se um banco de dados web que receberá as informações enviadas pelo protótipo.

Figura 37 - Leitura coletada



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

O protótipo realiza um envio para o servidor web a cada cinco minutos. Na Figura 37 é apresentado o valor que o protótipo leu de Wh do medidor instantes antes do envio e o início e término do processo de envio. Logo o valor enviado ao servidor web que representa a leitura do medidor é de 15536300 Wh.

O envio desse valor pelo módulo de transmissão e a gravação no servidor web pode ser visualizado no Apêndice 4. As últimas leituras enviadas para o servidor web dos testes realizados podem ser visualizadas através do endereço <http://telemetriaatcc.000ewbhostapp.com>.

5.3 Custo

Durante o desenvolvimento do protótipo, não se levou em consideração o custo que cada componente representaria e sim, se verificou a necessidade de cada componente, porém o custo final é um item importante para que protótipos desse tipo se tornem produtos, com viabilidade de comercialização.

Tabela 6 - Valor dos componentes

Componente	Valor
ATMEGA328P-PU	\$2,14
LM324N	\$0,55
DS1307Z+T&R	\$3,27
W5100	\$4,80
TXS0206AYFPR	\$1,50
Total	\$12,26

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)¹

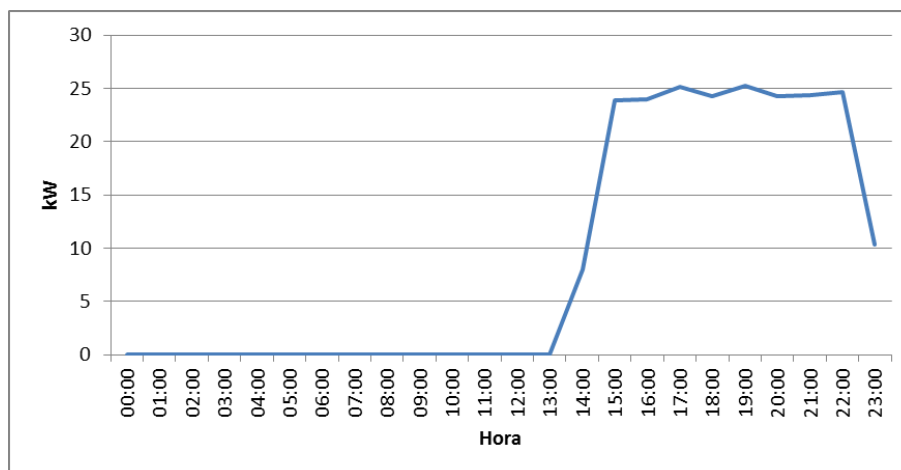
Dessa forma apresenta-se na Tabela 6, o valor dos principais componentes utilizados. Estima-se que os componentes não listados como capacitores, resistores e outros componentes menos expressivos totalizem um valor próximo a \$ 1,50. Dessa forma o custo total aproximado do protótipo fica em quatorze dólares sem considerar custos envolvidos na montagem.

5.4 Aquisição de curva de carga

Um dos adicionais do protótipo que pode ser aplicado, sem nenhuma alteração no que está implantado, é a obtenção da curva de carga da unidade consumidora. Como, tanto o envio para o servidor web quanto o registro de *logs* de consumo é realizado de cinco em cinco minutos, é possível montar uma curva de carga através da integralização, que deve ser no mínimo de cinco em cinco minutos, dos registros das leituras ou, ainda, fazer a média desses três valores para apresentar a curva conforme recomendação do órgão regulador.

¹ Valores obtidos através do Mouser Electronics (MOUSER, 2017).

Figura 38 - Curva de carga obtida



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Na Figura 38, é apresentada uma curva de carga obtida a partir das leituras. Montou-se a curva através da integralização do consumo de hora em hora e ela pode ser utilizada para cálculos de demanda e fluxo de potência das redes de distribuição (KAGAN, et al., 2010). Esta curva de carga não apresenta consumo em todas as horas, pois foram utilizadas as leituras coletadas em apenas um dia de teste, as quais foram coletadas a partir das 13 horas.

5.5 Possibilidades de adaptações e aplicações

Durante o desenvolvimento, conceituaram-se possibilidades de novas aplicações para o protótipo. Onde, com pequenas alterações no protótipo, ele pode ser aplicado para outros objetivos.

5.5.1 Aferição de medidores

Como mencionado no Capítulo 3, o método do wattímetro pode ser utilizado para aferição dos medidores de energia. Esse método consiste na contagem do tempo entre um pulso e outro no medidor ao aplicar-se uma carga pré-determinada.

