

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ELETRÔNICA E SISTEMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

NAELSO ALVES CUNHA

**MONITORAMENTO DO CONSUMO ENERGÉTICO DE EQUIPAMENTOS
HOSPITALARES UTILIZANDO PLC**

Recife
2019

NAELSO ALVES CUNHA

**MONITORAMENTO DO CONSUMO ENERGÉTICO DE EQUIPAMENTOS
HOSPITALARES UTILIZANDO PLC**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Eletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Benedetti Rodrigues.

Recife
2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

C972m Cunha, Naelso Alves.
Monitoramento do consumo energético de equipamentos hospitalares utilizando PLC / Naelso Alves Cunha. – 2019.
90 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Benedetti Rodrigues.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, 2019.
Inclui Referências.

1. Engenharia Elétrica. 2. Consumo elétrico. 3. Equipamento médico-hospitalar. 4. Comunicação pela rede elétrica. I. Rodrigues, Marco Aurélio Benedetti. (Orientador). II. Título.

UFPE

621.3 CDD (22. ed.)

BCTG/2019-439

NAELSO ALVES CUNHA

**MONITORAMENTO DO CONSUMO ENERGÉTICO DE EQUIPAMENTOS
HOSPITALARES UTILIZANDO PLC**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Aprovada em: 16 de Agosto de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marco Aurélio Benedetti Rodrigues (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Eduardo Fontana (Avaliador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Guilherme Nunes Melo (Avaliador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

A Deus que acredita que eu sempre posso ir além, mesmo quando nem eu mesmo acredito.

Aos meus pais, Narciso e Edite, por se esforçarem tanto para que eu tenha uma vida melhor.

À minha família, por sempre ter me tratado com tanto carinho.

Aos meus amigos. A quem não sabe, eu saí de casa aos 14 anos para estudar. Só via minha família a cada seis meses. Então as amizades que construí até aqui são consideradas da mesma maneira que considero minha família.

O Professor Marco pelo crescimento profissional e pessoal proporcionado durante este tempo de convivência.

A Breno e Gustavo, por terem participado diretamente deste projeto.

Ao GPEB, por ser um grupo de amigos, que me aceitou de braços abertos e, indiretamente, também me ajudou no projeto.

Ao pessoal do Hospital das Clínicas: Leonardo, Gabriel, Rafael, Ananias e Izabela, pelas contribuições para a realização dos testes.

RESUMO

Atualmente a eficiência energética é uma característica primordial para o funcionamento de Estabelecimentos Assistenciais em Saúde (EAS). Uma Informação indispensável para tal eficiência é o conhecimento do consumo energético dos Equipamentos Médicos Hospitalares (EMH) de um EAS. Com a finalidade de identificar e monitorar o consumo energético de cada EMH foi desenvolvido este sistema. De forma remota, através da utilização do Sistema de Monitoramento do Consumo Energético (SMCE) é possível transmitir informações em tempo real, com a possibilidade de armazenamento dos dados, através de módulos sensores e servidores de dados. A tecnologia de comunicação utilizada é a PLC (Power Line Communication, ou comunicação pela rede elétrica), que dispensa a instalação de cabeamento específico, pois a comunicação é feita pela própria rede elétrica, eliminando possíveis interferências de radiofrequência (RF). O monitoramento remoto é realizado em servidor MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*), onde os dados são armazenados. A análise dos dados de transmissão dentro do ambiente hospitalar demonstrou que o sistema é robusto, com baixa taxa de erro de comunicação, utilizando uma velocidade média de $4,67\text{ kB/s}$. Testes realizados em equipamentos específicos, como ventilador pulmonar e bisturi elétrico, apresentaram os valores de consumo energético em tempo real, exibindo inclusive as instabilidades da rede elétrica durante a utilização desses EMHs. Conclui-se que o SMCE é uma ferramenta essencial para o monitoramento da rede elétrica e, dessa forma, uma alternativa confiável para a determinação do consumo energético de todo o parque tecnológico de um EAS. O SMCE reflete diretamente na qualidade dos serviços hospitalares relacionados à utilização dos EMHs, principalmente para identificar o consumo de cada EMH e assim, prever a demanda energética do EAS, reduzindo o custo em relação ao consumo total de energia do EAS.

Palavras-chave: Consumo elétrico. Equipamento médico-hospitalar. Comunicação pela rede elétrica.

ABSTRACT

Currently, energy efficiency is a prime characteristic for the operation of Health Care Establishments (HCE). An indispensable information for such efficiency is the knowledge of the energy consumption of the Medical and Hospital Equipment (MHE) of an HCE. In order to identify and monitor the energy consumption of each MHE this system was developed. Remotely, through the use of the Energy Consumption Monitoring System (ECMS) it is possible to transmit information in real time, with the possibility of data storage, through sensor modules and data servers. The communication technology used is PLC (Power Line Communication), which does not require the installation of specific cabling, because the communication is made by the power network itself, eliminating possible radio frequency (RF) interference. Remote monitoring is performed on an MQTT (Message Queue Telemetry Transport) server, where data is stored. Analysis of transmission data within the hospital environment demonstrated that the system is robust with low communication error rate using an average speed of 4.67 kB/s . Tests performed on specific equipment, such as pulmonary ventilator and electric scalpel, showed the values of energy consumption in real time, including the instability of the electrical network during the use of these MHEs. It is concluded that the ECMS is an essential tool for the monitoring of the electric network and, thus, a reliable alternative for the determination of the energy consumption of the whole technology park of an HCE. The ECMS directly reflects on the quality of hospital services related to the use of MHEs, mainly to identify the consumption of each MHEs and thus to predict the energy demand of the HCE, reducing the cost in relation to the total energy consumption of the HCE.

