

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS DE CURITIBA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**BRENDOW LUCAS SIEBEN MARIANO
EDNILSON DE SOUZA CONTIERI**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: MONITORAMENTO DE UTILIZAÇÃO DO
CHUVEIRO ELÉTRICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CURITIBA
2015**

BRENDOW LUCAS SIEBEN MARIANO
EDNILSON DE SOUZA CONTIERI

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: MONITORAMENTO DE UTILIZAÇÃO DO
CHUVEIRO ELÉTRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Amauri Amorin Assef

CURITIBA

2015

Brendow Lucas Sieben Mariano
Ednilson de Souza Contieri

Eficiência energética: Monitoramento de Utilização do Chuveiro Elétrico

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 04 de Dezembro de 2015

Prof. Emerson Rigoni, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Prof. Marcelo de Oliveira Rosa, Dr
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Mauro Amorin Assef, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Antonio Carlos Pinho, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Marcelo de Oliveira Rosa, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

AGRADECIMENTOS

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela bolsa concedida para compra de materiais e disponibilização dos laboratórios para a realização deste trabalho

Ao nosso orientador Professor. Dr. Amauri Amorin Assef, por nos guiar e ajudar muito durante todo esse percurso.

A todos nossos amigos, por sua amizade e presença em todas as horas.

As nossas famílias pelo apoio irrestrito e carinho em todos os momentos. Em especial aos meus pais Alexandre Mariano e Marcia Aparecida Sieben, por todo carinho e apoio desde sempre.

A minha namorada Thais dos Reis Vieira, por seu companheirismo, paciência e grande apoio na realização deste trabalho.

Em especial a minha mãe Maria Aparecida Gonçalves Contieri, a minha querida e amada esposa Adriana Ribeiro da Silva, a meus filhos Pamella Leticia Ventura Contieri, Herick Henrick Ventura Contieri, Rayanne Cristina Ventura Contieri, Magie Regina Ventura Contieri, Alan Peixoto Contieri e Rebeca Ribeiro Contieri, pelo companheirismo, carinho, paciência e amor nesta etapa da minha vida.

RESUMO

MARIANO, Brendow; CONTIERI, Ednilson. Eficiência Energética: Monitoramento do Chuveiro Elétrico. 2015. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

Eficiência energética é um tema muito importante na atualidade, sendo que as pesquisas nesta área vêm crescendo no mundo todo. Por outro lado, conforto e qualidade de vida são itens que as pessoas vêm buscando cada vez mais ao longo dos anos. Sabe-se que, com o desenvolvimento de novas tecnologias como, por exemplo, o aumento da potência do chuveiro elétrico para maior aquecimento de água nos banhos ou aparelhos de ar condicionado com potências mais elevadas, acabam aumentando o consumo de energia elétrica, principalmente em residências. Uma das formas de controlar o consumo de energia elétrica dentro de uma residência é a automação residencial, onde com um sistema inteligente e programável os equipamentos da residência são controlados e supervisionados com maior rigor e precisão. Este trabalho consiste em desenvolver e construir um equipamento que faça medições elétricas no chuveiro elétrico e converta os valores de potência medidos em kWh para valores monetários em R\$ usando um microcontrolador, que envia os dados obtidos para um computador ou central de automação via rede sem fio ZigBee. O equipamento também monitora o tempo de banho de pessoas através de sinalização por LEDs, LCD e sonora, para evitar um consumo excessivo de energia elétrica, já que é sabido que o chuveiro elétrico é e continuará sendo uma das maiores fontes de consumo de energia elétrica dentro de residências no Brasil nas próximas décadas.

Palavras-chave: Eficiência energética. Automação residencial. Sistema inteligente. Micro controlador. Chuveiro elétrico.

ABSTRACT

MARIANO, Brendow; CONTIERI, Ednilson. Energy Efficiency: Electric Shower Monitoring. 2015. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 2015.

Energy efficiency is a very important topic that has been discussed over the years. Researches in this field are growing in entire world. Then, comfort and quality of life are what people are looking for over the years. However, it's a fact that with the development of new technologies, the power capacity required is growing in Brazilian domestic ambient, mainly because of the electric shower. One of the ways to control and monitor the consumption of electric energy inside of a residence is the home automation, where with an intelligent system and programmable devices the energy consumption can be controlled and supervised with more accuracy. This work consists on the development of an equipment that do precision measurements of an electric shower and transform these results of electric power measured in kWh to values of R\$ (Brazilian money) using a microcontroller. After these measurements, the device will send the data by wireless network (ZIGBEE) to a computer. Also, the device is able to monitor the shower time by LED signalizations and a buzzer to control the time that a person will stay in shower, because, researches indicate that the electric shower in Brazil will continue being the most consumer of electric energy at residences in the next years.

Keywords: Energy efficiency. Home automation. Intelligent system. Microcontroller. Electric shower.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Diagrama ilustrativo de conexões via Bluetooth.....	23
Figura 2: <i>Scatternet</i> com cinco <i>piconets</i>	24
Figura 3: Topologia ZigBee Estrela.	26
Figura 4: Topologia ZigBee Malha.	27
Figura 5: Topologia ZigBee Árvore.....	27
Figura 6: Pilha protocolar da tecnologia ZigBee com IEEE 802.15.4.....	28
Figura 7: Método de transmissão ZigBee <i>Broadcast</i>	30
Figura 8: Método de transmissão ZigBee <i>Multicast</i>	30
Figura 9: Método de transmissão ZigBee <i>Unicast</i>	30
Figura 10: Esquemático do chuveiro eletrônico.....	32
Figura 11: Pinagem do PIC18F4520.	35
Figura 12: Módulo Digi XBee ZB - Antena Wire - Low Power	37
Figura 13: Esquema de ligação do módulo XBee com o microcontrolador.	37
Figura 14: Adaptador CON-USBBEE.	38
Figura 15: Adaptador PROTO-BEE 5.0v.....	38
Figura 16: Encapsulamento do sensor de efeito Hall ACS754xCB-050.....	39
Figura 17: Exemplo de aplicação típica do sensor de efeito Hall ACS754xCB-050. .	39
Figura 18: Encapsulamento do sensor de efeito Hall SCT013-100A.	40
Figura 19: Dimensões do sensor de efeito Hall SCT013-100A.	41
Figura 20: <i>Display</i> LCD 16x2.....	42
Figura 21: Diagrama em blocos do equipamento desenvolvido.	44
Figura 22: Forma de onda completa do retificador simples.....	47
Figura 23: Retificador de precisão de onda completa.	48
Figura 24: Em amarelo representa a senoide da tensão ou corrente, em azul as 80 interrupções do PIC, em verde as 80 leituras AD da tensão e corrente, em vermelho o tempo dos cálculos da potencia.	49
Figura 25: Forma de onda retificada com precisão ampliada.....	50
Figura 26: Forma de onda da tensão no osciloscópio, a imagem inferior representa a forma de onda não retificada e a superior representa a forma de onda retificada com precisão.....	51
Figura 27: Forma de onda da corrente no osciloscópio, a imagem inferior representa a forma de onda não retificada e a superior representa a forma de onda retificada com precisão.....	51
Figura 28: Circuito da fonte de alimentação.....	52
Figura 29: Circuito Principal do equipamento com retificador de precisão.....	53
Figura 30: Circuito do protótipo para realizações dos testes.....	54
Figura 31: Placa do circuito impresso principal.	55
Figura 32: Placa do circuito impresso dos componentes LCD, LEDs e ZIGBEE	55

Figura 33: Placa principal do equipamento.	56
Figura 34: Placa dos LEDs, <i>display</i> , sirene e módulo XBee para comunicação via ZigBee.	56
Figura 35: Equipamento finalizado em funcionamento sem o ZigBee.	57
Figura 36: Configuração do módulo XBee como <i>Coordinator API</i>	60
Figura 37: Configuração do módulo XBee como <i>End Device API</i>	61
Figura 38: Simulação de atualização pelo terminal virtual do kWh no Proteus.	62
Figura 39: Simulação da leitura de tensão e corrente.	62
Figura 40: Simulação computando tempo e consumo.	63
Figura 41: Resultado final da simulação mostrado no terminal virtual.	63
Figura 42: Equipamento finalizado em funcionamento com o ZigBee.	64
Figura 43: Programa X-CTU com o valor kWh sendo atualizado.	65
Figura 44: Firmware sendo testado no Programa X-CTU.	66
Figura 45: Equipamento computando o tempo e o consumo.	66
Figura 46: <i>Display</i> mostrando o valor do consumo até o momento da pausa.	67
Figura 47: Display desligado após a finalização da simulação.	68
Figura 48: Módulo coordenador do ZigBee conectado ao PC.	68
Figura 49: Dados finais de tempo e consumo do experimento.	69
Figura 50: Conexão do equipamento com a torneira elétrica.	69
Figura 51: Amperímetro alicate CAT junto com o sensor de efeito Hall do equipamento.	70
Figura 52: <i>Display</i> do equipamento mostrando os valores medidos.	70
Figura 53: Resultado final do teste na torneira elétrica.	71
Figura 54: Equipamento final lacrado com o <i>display</i> e os LEDs de indicação.	71
Figura 55: Equipamento em funcionamento no chuveiro com indicação do primeiro minuto de banho.	72
Figura 56: Equipamento em funcionamento com indicação do terceiro minuto de banho.	73
Figura 57: Equipamento em funcionamento com indicação do quinto minuto de banho.	73
Figura 58: Equipamento em pausa mostrando o valor do banho em R\$ após 5 minutos.	74
Figura 59: Valor em R\$ do banho de cinco minutos enviado equipamento para o PC.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aumento anual de eficiência dos equipamentos elétricos até 2021.	16
Tabela 2 - Características físicas do módulo XBee.	35
Tabela 3 - Principais características elétricas da placa XBee.	36
Tabela 4 - Principais características de rede da placa XBee.	36
Tabela 5 - Principais dados do sensor de efeito Hall ACS754xCB-050.	40
Tabela 6 - Principais dados do sensor de corrente SCT013-100A.	41
Tabela 7 - Valores medidos através do chuveiro de resistência genérica de 110 V x 250 W ou 220 V x 500 W.	58
Tabela 8 - Medidas na torneira elétrica Lorenzetti Versátil (127 V x 4500 W).	58
Tabela 9 - Medidas no chuveiro Hydra Star Eletrônico Turbo (127 V x 5500 W).	59
Tabela 10 - Medidas no chuveiro TermoSystem Eletrônico (220 V x 5500 W).	59
Tabela 11 - Medidas no aquecedor elétrico comum de passagem Lorenzetti Versátil (220 V x 6000 W)	59

LISTA DE SIGLAS, ABREVIACOES E ACRÔNIMOS

A/D	Analógico/Digital
AES	<i>Advanced Encryption Standart</i>
AF	<i>Application Framework</i>
APS	<i>Applications Support</i>
BEM	Balanco Energético Nacional
BERS	Balanco Energético do Rio Grande do Sul
BT-WPAN	<i>Bluetooth Wireless Personal Area Network</i>
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
DSP	<i>Digital Signal Processor</i>
DSSS	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read Only Memory</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FFD	<i>Full Function Device</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
IBM	<i>International Business Machines</i>
IEEE	<i>Institute of Electric and Electronic Engineers</i>
IEO	<i>International Energy Outlook</i>
ISM	<i>Industrial, Scientific and Medical</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LED	<i>Light Emissor Diode</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
NWK	<i>Network</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
PAN	<i>Personal Area Network</i>
PBE	Programa Brasileiro de EtiquetagemPC
PC	<i>Personal Computer</i>
PHY	<i>Physical</i>
Procel	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROCEL INFO	Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética
RF	Rádio-frequência

RFD	<i>Reduced Function Device</i>
SIG	<i>Special Interest Group</i>
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TEP	Tonelada Equivalente de Petróleo
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>
ZC	<i>ZigBee Coordinator</i>
ZED	<i>ZigBee End Device</i>
ZR	<i>ZigBee Router</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	15
1.2 PROBLEMA E PREMISSAS	15
1.3 OBJETIVOS	17
1.3.1 Objetivo Geral	17
1.3.2 Objetivos Específicos	17
1.4 JUSTIFICATIVA	18
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	18
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1 INTRODUÇÃO AOS MICROCONTROLADORES	20
2.2 COMUNICAÇÕES SEM FIO	21
2.2.1 Wi-Fi (IEEE 802.11b)	21
2.2.2 Bluetooth	22
2.2.3 ZigBee.....	25
2.2.3.1 Topologia ZigBee	25
2.2.3.2 Pilha protocolar ZigBee	28
2.2.3.3 Endereçamento ZigBee.....	29
2.2.3.4 Transmissão de dados via ZigBee	29
2.3 EFEITO HALL	31
2.4 O CHUVEIRO ELÉTRICO.....	32
2.5 TEMPO IDEAL PARA UM BANHO	33
3. MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1 MICROCONTROLADOR PIC18F4520	34
3.2 MÓDULO XBEE	35
3.2.1 Adaptadores para os módulos XBee.....	37
3.3 SENSOR DE EFEITO HALL	39
3.4 <i>DISPLAY</i> LCD 16X2.....	42
3.5 FÓRMULAS	42
3.6 DIAGRAMA EM BLOCOS DO EQUIPAMENTO	44
3.7 DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO.....	44
3.7.1 Funcionamento do protótipo.....	45
4. RESULTADOS	47
4.1 PROBLEMA COM RETIFICAÇÃO DOS SINAIS.....	47

4.2 RETIFICADOR DE PRECISÃO.....	48
4.3 CIRCUITO ESQUEMÁTICO DO SISTEMA MICROCONTROLADO	52
4.4 DESENVOLVIMENTO DO CIRCUITO PROTÓTIPO.....	53
4.4.1 Circuito impresso.....	55
4.4.2 Circuito final do equipamento sem os módulos ZigBee.....	56
4.4.3 Simulação para implementação do ZigBee	60
4.4.4 Equipamento final em funcionamento com os módulos ZigBee.....	64
5. CONCLUSÕES	75
REFERÊNCIAS.....	76
APÊNDICE A - Lista de componentes do circuito protótipo no Proteus ISIS	80

1 INTRODUÇÃO

O tema Eficiência Energética vem sendo amplamente discutido pela sociedade a fim de se conseguir uma melhor relação entre a energia consumida por determinado equipamento – ou aparelho – e a quantidade de energia efetivamente utilizada por este para realizar a tarefa a que se propõe. No Brasil, o tema ganhou destaque a partir de 1980, por meio do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) do Governo Federal, que visa promover a racionalização e o combate do desperdício de eletricidade (PROCEL INFO, 2014).

Além da modernização de equipamentos e processos, no sentido de reduzirem seu consumo, os programas voltados para o consumo consciente na utilização de aparelhos eletrodomésticos e eletrônicos, também contribuem para a economia de energia.

Como todo país em desenvolvimento, o Brasil tem uma grande demanda reprimida de energia, mas os índices nacionais de perda e desperdício de eletricidade também são altos. O total desperdiçado chega a 40 milhões de kW, ou a US\$ 2,8 bilhões, por ano. Os consumidores – indústrias, residências e comércio – desperdiçam 22 milhões de kW; as concessionárias de energia, por sua vez, com perdas técnicas e problemas na distribuição, são responsáveis pelos 18 milhões de kW restantes (PROCEL INFO, 2014).

Dessa forma, a melhora no rendimento energético pode propiciar diversas vantagens para a sociedade, como por exemplo: a redução dos investimentos para a construção de novas usinas e redes elétricas e conseqüente redução dos custos da eletricidade; a redução dos preços de produtos e serviços; maior garantia de fornecimento de energia elétrica e de atendimento a novos consumidores no futuro.

Conseqüentemente, essa evolução acaba atingindo não só a sociedade, mas também todo o sistema energético. Isso leva a necessidade de não só desenvolver novas formas de geração de energia, mas também de implantar métodos eficientes para que os consumidores industriais, comerciais e residenciais possam também colaborar na diminuição do consumo energético no Brasil.

A automação residencial ligada à eficiência energética tem como objetivo contribuir na diminuição do consumo de energia ou na escolha do melhor horário para utilização de equipamentos de maior consumo de energia elétrica, juntamente

com a ideia da praticidade e conforto para o consumidor. Nos dias atuais, a sustentabilidade é uma preocupação que vem crescendo e, com ela, a necessidade de buscar processos ou produtos mais eficientes para redução de consumo de energia (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2012).

Nesse sentido, a adequação de ideias do profissional de automação residencial em conjunto com as necessidades do usuário ou residente devem estar de acordo, para que as funcionalidades propostas sejam combinadas de maneira otimizada e satisfatória.

No III Seminário de Eficiência Energética, realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Curitiba, entre 1 e 3 de outubro de 2014, foram apresentadas as sínteses sobre os últimos apontamentos sobre o crescimento e demanda do setor energético do Brasil e do mundo, assim como algumas projeções futuras do setor; dentre estas se podem citar: no Brasil, o Balanço Energético Nacional (BEN, 2012) informa que o consumo de energia em 2009 atingiu 220.711 milhões de Tonelada Equivalente de Petróleo (TEP). Assim se forem consideradas as projeções do *International Energy Outlook - IEO* (2010) de um crescimento no consumo de energia de 2,4% ao ano (no período de 2007 a 2035), espera-se que a demanda de energia do país aumente em 185,79% no período, passando de 220.711 milhões para 410,060 milhões de TEP em 2035 (Balanço Energético do Rio Grande do Sul - BERS, 2011).

Segundo o engenheiro e professor da Universidade de Brasília, Rafael Shayani (CORREIO BRASILIENSE, 2015), o chuveiro elétrico é o grande "vilão" do consumo de energia elétrica residencial no Brasil, seguido, respectivamente, pelo ferro de passar roupa, geladeira, ar condicionado, máquina de lavar roupa e iluminação.

Apesar dos inúmeros avanços tecnológicos observados nos chuveiros elétricos nos últimos anos, que se refletem principalmente na qualidade do banho para o usuário – quantidade e temperatura da água –, o mesmo não se estendeu à eficiência energética dos equipamentos. Dessa forma, estima-se que o chuveiro continue a ser o aparelho doméstico com maior consumo elétrico residencial na próxima década (EPE, 2012).

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho consiste no desenvolvimento e construção um equipamento capaz de realizar medições elétricas – corrente e tensão – no chuveiro elétrico durante o banho, usando sensores conectados a um microcontrolador. A partir das medidas realizadas e do valor corrente do kWh, o equipamento permitirá monitorar e informar o tempo e o custo do banho, visando o desenvolvimento da consciência de eficiência energética das pessoas para que não haja um consumo excessivo de energia elétrica. Para auxiliar na indicação do tempo do banho para o usuário, serão utilizadas sinalizações visual e sonora no módulo microcontrolado posicionados próximo ao chuveiro. As informações relativas ao banho também serão transmitidas entre o microcontrolador e um computador pessoal (PC - *Personal Computer*) utilizando dispositivos com tecnologia de comunicação sem fio ZigBee.

O equipamento funcionará da seguinte forma: ao ligar o chuveiro, um microcontrolador começa a computar o tempo e o consumo de energia elétrica. Em seguida LEDs (*Light Emissor Diodes*) acendem sequencialmente a cada minuto de banho, sendo que, quando faltar um minuto para o final do tempo previsto para o banho programado, um aviso sonoro curto atua. Ao se esgotar o tempo previsto, este aviso sonoro fica atuando até que o chuveiro seja desligado. Nesse momento, o equipamento irá transmitir o consumo de energia elétrica em R\$ para um computador via comunicação sem fio.

1.2 PROBLEMA E PREMISSAS

A tendência é que os equipamentos elétricos apresentem uma melhora na eficiência energética, com a exceção do chuveiro elétrico, que terá uma redução de 0,5% em sua eficiência, ao ano, devido à tendência de aquisição de equipamentos com maior potência, conforme apresentado na Tabela 1 (EPE, 2012).

Tabela 1 - Aumento anual de eficiência dos equipamentos elétricos até 2021.

Equipamento	Aumento anual de eficiência (%) 2011 – 2021	Fundamentação geral
Ar condicionado	0,5	Reposição tecnológica natural do estoque e ações dos fabricantes com melhorias de eficiência impulsionadas principalmente pelo PBE e PROCEL
Geladeira	0,5	
Freezer	0,5	
Máquina de lavar roupas	0,5	
Televisão	0,3	
Lâmpadas	8,5	Substituição das lâmpadas incandescentes
Chuveiro elétrico	-0,5	Tendência de aquisição de equipamentos com maior potência

Fonte: EPE, 2012.

Conforme descrito anteriormente, o chuveiro é o aparelho doméstico com maior consumo elétrico e sem perspectiva breve de melhora na eficiência energética. Consequentemente, o consumidor deve ter uma grande cautela com o uso indiscriminado do chuveiro elétrico (UNICAMP, 2014). Soma-se a esse fato, a presente crise energética vivida no país, ocasionada pela falta de chuvas e reservatórios menores, que culminou em novas regras das bandeiras tarifárias e sucessivos aumentos na conta de energia elétrica (DIÁRIO GAÚCHO, 2015). Pensando nisto, existe a necessidade e possibilidade de utilizá-lo de forma consciente, bem como de propor novas soluções para melhoria da eficiência energética.

A utilização do chuveiro deve se limitar apenas no tempo necessário para o banho, pois um tempo maior que o adequado, representa um gasto desnecessário de energia elétrica e água. Além disso, para uma melhor conscientização sobre a utilização do chuveiro elétrico, é fundamental que o usuário saiba o quanto representa o consumo de energia elétrica por parte do chuveiro elétrico.

Para auxiliar no monitoramento de um chuveiro elétrico, pode-se usar um mecanismo de controle da utilização do mesmo. Este mecanismo poderia medir o consumo de energia elétrica e posteriormente enviar esta informação a um dispositivo de visualização e de memorização das informações sobre o banho.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um equipamento baseado em microcontrolador com capacidade de monitorar a utilização – consumo de energia elétrica e tempo decorrido – de um chuveiro elétrico com transferência das informações via rede sem fio com a tecnologia ZigBee.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Pesquisar o tempo necessário e suficiente para o banho higiênico;
- Definir um microcontrolador que será utilizado para o desenvolvimento do projeto do equipamento;
- Projetar o circuito para leitura da tensão alternada de alimentação do chuveiro;
- Adquirir os sensores de corrente para monitoração da potência consumida durante o banho;
- Programar o microcontrolador para fazer a leitura das medidas de tensão e corrente, e cálculo da energia elétrica consumida;
- Implementar a sinalização visual através de um conjunto de LEDs que irão acender em série a cada minuto do banho;
- Implementar a sinalização visual através *display* LCD (*Liquid Crystal Display*) para depuração dos cálculos e funcionamento do sistema;
- Implementar a sinalização sonora através de uma pequena sirene (*buzzer*);
- Pesquisar sobre as técnicas de transmissão de dados sem fio para a comunicação entre o equipamento de monitoramento do chuveiro e um computador pessoal;
- Simular o circuito de monitoramento;
- Montar um protótipo do equipamento;
- Analisar os resultados práticos em bancada e no ambiente residencial;
- Apresentar as conclusões do trabalho.