Atualmente, quando as equipes não dispõem de outros equipamentos específicos para aferição como o Fratelo (ELO, 2016), por exemplo, as distribuidoras aplicam este método para verificação dos medidores de energia a campo. Onde o eletricitista dispara um cronômetro e visualmente verifica o tempo em que o medidor emite um pulso.

Como o módulo de aquisição conta os pulsos do medidor e o protótipo possui um relógio de tempo real, com uma alteração de programação (*firmware*) seria possível aplicá-lo para verificação dos medidores de energia em campo pelas equipes da manutenção através do método do wattímetro.

5.5.2 Tarifa branca

Todas as unidades consumidoras enquadradas no grupo B e as do grupo A, faturadas no B, podem optar pela tarifa branca (ANEEL, 2016d). A tarifa branca é uma opção de tarifa que possui o intuito de sinalizar ao consumidor a variação que ocorre no valor de energia ao longo do dia dependendo do horário de consumo possibilitando a ele pagar valores diferentes de acordo com a hora e o dia em que é consumida a energia (ANEEL, 2017c).

A partir de janeiro de 2018, os consumidores com características possíveis de enquadramento na tarifa branca podem fazê-lo (ANEEL, 2016d), porém sem uma análise correta do comportamento do consumo, aderindo à tarifa branca o consumidor pode acabar tendo um aumento no seu custo com energia elétrica. O custo do equipamento de medição para essa modalidade tarifária é superior aos medidores convencionais e é integral da distribuidora, isso atrelado ao fato de o consumidor poder, a qualquer tempo, retornar para a tarifa convencional, pode se tornar um custo elevado para as distribuidoras e gerar insatisfação para o consumidor (ANEEL, 2016d).

Para avaliar a viabilidade de adesão à tarifa branca é necessário conhecer a curva de carga do consumidor (ANEEL, 2017c). Como o protótipo fornece a curva de carga, a distribuidora pode disponibilizar esses dados ao consumidor para que esse julgue a viabilidade ou não da adesão à tarifa branca evitando a migração e volta da tarifa convencional e custos para a distribuidora.

Como a avaliação de viabilidade de adesão à tarifa branca pode ser um nicho de mercado para a engenharia, o protótipo pode ser utilizado por profissionais do mercado para obtenção dessa curva de carga do consumidor para que a análise de viabilidade seja realizada.

5.5.3 Sensor de falta

Inserindo um módulo de tensão no protótipo é possível criar um sensor de falta de energia. Esse novo módulo teria a função de monitorar a tensão de fornecimento e enviar ao sistema de controle alertas quando a tensão ultrapassar valores pré-estabelecido podendo ter tanto um limite superior quanto um limite inferior.

Como o protótipo já possui um módulo de transmissão de dados, o sistema de controle enviaria alarmes para o sistema de supervisão da distribuidora que integrado ao centro de operação identificaria faltas de energia sem a necessidade de comunicação por parte do consumidor.

Com esse sistema o tempo de atendimento das ocorrências de falta de energia da distribuidora reduziria, aumentando o nível de satisfação dos consumidores e reduzindo o valor das compensações por violação dos indicadores de continuidade (ANEEL, 2016c). Permitiria, também, o monitoramento de falhas em uma única fase no conjunto da distribuição, criando um monitoramento hoje inexistente.

5.5.4 Controle de consumo pelo consumidor

Atualmente o consumidor de energia conhece seu consumo de energia quando ocorre a apresentação da fatura de energia pela distribuidora, fazendo com que o controle do consumo de energia seja difícil (ANEEL, 2010). Como o protótipo fornece o consumo a cada cinco minutos a distribuidora poderá disponibilizar acesso ao consumidor a esses dados para que ele tenha um controle maior sobre seu consumo, sabendo os períodos de maior gasto com energia elétrica de sua unidade consumidora.

A forma que o protótipo se conecta à internet para realizar o envio dos dados é um ponto que pode determinar sua viabilidade, uma vez que esse acesso tenha um valor elevado. Dessa forma a distribuidora pode realizar uma troca com o consumidor, onde esse forneceria acesso de sua internet em troca do acesso aos dados coletados pelo protótipo.

O acesso a esses dados pode contribuir com o uso racional da energia elétrica e a eficiência energética, uma vez que possuindo os dados para controle é possível uma melhor gestão do consumo pelo consumidor.