Keywords: Electrical consumption. Medical-hospital equipment. Power line communications.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Representação esquemática do circuito do EMH	19
Figura 2 –	Triângulo de potências	20
Figura 3 –	Representação de uma rede MQTT	22
Figura 4 –	Representação da DSP em função da frequência de um sinal modulado em SS em comparação a um sinal normal, de banda estreita	24
Figura 5 –	Gráfico referente a distribuição percentual dos artigos encontrados na busca inicial, por base	32
Figura 6 –	Gráfico que exhibe o percentual por base da quantidade total de artigos selecionados após a leitura de título e resumo	34
Figura 7 –	Representação de como o módulo cliente é instalado em um EMH	36
Figura 8 –	Representação da ligação entre módulo PLC (caixa azul) e servidor, por meio de Ethernet, e do módulo sendo alimentado pela rede elétrica	37
Figura 9 –	Gráfico que representa o conjunto de amostras exemplo para execução do teste de comunicação PLC	39
Figura 10 –	Fotografia do respirador em que foi realizado o teste de consumo	41
Figura 11 –	Fotografia de bisturi elétrico que foi utilizado no segundo teste para a avaliação do consumo, realizado no HC	42
Figura 12 –	Fotografia do equipamento de ultrassom em que foi utilizado para o quarto teste	43
Figura 13 –	Procedimento seguido pelo módulo sensor para obtenção e envio dos dados	44
Figura 14 –	Diagrama de blocos que representa o <i>hardware</i> constituinte do módulo sensor	45
Figura 15 –	Fotografia do microcontrolador ESP32.	46
Figura 16 –	Placa ESP32-EVB	47

Figura 17 – Diagrama de representação do módulo PLC a ser construído.....	48
Figura 18 – Fotografia de um módulo TL-PA4010	49
Figura 19 – Transformador de Corrente SCT013.....	50
Figura 20 – Diagrama funcional de cada canal do circuito de condicionamento de sinais.	51
Figura 21 – Fluxograma que representa a sequência de etapas do circuito condicionador de sinais.....	51
Figura 22 – Vistas do layout da caixa desenvolvida no Onshape para o módulo sensor	52
Figura 23 – Fluxograma representativo da rotina principal do 1º <i>firmware</i>	54
Figura 24 – Representação da <i>string</i> exemplo criada para o 1º <i>firmware</i>	55
Figura 25 – Fluxograma representativo da rotina da função de conexão Ethernet .	56
Figura 26 – Fluxograma representativo da rotina da função localização do Servidor e conexão com o MQTT <i>broker</i>	57
Figura 27 – Fluxograma representativo da rotina principal do 2º <i>firmware</i>	58
Figura 28 – Representação da <i>string</i> exemplo criada para o 2º <i>firmware</i>	59
Figura 29 – Fluxograma que representa a sequência de operações matemáticas realizadas na rotina principal do <i>firmware</i> do módulo sensor.....	60
Figura 30 – Fluxograma que representa a rotina do <i>software</i> de recebimento do servidor de dados.....	62
Figura 31 – Diagrama que exhibe a entidade <i>broker</i> e os tópicos criados para a recepção de dados dos módulos	63
Figura 32 – Fluxograma de recepção e processamento dos dados recebidos dos módulos clientes 1 e 2.....	64
Figura 33 – Fluxograma que apresenta os blocos responsáveis pela exibição dos dados coletados pelos módulos clientes na interface gráfica do NODE-RED	65
Figura 34 – Exemplo de monitoramento através da interface gráfica desenvolvida para o servidor	66