1.4 JUSTIFICATIVA

A necessidade de se controlar o tempo do banho já é uma realidade de vários seguimentos do mercado. Em postos de atendimento a caminhoneiros, por exemplo, já existem equipamentos de controle do tempo de utilização do chuveiro elétrico, que são oferecidos aos usuários (TV CULTURA, 2014). Neste caso, normalmente o usuário compra um cartão no estabelecimento, que será colocado no equipamento junto ao chuveiro, e assim é liberada a água. Ao decorrer certo tempo, o fornecimento de água ou eletricidade é cortado, pondo fim ao banho. Estes equipamentos são mais voltados para atender a questões financeiras onde estão instalados, porém ajudam na reflexão sobre o tempo necessário e suficiente para um banho. O equipamento apresentado nesta proposta potencializa esta reflexão, já que irá informar o quanto de energia foi consumido no banho.

O conceito de monitoramento da utilização do chuveiro elétrico pode ser estendido a outros seguimentos do comércio, indústria e, principalmente, nas residências, que é onde começa a conscientização sobre sustentabilidade e eficiência energética.

Conforme reportagem da Rede Globo de Televisão, "o brasileiro gosta de banho", sendo que o Brasil ficou em primeiro lugar em uma pesquisa feita em dez países, como o povo que mais toma banho no mundo. No Brasil, toma-se em média quase três banhos por dia, e na Índia, por exemplo, a média de banho da população é de três banhos por semana (TV GLOBO, 2011).

Com o monitoramento do tempo e do consumo de energia elétrica do chuveiro, fica mais visível o quanto custa um banho mais demorado, com um tempo de duração além do necessário.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho consistirá em apresentar embasamentos teóricos do tema proposto, bem como aplicar estes conceitos na prática, ou seja, desenvolver e construir o equipamento de monitoramento da utilização do chuveiro elétrico. A pesquisa inicialmente foi feita tanto através da internet em *sites* confiáveis baseados

em trabalhos acadêmicos, como também na biblioteca física da UTFPR. Além disso, contou-se também com o apoio do orientador.

Após o início da pesquisa sobre os diversos tipos de comunicação sem fio, foi decidida a tecnologia de comunicação sem fio utilizada para a transferência de dados entre o computador central da residência e o protótipo. Depois disso, foi escolhido o microcontrolador a ser utilizado, e iniciado o trabalho de desenvolvimento do *software* embarcado, que controla todas as ações do protótipo.

Com o início da construção do equipamento proposto, iniciou-se a realização de testes e coleta de dados. Estes testes consistiram em ensaios no equipamento em toda sua evolução. A coleta das informações de corrente e tensão elétrica e do tempo decorrido foi imprescindível, pois ,posteriormente, estas informações são mostradas no desenvolvimento do trabalho em forma de gráficos, tabelas e figuras.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo desse trabalho consiste em apresentar o tema, a motivação e também introduzir ao leitor a proposta do trabalho. O segundo capítulo, define com maior detalhe a teoria utilizada para o desenvolvimento do trabalho, dando uma melhor compreensão dos dispositivos a serem utilizados. O terceiro capítulo apresenta os métodos adotados para realização do trabalho. O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos através de simulações, testes em banca e experimentos práticos no ambiente residencial. O capítulo cinco finaliza o trabalho apresentando as conclusões obtidas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados com maiores detalhes a teoria que embasou o desenvolvimento do módulo de medida e da comunicação de dados entre o sistema microcontrolado e um computador pessoal.

2.1 INTRODUÇÃO AOS MICROCONTROLADORES

As circunstâncias que as pessoas se deparam hoje no campo dos microcontroladores têm os seus primórdios no desenvolvimento da tecnologia dos circuitos integrados. Este desenvolvimento tornou possível armazenar centenas de milhares de transistores num único *chip*. Isso constituiu um pré-requisito para a produção de microprocessadores e, os primeiros computadores foram construídos adicionando periféricos externos tais como memória, linhas de entrada e saída, temporizadores e outros. Um crescente aumento do nível de integração permitiu o aparecimento de circuitos integrados contendo simultaneamente processador e periféricos. Foi assim que o primeiro *chip* contendo um microcomputador, e que mais tarde haveria de ser designado por microcontrolador, apareceu (ZANCO, 2010).

Como exemplo, pode-se citar os microcontroladores da família PIC e 8, 16 e 32 *bits* fabricados pela empresa Microchip Technology. Tal família é dividida em séries, sendo elas: PIC10, PIC12, PIC16, PIC18, PIC24, PIC32, dsPIC30 e dsPIC33. Dessa forma, cada série contém dezenas de modelos de microcontroladores com características de arquitetura interna semelhantes, porém com diferentes encapsulamentos, tamanho de memória e periféricos.

As séries PIC10, PIC12, PIC16 e PIC18 são compostas por microcontroladores de 8 *bits*, enquanto as séries PIC24, dsPIC30, dsPIC33 são compostas por microcontroladores de 16 *bits*. Os microcontroladores das séries dsPIC30 e dsPIC33 têm integrada uma máquina DSP (*Digital Signal Processor*) que permite serem utilizados em processamento digital de sinais. Por fim, a série PIC32 é composta por microcontroladores de 32 *bits* que operam com frequência de até 200 MHz (MICRO E, 2003; MICROCHIP TECHNOLOGY, 2015). Entretanto, existem

diversos outros fabricantes como, por exemplo, Freescale, Analog Devices, NXP, Texas Instruments, Renesas, etc.

2.2 COMUNICAÇÕES SEM FIO

Na atualidade a comunicação sem fio (*wireless*) já se tornou algo essencial para a sociedade, seja no ambiente de trabalho ou residencial, tendo sua importância aumentada ainda mais nos últimos anos pela praticidade de não precisar estar conectado a um cabo para estar na internet.

Os dois padrões *wireless* mais utilizados atualmente são o Wi-Fi e o Bluetooth. Porém, recentemente iniciou-se um processo para desenvolver um padrão mais específico para sistemas de monitoração e sensoriamento, tais como sistemas de automação residencial, segurança e controle de acesso, etc. (MONSIGNORE, 2007). Tal tecnologia é denominada ZigBee. As vantagens deste padrão são baixo consumo de energia do sistema implantado, possibilidade de implementação de redes com elevado número de dispositivos e baixa latência.

2.2.1 Wi-Fi (IEEE 802.11b)

O Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) é um protocolo baseado nas normas da família IEEE 802.11, e normalmente é utilizado para grandes transferências de dados e também de conteúdo multimídia como áudio e vídeo. Isso ocorre, pois este protocolo opera na frequência de 2,4 GHz e usa da técnica de modulação DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*), podendo sua capacidade de transmissão chegar a 11 Mbs (MONTEBELLER, 2006). Outras vantagens do protocolo Wi-Fi, além da velocidade de transmissão, é que ele possui conexões confiáveis, facilidade de integração com redes Ethernet e um longo alcance, podendo chegar até 100 metros, se não houver obstáculos.

Com a entrada e o impacto no mercado do protocolo Wi-Fi, abriu-se vários caminhos para diversos programas de melhorias e extensões do padrão 802.11, como por exemplo:

- **802.11a:** Trabalha na frequência de transferência de 5 GHz e pode mover até 54 Mb de dados por segundo;

- **802.11b:** É o padrão normalmente utilizado nos escritórios e residências, mais lento e barato. Trabalha na frequência de transferência de 2,4 GHz e pode transmitir até 11 Mb de dados por segundo;
- **802.11g:** Trabalha também na frequência de transferência de 2,4 GHz, tal como 802.11b, porém, pode chegar a 54 Mb de dados por segundo. Esse aumento da velocidade é possível porque este padrão utiliza a mesma codificação OFDM que 802.11a;
- **802.11n:** É um dos mais novos padrões disponível atualmente no mercado, pois melhora significativamente as taxas de velocidade e alcance. A velocidade nominal é de 300 Mbps e o uso de múltiplos fluxos de transmissão torna o alcance do sinal quase duas vezes maior em relação ao 802.11g (DE CASTRO, 2010).

O Wi-Fi pode sim ser perfeitamente implementado em redes de sensores sem fio. Comparativamente com outros protocolos como Bluetooth e ZigBee, no entanto, não é o mais indicado, pois, em termos de *hardware* essa tecnologia é bastante exigente, devido à sua maior largura de banda, consumo de energia e alto custo de implementação (DA SILVA, 2007).

2.2.2 Bluetooth

A tecnologia Bluetooth teve seu desenvolvimento iniciado pela empresa Ericsson em 1994. O projeto visava à comunicação sem fio de baixo consumo entre acessórios e os telefones moveis. No entanto, só em 1998 quando a Ericsson se juntou com as empresas Nokia, Intel, Toshiba e IBM e formaram o (SIG) *Special Interest Group* do Bluetooth com o objetivo de padronizar abertamente essa comunicação sem fio. Uma curiosidade é que o nome Bluetooth faz referencia ao rei Viking Harald Bluetooth, que unificou a Noruega e a Dinamarca, no século 10 (MONTEBELLER, 2006).

O fato do Bluetooth ser um padrão aberto garantiu um crescimento imediato e em menos de 2 anos o SIG recebeu mais de 2000 novos membros, chegando hoje a um número de mais de 25 mil empresas colaboradoras com a tecnologia (BLUETOOTH SIG MEMBERSHIP, 2015). Outro ponto a se destacar do Bluetooth é que se pode utilizar da tecnologia por meio de licenças sem o pagamento de taxas ou direitos autorais.

O grande objetivo das empresas que desenvolveram o Bluetooth foi a criação de um dispositivo de rádio em um único *chip*, com um custo de menos de 5 dólares, com alcance de 10 metros, baixo consumo de bateria e uma taxa de transferência de dados perto de 720 kbps (MONTEBELLER, 2006).

A partir disso, os equipamentos Bluetooth criaram uma nova modalidade de redes: a PAN (*Personal Area NetWork* – Rede pessoal), onde qualquer pessoa com a tecnologia Bluetooth instalada no seu dispositivo pode interagir com outros equipamentos eletrônicos, como ilustrado na Figura 1.



Figura 1: Diagrama ilustrativo de conexões via Bluetooth
Fonte: De Castro (2010).

Existe uma maneira convencional de se classificar os dispositivos Bluetooth levando em consideração o alcance das ondas de rádio:

- Classe 1 – Alcance de até 100 metros, normalmente encontrada em aplicações industriais;
- Classe 2 – Alcance de até 10 metros, estes são os mais utilizados na atualidade, e se tratam dos dispositivos portáteis;
- Classe 3 – Alcance de até 1 metro.

Como a maioria das tecnologias *wireless*, o Bluetooth utiliza a banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) de 2,4 GHz e trabalha com uma taxa de transferência de dados de 1 Mb por segundos para baixo consumo de energia,

podendo chegar até 24 Mb por segundos para alta velocidade, porém ocasionando num elevado consumo de bateria.

Também é válido lembrar que os dispositivos Bluetooth podem criar automaticamente conexões independentes entre outros dispositivos e o usuário não precisa configurar a rede. Esta tem uma estrutura de rede baseada na tecnologia Bluetooth *Wireless Personal Area Network* (BT-WPAN), sendo formada por *piconets*, que é um conjunto de no máximo oito dispositivos Bluetooth.

Dentro das *piconets* um dispositivo é designado mestre e os outros escravos, sendo possível a comunicação de diferentes *piconets* através do dispositivo mestre comum entre ambas, formando assim uma *scatternet*, como mostrado na Figura 2 (MONTEBELLER, 2006; DE CASTRO, 2010).

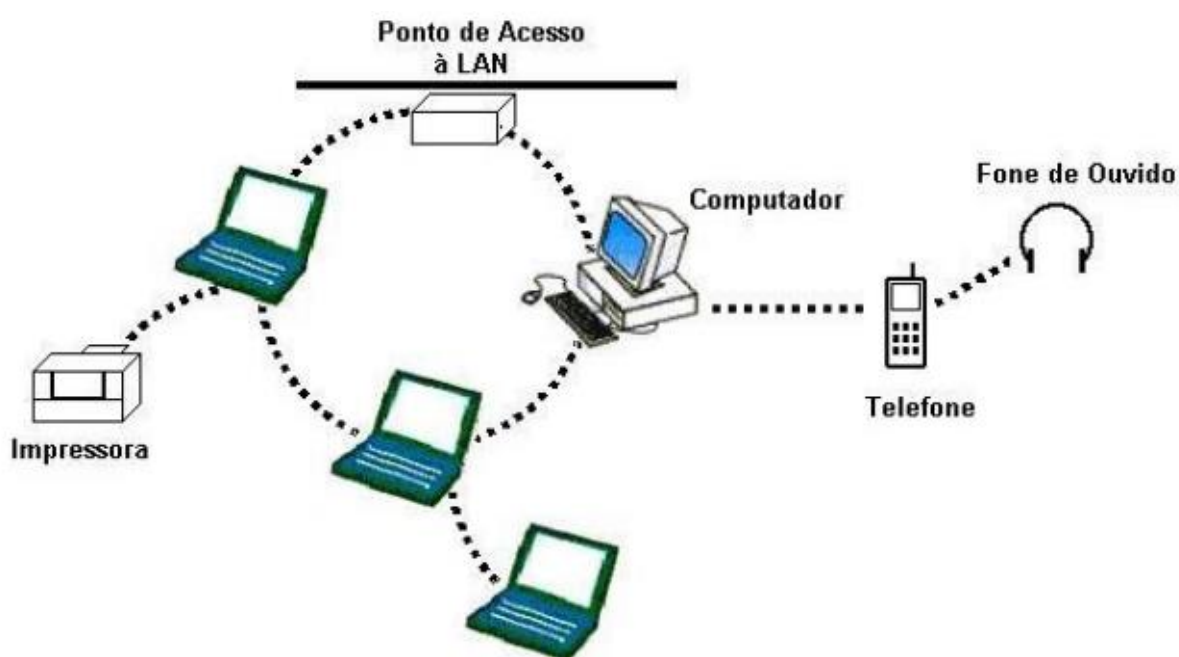


Figura 2: Scatternet com cinco piconets.
Fonte: Montebeller (2006).

Mesmo com as diversas vantagens encontradas na tecnologia Bluetooth, ainda não pode-se considerá-la a melhor escolha de tecnologia para comunicação entre os sensores, pois a dificuldade de manutenção e troca de bateria frequentemente acaba tornando a autonomia energética um fator crítico em relação ao padrão ZigBee.

2.2.3 ZigBee

O protocolo ZigBee desenvolvido pela ZigBee Alliance (ZIGBEE-ALLIANCE, 2004), foi criado em 2004 com a intenção de suprir os requisitos citados anteriormente, baseado na norma do padrão IEEE 802.15.4. A tecnologia visa uma uniformização das redes pessoais e das redes domésticas de última geração, proporcionando maior confiabilidade, segurança e a durabilidade do tempo de vida útil das baterias (MONSIGNORE, 2007).

A partir disso, o ZigBee ganhou rapidamente espaço na área de automação residencial e industrial. Deve-se lembrar que o ZigBee não foi feito para tomar lugar do Bluetooth, pois cada um possui características de aplicação diferenciadas, onde a utilização do Bluetooth é mais apropriado para dispositivos de transmissão de áudio ou dados ponto a ponto, já que o mesmo exige uma taxa de transferência mais alta na faixa de 1 Mbps (MECATRÔNICA ATUAL, 2013). Já o ZigBee é mais indicado para aplicações de monitoração e sensoriamento de sistemas, pois, como já foi dito, possui baixo consumo de bateria, taxas de transferências de 20 a 250 kbps e uma pilha protocolar mais simples.

2.2.3.1 Topologia ZigBee

Existem dois tipos de dispositivos identificados numa rede ZigBee: RFD – *Reduced Function Device* e FFD – *Full Function Device* (ROGERCOM, 2008).

RFD – *Reduced Function Device* (Dispositivos de Funções Reduzidas) – São dispositivos mais simples, onde com o mínimo de recursos de *hardware* é possível implementar sua pilha de protocolo. Porém, só podem comunicar com dispositivos FFDs. Portanto, eles assumem o papel de *End Device* (dispositivo final) dentro de uma topologia de rede ZigBee. Exemplos: interruptores de iluminação, sensores, controle de relês, *dimmers*, etc.;

FFD – *Full Function Device* (Dispositivos de Funções Completas) – São dispositivos mais complexos e, diferentemente do RFD, precisam de um *hardware* mais potente para a implantação da pilha de protocolos. Em uma topologia de rede ZigBee, possuem o papel de coordenador ou Roteador. Estes dispositivos podem se comunicar com quaisquer membros da rede. São implementados em

microcontroladores com no mínimo 32 kb de memória de programa – devido ao tamanho da pilha.

Além disso, no padrão ZigBee existem três classes (Nós) de dispositivos lógicos que definem a rede: Coordenador (ZC), Roteador (ZR) e Dispositivo Final (ZED).

ZC – ZigBee *Coordinator* (Coordenador): O coordenador é o que possui maior complexidade dentro da rede. Ele é responsável pela manutenção da rede, distribuição de endereços, pela inicialização e reconhecimento de todos os Nós, sendo ele o maior entre os três Nós, podendo servir como ponte entre varias outras Redes ZigBee. Só pode ser configurado através de um dispositivo FFD;

ZR – ZigBee *Router* (Roteador): Também só pode ser implementado através de um dispositivo FFD, porém tem características de um Nó normal na Rede, e exerce a função de expandir o alcance da Rede;

ZED – ZigBee *End Device* (Dispositivo Final) – É dos três o Nó mais simples, ou seja, do tipo RFD. É neles que os atuadores ou sensores serão hospedados.

Existem três tipos de topologias que podem ser implementadas no padrão ZigBee, são elas: Estrela, Árvore e Malha, como apresentadas de forma resumida a seguir.

- Estrela: Nesta configuração o coordenador será o responsável por inicializar a rede e manter os dispositivos conectados a ela. Se um dispositivo precisar enviar um dado para outro, primeiro ele deve se comunicar com o coordenador e então o mesmo encaminha o dado para o destino desejado, como mostrado Figura 3.

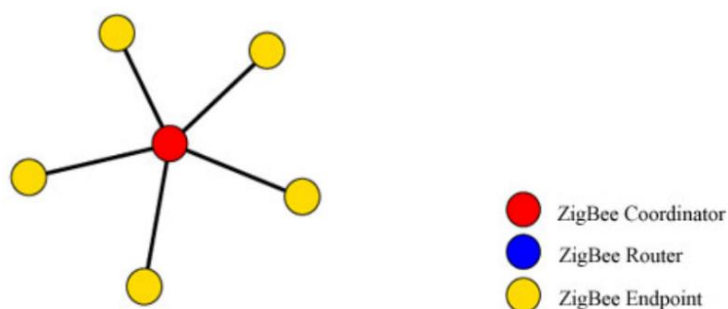


Figura 3: Topologia ZigBee Estrela.
Fonte: Da Silva (2007).

- Malha: O coordenador também é o responsável por iniciar a rede, porém a rede não é concentrada no coordenador, ou seja, ela pode ser estendida com roteadores. A grande vantagem da topologia Malha é a confiança e rendimento da rede que ocorre através do grande número de caminhos criado pelos roteadores, como exemplificado na Figura 4.

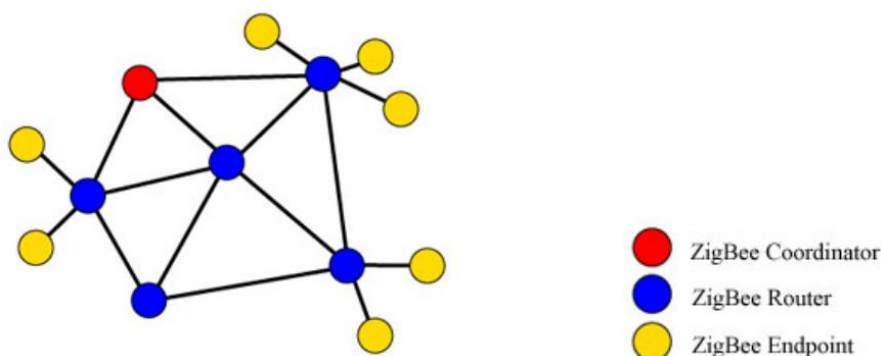


Figura 4: Topologia ZigBee Malha.
Fonte: Da Silva (2007).

- Árvore: Esta topologia nada mais é do que uma modificação da topologia Estrela, com apenas um ou mais roteadores conectados ao coordenador. A vantagem desta topologia é que ela pode ser usada para aumentar a cobertura geográfica da rede, como ilustrado Figura 5.

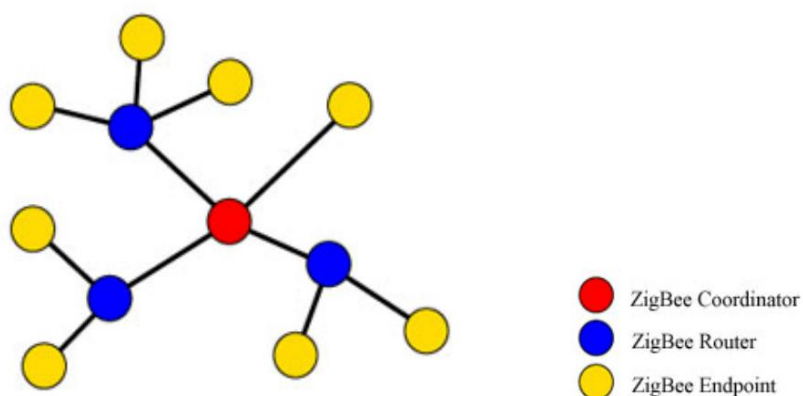


Figura 5: Topologia ZigBee Árvore.
Fonte: Da Silva (2007).

2.2.3.2 Pilha protocolar ZigBee

A pilha protocolar da tecnologia ZigBee é formada por quatro camadas principais: a camada física PHY (*physical*), a camada de controle de acesso ao meio MAC (*Medium Access Control*) – essas duas especificadas conforme o padrão IEEE 802.15.4 –, a camada de rede NWK (*network*) e a camada de aplicação AF (*Application Framework*). Ainda existe a camada de suporte a aplicação APS (*Applications Support*) que fica dentro da camada AF (DE CASTRO, 2010). A Figura 6 exemplifica as camadas em forma de pilha protocolar:

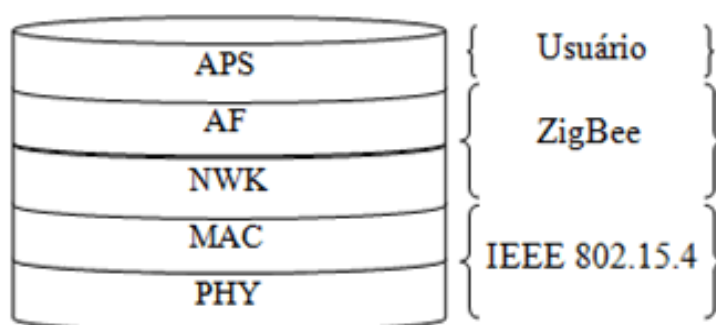


Figura 6: Pilha protocolar da tecnologia ZigBee com IEEE 802.15.4.
Fonte: De Castro (2010).