6 CONCLUSÃO

O protótipo de telemetria possibilita a coleta de leitura do consumo de energia elétrica remotamente além de fornecer a curva de carga da unidade consumidora em intervalos mínimos de cinco minutos. A implantação de um sistema assim possibilita a redução de custos operacionais para a distribuidora e redução da tarifa de energia para o consumidor proporcionando, ainda, aumento de sua satisfação.

O objetivo principal de construção de um protótipo microcontrolado de telemetria, voltado à coleta do consumo do valor de kWh dos medidores eletrônicos monofásicos instalados em unidades consumidoras de baixa tensão foi atingido.

Com a construção do protótipo e após os testes realizados apresentados no item 4.3 foi possível realizar a leitura do consumo de energia de um medidor, a qual apresentou um resultado satisfatório em ambiente com luminosidade controlada apresentando valores de erro aceitáveis conforme verificado no item 5.1.

A simulação completa do processo de leitura apresentada no item 5.2, que consiste em coletar o consumo medido e disponibilizar para a distribuidora, foi realizado através da criação de um banco de dados que recebe os valores lidos pelo protótipo e apresenta em uma página da web, também apresentou resultados consistentes e sem erros.

A obtenção da curva de carga da unidade consumidora através da integralização horária das leituras obtidas descrita no item 5.4, não havia sido mapeada e acabou se tornando uma função adicional do protótipo sem a necessidade de alteração do modelo proposto.

Ressalta-se que para a parametrização para o uso quando o medidor fica exposto direto ao sol, devem ser realizados mais testes. Porém os testes efetuados demonstraram a possibilidade de ajuste para o protótipo executar sua função principal nesses casos.

De maneira geral o protótipo apresentou resultados satisfatórios e pode ser visto como uma solução viável para entrada das distribuidoras no processo de instalação de redes inteligentes, haja vista que apresentou um baixo custo de

implantação, pouca ou nenhuma necessidade de adequação na rede existente e executou aceitavelmente a tarefa para a qual foi desenvolvido.