Figura 35 – Imagem gerada pelo <i>software</i> Kicad da face superior da placa base para o conector RJ45 e da Plataforma Microcontrolada	67
Figura 36 – Fotografias da placa de circuito impresso para o circuito de condicionamento de sinais	68
Figura 37 – Fotografias da placa de circuito impresso referente à fonte e condicionamento de sinais que foi montada	69
Figura 38 – Protótipos finais dos módulos clientes	69
Figura 39 – Gráfico de um dos pacotes de amostras que foi recebido pelo Servidor no Laboratório.....	71
Figura 40 – Gráfico de um dos pacotes de amostras que foi recebido pelo Servidor no Hospital.....	72
Figura 41 – Fotografia do respirador utilizado no primeiro teste de consumo.....	74
Figura 42 – Interface gráfica do servidor de dados	75
Figura 43 – Gráfico das medições referentes ao teste realizado com o respirador.....	76
Figura 44 – Gráficos de Tensão(V) em função do tempo (s) de momentos específicos durante a aquisição de dados	77
Figura 45 – Gráficos de Potência Ativa (W) em função do tempo (s), de momentos específicos durante a aquisição de dados	79
Figura 46 – Gráfico que representa a variação da corrente de acordo com estímulos elétricos do bisturi elétrico.....	81
Figura 47 – Gráficos de tensão e corrente referentes ao teste realizado no ultrassom do setor de Diagmagem do HC	83
Figura 48 – Gráficos de Potência Ativa, Potência Reativa e Fator de Potência referentes ao teste realizado no ultrassom do setor de Diagmagem do HC	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Protocolo de Pesquisa da Revisão Sistemática	26
Tabela 2 – Totais de artigos encontrados por base	31
Tabela 3 – Quantidade de artigos selecionados por base após a leitura de título e Resumo	33
Tabela 4 – Representação do pacote exemplo para validação da PLC.....	38
Tabela 5 – Exemplo de um pacote armazenado pelo servidor	39
Tabela 6 – Resultados dos testes executados no laboratório para validação da comunicação PLC	71
Tabela 7 – Resultados dos testes executados no HC para validação da comunicação PLC	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DIAGMAGEM	Diagnóstico por Imagem
DSP	Densidade Espectral De Potência
DSSS	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>
EAS	Estabelecimentos Assistenciais em Saúde
ECMS	Medical and Hospital Equipments
EMH	Equipamentos Médico-Hospitalares
FHSS	<i>Frequency Hoping Spread Spectrum</i>
GPEB	Grupo de Pesquisa em Engenharia Biomédica
HC	Hospital das Clínicas
HCE	<i>Health Care Establishments</i>
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i>
LED	<i>Light Emitter Diode</i>
LIOHM	Laboratório de Interface Homem-Máquina
MCU	Microcontrolador
MHE	<i>Medical and Hospital Equipments</i>
MQTT	<i>Message Queue Telemetry Transport</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiplexing</i>
PDSL	<i>Power Line Digital Subscriber Line</i>
PLC	<i>Power Line Communication</i>
PLN	<i>Power Line Networking</i>
SBPA	Sequência Binária Pseudo-Aleatória
SMCE	Sistema de Monitoramento do Consumo Energético
SS	<i>Spread Spectrum</i>
RF	Radiofrequência
TC	Transformador de Corrente
TRAFO	Transformador
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
VLC	<i>Visible Light Communication</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	15
1.2	METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	16
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	GRANDEZAS ELÉTRICAS NO REGIME PERMANENTE SENOIDAL	18
2.2	PROTOCOLO MQTT.....	21
2.3	COMUNICAÇÃO ATRAVÉS DA REDE ELÉTRICA	23
2.3.1	Modulação em PLC.....	23
2.3.2	Hardware para PLC.....	25
3	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	26
3.1	PROTOCOLO.....	26
3.2	QUESTÕES DE PESQUISA	26
3.3	FONTES E ESTRATÉGIAS DE BUSCA	27
3.3.1	Bases de Dados.....	27
3.3.2	Termos de Busca.....	27
3.3.3	Descritores.....	28
3.3.4	String Genérica De Busca.....	28
3.3.5	String de Busca na Base IeeeX.....	29
3.3.6	String de Busca na Base Sciencedirect	29
3.3.7	String de Busca na Base Springer	30
3.3.8	String de Busca na Base Pubmed.....	30
3.3.9	String de Busca na Base PMC.....	31
3.3.10	Artigos Encontrados	31
3.4	LEITURA DE TÍTULO E RESUMO.....	32
3.5	LEITURA COMPLETA.....	34
4	METODOLOGIA.....	36
4.1	HARDWARE, FIRMWARE E SOFTWARE.....	36
4.2	PROCEDIMENTOS PARA TESTES	37
4.2.1	Teste para Validação da Comunicação PLC	38
4.2.2	Testes de Averiguação do Consumo de Equipamentos	40
4.2.2.1	Testes no Setor de Engenharia Clínica	40

4.2.2.2	Teste no Setor Diagmagem	42
5	PROJETO E CONCEPÇÃO DE HARDWARE.....	44
5.1	PLATAFORMA MICROCONTROLADA.....	46
5.2	COMUNICAÇÃO PLC	47
5.3	SENSORES.....	49
5.4	CONDICIONAMENTO DOS SINAIS E FONTE DE ALIMENTAÇÃO	50
5.5	CAIXA PARA ENCAPSULAMENTO DO PROTÓTIPO	52
6	DESENVOLVIMENTO DE <i>FIRMWARE</i> E <i>SOFTWARE</i>	53
6.1	<i>FIRMWARES</i> PARA O MCU	53
6.1.1	Primeiro <i>Firmware</i>	53
6.1.1.1	Rotina Principal do Primeiro Firmware	53
6.1.1.2	Rotina de Conexão Ethernet	55
6.1.1.3	Rotina de Localização do Servidor e Conexão com o MQTT <i>Broker</i>	57
6.1.2	Segundo <i>Firmware</i>	57
6.1.2.1	Rotina Principal.....	58
6.1.2.2	Operações Matemáticas para Obtenção dos Valores Finais	59
6.2	<i>SOFTWARE</i> PARA O SERVIDOR DE DADOS	61
6.2.1	Rotina de comunicação	63
7	RESULTADOS E ANÁLISES	67
7.1	<i>HARDWARES</i> DESENVOLVIDOS.....	67
7.1.1	Placa Microcontrolada	67
7.1.2	Placa de Condicionamento de Sinais	68
7.1.3	Protótipo Encapsulado	69
7.2	VALIDAÇÃO DA COMUNICAÇÃO PLC	70
7.3	SETOR DE ENGENHARIA CLÍNICA DO HC	73
7.3.1	Teste com o Respirador.....	74
7.3.2	Teste com o Bisturi Elétrico	80
7.4	TESTE NO SETOR DIAGMAGEM DO HC.....	82
8	CONCLUSÕES	86
	REFERÊNCIAS	87