- Camada Física (PHY) – É a camada mais baixa da pilha protocolar. É definida pelo padrão IEEE 802.15.4, e é responsável por codificar os *bits* enviados e decodificar os *bits* recebidos. Fornece para a camada seguinte (MAC) informações como qualidade e potência do sinal. Também seleciona um canal dentre todos para enviar os dados;
- Camada de controle de acesso ao meio (MAC) – A camada MAC gera e reconhece os endereços e também analisa as sequências das estruturas de controle, ou seja, define o controle de acesso ao canal de comunicação, verificando a ausência de tráfego antes de iniciar uma transmissão;
- Camada de rede (NWK) – A camada de rede (NWK) é responsável por cuidar das funções de segurança da rede, do nível de rede relativo à comunicação e do roteamento. Como a rede ZigBee é uma rede dinâmica, a camada de rede necessita manter os dados sobre os nós dentro da rede;

- Camada de aplicação (AF) – A Camada de aplicação carrega o código de cada aplicação da rede e define como cada nó irá atuar (RFD ou FFD) além de estabelecer funções de segurança e as respostas e atos para cada evento do sistema;
- Camada de suporte à aplicação (APS) – A subcamada de suporte de aplicação (APS) irá realizar as ligações e a descoberta de vizinhança dos dispositivos do sistema. Além disso, a APS pode habilitar a funcionalidade de modificar a rede para uma rede do tipo malha, se necessário (MONSIGNORE, 2007).

Definidas as camadas, a transferência de dados se dá, basicamente, de três formas distintas, podendo-se (DE CASTRO, 2010):

1. Enviar uma informação de um dispositivo para um coordenador;
2. Enviar do coordenador para o dispositivo;
3. Trocar informações entre dois dispositivos ligados ponto a ponto.

2.2.3.3 Endereçamento ZigBee

Os dispositivos PANs possuem dois endereços, o endereço de rede que possui 16 *bits* e o endereço permanente vem embutido em cada módulo durante a fabricação do produto, e possui 64 *bits*. O endereço de 16 *bits* é relacionado ao módulo quando ele entra na rede. Ele pode ser alterado se o módulo sai e entrar novamente na rede, mas ele é único para cada módulo da rede (LITJENS, 2009).

2.2.3.4 Transmissão de dados via ZigBee

Dentro de uma rede ZigBee existem três formas de transmissão de dados, estes podem ser enviados para todos dispositivos da rede (*Broadcast transmissions*), ou a um destino específico (*Unicast transmissions*). As três formas de transmissão de dados são (LITJENS, 2009):

- *Broadcast transmissions*: podem enviar dados para todos os dispositivos da rede, como apresentado na Figura 7.

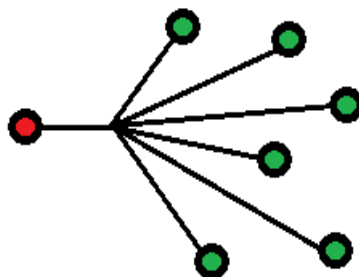


Figura 7: Método de transmissão ZigBee *Broadcast*.
Fonte: Litjens (2009).

- *Multicast transmissions*: podem enviar dados apenas para grupos específicos de dispositivos ou clientes, como ilustrado na Figura 8.

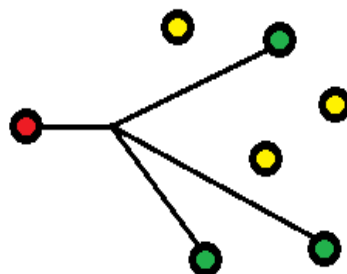


Figura 8: Método de transmissão ZigBee *Multicast*.
Fonte: Litjens (2009).

- *Unicast transmissions*: podem enviar dados apenas de um *host* para um destino específico, como ilustrado na Figura 9.

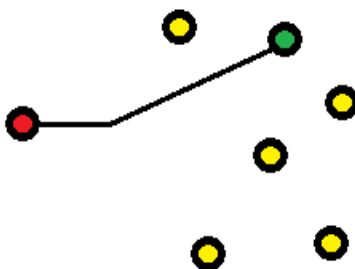


Figura 9: Método de transmissão ZigBee *Unicast*.
Fonte: Litjens (2009).

No protocolo ZigBee os *broadcast transmissions* tem a intenção de se propagar por toda a rede, fazendo assim que todos os dispositivos da mesma recebam os dados da transmissão. Para que isto ocorra, os dispositivos que receberam uma *broadcast transmission* irão retransmitir esta mensagem 3 vezes.

Para evitar que esta mensagem fique circulando eternamente na rede, cada dispositivo possui uma tabela que ira controlar e acompanhar qual mensagem *broadcast* já foi recebida anteriormente, para não haver uma sobrecarga na memória. Portanto, para cada *broadcast transmission* os módulos irão reservar espaço na memória para salvar uma cópia da mensagem e retransmiti-la quando for necessário. Por isso não é aconselhável que estas transmissões sejam feitas com frequência.

Já as *unicast transmission* são sempre endereçadas no endereços de 16 *bits* do módulo destino. Entretanto, somente o endereço de 64 *bits* é permanente, assim os módulos ZigBee realizam um procedimento para encontrar o endereço de rede chamado *Network Address Discovery*, descobrindo este endereço de 16 *bits*, a transmissão *unicast* acontece normalmente (LITJENS, 2009).

2.3 EFEITO HALL

Em 1879, durante experiências feitas para se medir diretamente o sinal dos portadores de carga em um condutor, Edwin H. Hall, percebeu um fenômeno peculiar. Na época já se sabia que quando o fio percorrido por corrente elétrica era exposto a um campo magnético as cargas presentes neste condutor eram submetidos a uma força que fazia com que seu movimento fosse alterado.

No entanto, o que Edwin Hall descreveu foi o surgimento de regiões com carga negativa e outras com carga positiva no condutor, criando um campo magnético perpendicular ao campo gerado pela corrente principal. Em sua homenagem este efeito ficou conhecido como Efeito Hall (SÓ FÍSICA, 2015).

Nos dias atuais, o efeito Hall é a base dos sensores utilizados para medição de correntes contínuas (CC) e alternadas (CA), também chamados de pontas de corrente ou alicate amperímetros, deste mili amperes (mA) até centenas de amperes. Com isso, não há necessidade de abrir o circuito de passagem de corrente para fazer a sua medição, uma vez que possuem a capacidade de medir o campo induzido através da corrente que passa em suas pinças, sem ter contato direto com o circuito.

2.4 O CHUVEIRO ELÉTRICO

O chuveiro elétrico comum, que utiliza apenas resistência elétrica para controle da temperatura, vem sendo substituído pelo chuveiro elétrico eletrônico, devido a um melhor controle da temperatura da água.

O chuveiro eletrônico proporciona um banho mais confortável e eficiente energeticamente. Fazendo uma comparação entre o chuveiro elétrico comum e o eletrônico, observa-se que o primeiro é dotado com chaves mecânicas para o ajuste de temperatura, sendo estas: normalmente Desligado, Morno e Quente, ou seja, três temperaturas (PORTAL ELETRICISTA CHUVEIRO ELÉTRICO, 2014). Enquanto que o eletrônico proporciona um ajuste com a variação de temperatura da água de fria até o máximo de sua potência, em uma escala de infinitos pontos. Isto é possível devido à utilização do componente eletrônico TRIAC que controla a potência entregue à carga.

O TRIAC dispara em semiciclos de tensão da rede, podendo disparar desde o início (0°) até no final de cada semiciclo (180°). A corrente que o percorre é ajustada numa disposição em série com o elemento de aquecimento ou resistência. Dessa forma, o TRIAC torna-se responsável pela entrega da potência a essa carga específica que a converte em calor. Na Figura 10 é mostrado um exemplo de circuito esquemático com os componentes elétricos de um chuveiro eletrônico (PORTAL ELETRICISTA CHUVEIRO ELETRÔNICO, 2014).

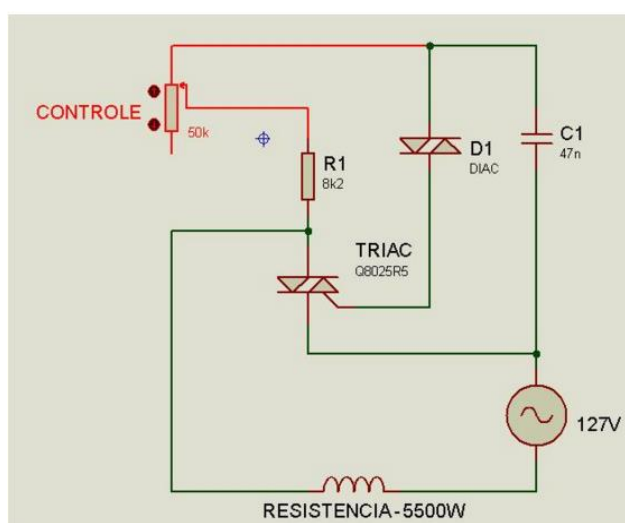


Figura 10: Esquemático do chuveiro eletrônico.
Fonte: Portal do Eletricista (2014).

2.5 TEMPO IDEAL PARA UM BANHO

Uma pesquisa realizada em dez países, em 2010, pela consultora TNS Global Market Research, concluiu que os brasileiros são recordistas mundiais com relação ao tempo que gastam no banho. Segundo a pesquisa, os brasileiros, em média, tomam 20 banhos por semana, enquanto que os britânicos 5,6 e os americanos 7,4, nesse mesmo intervalo de tempo.

Além do gasto de água e energia, para os especialistas, o exagero no banho coloca em risco a saúde da pele. Como exemplo, a dermatologista brasileira Márcia Purceli faz um alerta: “Esta prática, apesar de parecer saudável, pode colocar em risco a saúde da sua pele. Bastam cinco minutos debaixo de água, pois quando tomamos banho, retiramos a camada de gordura fundamental para a lubrificação da pele, tornando-a propícia à contaminação por fungos e bactérias” (PURCELI, 2012).

Dessa forma, foi adotado neste trabalho o tempo de cinco minutos como o tempo ideal para um banho higiênico. Esse tempo foi utilizado como referência para definição da quantidade de LEDs do equipamento que irão acender em sequencia a cada minuto do banho como forma de sinalização visual.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e os métodos que foram utilizados para a simulação, projeto e construção do sistema protótipo proposto.

3.1 MICROCONTROLADOR PIC18F4520

Para o desenvolvimento deste TCC foi utilizado o microcontrolador PIC18F4520 de 8 *bits*. Suas características são muito próximas as do PIC16F77A, que foi estudado e utilizado na disciplina de Microcontrolados do curso de Engenharia Elétrica (ET77C), com algumas vantagens, como por exemplo, o dobro de memória de programa e operação com cristal de até 40 MHz.

Este microcontrolador foi escolhido devido às suas características construtivas que satisfazem as necessidades do projeto:

- Programação na linguagem C utilizando o compilador MPLAB V 8.56;
- Flash de 32 Kbytes - Memória de programa;
- EEPROM de 256 bytes - Memória para armazenamento permanente de dados;
- 13 entradas de conversão A/D (Analógico para Digital);
- Protocolo I2C de comunicação para periféricos;
- 4 Portas de 8 *bits* de I/O (*Input / Output*).

Na Figura 11 é mostrada a pinagem do microcontrolador PIC18F4520 com encapsulamento de 40 pinos.

As características completas do PIC18F4520 podem ser encontradas no manual técnico do microcontrolador, disponível no *site*: www.microchip.com.

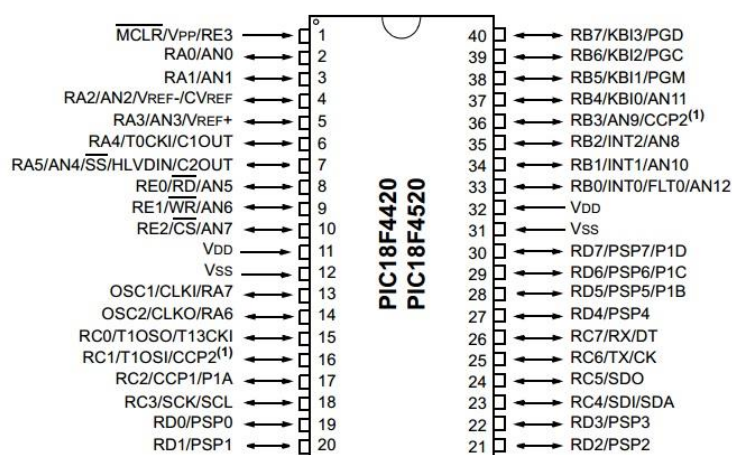


Figura 11: Pinagem do PIC18F4520.
Fonte: Manual técnico do PIC18F4520 (2008).

3.2 MÓDULO XBEE

O módulo comercial XBee foi escolhido para realização da comunicação sem fio via protocolo ZigBee entre o sistema microcontrola e o computador. Trata-se de um módulo de pequena dimensão, com um baixo consumo de energia elétrica e com diversas funcionalidades embarcadas adequadas para a construção do protótipo. Como exemplo, pode-se citar que a comunicação com o microcontrolador pode ser realizada diretamente através de protocolo RS232 na taxa de 115.200 bps.

Na Tabela 2 são mostradas a principais características físicas da placa XBee (Manual XBee ZNet 2.5, 2008), disponíveis no manual do fabricante da placa.

Tabela 2 - Características físicas do módulo XBee.

Parâmetro físico	Especificação
Dimensões	2,438 x 2,761 cm
Peso	0,10 oz (3 g)
Temperatura de operação (industrial)	-40 até 85° C
Opções de antena	Conector U.FL RF, <i>Chip</i> ou Chicote (<i>whip</i>)

Fonte: Manual XBee ZNet 2.5 (2008).

Na Tabela 3 são mostradas a principais características elétricas da placa XBee e na Tabela 4 as principais características de rede (Manual XBee ZNet 2.5, 2008).

Tabela 3 - Principais características elétricas da placa XBee.

Parâmetro elétrico	Especificação
Rendimento da Potência de saída	1 mW (0 dBm)
Alcance em ambientes internos/zonas urbanas	30 m
Alcance de RF em linha visível para ambientes externos	100 m
Sensibilidade do receptor	-92 dBm
Frequência de operação	ISM 2,4 GHz
Taxa de dados de RF	250.000 bps
Taxa de dados da Interface (<i>Data Rate</i>)	115.200 bps
Tensão de alimentação	2,8 à 3,4 V
Corrente de transmissão (típico)	45 mA @ 3,3 V
Corrente de Recepção (típico)	50 mA @ 3,3 V
Corrente de Power Sleep mode	<10 μ A

Fonte: Manual XBee ZNet 2.5 (2008).

Tabela 4 - Principais características de rede da placa XBee.

Parâmetro de rede	Especificação
Tipo de espalhamento espectral	DSSS (<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>)
Manipulação de erro	Retransmite novamente (<i>Retries</i>) & reconhecimento (<i>acknowledgements</i>)
Topologia de Rede	Ponto-a-ponto, ponto-a-multiponto e malha
Endereçamento	65.000 end. de rede disponíveis para cada canal
Opções de filtros	PAN ID, canais e endereços
Criptografia	128-bit AES
Número de canais selecionáveis via <i>software</i>	16 canais de sequência direta
Faixa de frequência	2,4000 - 2,4835 GHz

Fonte: Manual XBee ZNet 2.5 (2008).

Para a implementação do trabalho foram comprados dois módulos XBee (Figura 12) através do site <http://xbeestore.lojavirtualfc.com.br/>, no valor de R\$ 169,00 (data de referência de junho de 2015).

<http://rogercom.com.br> dois adaptadores: o CON-USBEE (R\$ 124,00) e o adaptador PROTO-BEE 5.0V (R\$ 30,00) que estão ilustrados nas Figuras 14 e 15, respectivamente – os valores monetários são do dia 28 de julho de 2015.

O adaptador COM-USBEE (Figura 14) é responsável por fazer a conexão do módulo XBee receptor com a central de dados (PC), e assim criar uma porta COMx virtual. Dessa forma, é possível desenvolver um programa que acesse a COMx como se fosse uma porta Serial padrão. Já o adaptador PROTO-BEE 5.0V (Figura 15) é responsável por conectar o módulo XBee transmissor ao microcontrolador, ou seja, regulando a tensão de entrada no módulo para 3,3 V. Também com este adaptador é possível interfacear os pinos TX e RX do XBee direto com microcontrolador alimentado com 5 V.



Figura 14: Adaptador CON-USBEE.
Fonte: Autoria própria.

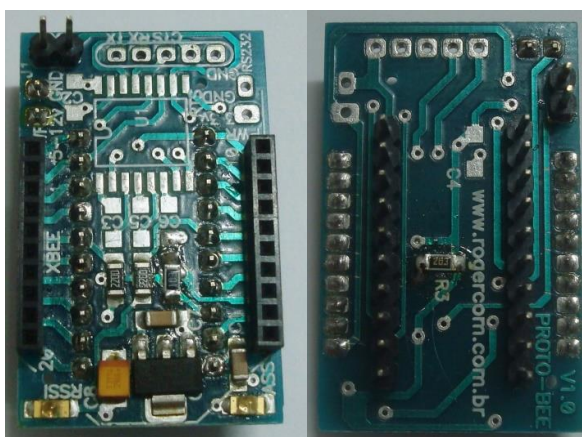


Figura 15: Adaptador PROTO-BEE 5.0v
Fonte: Autoria Própria

3.3 SENSOR DE EFEITO HALL

Para medida da corrente elétrica, que indica em conjunto com a tensão elétrica da rede o consumo do chuveiro, foram pesquisados dois sensores de efeito Hall: o ACS754xCB-050 e o SCT013-100A.

O sensor de efeito Hall ACS754xCB-050, fabricado pela empresa Allegro MicroSystems, é um componente integrado que fornece uma tensão de saída entre 0 V e 5 V, proporcional a corrente de CC ou CA. O aspecto físico do sensor ACS754xCB-050 com 5 pinos de contato é apresentado na Figura 16.

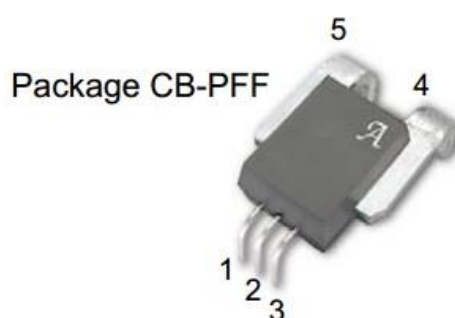


Figura 16: Encapsulamento do sensor de efeito Hall ACS754xCB-050.
Fonte: Manual técnico do sensor de efeito Hall ACS754xCB-050 (2010).

Como a interligação do componente é invasiva, os pinos 4 e 5 devem ser conectados em série com o circuito de alimentação do chuveiro, isto é, em um dos fios de alimentação da rede elétrica por onde circula a corrente de alimentação. Nos pinos 1 e 3 são conectados os sinais de alimentação de baixa tensão de 5 V e referência (0 V), respectivamente, sendo que o pino 3 fornece a tensão de saída isolada e proporcional à corrente medida com *offset* de 2 V. Na Figura 17 é ilustrada a aplicação típica do sensor.

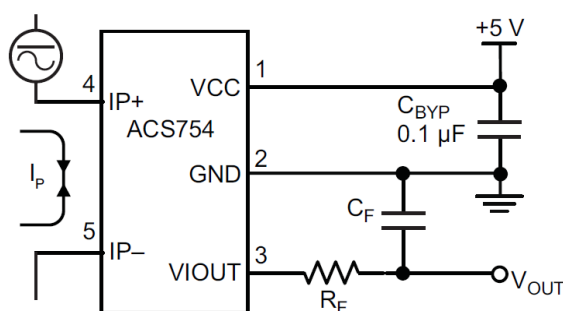


Figura 17: Exemplo de aplicação típica do sensor de efeito Hall ACS754xCB-050.
Fonte: Manual técnico do sensor de efeito Hall ACS754xCB-050 (2010).

Os principais dados do sensor invasivo de efeito Hall ACS754xCB-050 são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Principais dados do sensor de efeito Hall ACS754xCB-050.

Parâmetro elétrico	Especificação
Faixa de tensão de alimentação	4,5 V a 5,5 V
Faixa de corrente	0 a 50 A
Faixa de temperatura de trabalho	-40 °C a + 150 °C;
Sensibilidade	40 mV/A;
Tensão de saída	2 V

Fonte: Manual técnico do sensor de efeito Hall ACS754xCB-050 (2010).

Como outra opção, foi pesquisado o sensor de corrente elétrica não invasivo SCT013-100A. O dispositivo é baseado no transformador de corrente SCT013-000, que pode transformar sinais AC de grande corrente em sinais de pequena amplitude. A corrente máxima que pode ser detectada pode atingir 100 A, e o presente sinal de corrente também pode ser lido por uma entrada analógica do microcontrolador.

O componente tem a função de converter o sinal magnético gerado pela passagem da corrente elétrica do chuveiro em sinal elétrico compatível com a entrada A/D do microcontrolador. Na Figura 18 é apresentado o aspecto físico do sensor e a Figura 19 ilustra as dimensões do componente.



Figura 18: Encapsulamento do sensor de efeito Hall SCT013-100A.
Fonte: Manual técnico do sensor de efeito Hall SCT013-100A (2014).