6.1 Sugestão para projetos futuros

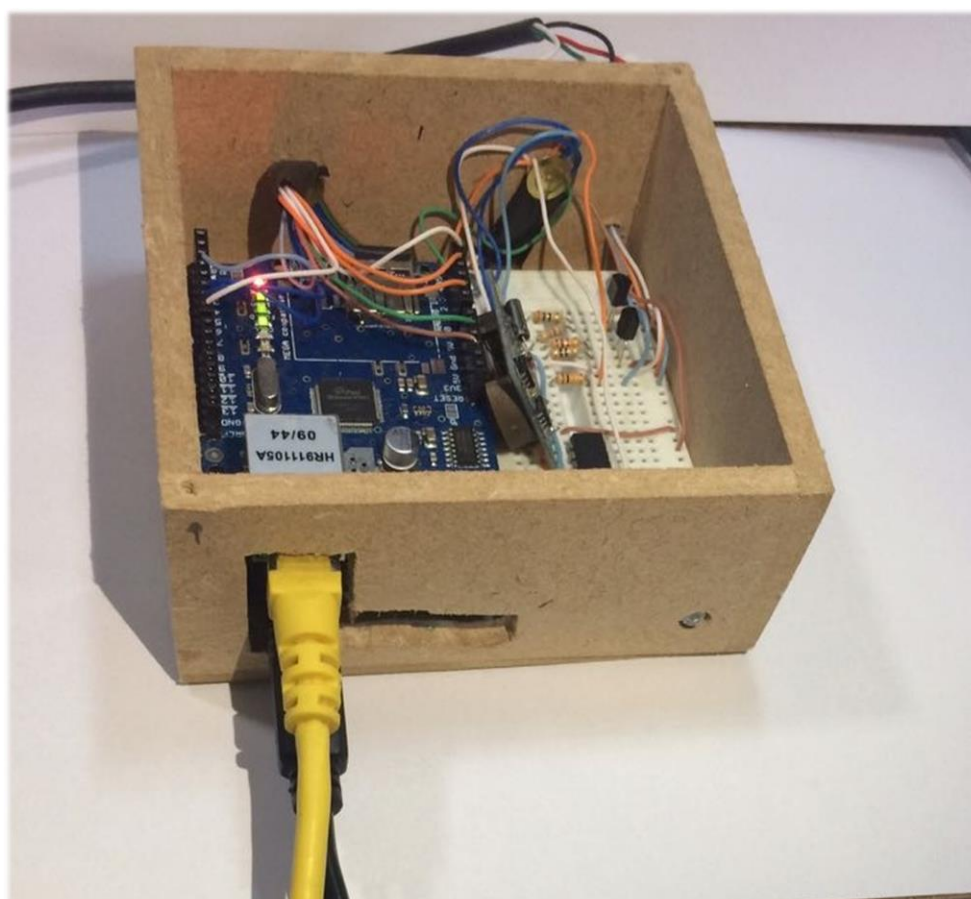
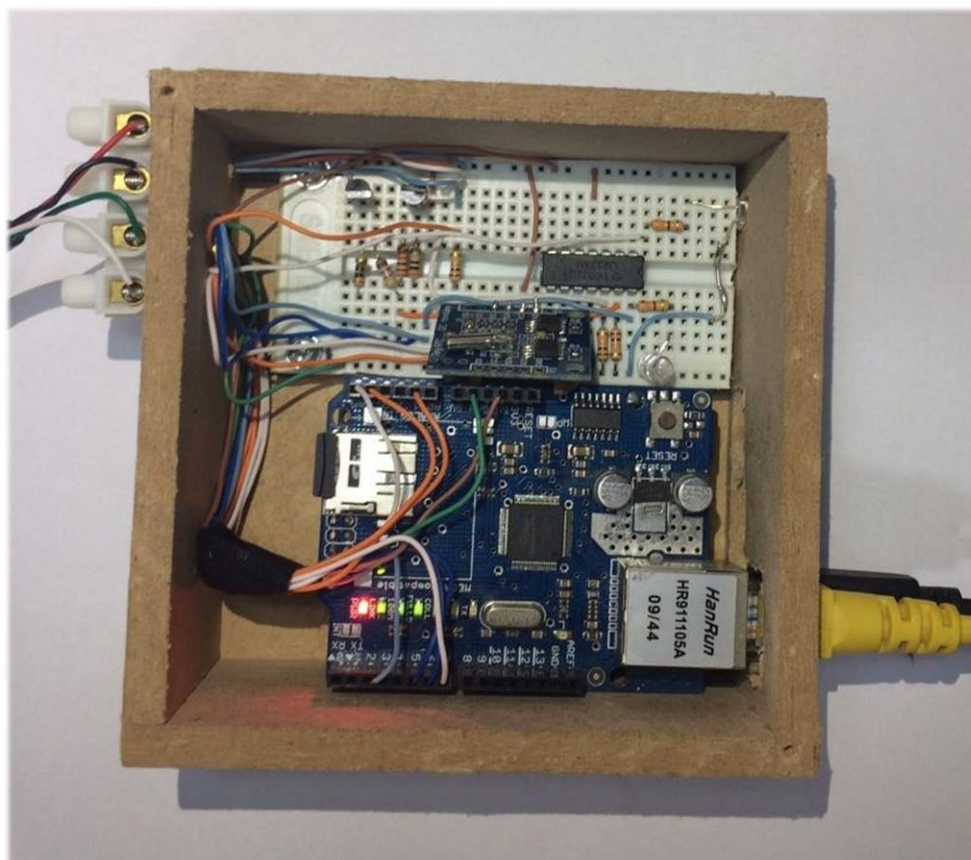
O conceito de telemetria e *Smart Grid* não se limita em simplesmente coletar a leitura da unidade consumidora. Para esse protótipo ser visto com um produto, deve-se agregar mais funções nele para que dessa forma tenha um grande valor agregado.

Assim, outras opções podem ser agregadas ao protótipo como a possibilidade de aferir medidores, insumo para análise de viabilidade de aplicação da tarifa branca, sensor de falta de energia e controle do consumo pelo consumidor.