1 INTRODUÇÃO

Eficiência energética é um assunto recorrente hoje em dia, quando se fala tanto em *Smart Grids* e energia limpa. Dentro dos Estabelecimentos de Assistência em Saúde (EAS) não é diferente. A quantidade de Equipamentos Médico-Hospitalares (EMHs) é grande e a demanda por energia elétrica é alta, com custos elevados. É de interesse dos EAS que a rede elétrica dentro desses locais supra a demanda de forma eficiente e que os EMHs sejam utilizados de forma a equilibrar a demanda com o consumo, objetivando a redução de custos.

No entanto, para saber utilizar a rede elétrica de forma eficiente dentro de um EAS é necessário que se conheça o consumo dos EMHs. É necessário saber quanto de energia é consumida e em que momentos, para que seja possível uma gestão eficiente desse consumo.

O problema é que geralmente o único medidor de energia que um EAS possui é o da companhia que fornece a energia elétrica, que só o utiliza para saber quanto foi consumido no total e poder tarifar o estabelecimento. Nem setores, muito menos EMHs possuem medidores de consumo energético para que se conheça este consumo e se possa trabalhar na gestão dele, buscando eficiência.

Existem equipamentos comerciais que conseguem muito mais do que a aferição do consumo, no entanto, tais equipamentos são extremamente invasivos em sua forma de adquirir os sinais e geralmente são utilizados eventualmente, para algum tipo de manutenção ou análise da rede ou do EMH.

Para sanar esta necessidade, este trabalho apresenta o Sistema de Monitoramento do Consumo Energético (SMCE). Ele consiste de uma rede de sensores e medidores que torna possível o monitoramento remoto de EMHs. Módulos sensores são instalados em EMHs e deles adquirem grandezas relativas ao consumo, como potência ativa e fator de potência, e transmitem estas grandezas a um servidor remoto, que além de permitir que o consumo seja monitorado em tempo real, também permite o armazenamento das informações para análises posteriores.

Um diferencial deste projeto é que o meio para a comunicação entre os módulos sensores é a própria estrutura de rede elétrica das EAS. Ou seja, as informações são transmitidas pelos sensores para o servidor através da rede elétrica, tecnologia conhecida como PLC (*Power Line Communication*).

O PLC dispensa a instalação de um cabeamento específico para comunicação, o que resultaria em demanda de trabalho e talvez possíveis alterações infra estruturais do ambiente onde os EMHs estão localizados. A instalação do protótipo final é simples, rápida, pouco invasiva e até uma pessoa leiga pode realizá-la.

Outro diferencial do PLC é que por não ser uma tecnologia RF, não emite radiação de alta frequência no ambiente em que opera. Tal radiação é indesejável em EAS, principalmente onde há equipamentos de diagnóstico por imagem, pois pode interferir no diagnóstico. Além do que a radiação de alta frequência penetra no organismo e ainda não se sabe ao certo quais tipos de males ela pode causar.

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo medir o consumo de energia de equipamentos hospitalares e possibilitar o monitoramento, em tempo real, deste consumo, utilizando a comunicação pela rede elétrica PLC (*Power Line Communication*).

Objetivos específicos:

- a) Utilizar uma plataforma microcontrolada para a leitura de corrente e tensão da rede elétrica (conversão A/D);
- b) Desenvolver um sistema de comunicação via Ethernet e, posteriormente, via PLC;
- c) Conceber um circuito condicionador para a leitura da tensão e da corrente através de transformadores;
- d) Desenvolver uma placa de circuito impresso (*Printed Circuit Board – PCB*) para o circuito de condicionamento e outra para a plataforma microcontrolada;
- e) Criar uma rede de comunicação de dados via Ethernet utilizando o protocolo MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*);
- f) Criar uma plataforma gráfica para apresentar os dados de consumo em tempo real, em um servidor remoto;
- g) Criar um sistema de gravação de arquivos, para a posterior consulta da situação da rede elétrica;
- h) Realizar testes em Hospital utilizando EMHs em funcionamento.

1.2 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Para medir o consumo de cada EMH foram desenvolvidos e instalados protótipos dos medidores nesses equipamentos hospitalares, que adquirem os sinais de tensão e de corrente na entrada de cada equipamento. Após a aquisição, o protótipo efetua as operações matemáticas necessárias nos conjuntos de amostras adquiridas para obter os valores de potência ativa e fator de potência.