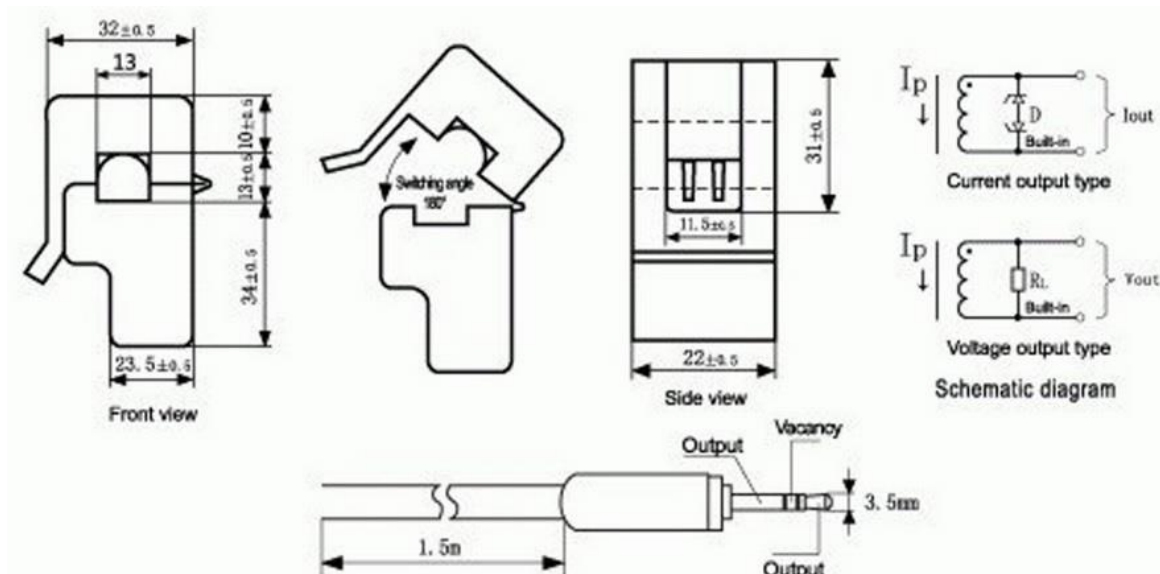


Figura 19: Dimensões do sensor de efeito Hall SCT013-100A.
Fonte: Manual técnico do sensor de efeito Hall SCT013-100A (2014).

Dessa forma, a segunda opção foi adotada neste trabalho, uma vez que é um sensor não invasivo, não necessita calibração e não é necessário o desenvolvimento de uma placa adaptadora complexa para a leitura do sinal de tensão proporcional à corrente.

Na Tabela 6 são apresentados os principais dados do sensor SCT013-100A.

Tabela 6 - Principais dados do sensor de corrente SCT013-100A.

Parâmetro	Descrição
Modelo	SCT 013-000
Material do núcleo	Ferrite
Corrente de entrada	0 A a 100 A
Tamanho de abertura	13 x 13 mm
Temperatura de trabalho	25 - 70° C
Dimensões	5,7 x 3,2 x 2,1 cm
Peso	63 g

Fonte: Manual técnico do sensor de efeito Hall SCT013-100A (2014).

3.4 DISPLAY LCD 16X2

Os módulos LCD (*Liquid Crystal Display*) são interfaces de saída muito úteis em sistemas microprocessados para a apresentação de mensagens para usuários. Estes módulos podem ser gráficos e a caractere.

Os módulos podem ser encontrados com LED *backlight* (iluminação de fundo), para facilitar as leituras durante a noite. Neste caso, a alimentação deste LED normalmente é feita pelos pinos 15 e 16 para os módulos comuns e 19 e 20 para os módulos gráficos. Estes módulos utilizam um controlador próprio, permitindo sua interligação com outras placas através de seus pinos, onde deve ser alimentado o módulo e interligado o barramento de dados e controle do módulo com a placa do usuário.

Neste TCC foi utilizado LCD 16x2 para depuração do sistema e para mostrar ao usuário informações referentes ao funcionamento do equipamento. A Figura 20 mostra o aspecto físico do *display* LCD 16x2 que foi utilizado neste trabalho.



Figura 20: Display LCD 16x2.
Fonte: Farnell (2015).

As características completas estão no Manual técnico do *Display* LCD disponível no site: <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/ADM1602K-NSW-FBS-3.3v.pdf> (FARNELL, 2015).

3.5 FÓRMULAS

Nesta seção são apresentadas as fórmulas utilizadas para calcular o consumo de energia elétrica do chuveiro e que deverão ser implementadas no PIC.

- Fórmulas da potência ativa P e potência ativa P_{kW} :

$$P = I \cdot V [W] \quad (1)$$

$$P_{kW} = \frac{I \cdot V}{1000} [kW] \quad (2)$$

onde I é corrente da carga e V é a tensão sobre a carga.

- Formula da energia E :

$$E = P \cdot \Delta t \quad (3)$$

onde Δt é a variação do tempo decorrido.

Como o preço da energia é cobrado em kWh e o equipamento mostrará o consumo a cada segundo, são feitas as seguinte transformações:

- Tempo:

$$\begin{aligned} 1h &\rightarrow 3600seg \\ \Delta t_{seg} &\rightarrow 1seg \end{aligned}$$

Logo,

$$\Delta t_{seg} = 2,7778 \cdot 10^{-2} h \quad (4)$$

- Energia em kWh:

$$E_{kW} = P_{kW} \cdot \Delta t_{seg} \quad (5)$$

$$E_{kWh} = \frac{I \cdot V}{1000} \cdot 2,7778 \cdot 10^{-2} \quad (6)$$

Concluindo que:

$$\begin{aligned} 1KWh &\rightarrow R\$ Energ \\ E_{kWh} &\rightarrow R\$ Total \end{aligned}$$

Onde:

- E_{kWh} é a Energia consumida em kWh;
- Δt_{seg} é a variação do tempo em segundos;
- $R\$ \text{ Energ}$ é o preço da energia em kWh em R\$;
- $R\$ \text{ Total}$ é o valor total da energia consumida em R\$.

3.6 DIAGRAMA EM BLOCOS DO EQUIPAMENTO

Os principais componentes do sistema proposto são representados no diagrama de blocos da Figura 21. Além do microcontrolador PIC, são apresentados os seguintes componentes e módulos: LEDs, LCD, módulos ZigBee de transmissão e recepção, sirene (*buzzer*), botões, sensores de corrente e tensão, e um computador para comunicação de dados.

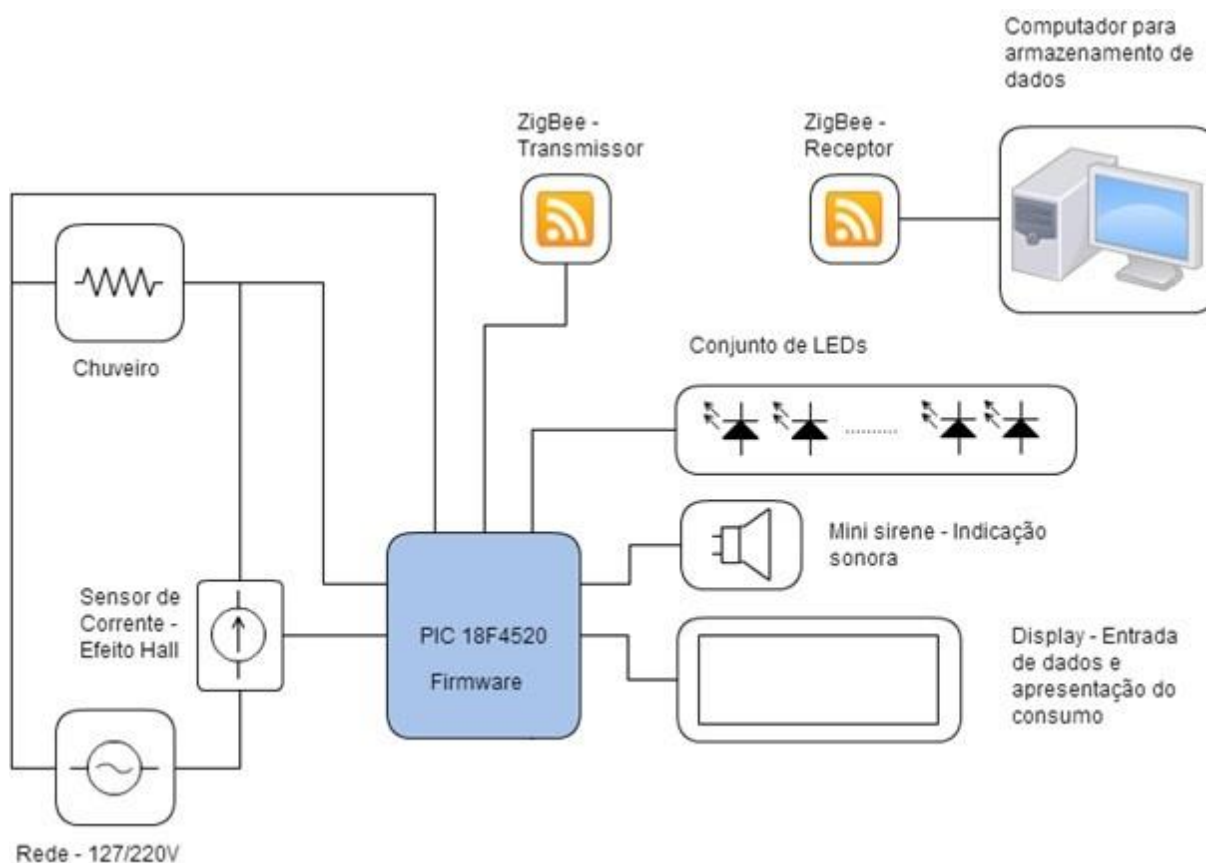


Figura 21: Diagrama em blocos do equipamento desenvolvido.
Fonte: Autoria própria.

3.7 DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO

Para executar essas funções para a aplicação, o equipamento é dotado das seguintes indicações sonora e visual:

- Uma micro-sirene que serve para alerta quando o tempo do banho ultrapassar o tempo de 5 minutos;
- 1 *display* LCD com a indicação do tempo do banho e consumo;
- 1LED vermelho (LED piloto);
- 5 LEDs divididos em: 1 conjunto de três LEDs verdes, um amarelo e um vermelho, para indicação do tempo transcorrido.

Durante este trabalho foram definidos os três modos de operação para o equipamento:

- Parado: Chuveiro desligado, LED piloto pulsa a cada dois segundos;
- Computando: Chuveiro ligado, LED piloto acesso, computando o tempo e o consumo de energia;
- Em espera: Chuveiro desligado a menos de dois minutos, LED piloto pisca a uma frequência de meio Hz.

3.7.1 Funcionamento do protótipo

O equipamento deve ser instalado próximo ao chuveiro para visualização do usuário e ser conectado à rede elétrica que alimenta o aparelho.

O funcionamento ocorre da seguinte forma: o equipamento fica monitorando a tensão e a corrente elétrica (modo Parado). Quando o chuveiro é ligado, a corrente elétrica começa a circular pelo circuito, sendo convertida em tensão pelo sensor de efeito Hall não evasivo, instalado em um dos condutores elétricos que alimenta o chuveiro. Após a conversão do sinal analógico em digital o microcontrolador começa a computar o tempo e o consumo de energia elétrica do chuveiro (modo Computando). O tempo e o consumo se baseiam na frequência de 60 Hz da rede elétrica. Em cada ciclo de 60 Hz são feitas oitenta amostragens da senoide – 80 de tensão e 80 de corrente intercaladas –, sendo que após a octogésima amostragem são feitos os cálculos para determinar o consumo de energia elétrica para cada período ($P=V.I$). Os valores determinados em cada período são então acumulados

em uma variável do código. O tempo é contabilizado a cada sessenta ciclos, o que equivale a um segundo, também sendo acumulado em outra variável.

No início do processo de monitoramento, o LED piloto é aceso e a cada minuto com o chuveiro ligado LEDs vão sendo acessos em sequência para a indicação do tempo transcorrido. Para os três primeiros minutos, são acesos os LEDs verdes; para o quarto minuto um LED amarelo é aceso e para o quinto minuto um LED vermelho é aceso. Após o quarto LED ser aceso (amarelo), um aviso sonoro com *beep* longo atua, indicando que falta um minuto para o término do banho. Após o quinto LED ser aceso (vermelho), uma sequência contínua de apitos curtos se inicia, indicando ao usuário o fim do banho.

Após o chuveiro ser desligado (modo Espera), o equipamento indica no *display* o tempo e o consumo de energia elétrica em reais (R\$), até aquele momento. Caso o chuveiro torne a ser ligado antes de dois minutos, o tempo e o consumo continuarão a ser computados. Caso contrário, o equipamento finaliza o processo, indicando no *display* e enviando o total do tempo transcorrido e o consumo total em reais daquele banho para um computador através dos módulos Zigbee. Neste modo, não são feitas amostragens de tensão e corrente, e o tempo também não é acumulado. O LED piloto fica piscando e a campanha fica desligada.

4. RESULTADOS

Neste item serão apresentados as simulações realizadas durante o desenvolvimento do protótipo do sistema microcontrolado e os resultados dos experimentos práticos realizados durante construção dos circuitos propostos. Também serão apresentados os principais problemas encontrados.

4.1 PROBLEMA COM RETIFICAÇÃO DOS SINAIS

Para a medida de tensão foi inicialmente utilizado um transformador abaixador com relação 10:1. Já para a medida de tensão, o sensor de corrente é o responsável pela conversão da corrente em tensão, com apenas a necessidade de um resistor de 150 Ω em paralelo.

Inicialmente para a aquisição das amostras das ondas de tensão e corrente foi utilizado um retificador de onda completa no circuito para condicionamento dos sinais. Porém, após a inserção do retificador, foi verificado que a queda de tensão, de aproximadamente 0,7 V, no diodo iria acarretar em uma leitura incorreta das amostras. Tal problema pode ser observado na simulação do circuito apresentado na Figura 22 através do *software* Proteus, onde são mostradas as formas de onda antes (onda em amarelo) e após (onda em azul) a retificação.

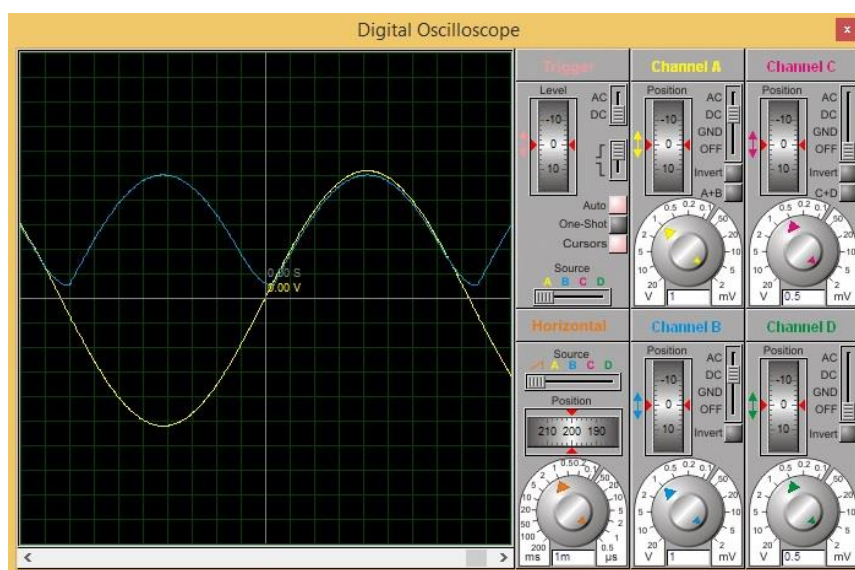


Figura 22: Forma de onda completa do retificador simples.
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 22 é notável na onda em azul retificada o problema de tensão próximo à passagem por zero. Para resolver este problema, foi pesquisado na literatura um circuito retificador para evitar o efeito indesejável da queda de tensão direto sobre o diodo, resultando no circuito retificador de precisão de onda completa. E com a constatação da existência de muitos modelos de chuveiros eletrônicos no mercado, chuveiros estes que controlam a temperatura da água através do ângulo de disparo de um TRIAC e não através da chave inverno/verão, não é possível realizar as leituras das formas de ondas em relação as suas amplitudes, e sim através da integração das áreas das senoides da tensão e da corrente.

4.2 RETIFICADOR DE PRECISÃO

O retificador de precisão de onda completa é o mais adequado na maioria das aplicações de retificação. O princípio de funcionamento desse retificador é somar ao sinal retificado em meia onda o sinal de entrada invertido (MENEZES, 2014). Na Figura 23 é apresentado o circuito utilizado no protótipo para a retificação da onda a ser utilizada nas medições a serem feitas.

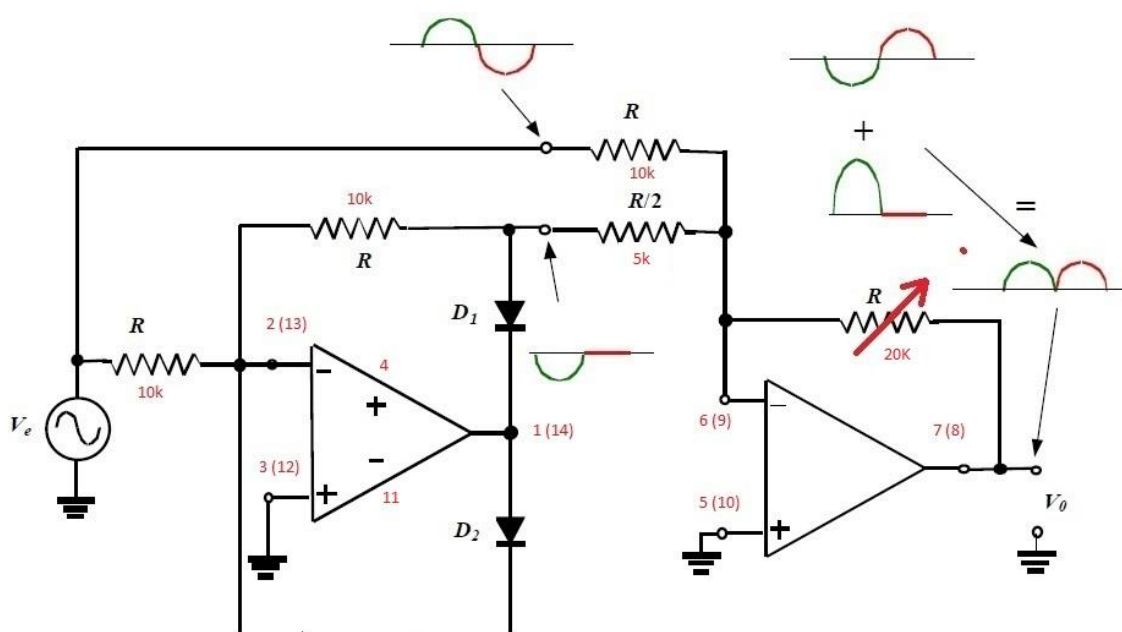


Figura 23: Retificador de precisão de onda completa.
Fonte: Menezes (2014).

Com a inserção desse retificador de precisão foi obtido o resultado de onda procurado. A Figura 24 mostra a simulação da onda obtida no protótipo com a leitura do microcontrolador, já com o retificador de precisão.

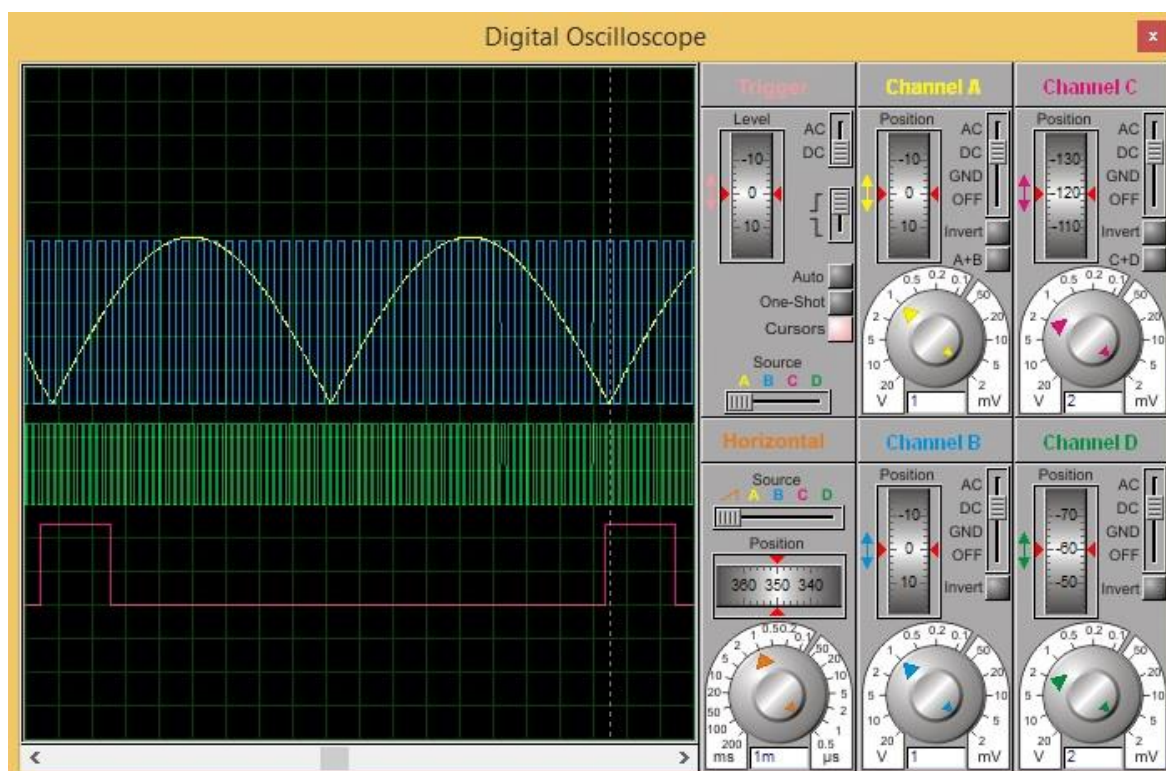


Figura 24: Em amarelo representa a senoide da tensão ou corrente, em azul as 80 interrupções do PIC, em verde as 80 leituras AD da tensão e corrente, em vermelho o tempo dos cálculos da potência.

Fonte: Autoria própria.

Durante do desenvolvimento do *firmware* do microcontrolador, foi utilizado o módulo TIMER2 de 16 *bits* do microcontrolador para leitura das amostras de tensão e corrente, que também atua como base de tempo do sistema. Considerando o cristal de 24 MHz, através de simulações e estudos experimentais, foi definido o número de 80 interrupções do temporizador do microcontrolador para leitura das amostras de tensão da onda senoidal e corrente, totalizando 80 amostras intercaladas por período de 16,67 ms. Dessa forma, o tempo entre as interrupções foi configurado para 208,33 μ s.

Para a depuração do *firmware* foram utilizados alguns pinos para indicar as funcionalidades do PIC. Dessa forma, na Figura 24 o sinal em amarelo representa a senoide da tensão ou corrente, em azul representa um pino cujo nível lógico é

invertido a cada entrada de interrupção, em verde indica as amostragens AD da tensão e leitura. Já o sinal vermelho representa outro pino do PIC que indica o tempo que o microcontrolador demora para fazer os cálculos de potência por ciclo.

Na Figura 25 é apresentada a ampliação da Figura 24 para uma melhor visualização do processo.