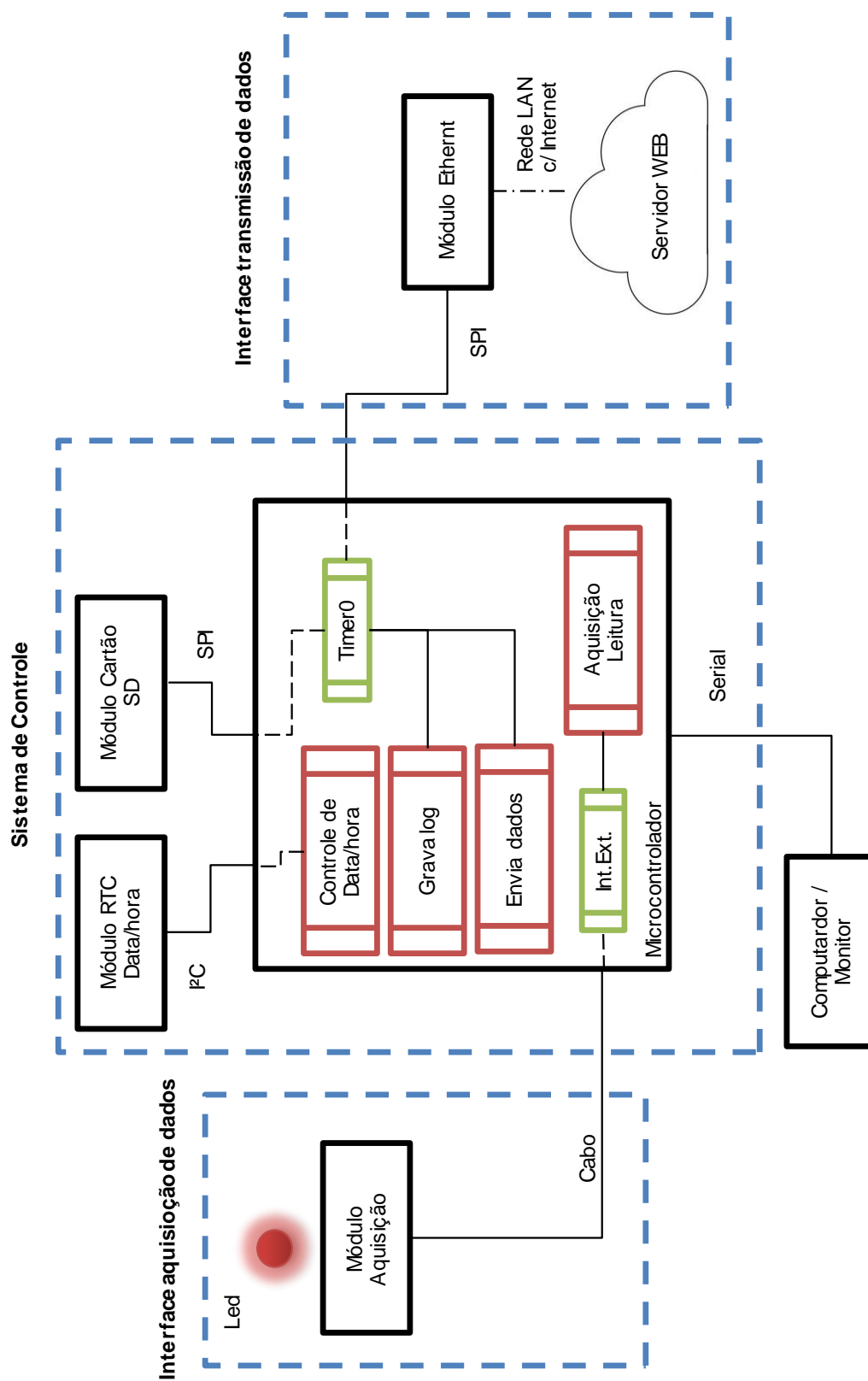
Outra sugestão é o desenvolvimento de outros módulos de aquisição. Como o módulo de aquisição para medidores eletromecânicos, módulo de aquisição através da saída de usuário dos medidores, módulo de aquisição para porta óptica do medidor e módulo de aquisição para a saída de pulso em coletor aberto.

Além disso, pode ser adicionado um sistema alternativo para conexão e desconexão remota da unidade consumidora.