Após a obtenção dos dados energéticos, os protótipos enviam esses dados para um servidor, por meio de PLC; um *software* instalado no servidor exibe uma interface que permite o monitoramento de cada protótipo. O mesmo *software* grava arquivos no próprio servidor contendo todos os pacotes recebidos. Como resultado, tem-se a exibição do gráfico da potência e do fator de potência em função do tempo, em tempo real, no servidor, para cada equipamento que está sendo monitorado e, também, arquivos desses monitoramentos, que podem ser acessados para análises a posteriori.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esta dissertação tem em seu Capítulo 1 a introdução, que contextualiza, mostra os objetivos e traz um resumo da metodologia utilizada. Em seguida, no Capítulo 2, traz uma fundamentação teórica, ou seja, uma base teórica de conceitos necessários ao desenvolvimento sólido do trabalho.

Outro instrumento sólido para o desenvolvimento deste trabalho é a revisão sistemática, Capítulo 3, que enriquece o conhecimento do autor e dos leitores sobre o tema trabalhado, já que ela resultou no conhecimento do que há publicado no meio científico sobre a área, e também reduziu a possibilidade de que este trabalho fosse desenvolvido semelhantemente a outros.

Com uma boa base teórica e um bom conhecimento do que há publicado sobre o tema, é possível começar o desenvolvimento propriamente dito do trabalho. Este desenvolvimento foi dividido em três capítulos: o Capítulo 4 contém a parte de estrutura e concepção de *hardware*; o Capítulo 5 aborda o desenvolvimento de *firmware* e *software*; no Capítulo 6 está a parte de materiais e métodos utilizados para a obtenção dos resultados desejados.

O próximo passo é a coleta de resultados, os quais aparecem no Capítulo 7, de resultados e análise. Em seguida vêm as conclusões sobre o projeto em si e as perspectivas futuras para a sua continuidade. Por fim, as referências que fundamentaram todo o trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para se conhecer o consumo energético, o cálculo de algumas grandezas elétricas é fundamental. Dentre elas, o consumo depende do conhecimento da potência ativa. Além desta, uma medida relativa à eficiência energética é o fator de potência.

2.1 GRANDEZAS ELÉTRICAS NO REGIME PERMANENTE SENOIDAL

A partir do momento que se pretende obter o consumo de energia dos equipamentos, é necessário adquirir os sinais adequados para o conhecimento deste consumo. A rede elétrica fornece dois sinais para o cálculo do consumo: os sinais de tensão (v) e corrente (i) que alimentam o equipamento. Tais sinais são de regime permanente senoidal e podem ser representados por:

$$v = V_m \cos(\omega t + \theta_v), \quad (1)$$

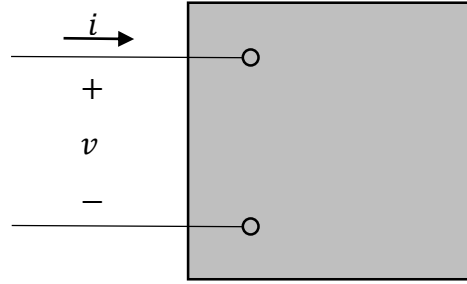
$$i = I_m \cos(\omega t + \theta_i), \quad (2)$$

onde V_m e I_m são as amplitudes máximas que os sinais podem assumir, ω é a frequência angular dos sinais, t é o tempo e θ_v e θ_i são respectivamente os ângulos de fase da tensão e da corrente.

Supondo que a caixa representada pelo diagrama da Figura 1 seja o circuito do EMH em que se deseja instalar o protótipo, temos que a potência instantânea (p), é dada por:

$$p = vi. \quad (3)$$

Figura 1 – Representação esquemática do circuito do EMH



Fonte: Adaptação de Nilsson et al., 2009.

* v e i representam respectivamente a tensão e a corrente em seus terminais.

Considerando a origem da contagem de tempo o instante em que a corrente tem sua amplitude máxima, as equações (1) e (2) têm de ser deslocadas de θ_i , tornando-se

$$v = V_m \cos(\omega t + \theta_v - \theta_i), \quad (4)$$

$$i = I_m \cos \omega t; \quad (5)$$

substituindo (4) e (5) em (3) o resultado é

$$p = V_m I_m \cos(\omega t + \theta_v - \theta_i) \cos \omega t. \quad (6)$$

Por meio de identidades trigonométricas chega-se à expressão:

$$p = \frac{V_m I_m}{2} \cos(\theta_v - \theta_i) + \frac{V_m I_m}{2} \cos(\theta_v - \theta_i) \cos 2\omega t - \frac{V_m I_m}{2} \sin(\theta_v - \theta_i) \sin 2\omega t. \quad (7)$$

A equação (7) pode ser, então, reescrita:

$$p = P + P \cos 2\omega t - Q \sin 2\omega t, \quad (8)$$

onde

$$P = \frac{V_m I_m}{2} \cos(\theta_v - \theta_i) \text{ e} \quad (9)$$

$$Q = \frac{V_m I_m}{2} \sin(\theta_v - \theta_i). \quad (10)$$

P e Q são, respectivamente, potência ativa e potência reativa. P é denominada potência ativa por representar a potência cuja a energia pode ser convertida em outra forma, que não a elétrica (NILSSON et al., 2009). Ela é a média associada das potências instantâneas em um período, ou seja:

$$P = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} p \, dt, \quad (11)$$

em que T é o período e t_0 um instante qualquer em que começou o processo de integração. Q é a potência que pode ser associada à parte reativa de um circuito e é denominada reativa por se comportar como indutiva ou capacitiva, ou seja, advinda de elementos reativos (NILSSON et al., 2009).