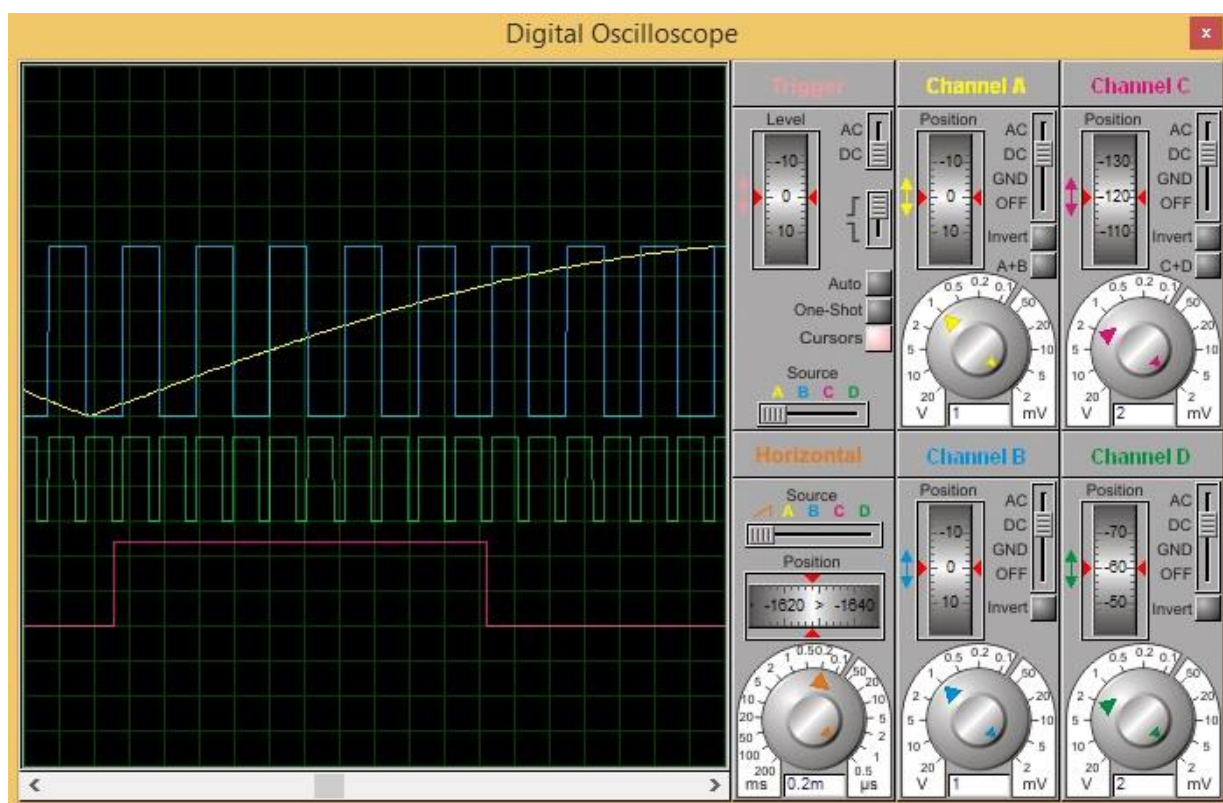


Figura 25: Forma de onda retificada com precisão ampliada.
Fonte: Autoria própria.

Como o microcontrolador é alimentado com 5 V, foi necessário o condicionamento do sinal da rede elétrica para evitar que os CIs fossem danificados por sobretensão. Assim, foi utilizado um divisor resistivo na entrada dos circuitos retificadores.

Após as simulações teóricas foram testados e analisados os circuitos retificadores das amostras de tensão e corrente de forma prática através de um osciloscópio digital. As formas de ondas na entrada e saída dos circuitos retificadores de tensão e corrente são apresentados nas Figura 26 e Figura 27, respectivamente. A partir das figuras, nota-se o perfeito resultado na retificação das

ondas condicionadas de corrente e tensão. O canal 1 (CH1) das figuras indica os sinais retificados e o canal 2 (CH2) os sinais originais.

Durante os testes foi utilizado o circuito de um aquecedor, sendo que a energia entregue à carga de potência foi controlada por um TRIAC.

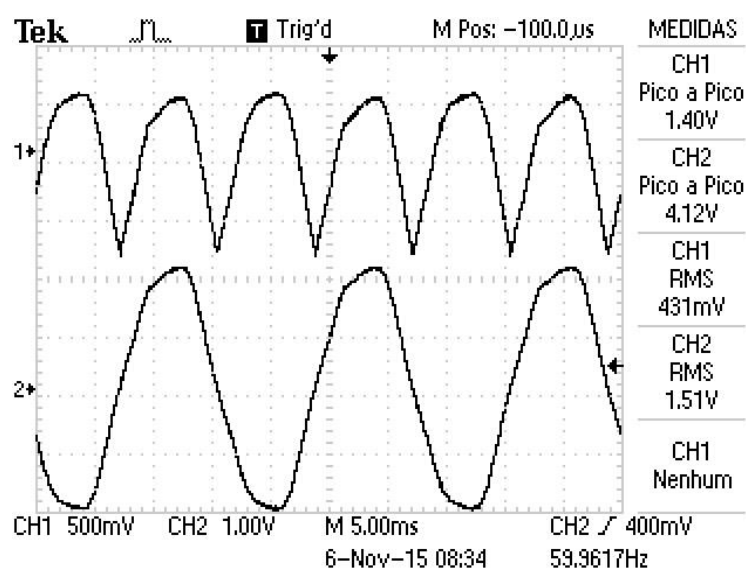


Figura 26: Forma de onda da tensão no osciloscópio, a imagem inferior representa a forma de onda não retificada e a superior representa a forma de onda retificada com precisão.
Fonte: Autoria própria.

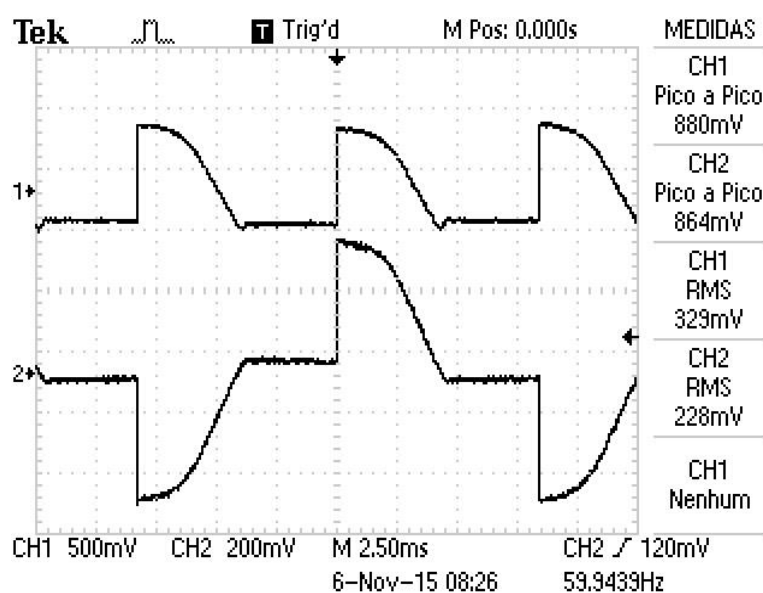


Figura 27: Forma de onda da corrente no osciloscópio, a imagem inferior representa a forma de onda não retificada e a superior representa a forma de onda retificada com precisão.
Fonte: Autoria própria.

4.3 CIRCUITO ESQUEMÁTICO DO SISTEMA MICROCONTROLADO

O circuito do protótipo proposto foi simulado no *software* Proteus ISIS para facilitar a construção e teste do mesmo. A partir disso, foi possível obter resultados importantes e também descobrir problemas antes mesmo de iniciar a construção do equipamento.

A Figura 28 e Figura 29 mostram o circuito esquemático do equipamento. A Figura 28 apresenta o circuito da fonte de alimentação, formada por um transformador abaixador com *center tap*, ponte retificadora com capacitor de saída para conversão de sinal CA em CC, que opera como fonte simétrica de +6 V e -6 V, para alimentação dos CIs amplificadores operacionais do retificador de precisão, e o regulador de tensão de +5 V, para alimentar o restante do circuito.

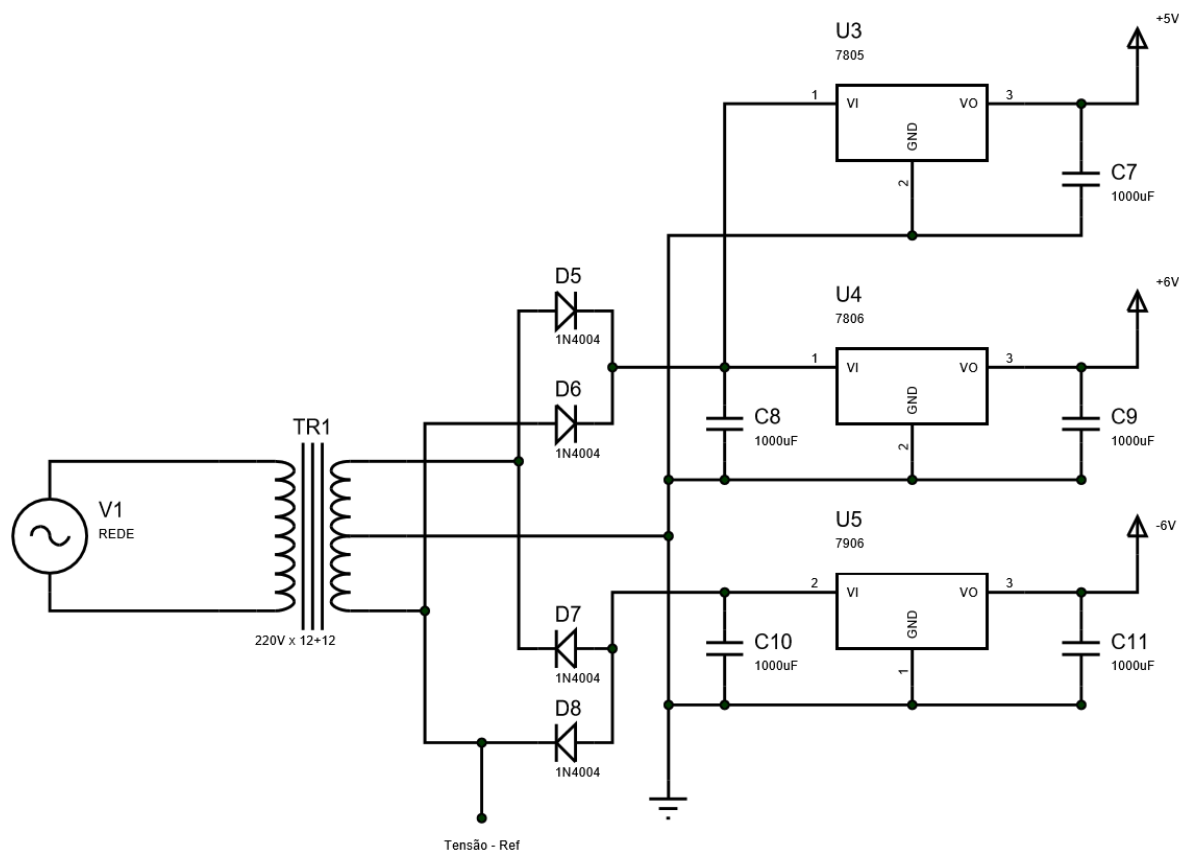


Figura 28: Circuito da fonte de alimentação.
Fonte: Autoria Própria.

A Figura 29 mostra o circuito principal, contendo os dois retificadores de precisão, onde estes são conectados através dos pinos 2 e 3 do microcontrolador, que, por sua vez, faz as aquisições e processamento das medidas de corrente e tensão da rede elétrica. Também é válido lembrar que o microcontrolador ao mesmo

tempo irá contar o tempo do banho e indicar nos LEDs o passar dos minutos. Outro ponto importante é a questão das chaves CH1 e CH2, onde CH1 é responsável pelo *reset* do processador (*Master Clear*) e CH2 seleciona o *firmware* de depuração, sendo este indisponível ao usuário.

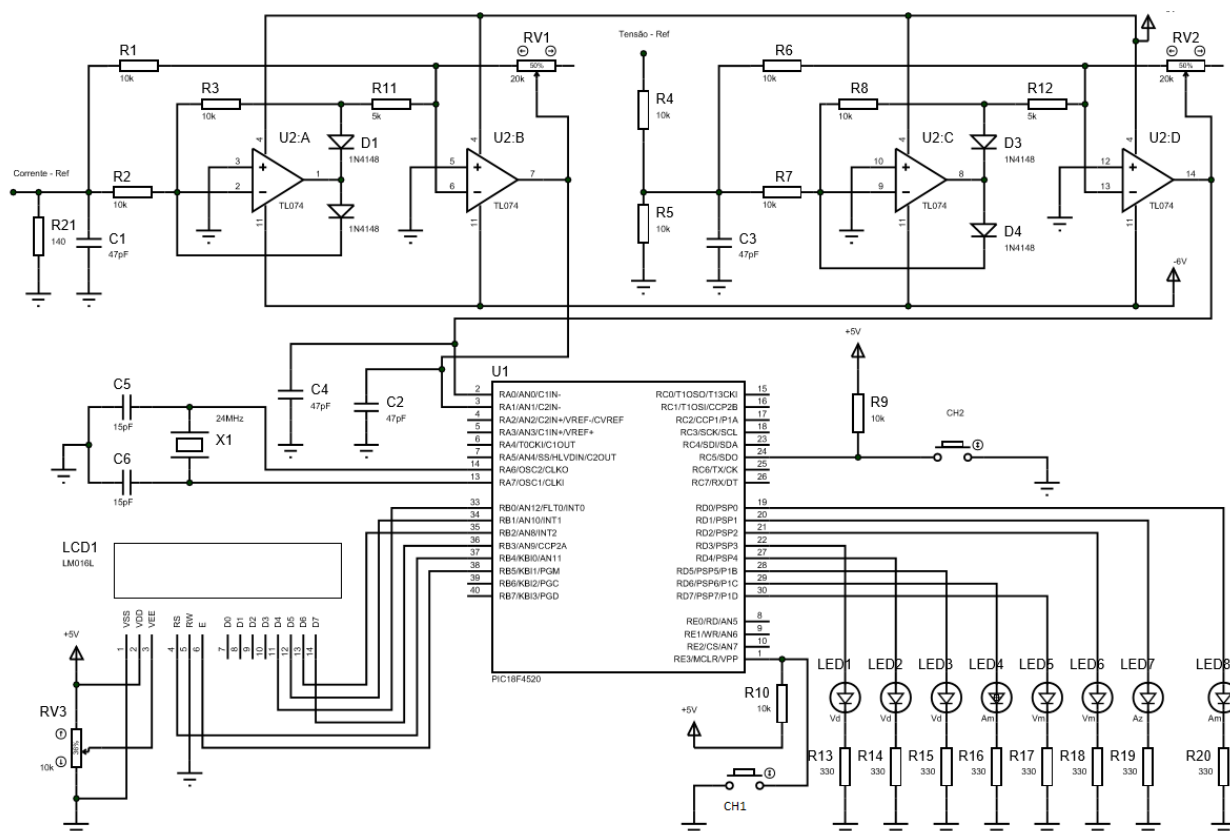


Figura 29: Circuito Principal do equipamento com retificador de precisão
Fonte: Autoria Própria.

Todos os componentes utilizados no circuito do equipamento estão apresentados no Apêndice A deste trabalho.

4.4 DESENVOLVIMENTO DO CIRCUITO PROTÓTIPO

Após as análises feitas com o *software* Proteus, foi desenvolvido o equipamento na protótipo. Primeiramente, o circuito foi montado em um *protoboard* para que fossem realizados os devidos testes até que o circuito estivesse funcionando perfeitamente. A Figura 30 mostra o circuito do equipamento com a

indicação dos principais componentes do protótipo: transformador, PIC, LCD 16x2, sirene, retificadores de precisão, sensor de efeito Hall, potenciômetro de ajuste de temperatura e circuito simulador do chuveiro elétrico.

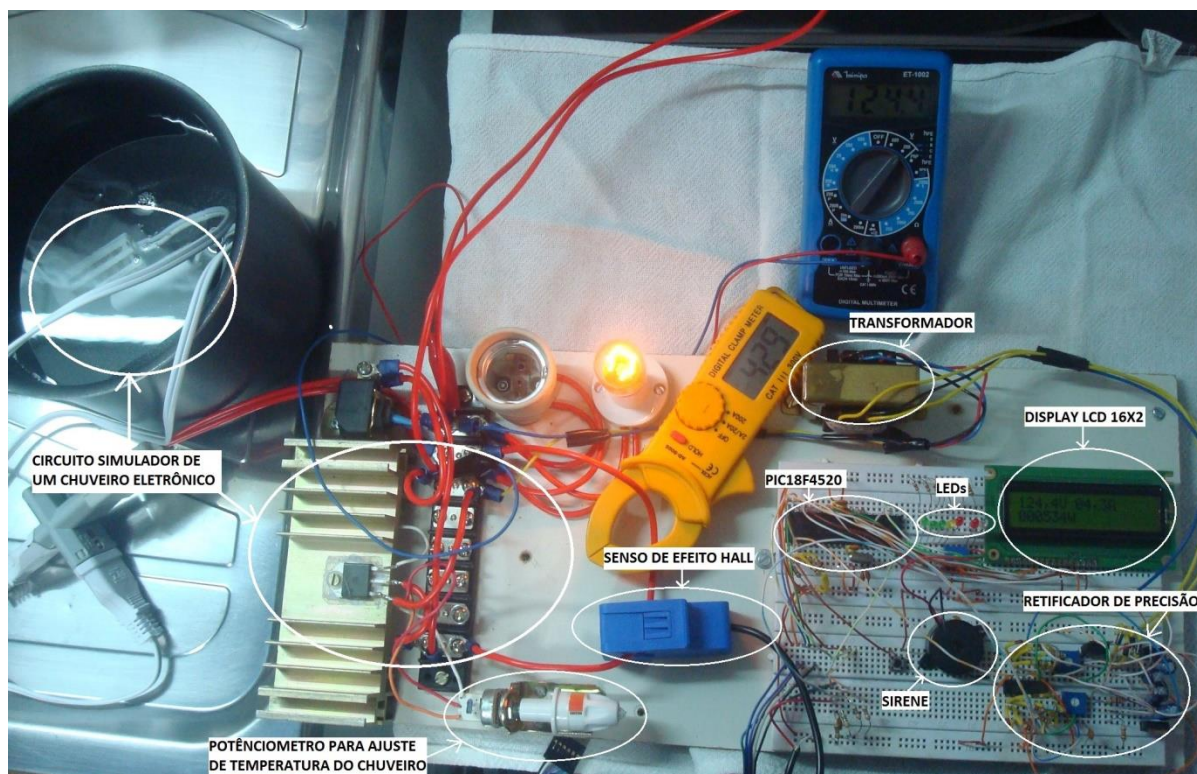


Figura 30: Circuito do protótipo para realizações dos testes.
Fonte: Autoria própria.

Para a realização dos testes no equipamento foi adaptado o circuito de um chuveiro eletrônico marca TermoSystem (110 V x 5500 W) e utilizado seu tiristor, conectado ao dissipador de calor, e também seu potenciômetro para controlar a resistência do chuveiro e, conseqüentemente, sua temperatura, como indicado na Figura 30. Isso foi feito para que os testes experimentais fossem realizadas com uma maior facilidade.

Também é válido citar que inicialmente foi usada a resistência de um aquecedor menor para facilitar ainda mais os testes, sem a necessidade da avaliação em um chuveiro já instalado em um ambiente residencial.

Nota-se na Figura 30 que os valores medidos pelo alicate amperímetro CAT (4,29 A) e pelo multímetro Minipa (124,4V), são comparados com os valores apresentados na tela do *display* LCD, com valores iguais a 4,3 A e 124,4 V, respectivamente. Ou seja, nota-se um desvio mínimo, comprovando assim o bom funcionamento do equipamento.

4.4.1 Circuito impresso

Para a elaboração das placas em circuito impresso (Figura 31 e Figura 32) foi utilizado o programa ExpressPCB Versão 7.2. A Figura 31 mostra a placa do circuito impresso principal, ou seja, com os principais componentes: microcontrolador, retificadores de precisão e fonte de alimentação.

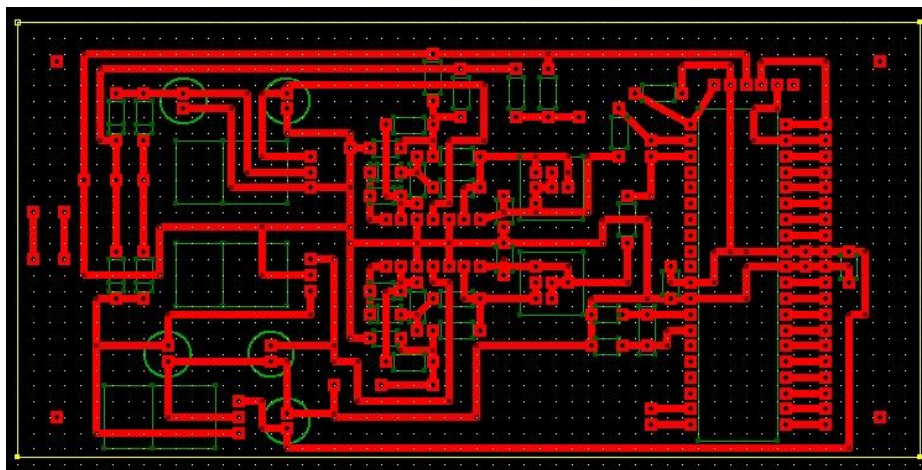


Figura 31: Placa do circuito impresso principal.
Fonte: Autoria própria.

A Figura 32 mostra a placa do circuito impresso com os componentes de saída, ou seja, que transmitirão as informações ao usuário do equipamento, incluindo: LEDs, *display* LCD 16x2, a sirene e a placa XBee.

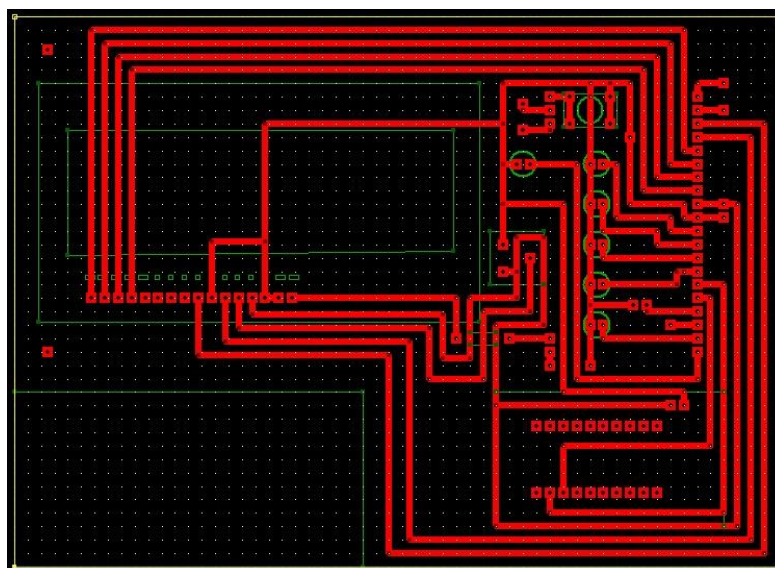


Figura 32: Placa do circuito impresso dos componentes LCD, LEDs e ZIGBEE
Fonte: Autoria própria.