Apêndice 1 - Montagem do protótipo



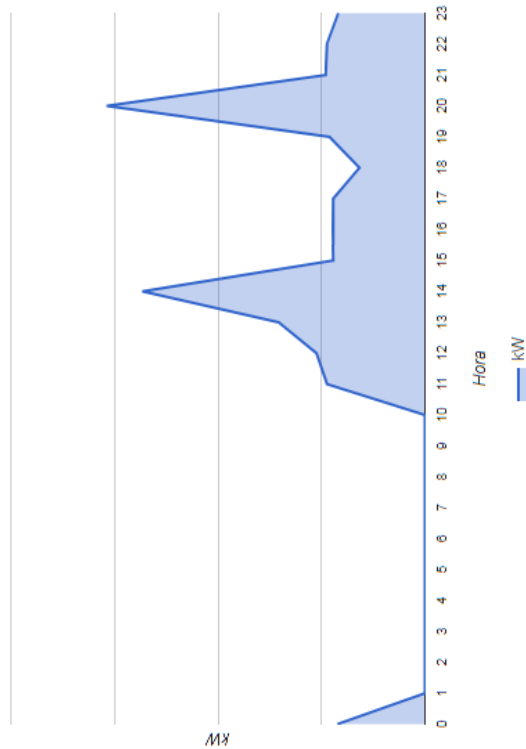
Apêndice 2 - Diagrama do protótipo



Apêndice 3 - Tabela de leituras

Data	Leitura Inicial	Leitura Final	kWh_lidos_me	kWh_telemetria	Erro
19/04/2017	13.299	13.396	97	94	-3,19%
26/04/2017	13.409	13.486	77	79	2,53%
20/08/2017	13.485	13.699	214	233	8,15%
27/08/2017	13.699	13.737	38	40	5,00%
03/09/2017	13.741	13.782	41	39	-5,13%
07/09/2017	13.783	13.812	29	29	0,00%
08/09/2017	13.818	13.841	23	30	23,33%
08/09/2017	13.842	13.846	4	2	-100,00%
20/09/2017	13.849	13.899	50	50	0,00%
23/09/2017	13.936	14.099	163	162	-0,62%
24/09/2017	14.350	14.361	11	11	0,00%
18/10/2017	14.843	14.869	26	26	0,00%
19/10/2017	14.880	14.919	39	39	0,00%
04/11/2017	15.549	15.601	52	52	0,00%
04/11/2017	15.601	15.659	58	58	0,00%
04/11/2017	15.659	15.679	20	20	0,00%
04/11/2017	15.679	15.704	25	24	-4,17%
04/11/2017	15.704	15.735	31	31	0,00%
04/11/2017	15.735	15.763	28	27	-3,70%
04/11/2017	15.763	15.782	19	19	0,00%
05/11/2017	15.782	15.787	5	5	0,00%
05/11/2017	15.787	15.807	20	20	0,00%

Curva de carga



Últimas leituras enviadas

Registro	Data e Hora	Wh Lido
320	2017-11-04 16:25:03	15536300
319	2017-11-04 16:20:04	15534460
318	2017-11-04 16:15:04	15532600
317	2017-11-04 16:10:04	15530740
316	2017-11-04 16:05:04	15528900
315	2017-11-04 16:00:04	15527020
314	2017-11-04 15:55:04	15525180
313	2017-11-04 15:50:04	15523340
312	2017-11-04 15:45:04	15521470
311	2017-11-04 15:40:04	15519560

Último envio em:

2017-11-04 16:25:03

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. 2000. *NBR 14519: Medidores Eletrônicos de Energia Elétrica (estáticos) - Especificação.* Rio de Janeiro : s.n., 2000.

—, **2008.** *NBR 14522: Intercâmbio de informações para sistemas de medição de energia elétrica.* Rio de Janeiro : ABNT, 2008. p. 135. ISBN 978-85-07-00330-4.

ANEEL. 2015a. *Base de Remuneração Regulatória.* Brasília - DF : Aneel, 2015a. PRORET Submódulo 2.3 (aprovado pela REN 686/2015).

—, **2017a.** *Boletim de Informações Gerenciais - 2º Trimestre.* Brasília - DF : Aneel, 2017a.

—, **2015b.** *Custos Operacionais e Receitas Irrecuperáveis.* Brasília - DF : Aneel, 2015b. PRORET - Submódulo 2.2 (aprovado pela REN 660/2015).

—, **2016a.** Entendendo a Tarifa. *Agência Nacional de Energia Elétrica.* [Online] 12 de Março de 2016a. [Citado em: 29 de Maio de 2016.] www.aneel.gov.br.

—, **2008.** *Metodologia de Cálculo dos Custos Operacionais.* Brasília DF : SRE/ANEEL, 2008. Nota Técnica 294/2008.

—, **2017b.** *OSN : Ouvidoria setorial em números ano 2017: Aspectos técnicos e comerciais.* Brasília : Aneel, 2017b.

—, **2016b.** Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST. *Módulo 5 - Sistemas de Medição.* 2016b. Aprovado pela REN 724/2016.

—, **2016c.** Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST. *Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica.* 2016c. Aprovado pela REN 728/2016.

—, **2016d.** *Resolução Normativa 733.* 2016d.

—, **2010.** *Resolução Normativa nº 414.* Setembro de 2010.

—, **2017c.** Tarifa Branca. *Aneel.* [Online] Aneel - SGT, 17 de 02 de 2017c. [Citado em: 02 de 11 de 2017.] <http://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>.

ARIF, Anmar, et al. 2013. Experimental Study and Design of Smart Energy Meter for the Smart Grid. *Saudi Aramco Chair in Electrical Power*. 2013.

ATMEL. 2015. Datasheet: ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P. 2015.