O ângulo $\theta_v - \theta_i$ é denominado ângulo do fator de potência (θ), e o fator de potência é o cosseno deste ângulo (NILSSON et al., 2009).

P e Q também são componentes de outra potência: a potência complexa (S):

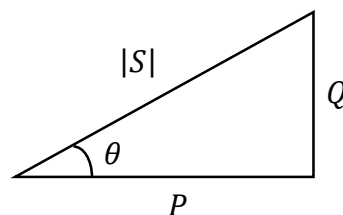
$$S = P + jQ. \quad (12)$$

O módulo da potência complexa é denominado potência aparente:

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (13)$$

Assim, pode-se formar o triângulo das potências representado pelo diagrama da Figura.

Figura 2 – Triângulo de potências



Fonte: Adaptação de Nilsson et al., 2009.

Assim sendo, a partir do triângulo de potências, pode-se deduzir que o fator de potência é dado pela razão entre a potência ativa e o módulo da potência aparente. Ainda com referência a Nilsson (et al., 2009) tem-se outra equação importante:

$$|S| = V_{ef} I_{ef}. \quad (14)$$

Onde V_{ef} e I_{ef} são respectivamente os valores eficazes de tensão e corrente.

Conhecidas as equações que modelam a rede elétrica, pode-se através delas efetuar os cálculos das grandezas necessárias ao conhecimento do consumo no EMH, a partir do conhecimento dos valores de tensão e corrente: potência ativa e fator de potência.

2.2 PROTOCOLO MQTT

Message Queue Telemetry Transport - MQTT é um protocolo criado pela IBM no final da década de 90. O protocolo MQTT tem como base o protocolo TCP/IP e dispositivos conectados a redes Ethernet ou WiFi podem comunicar-se através dele. É um protocolo de mensagens com suporte para comunicação assíncrona entre as partes.

Tal comunicação desacopla emissor de receptor espacialmente e temporalmente, diferentemente do HTTP (*HyperText Transfer Protocol*), que é síncrono, por exemplo, onde o cliente espera que o servidor responda.

No MQTT a mensagem é enviada e a própria rede se encarrega de entregá-la ao destino. O HTTP é um protocolo de comunicação entre apenas duas partes, ou seja, é difícil transmitir uma mensagem a todos os dispositivos da rede, diferentemente do MQTT (YUAN, 2017).

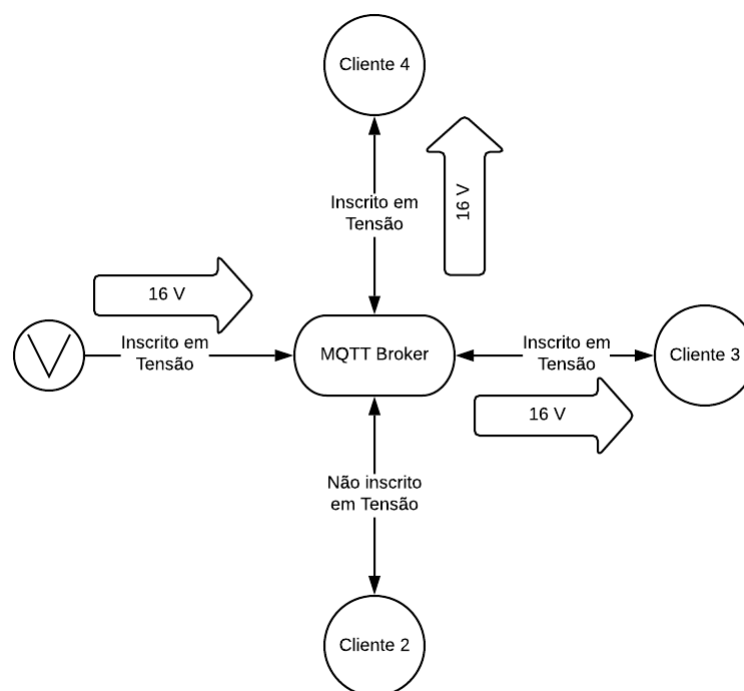
Mesmo possuindo “fila” no nome, o protocolo não trabalha com filas de mensagens. Protocolo bastante indicado para desenvolvedores de IoT (*Internet of Things*) pelo fato de ser “leve”, o que permite a implementação em *hardware* restrito, em redes com largura de banda limitada e de alta latência. É também flexível, permitindo a utilização em diversos aplicativos de IoT (YUAN, 2017). Além do que em

aplicações de IoT, muitos dispositivos apenas aguardam alguma instrução vinda de outros, ou seja, sem que haja a necessidade de solicitação (BISPO, 2019).