4.4.2 Circuito final do equipamento sem os módulos ZigBee

Após todas as simulações, testes no circuito no *protoboard* e projeto do circuito impresso, as placas do equipamento foram montadas e finalizadas. Na Figura 33 é apresentada a placa principal do equipamento finalizado e na Figura 34 o circuito que contém os componentes de saída.

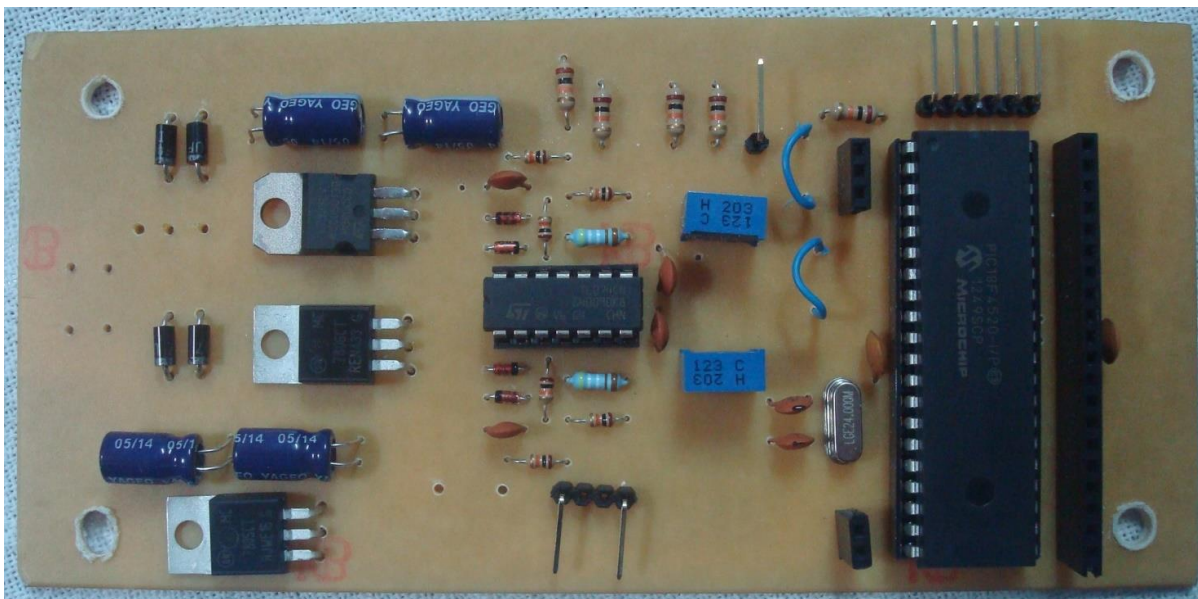


Figura 33: Placa principal do equipamento.
Fonte: Autoria própria.

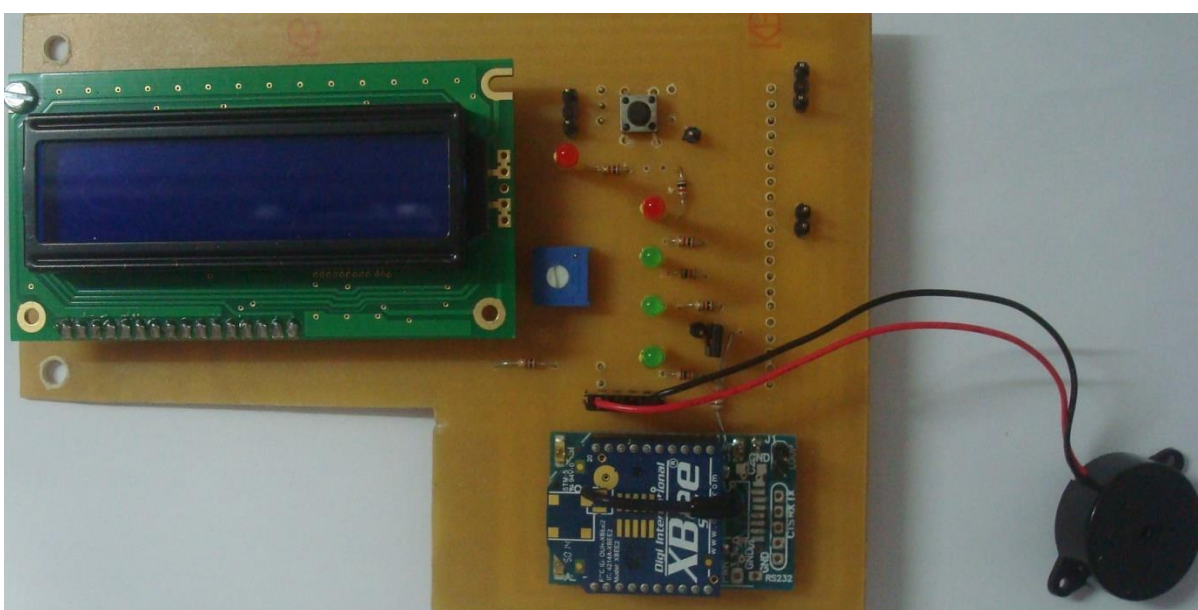


Figura 34: Placa dos LEDs, *display*, sirene e módulo XBee para comunicação via ZigBee.
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 35 é apresentado o equipamento em funcionamento com indicação da leitura de tensão de 125 V no multímetro Minipa e de 3,57 A no alicate amperímetro CAT. Aqui, as medidas coincidem com a leitura do equipamento com um desvio muito pequeno, como mostrado no *display*: tensão igual a 125 V e corrente igual a 3,6 A.

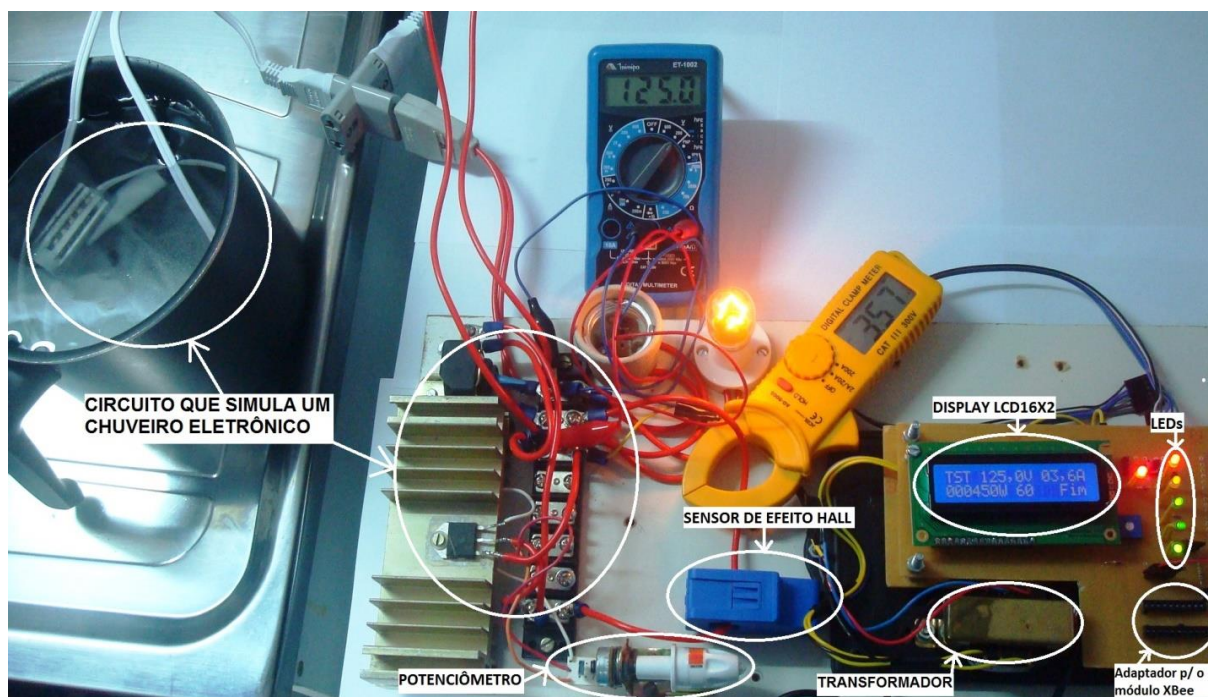


Figura 35: Equipamento finalizado em funcionamento sem o ZigBee.
Fonte: Autoria própria.

Através do circuito da Figura 35 foram feitas várias medições para a elaboração das tabelas apresentadas a seguir, a fim de comprovar o desempenho do equipamento.

O primeiro teste foi feito no próprio do circuito da Figura 35, simulando um chuveiro eletrônico – TermoSystem 110V x 5500W –, porém com duas resistências em paralelo para aquecimento de água em garrafa térmica. A resistência de carga foi ajustada para a potência de 110 V x 250 W ou 220 V x 500 W com valores indicados na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores medidos através do chuveiro de resistência genérica de 110 V x 250 W ou 220 V x 500 W.

Multímetro		Equipamento		Desvio de Tensão %	Desvio de Corrente %
Tensão [V]	Corrente [A]	Tensão [V]	Corrente [A]		
126	3,23	126	3	0,00	7,12
223	4,05	222	4	0,45	1,23

Fonte: Autoria própria.

Através da Tabela 7, nota-se um desvio nas medidas relativamente alto, em parte pela medida em baixa corrente, visto que o sensor é para até 100 A e em parte porque o equipamento mede apenas números inteiros. O equipamento foi calibrado para correntes de 20 até 40 A, devido ao fato de que na prática o equipamento será instalado em chuveiros elétricos cuja corrente mínima fica em torno de 20 A.

A Tabela 8 indica os valores medidos pelo protótipo e pelos multímetros na torneira elétrica Lorenzetti Versátil (127 V x 4500 W):

Tabela 8 - Medidas na torneira elétrica Lorenzetti Versátil (127 V x 4500 W).

	Multímetro		Equipamento		Desvio de Tensão %	Desvio de Corrente %
	Tensão [V]	Corrente [A]	Tensão [V]	Corrente [A]		
Chave na posição Verão	123	21,70	123	21	0,00	3,23
Chave na posição Inverno	121	33,40	122	33	0,83	1,20

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 9 indica as medidas feitas no chuveiro eletrônico Hydra Star Turbo (127 V x 5500 W), com o modo turbo desligado.

Tabela 9 - Medidas no chuveiro Hydra Star Eletrônico Turbo (127 V x 5500 W).

Multímetro		Equipamento		Desvio de Tensão %	Desvio de Corrente %
Tensão [V]	Corrente [A]	Tensão [V]	Corrente [A]		
118	20,00	118	20	0,00	0,00
116	30,00	117	29	0,86	3,33
114	38,30	114	38	0,00	0,78

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 9 indica as medidas feitas no chuveiro eletrônico TermoSystem (220 V x 5500 W).

Tabela 10 - Medidas no chuveiro TermoSystem Eletrônico (220 V x 5500 W).

Multímetro		Equipamento		Desvio de Tensão %	Desvio de Corrente %
Tensão [V]	Corrente [A]	Tensão [V]	Corrente [A]		
215	19,59	214	19	0,47	3,01
211	30,5	212	30	0,47	1,64

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 9 indica as medidas feitas no aquecedor elétrico comum de passagem, Lorenzetti Versátil (220V x 6000W)

Tabela 11 - Medidas no aquecedor elétrico comum de passagem Lorenzetti Versátil (220 V x 6000 W)

	Multímetro		Equipamento		Desvio de Tensão %	Desvio de Corrente %
	Tensão [V]	Corrente [A]	Tensão [V]	Corrente [A]		
Chave na posição Verão	220	13,18	219	13	0,45	1,37
Chave na posição Inverno	215	25,7	214	25	0,47	2,72

Fonte: Autoria própria.

Nota-se boa precisão nas leituras de tensão e de corrente, tanto em chuveiros comuns como eletrônicos e em 127 V ou 220 V, nos casos de correntes acima de 20 A, que é a corrente mínima para os chuveiros.

4.4.3 Simulação para implementação do ZigBee

Antes da implementação do ZigBee no equipamento, foi realizada uma série de simulações no Proteus ISIS. Primeiro foi desenvolvido o *firmware* para comunicação entre o microcontrolador e o XBee através de um terminal externo.

A configuração dos módulos XBee foi relativamente simples, havendo apenas a necessidade de configurar um módulo como *Coordinator API* e o outro como *End Device API*, como mostrado nas Figuras 36 e 37.

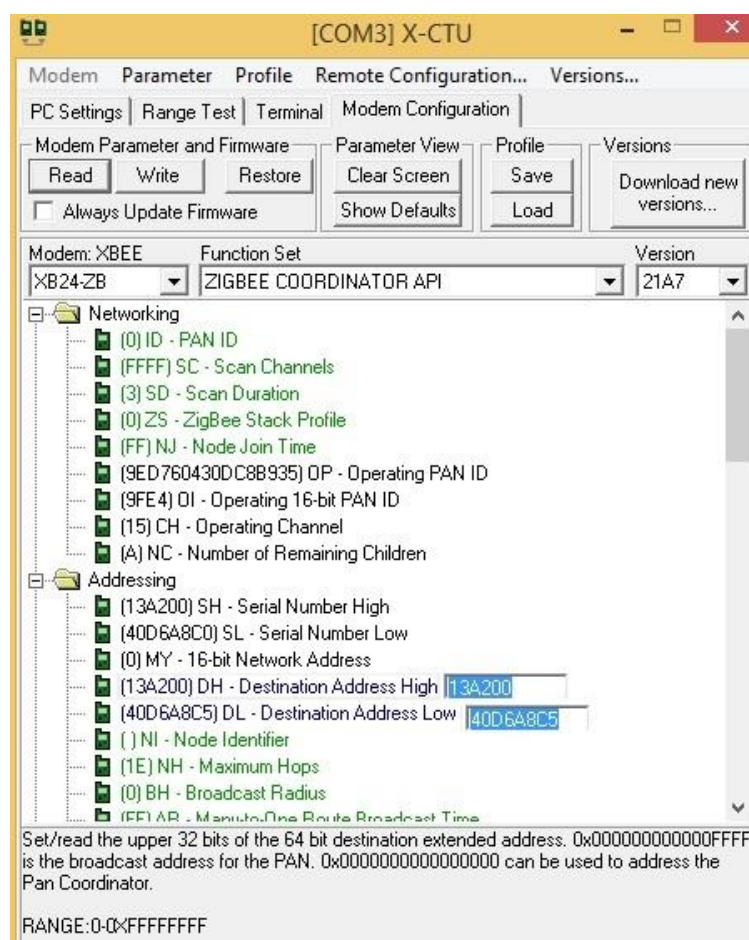


Figura 36: Configuração do módulo XBee como *Coordinator API*.
Fonte: Autoria própria.

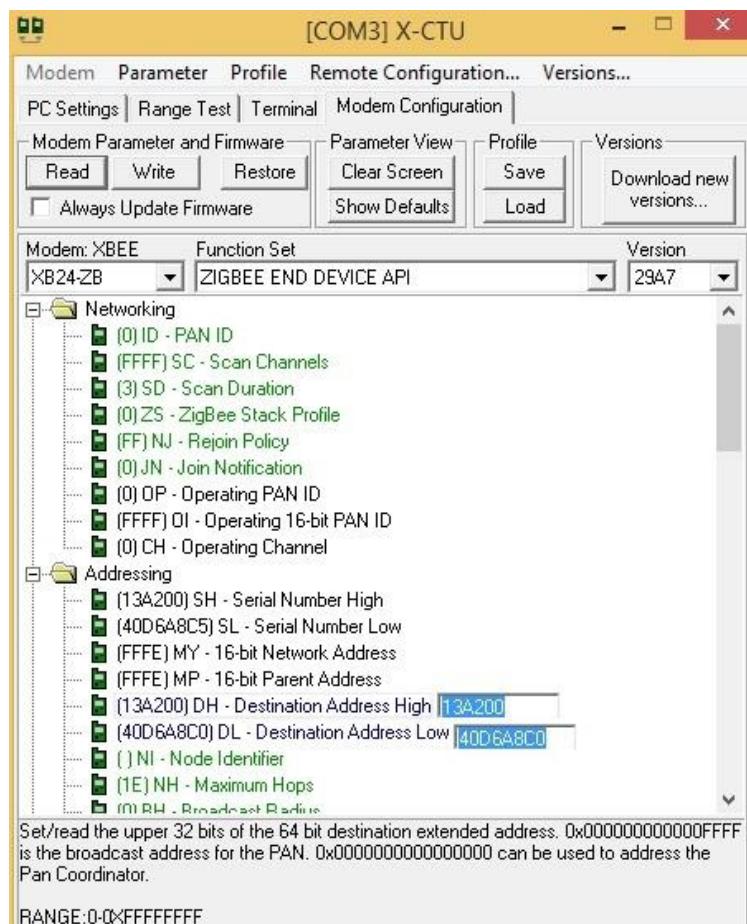


Figura 37: Configuração do módulo XBee como *End Device API*.
Fonte: Autoria própria.

A ideia principal foi de poder atualizar o preço do kWh sempre que o usuário quiser, pois assim se houver alguma alteração de tarifa o próprio pode atualizar o valor através do PC. A Figura 38 ilustra esse processo de atualização do kWh pelo terminal virtual.

Após esse ajuste, foi feita uma simulação completa de consumo, para que fosse comprovado o funcionamento correto do circuito com o terminal virtual. A Figura 39 e a Figura 40 ilustram o início da simulação, primeiramente com a leitura de tensão e corrente e depois o processo de computar o consumo em kWh, respectivamente. Finalmente o resultado final da simulação, após 39 segundos, é apresentado na Figura 41.

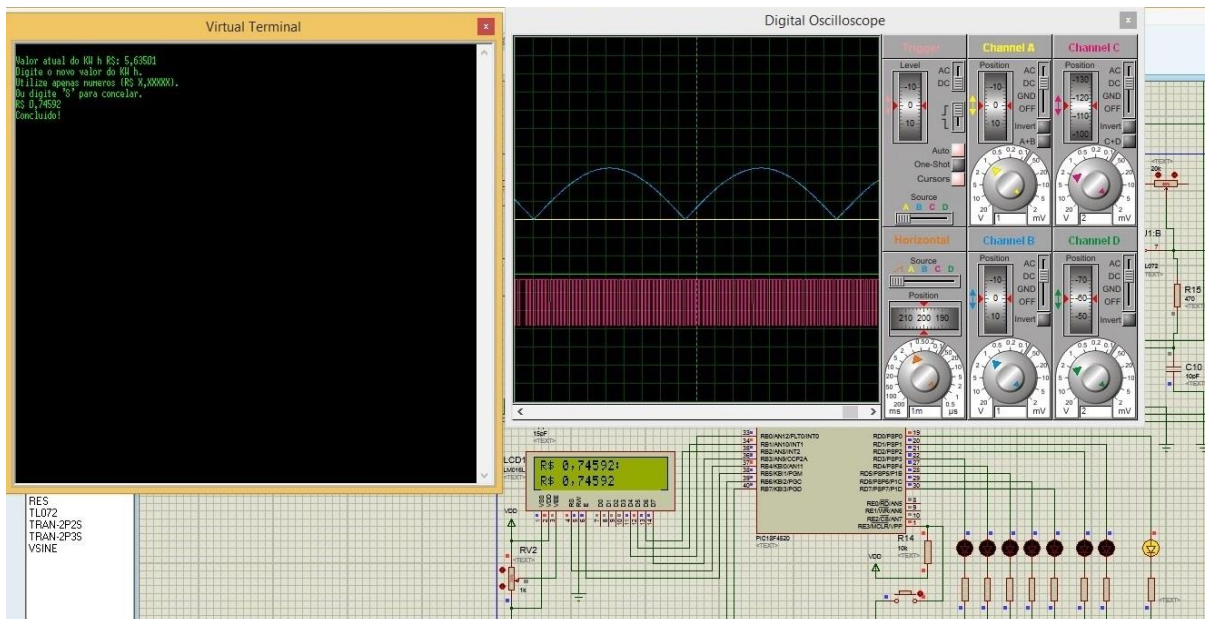


Figura 38: Simulação de atualização pelo terminal virtual do kWh no Proteus.
 Fonte: Autoria própria.

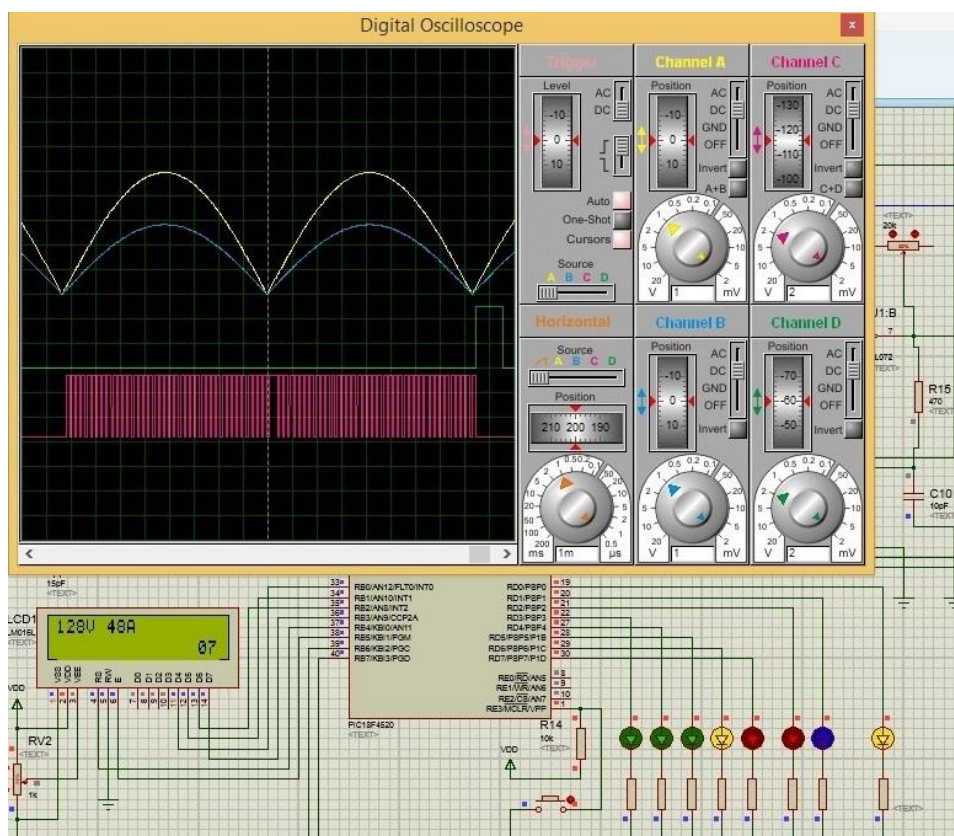


Figura 39: Simulação da leitura de tensão e corrente.
 Fonte: Autoria própria.