CAGNON, J. A., et al. 2007. Projeto e Desenvolvimento de um Sistema de Leitura Automática para Medição de Energia Elétrica em Unidades Consumidoras. *Citenel*. 2007.

DULANEY, Emmett e BARKAKATI, Naba. 2009. *Linux Referência Completa - Para Leigos*. 3ª. Rio de Janeiro : Alta Books, 2009.

ELO, Sistemas Eletrônicos S.A. 2009. *Manual do Usuário Medidor ELO2101A*. 2009.

—. **2007.** *Manual do Usuário Medidor ELO2102A*. 2007.

—. **2016.** *Medidor de Inspeção em Campo - Manual do Usuário*. s.l. : Elo Sistema Eletrônicos S.A., 2016. p. 32, Manual do Usuário.

FALCÃO, Djalma M. 2010. Integração de Tecnologias para Viabilização da Smart Grid. *Simpósio Brasileiro de Sistema Elétricos*. III, 2010.

HAUSMANN, Romeu. 2000. *Sistema Inteligente de Iluminação para Duas Lâmpadas Fluorescentes de 40W*. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis : s.n., 2000. p. 137, Dissertação.

INMETRO. 2008. Portaria nº 285. 2008.

KAGAN, Nelson, OLIVEIRA, Carlos César Barioni e ROBBA, Ernesto João. 2010. *Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica*. 2ª ed. São Paulo : Blucher, 2010. ISBN 978-85-212-0539-5.

LANDIS+GYR. 2017. *Manual do Usuário Medidor E430*. 2017.

LEITÃO, Felipe A., FREIRE, Sérgio S. e LIMA, Solange R. 2009. Evolução e coexistência do serviço de mensagens SMS em IMS. *Conferência sobre Redes de Computadores*. 9ª, 2009.

LIMA, Charles Borges de. 2012. *AVR e Arduino: técnicas de projeto*. 2ª. Florianópolis : Ed. dos Autores, 2012. p. 632. ISBN: 978-85-911400-1-5.

LOFFAGEM, Amiel Serur dos Santos. 2013. *Estudo de Caso: Redes Wireless*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba : s.n., 2013. p. 42, Monografia.

LUIZ, Fernando Cunha. 2012. *Sistema de Calibração de Energia Sem Fio Usando ZigBee*. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro : s.n., 2012. p. 125, Dissertação mestrado.

McROBERTS, Michael. 2011. *Arduino Básico*. [trad.] Rafael Zanolli J. São Paulo : Novatec, 2011. ISBN 978-85-7522-274-4.

MICROCHIP. 2001. Data Sheet: PIC16F87X. 2001.

MIGUEL, Pablo Alcalde San. 2014. *Electrónica*. Madri : Paraninfo, 2014. p. 282. ISBN: 978-84-283-9878-7.

MÍNGUEZ, Agustín. 2007. *Medidores de energia ativa: funcionamento, práticas usuais, principais ensaios e análise das fraudes mais comuns*. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro : s.n., 2007. p. 80, Projeto (Graduação em Engenharia Elétrica).

MME. 2010. *Smart Grid*. Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes. Brasília : Misitério de Minas e Energia, 2010.

MONSIGNORE, Ferdinando. 2007. *Sensoriamento de ambiente utilizando o padrão ZigBee*. Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo. São Carlos : s.n., 2007. Dissertação mestrado.

MOUSER. 2017. Mouser Electronics. *Mouser Electronics*. [Online] Mouser Electronics, Inc., 2017. [Citado em: 17 de Outubro de 2017.] br.mouser.com.

NANSEN. 2011. *Manual de Instruções Medidor Monofásico Eletrônico LUMEN MD*. 2011.

NIKOLOFSKI, Daniel Ricardo Ferreira. 2011. *A Quarta Geração das Redes Sem Fio: Benefícios e Evolução*. Programa de Pós-Graduação em Teleinformática e

Redes de Computadores, Universidade Federal do Paraná. Curitiba : s.n., 2011. p. 27, Monografia.

OLIVEIRA, Marcelo Batista. 2012. *Sistema de Controle de Irrigação Remoto Via GPRS*. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba : s.n., 2012. p. 52, Monografia.

PANTOJA NETO, José. 2013. *Aquisição de Dados Utilizando Tecnologia GPRS*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba : s.n., 2013. p. 40, Trabalho Conclusão de Curso.