As duas partes envolvidas numa rede MQTT são o *broker* e o cliente (que podem ser inúmeros). O *broker* é um separador que recebe as mensagens dos clientes e as roteia para clientes relevantes. Um cliente é um dispositivo que pode enviar e/ou receber mensagens do *broker*. A conexão entre cliente e *broker* é realizada através do IP do computador onde está o *broker* e da porta da rede (geralmente 1883, padrão para a rede MQTT).

Um *broker* pode possuir vários tópicos de mensagens. O cliente pode se inscrever em qualquer destes tópicos. Se um cliente inscrito em algum tópico do *broker* envia uma mensagem a esse tópico, ao recebê-la o *broker* encaminha a mensagem a todos os clientes já inscritos no mesmo tópico. A Figura 3 ilustra a comunicação.

Figura 3 – Representação de uma rede MQTT



Fonte: O Autor, 2019.

Nela pode ser visto um sensor (voltímetro) e três clientes. Tanto o sensor como os clientes 3 e 4 estão inscritos no tópico Tensão do *broker*. Quando o sensor envia

uma mensagem (16V) para o tópico Tensão, todos os clientes recebem, com exceção do cliente 2, que não está inscrito no tópico.

2.3 COMUNICAÇÃO ATRAVÉS DA REDE ELÉTRICA

Dentre as maneiras de comunicar dados nos dias de hoje, está a comunicação pela rede elétrica, ou PLC. Ela tem o propósito de reutilizar a infraestrutura de fornecimento de energia elétrica já existente para comunicar também dados.

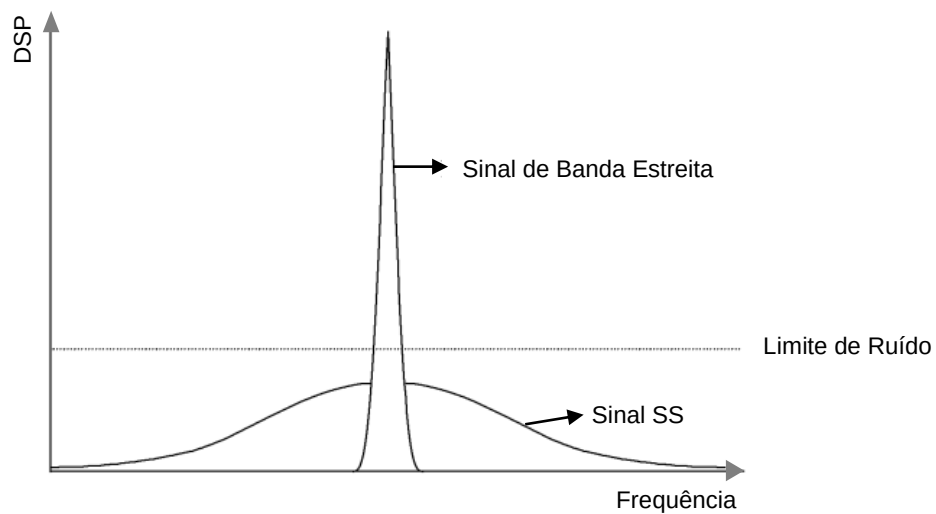
Em comparação com o sinal de tensão da rede elétrica, o PLC utiliza sinais de alta frequência, com componentes que vão desde algumas centenas de Hz até algumas centenas de MHz. A variedade de faixa de frequências de operação é devida a fatores como a quantidade de aplicações suportadas, a taxa de comunicação de dados requerida, as especificidades das topologias das redes onde o PLC é aplicado, etc (LAMPE et al., 2016).

2.3.1 Modulação em PLC

O meio para a comunicação PLC é bastante severo em termos de variância no tempo, seletividade de frequências e fontes de ruído impulsivas (WOLKERSTORFER et al., 2016). Tais problemas são reduzidos através de estratégias de modulação. Os dois tipos de modulação mais comuns para o PLC são a *Spread Spectrum* (SS, espectro “espalhado”) e a OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*).

O SS tem a característica de rejeitar interferências na comunicação (LAMPE et al., 2016). Nela a informação ocupa uma banda maior do que a mínima necessária à comunicação, com uma menor Densidade Espectral de Potência (DSP) (Figura 4).

Figura 4 – Representação da DSP em função da frequência de um sinal modulado em SS em comparação a um sinal normal, de banda estreita



Fonte: Adaptação de Vargas, 2004.

A modulação SS é realizada antes da transmissão, por meio da codificação da informação. O receptor utiliza o mesmo código da transmissão para recuperar a informação original. Assim sendo, essa modulação utiliza mais largura de banda, com menor potência, em função de maior segurança da informação.

O sinal é “espalhado”, com menor DSP, e assume a intensidade de um ruído, sem que seja possível a sua detecção, a não ser pelo receptor (VARGAS, 2004). O código utilizado na modulação SS idealmente não possui correlação com sinal transmitido e é distinto para cada par de *hardware* que se conecta, tornando difícil extrair a informação original sem o devido conhecimento do código.

Tipos de técnicas de SS:

- *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS): a banda do canal é dividida em sub-bandas e o sistema comuta entre elas seguindo uma sequência aleatória, conhecida apenas pelos dois módulos que estão conectados, comunicando informações;
- *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS): uma portadora é modulada em amplitude com o sinal de informação, da forma convencional, de maneira que o espectro resultante possua duas vezes a largura de banda do sinal original; em seguida uma segunda modulação de alta velocidade é aplicada, usando uma Sequência Binária Pseudo-Aleatória (SBPA), em intervalos suficientemente pequenos, definidos pelo código de SS.