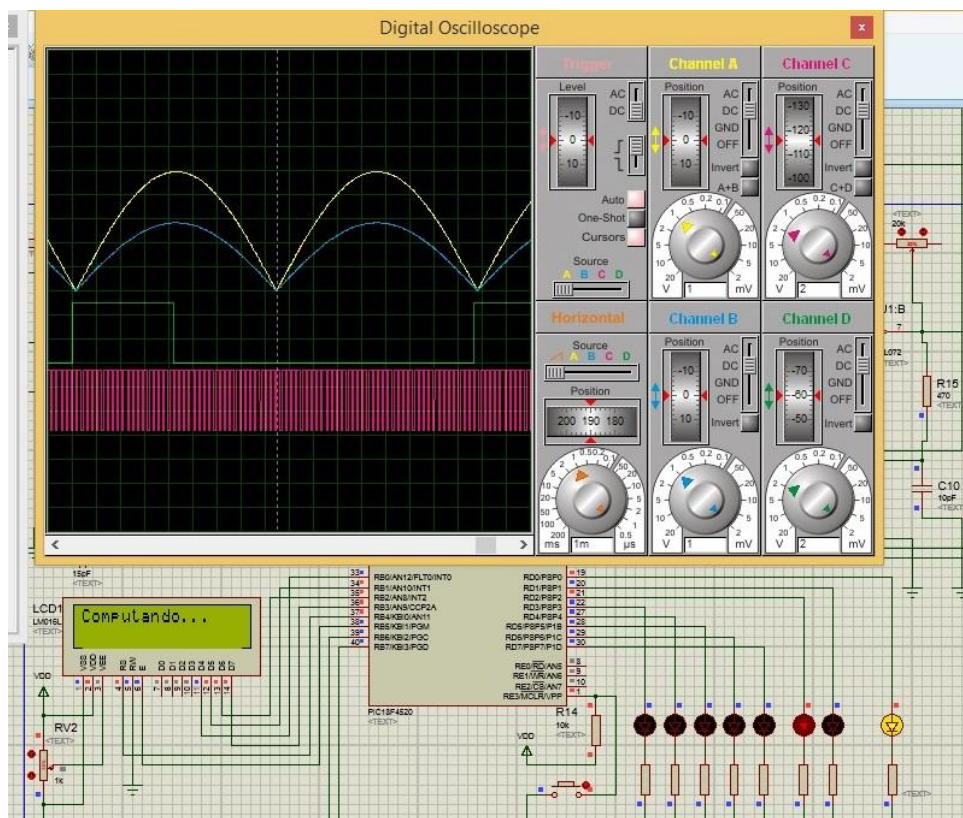


Figura 40: Simulação computando tempo e consumo.
Fonte: Autoria própria.

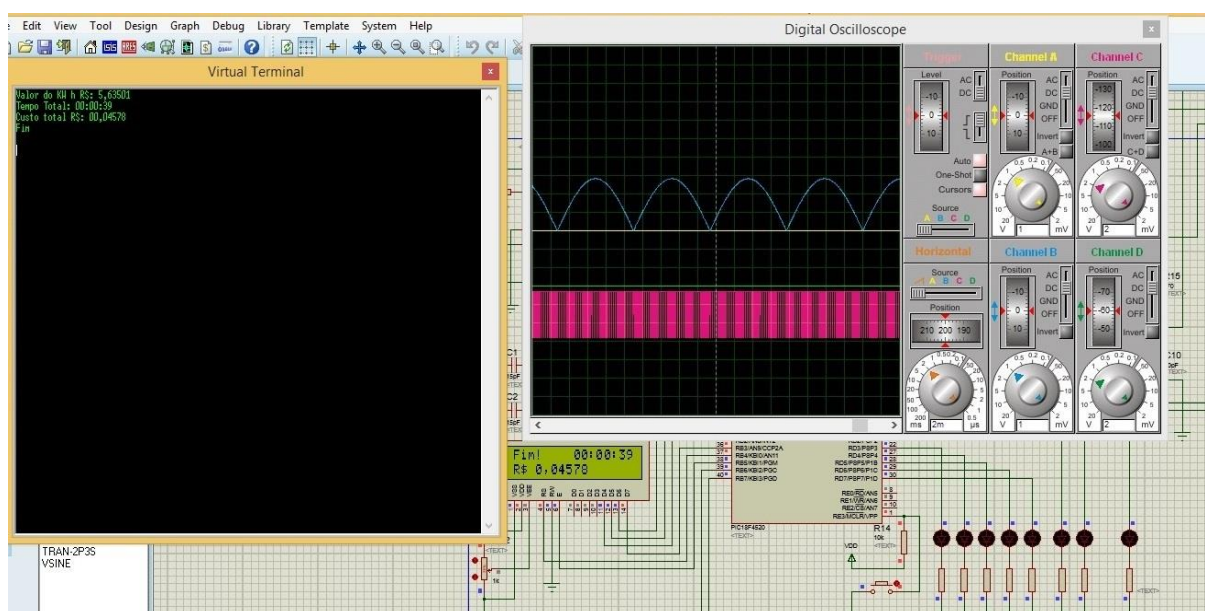


Figura 41: Resultado final da simulação mostrado no terminal virtual.
Fonte: Autoria própria.

A partir dessa simulação, foi feita a implementação dos módulos ZigBee, onde o terminal de entrada de dados é um PC.

4.4.4 Equipamento final em funcionamento com os módulos ZigBee

Após os testes iniciais, foi feita a inclusão dos módulos ZigBee para que os dados do equipamento fossem enviados para um PC ou central de automação. Para a conexão do equipamento com os módulos XBee foi utilizado o programa X-CTU.

O X-CTU é um programa livre para aplicações multi-plataforma, projetado para permitir aos desenvolvedores interagirem com os módulos Digi RF (rádio-frequência) através de uma interface gráfica simples de usar. Ele inclui ferramentas que tornam fácil configurar e testar os módulos de RF XBee.

A Figura 42 mostra o equipamento funcionando, já com o módulo de transmissão ZigBee XBee. No *display* são indicados os valores de tensão e corrente e também o valor do kWh, inserido através do PC via o programa X-CTU.

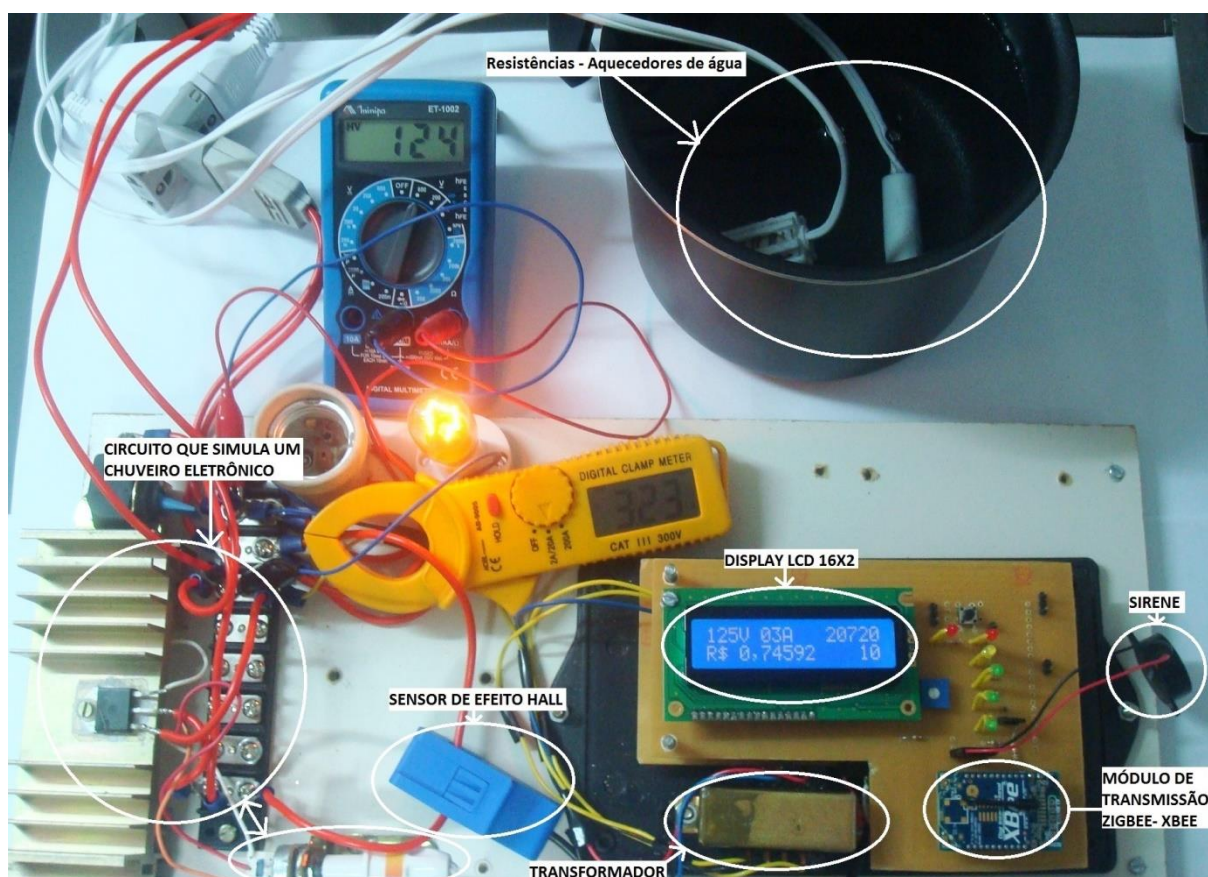


Figura 42: Equipamento finalizado em funcionamento com o ZigBee.
Fonte: Autoria própria.

A Figura 43 mostra o valor do kWh sendo inserido no programa X-CTU que é utilizado para o cálculo do custo do banho.

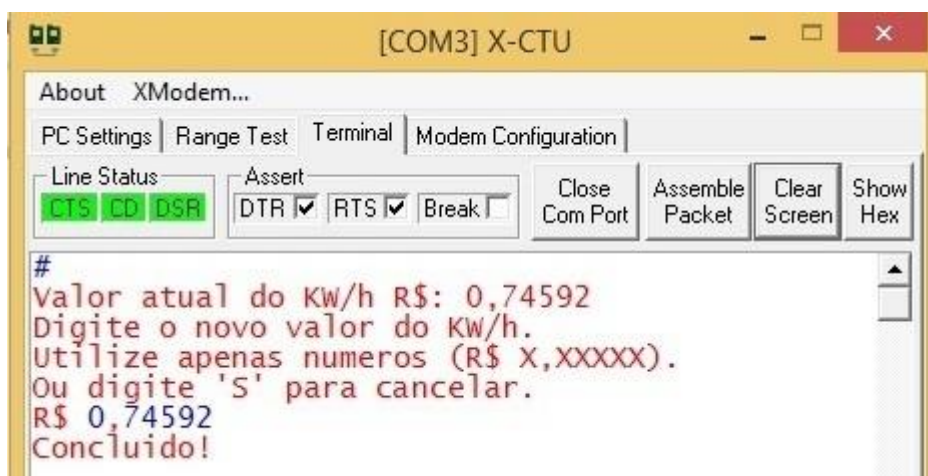


Figura 43: Programa X-CTU com o valor kWh sendo atualizado.
Fonte: Autoria própria.

O valor do kWh inserido pelo X-CTU de R\$ 0,74592 aparece no *display* LCD, como mostrado na Figura 42. Para a verificação do correto funcionamento do programa e para que não haja problemas de erros de digitação ou tentativas de "enganar" o *firmware*, são verificados se todos os caracteres equivalem a números, como exemplificado na Figura 44.

Após a inserção do valor do kWh, foi feito um teste em bancada com um aquecedor simples de resistência genérica de 127 V x 250 W. Para uma melhor visualização do teste realizado são mostradas a sequência de Figuras do processo de teste.

A Figura 45 ilustra o início do funcionamento do equipamento que começa a computar o tempo e o consumo. Cabe citar que o usuário não vê isto acontecendo, só aparecendo "Computando" no *display*.

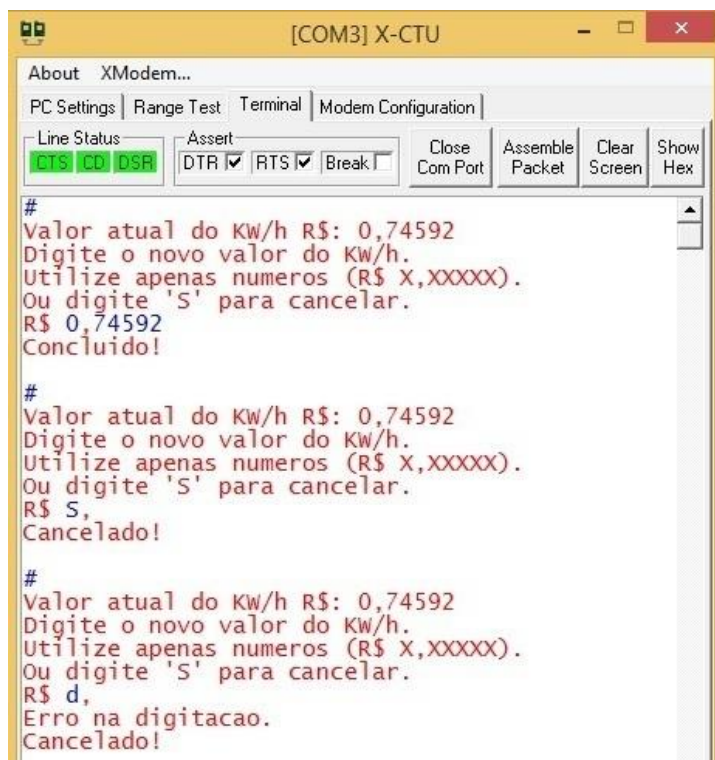


Figura 44: Firmware sendo testado no Programa X-CTU.
Fonte: Autoria própria.

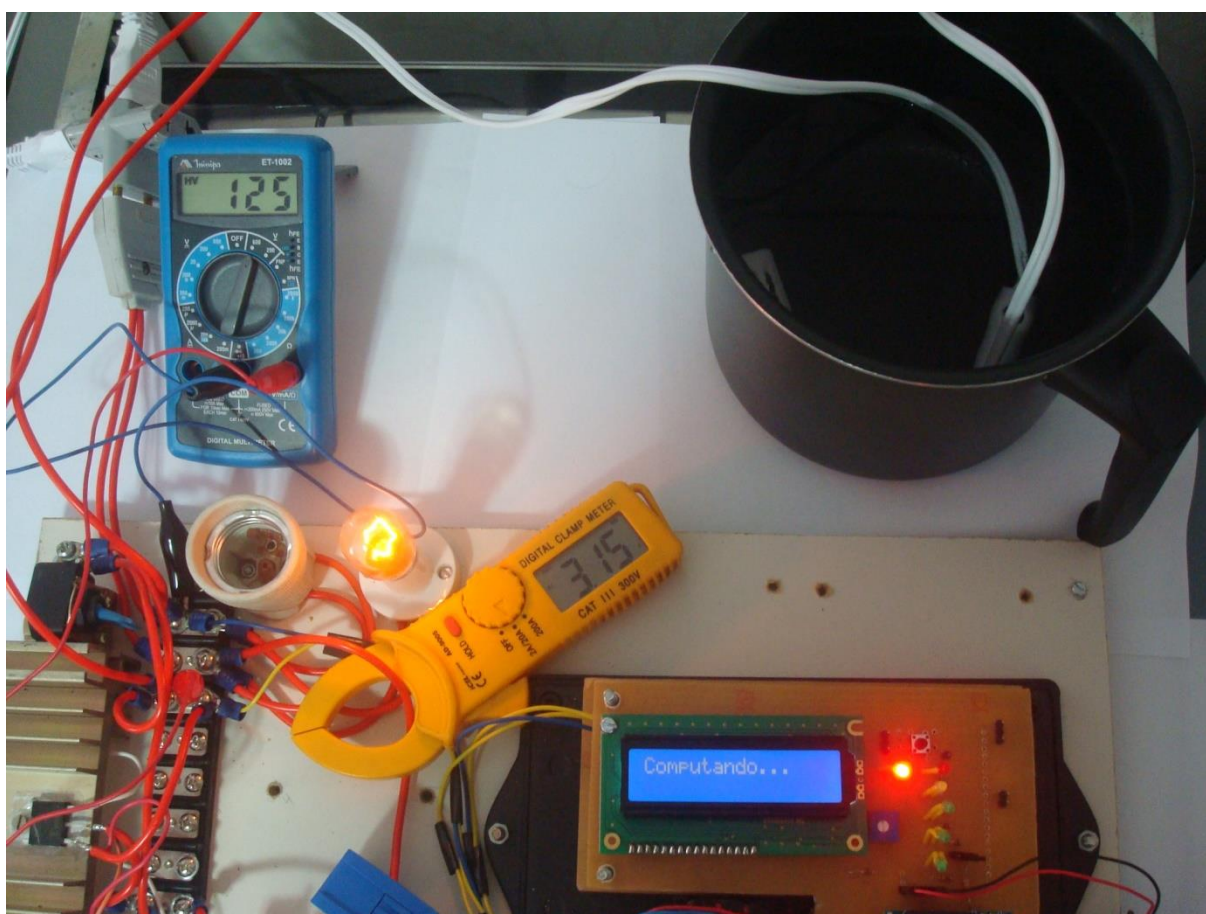


Figura 45: Equipamento computando o tempo e o consumo.
Fonte: Autoria própria.

Em seguida foi simulado o desligamento da carga para comprovar que, caso esta seja desligada e religada dentro de dois minutos, o equipamento volta e continua computando o consumo.

A Figura 46 ilustra quando a carga é desligada, sendo que o *display* mostra “Pausa, o tempo decorrido e o consumo em R\$”, até o momento. Caso a carga não seja religada em dois minutos, o equipamento finaliza, enviando as informações para o PC. Caso contrário, o equipamento continua de onde parou.

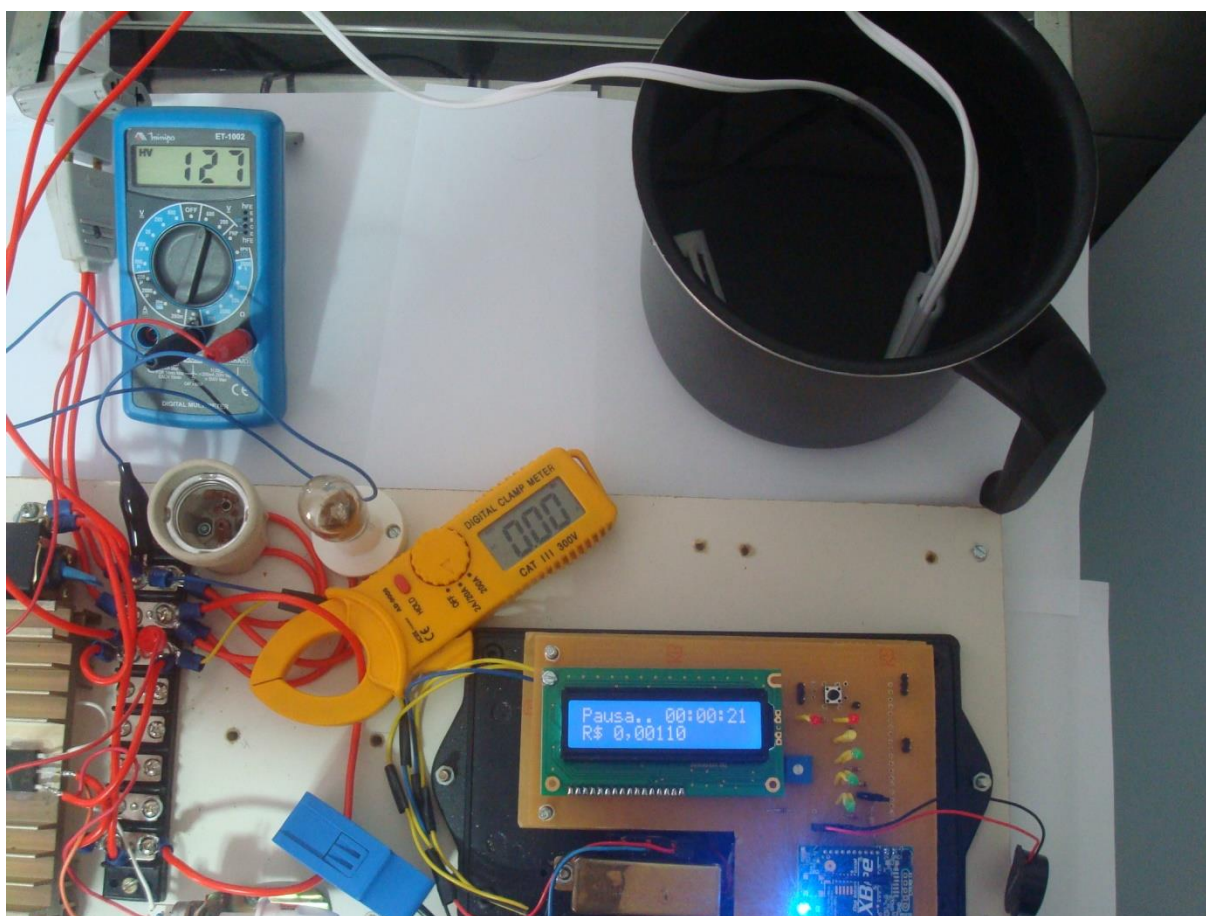


Figura 46: *Display* mostrando o valor do consumo até o momento da pausa.
Fonte: Autoria Própria.

Neste caso, a carga não foi religada, portanto passados dois minutos, os dados de tempo e consumo indicados no *display* foram enviados para o PC através do módulo ZigBee e, por fim, ocorre o desligamento do *display*, como ilustrado na Figura 47. De forma complementar, a Figura 48 ilustra o módulo XBee coordenador conectado no adaptador CON-USBEE e este conectado ao PC que recebe os dados adquiridos.