PELEGRINI, Marcelo Aparecido. 2014. *Redes Elétricas Inteligentes: Diálogo Setorial Brasil-União Européia*. Brasília : Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), 2014. Documento publicado pelo MCTI onde foram contratos consultores os quais são os autores dos estudos publicados. Marcelo Aparecido Pelegrini foi responsável pelo conteúdo dos itens:1, 2, 3, 4, 10, 11, 12, 13, 18, 19, 20, 21, 25, 26, 27 e 28..

PINTO, Lucas de Oliveira e Silva e MATHIAS, Rodrigo D'Angelo. 2009. *Uma Abordagem de Domótica Utilizando Rede Mesh/ZigBee e Short Message Service (SMS)*. Universidade São Judas Tadeu. São Paulo : s.n., 2009. Trabalho Conclusão de Curso.

PRUDHVI, Potuganti, et al. 2012. A Smart Energy Meter Architecture in Indian Context. *Iranian Conference on Smart Grids*. IEEE Iran Section, 23 e 24 de 05 de 2012, 2.

RIVERA, Ricardo, ESPOSITO, Alexandre Siciliano e TEIXEIRA, Ingrid. 2013. Redes elétricas inteligentes(smart grid): oportunidade para adensamento produtivo e tecnológico local. [ed.] BNDES. 2013, 40. Revista do BNDES.

SATO, Roberto Masanori Vale. 2011. *Desenvolvimento, Implementação e Testes de um Sistema de Comunicação Dem Fio Heterogêneo para Acesso à Serviços: Aplicação na Telemedicina e Domótica*. Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará. Belém : s.n., 2011. p. 122, Dissertação Mestrado.

SENRA, Renato. 2013. *Energia elétrica: medição, qualidade e eficiência*. São Paulo : Baraúna, 2013. ISBN 978-85-7923-685-3.

SERRANO, L.M.V., et al. 2005. *Sistemas de Aquisição, Processamento e Armazenamento de Dados. Conferência Nacional da SPMet.* 1ª, 2005.

SILVA, Leandro Honorato de Souza. 2011. *Desenvolvimento de uma Rede de Sensores Sem Fio Utilizando ZigBee para Aplicações Diversas.* Universidade de Pernambuco. Recife : s.n., 2011. p. 96.

SOUZA, David José de. 2003a. *Conectando o PIC: Recursos Avançados.* 3ª. São Paulo : Erica, 2003a.

—. **2003b.** *Desbravando o PIC: ampliado e atualizado para PIC 16F628A.* 6ª. São Paulo : Érica, 2003b. ISBN 85-7194-867-4.

TANENBAUM, Andrew S. 2003. *Redes de Computadores.* [trad.] Vandenberg D. Souza. 4ª. Rio de Janeiro : Elsevier, 2003. ISBN 85-352-1185-3.

TATEOKI, Getúlio Teruo. 2007. *Monitoramento de dados via internet baseado em telefonia celular.* Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Federal Paulista. Ilha Solteira : s.n., 2007. p. 123, Dissertação Mestrado.

THIAGO, Marcos Vinício Piovezan, CORREIA, Rogerio de Lima e GOMES, Wesley José Vial. 2011. *Solução para Envio de SMS e Sincronia de Dados de Telefone Celular Entre Múltiplas Plataformas.* Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba : s.n., 2011. Trabalho Conclusão de Curso.

THOMAZINI, Daniel e ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. 2004. *Sensores Industriais - Fundamentos e Aplicações.* 4ª. s.l. : Erica, 2004.

TOSTA, Fernando César Baravieira. 2012. *Prestação do Serviço de Comunicação Multimídia Via Redes WLAN: Aspectos Tecnológicos e Regulatórios.* Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba : s.n., 2012. p. 51, Monografia.

VALE, Zita A. 2014. *Redes Elétricas Inteligentes: Diálogo Setorial Brasil-União Européia.* Brasília : Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), 2014. Documento publicado pelo MCTI onde foram contratados consultores os quais são os autores dos estudos publicados. Zita A Vale foi responsável pelo conteúdo dos itens: 5, 6, 7, 8, 9, 14, 15, 16, 17, 22, 23, 24, 29, 30, 31 e 32..

VALGAS, Jairo Anderson de. 1999. *Protótipo de Um Sistema Para Transmissão de Dados em Um Ambiente Wireless Utilizando A Rádio Frequência*. Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau. 1999. p. 73, Trabalho Conclusão de Curso.

VALLE, Carlos Magno C. Olsson. 2013. *Comunicação por Rádio Frequência para Controladores Lógicos Programáveis (CLP)*. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro : s.n., 2013. p. 60, Trabalho Conclusão de Curso.