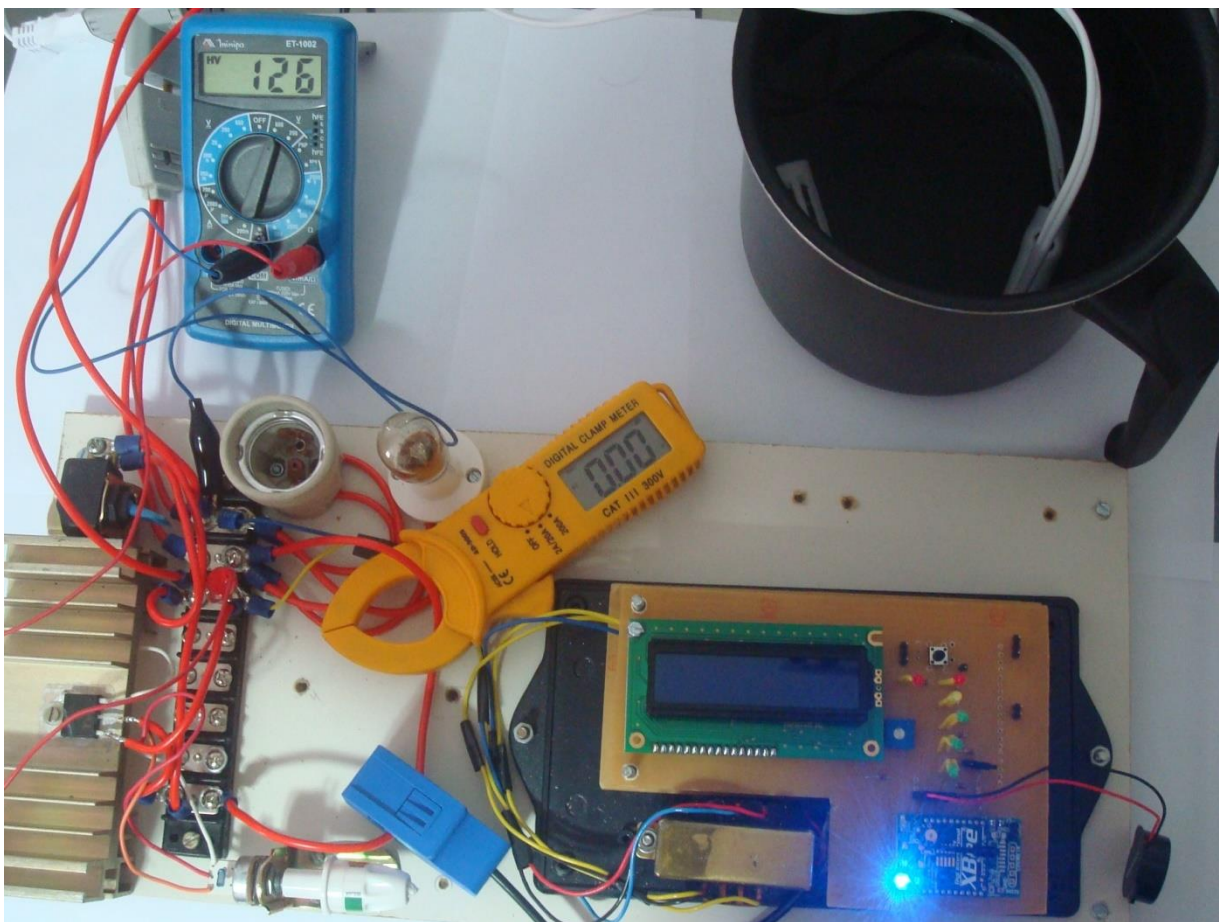


Figura 47: Display desligado após a finalização da simulação.
Fonte: Autoria própria.



Figura 48: Módulo coordenador do ZigBee conectado ao PC.
Fonte: Autoria própria.

Os dados finais do experimento foram obtidos e mostrados no programa X-CTU, como indicado na Figura 49.

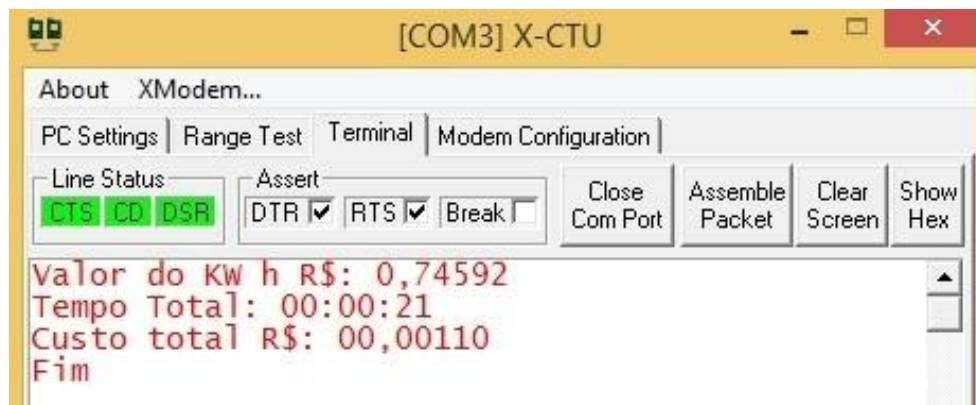


Figura 49: Dados finais de tempo e consumo do experimento.
Fonte: Autoria própria.

A partir da Figura 49, nota-se que o teste prático ocorreu de forma satisfatória, pois os valores obtidos no *display* do equipamento condizem com os valores mostrados no programa X-CTU do PC, ou seja, para um tempo de consumo de 21 segundos, foi obtido um custo de R\$ 0,00110.

Após o teste na bancada, foi feito um teste em uma torneira elétrica Lorenzetti Versátil 127 V x 4500 W em uma aplicação residencial. A Figura 50 mostra a conexão do equipamento protótipo, junto com o alicate amperímetro para fins de comparação das leituras, com detalhe na Figura 51.



Figura 50: Conexão do equipamento com a torneira elétrica.
Fonte: Autoria própria.



Figura 51: Amperímetro alicate CAT junto com o sensor de efeito Hall do equipamento.
Fonte: Autoria própria.

Nota-se que a leitura do amperímetro alicate (Figura 51) é de 31,9 A, ou seja, muito próximo ao mostrado no *display* LCD (Figura 52), que é de 32 A.

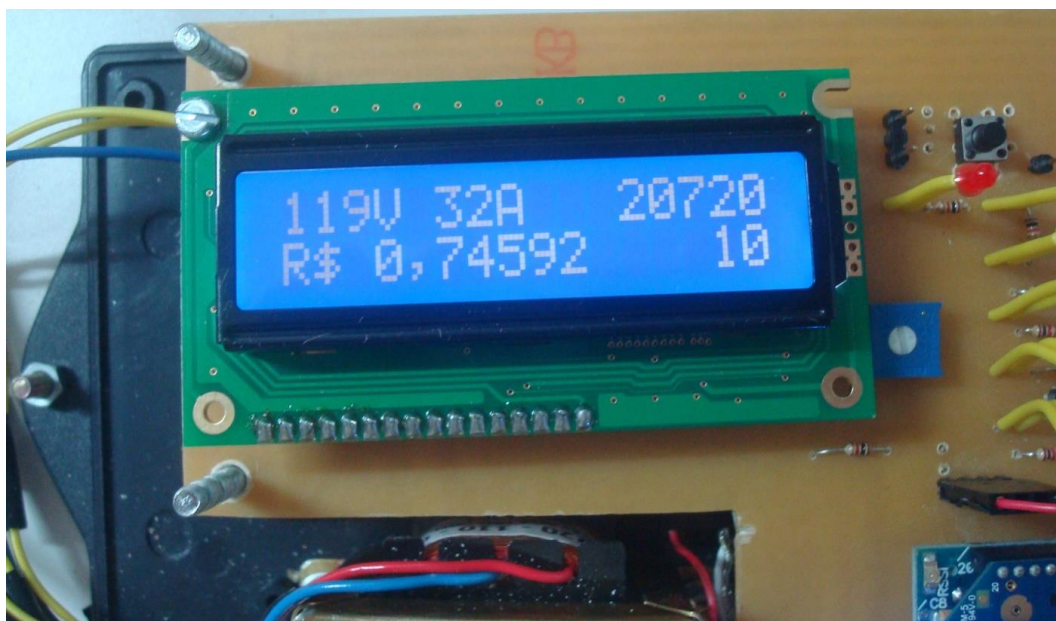


Figura 52: *Display* do equipamento mostrando os valores medidos.
Fonte: Autoria própria.

Com o encerramento do teste, os dados foram enviados para o PC, conforme apresentado na Figura 53. Portanto, para a torneira elétrica Lorenzetti Versátil 127 V x 4500 W, em um tempo de 32 segundos, obteve-se o valor de R\$ 0,00248.

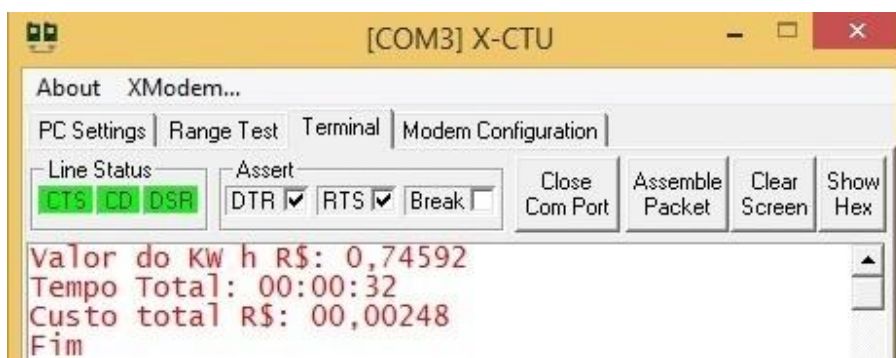


Figura 53: Resultado final do teste na torneira elétrica.
Fonte: Aatoria própria.

Após estes experimentos, o equipamento foi finalizado com o fechamento do circuito com uma caixa lacrada e sinalizada para que não houvesse qualquer problema em relação a umidade encontrada perto do chuveiro (Figura 54).



Figura 54: Equipamento final lacrado com o *display* e os LEDs de indicação.
Fonte: Aatoria própria.

Para finalizar os experimentos foi feito o teste do sistema em um chuveiro Hydra Star Eletrônico Turbo 127V x 5500W, como mostrado na Figura 55, Figura 56 e Figura 57.



Figura 55: Equipamento em funcionamento no chuveiro com indicação do primeiro minuto de banho.

Fonte: Autoria própria.

Após o primeiro minuto de banho o primeiro LED de indicação acende indicando que já se passou o primeiro minuto de banho e assim sucessivamente para todos os outros minutos. É válido lembrar que neste momento o *display* está mostrando a palavra “Computando”, ou seja, está computando o valor do banho para o tempo ocorrido até o momento e só irá mostrar o respectivo valor quando o chuveiro for desligado. Este teste foi feito para um tempo de banho de cinco minutos, considerado ideal segundo (PURCELI, 2012).



Figura 56: Equipamento em funcionamento com indicação do terceiro minuto de banho.
Fonte: Autoria própria.



Figura 57: Equipamento em funcionamento com indicação do quinto minuto de banho.
Fonte: Autoria própria.

A Figura 58 mostra o equipamento em “Pausa”, pois se o chuveiro for religado dentro de dois minutos o equipamento continuará computando o valor do banho, porém com a sirene sinalizando que o tempo já se “esgotou”.



Figura 58: Equipamento em pausa mostrando o valor do banho em R\$ após 5 minutos.
Fonte: Autoria própria.

Caso o chuveiro não seja religado após dois minutos, o equipamento enviará através da rede ZigBee o valor do banho em R\$, como ilustrado na Figura 59.

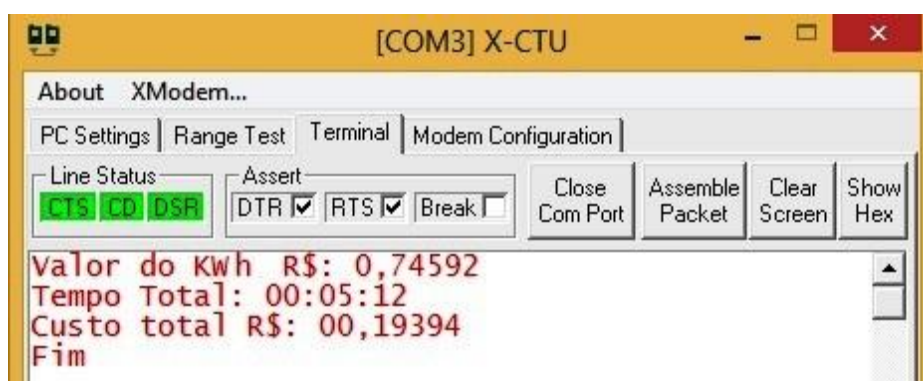


Figura 59: Valor em R\$ do banho de cinco minutos enviado equipamento para o PC.
Fonte: Autoria própria.

5. CONCLUSÕES

Pode-se considerar que o principal objetivo deste trabalho, que foi a proposta e o desenvolvimento de um equipamento microcontrolado para o monitoramento do consumo de chuveiros elétricos com comunicação via rede sem fio com a tecnologia ZigBee foi atingido.

Os resultados apresentados corroboram que o desenvolvimento do equipamento para o monitoramento do chuveiro elétrico foi bastante satisfatório, comprovaram um baixo desvio, quando se comparado os equipamentos comerciais de medições utilizados: multímetro e alicate amperímetro.

Outro ponto a se destacar foi à adequada resposta obtida pelo microcontrolador utilizado, o PIC18F4520, que foi escolhido justamente por ter uma capacidade de memória melhor que outros modelos, ou seja, não foi verificado problemas em relação ao tamanho do *firmware* desenvolvido para o equipamento.

No que se refere ao sensor de efeito Hall, observou-se um bom desempenho do equipamento, porém como o componente adotado opera para grandes correntes de até 100 A foi verificado que para leituras menores de corrente o equipamento apresentou erros maiores, devido a questão de escala do sensor.

A escolha e implementação da rede *wireless* ZigBee, foi bem satisfatória, já que a mesma correspondeu a todas as expectativas, sem muitos problemas de instalação e com um bom custo benefício. O ZigBee se provou ser uma ótima escolha para a rede de monitoramento e sensoriamento.

Assim, conclui-se que foi obtido um ótimo desempenho do equipamento finalizado, com desvio mínimos de precisão nas medidas de tensão e corrente, conciliado com o ZigBee que é uma tecnologia que possui um baixo consumo de energia, praticidade de implementação trazendo assim um bom rendimento para redes de monitoramento, e, conseqüentemente, trazendo grande benefícios na utilização conjunta com o protótipo deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ANDRIGHETTO, EDUARDO, 2006 - UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina –Tese de pós-graduação: Sistema de processamento de sinais biomédicos: rede wireless ZigBee com aplicação do padrão IEEE 802.15.4 - Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/92085>> Acesso em 28 de Maio 2015.

BEN - Balanço Energético Nacional, 2012 - Disponível em:<https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2012.pdf>. Acesso em 26 Out 2014.

BERS, 2011- Balanço Energético do Rio Grande do Sul: Disponível em: <http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/archives/BERS2012/Balanco_Energetico_RS_2011-base_2010.pdf> Acesso em 06 de Maio de 2015.

CORREIO BRASILIENSE, 2015. Os mitos e verdades do consumo de energia elétrica em casa. Conheça os grandes vilões da energia e saiba como pequenos hábitos podem fazer muita diferença na conta de luz. Disponível em: <http://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/economia/2015/06/23/internas_economia,487641/os-mitos-e-verdades-do-consumo-de-energia-eletrica-em-casa.shtml> Acesso em: 23 junho de 2015.

DA SILVA, ANDRÉ TEIXEIRA, 2007 - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto– TCC: Módulos de comunicação wireless para sensores. Disponível em: <<http://paginas.fe.up.pt/~ee02055/RelatorioTEC15.pdf>>. Acesso em: 27de Maio 2015.

DE CASTRO, ANDRÉ MILHORANCE, 2010 - UFRJ- Universidade Federal do Rio de Janeiro - Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/rssf/index.html>

DIÁRIO GAÚCHO, 2015. Notícias. Energia elétrica. Saiba quanto gasta cada aparelho elétrico na sua casa. Disponível em: <<http://diariogaucha.clicrbs.com.br/rs/dia-a-dia/noticia/2015/02/saiba-quanto-gasta-cada-aparelho-eletrico-na-sua-casa-4698483.html>>. Acesso em: 11 de novembro de 2015.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética - Série ESTUDOS DE DEMANDA (2014-2023): Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2026%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20e%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Distribu%C3%ADa%20para%20os%20pr%C3%B3ximos%2010%20anos.pdf>> Acesso em 06 de Maio de 2015.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética, 2012 - Série ESTUDOS DE DEMANDA NOTA TÉCNICA DEA 16/12 Avaliação da Eficiência Energética para os próximos 10 anos (2012-2021). Disponível em <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20121221_1.pdf>. Acesso em: 20 Out. 2015.

FARNELL, 2015. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/ADM1602K-NSW-FBS-3.3v.pdf>>. Acesso em: 23 de Maio de 2015.

III Seminário de Eficiência Energética realizado na UTFPR de 01 a 03 de Outubro de 2014.

LITJENS, OTTO JACOB, 2009. USP – Universidade de São Paulo – TCC: Automação de estufas agrícolas o sensoriamento remoto e o protocolo ZigBee. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18152/tde-27042007-102640/en.php>>. Acesso em 25 de Maio 2015.

XBee ZNet 2.5, 2008. Manual de operação. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Manual.pdf>>. Acesso em: 26 de Jun. 2015.

PURCELI, MÁRCIA. O Meu Bem Estar, 2012. Disponível em: <<http://omeubemestar.com/2012/02/21/5-minutos-no-banho-o-tempo-ideal-para-proteger-a-sua-pele-e-salvar-o-planeta-8192>>. Acesso em: 07 de Set 2015.

MECATRÔNICA ATUAL, 2013. Disponível em: <<http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/963-automao-industrial-wireless-parte-2>>. Acesso em: 23 de Nov. 2014.

MICRO E, 2003. Disponível em: <http://hp.br.inter.net/fsmaia/automacao/PicBook-PT_letter.pdf>. Acesso em 02 de Nov. de 2014.

MICROCHIP TECHNOLOGY, 2015. Disponível em :<<HTTP://WW1.MICROCHIP.COM/DOWNLOADS/EN/DEVICEDOC/39631E.PDF>>. Acesso em> 26 de Jun. 2015.

MONSIGNORE, FERDINANDO, 2007 – USP – Universidade de São Paulo – Tese de mestrado: Sensoriamento de ambiente utilizando o padrão ZigBee. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18152/tde-27042007-102640/en.php>>. Acesso em: 25 de Maio 2015.

MONTEBELLER, SIDNEY JOSÉ, 2006 – USP – Universidade de São Paulo – Tese de mestrado: Estudo sobre o emprego de dispositivos sem fios - wireless na automação do ar condicionado e de outros sistemas prediais. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-19092006-172438/en.php>>. Acesso em 27de Maio 2015.

PNE - Plano Nacional de Energia 2030. Disponível em:

PORTAL ELETRICISTA CHUVEIRO ELÉTRICO, 2014. Disponível em: <<http://www.portaleletricista.com.br/chuveiro-eletrico/>>. Acesso em: 08 de Nov. de 2015.

PROCEL INFO, 2014. Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp>>. Acesso em: 06 Maio 2015.

ROGERCOM, 2008. Disponível em:<<http://www.rogercom.com/ZigBee>>. Acesso em: 12 Maio 2015.

MENEZES, ANTONIO SÉRGIO, 2014. Aplicações com Amp OP. Disponível em: <<http://www.cear.ufpb.br/~asergio/electronica/amp-op/aplica%c3%a7%c3%b5es%20ampop.pdf>>. Acesso em: 06 de Nov. de 2015.

BLUETOOTH SIG MEMBERSHIP, 2015. Disponível em: <<http://www.bluetooth.com>>. Acesso em 15 de Mai. 2015.

SÓ FÍSICA, 2015 - Disponível em:
<<http://www.sofisica.com.br/conteudos/Eletromagnetismo/CampoMagnetico/efeitoHall.php>> Acesso em: 26 de Jun. 2015.

TV CULTURA, 2014 – 23 Jan 2014 Reportagem. Disponível em:
<<http://tvcultura.cmais.com.br/reportereco/chuveiro-com-cartao-de-controle-do-banho-economiza-agua-e-energia-1>> Acesso em: 24 de Nov. 2014.

TV GLOBO, 2011. Bom Dia Brasil - BRASILEIRO É CAMPEÃO MUNDIAL DE BANHO, MAS NÃO LAVA AS MÃOS. Disponível em: <<http://g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2010/07/brasileiro-e-campeao-mundial-de-banho-mas-nao-lava-maos.html>>. Acesso em: 03 Nov. 2014.

UNICAMP, 2014 – Universidade Estadual de Campinas - Jornal No 597. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/unicamp/ju/597/o-chuveiro-na-curva-do-consumo>> Acesso em: 06 de Maio 2015.

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – III Seminário de Eficiência Energética: Disponível em:
<<http://www.seminarioeficienciaenergetica.ct.utfpr.edu.br/>> Acesso em: 24 de Nov 2014.

YHDC, 2014 - Manual técnico do sensor de efeito Hall SCT013-100A – Disponível em: <<http://yaohuadechang.manufacturer.globalsources.com>> Acesso em 08 de Julho de 2015

ZANCO, Wagner da Silva. Microcontroladores PIC18 com Linguagem C. 1. ed. São Paulo: Erica, 2010

ZIGBEE ALLIANCE, 2004. Disponível em: <<http://www.zigbee.org/>>. Acesso em: 08 de Jul. de 2015.

APÊNDICE A - Lista de componentes do circuito protótipo no Proteus ISIS

- TR1 – Transformador de entrada 1
- Componentes da fonte de alimentação de 5V, e de +6V e -6V (Fonte simétrica)
 - Diodos: D5, D6, D7 E D8 = 1N4004
 - Capacitores: C7, C8, C9, C10 e C11 = 100uF x 25V
 - Regulador de tensão: U3: 7805; U4: 7806; U5: 7906
- Componentes do retificador de precisão:
 - Diodos: D1, D2, D3 e D4 = 1N4148
 - Potenciômetros: RV1 e RV2 = 20k Ω ; RV3 = 10k Ω .
 - Amplificadores operacionais (TL074): U2:A, U2:B, U2:C e U2:D.
 - Resistores:
 - R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9 e R10= 10k Ω - 1/8W
 - R11 e R12 = 5k Ω - 1/8W
 - R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19 e R20 = 1k Ω - 1/8W
 - Capacitores: C1, C2, C3 e C4 = 47pF
- Outros componentes:
 - U1 = Microcontrolador PIC18F4520
 - X1 = Oscilador de Cristal 24MHz
 - LCD1 = Display LCD 16x2
 - Capacitores: C5 e C6 = 15pF
 - LEDs
 - Verdes: LEDs 1, 2, e 3; (Sinalização do tempo de banho, acendendo sequencialmente a cada minuto, a partir do primeiro ao terceiro minuto)
 - Amarelo: LED 4; Sinalização do tempo de banho, acendendo a partir do quarto minuto)
 - Vermelho: LED 5; (Sinalização do tempo de banho acendendo a partir do quinto minuto)
 - Vermelho: LED 6; (indica o estado de operação do equipamento)
 - Azul: LED 7; (simulador de Sirene)
 - Amarelo: LEDs 8 (*back light* do *display*).