Algumas propriedades do código de SS fazem com que a largura de banda seja duas vezes maior que a velocidade da SBPA. Outra característica é que a cada mudança de estado de bit da SBPA o sinal a ser transmitido muda de fase em 180° (LAMPE et al., 2016).

Já a técnica de modulação OFDM minimiza a interferência entre canais com frequências próximas e se baseia na propriedade de ortogonalidade entre sinais. Ou seja, para um canal dividido em vários sub-canais, os sinais que transitam por eles são modulados e demodulados por meio de técnicas que garantam sua ortogonalidade. O benefício é um maior número de canais para uma mesma faixa espectral em comparação a modulações onde é necessária uma banda de proteção entre um canal e outro, como por exemplo na FDM (*Frequency-Division Multiplexing*) (VARGAS, 2004).

2.3.2 Hardware para PLC

Existem *hardwares* comerciais específicos para PLC, que proporcionam uma comunicação com qualidade por meio da rede elétrica. Dentre os mais comuns, está o circuito integrado transceptor AR7420 MAC/PHY, da Qualcomm Atheros. Ele é compatível com o padrão IEEE 1901 (para velocidades de até 500Mbps na camada física, com frequências abaixo de 100MHz).

O AR7420 opera numa faixa de frequências que vai de 2MHz a 68MHz , possui memória interna, interfaces *ethernet* e SPI, um conversor A/D e um conversor D/A. Opera com modulação OFDM e criptografia dos dados (QUALCOMM ATHEROS, 2011).

3 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A revisão da literatura é definida como uma explanação sobre o que existe de publicações que abordam o tema do projeto no meio científico. Esta revisão possui um formato sistemático, onde são utilizadas técnicas para que se tenha a segurança de que o estudo é abrangente, abordando o máximo de bases possíveis, porém com segurança na qualidade dos dados disponíveis.

3.1 PROTOCOLO

O protocolo esclarece definições importantes de uma revisão sistemática. São eles: área de pesquisa, definição do problema, controle e desfecho. O protocolo desta revisão sistemática encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Protocolo de Pesquisa da Revisão Sistemática

Área de Pesquisa	Sistema elétrico de hospitais
Definição do Problema	Conhecimento do consumo elétrico dos EMHs
Controle	Medição do consumo, transmissão dos sinais por meio de PLC, recepção da informação e armazenamento em servidor, exibição dos dados em interface de <i>software</i>
Desfecho	Dados do consumo disponível de forma remota

Fonte: O Autor, 2019.

3.2 QUESTÕES DE PESQUISA

As questões de pesquisa delimitam o estudo e são responsáveis pelo bom direcionamento da pesquisa são as seguintes:

- Há medição do consumo elétrico de equipamentos hospitalares via PLC?
É necessário saber se a proposta já existe ou se é inovadora.

- O PLC é utilizado para transmitir informações em redes hospitalares?
É importante saber a viabilidade deste tipo de comunicação em ambientes hospitalares.
- Há desvantagens no uso de PLC em hospitais?
- Se sim, quais?

3.3 FONTES E ESTRATÉGIAS DE BUSCA

Nesta seção é abordado onde e como fazer a pesquisa necessária. Ela segue uma metodologia que vai desde escolha das bases de dados até a obtenção dos artigos.

3.3.1 Bases de Dados

Optou-se pelas bases de dados a seguir por serem as mais renomadas em engenharia e em saúde, áreas com conteúdo abordado no presente projeto. Além do mais, todas disponibilizam acesso aos seus artigos dentro da rede de computadores da UFPE. São elas:

- IEEE Xplore DIGITAL LIBRARY;
- ScienceDirect;
- Springer;
- PubMed;
- PMC.

3.3.2 Termos de Busca

Os termos de busca foram compostos pelos elementos relacionados à rede elétrica e a ambiente hospitalar. A língua utilizada foi o inglês, por ser a mais difundida mundialmente. São eles:

- Comunicação pela rede elétrica: “*power line communication*” (são termos já encontrados na literatura).
- Ambiente médico, hospitalar ou clínico: *medical*, *hospital* ou *clinical*.

3.3.3 Descritores

Primeiramente se buscou no MeSH (Medical Subject Headings) os descritores que haviam, os quais servem para as bases PubMed e PMC. Para comunicação pela rede elétrica, não foram encontrados. Para ambientes hospitalares, foi encontrado o termo “*hospitals*”. Relativo ao *Entree*, como é pago, o acesso não foi possível.

Dentre as bases de Engenharia, o IEEE disponibiliza uma lista onde constam os principais descritores. Na busca feita, não se encontrou algo que remetesse à “comunicação pela rede elétrica”.

3.3.4 String Genérica De Busca

Ao invés de usar *hospitals*, utilizou-se *hospital*, no singular, por entender que *hospital* já engloba os resultados de *hospitals*. Foram incluídos no estudo artigos que abordem “PLC” e “hospital”, que são capazes de responder as questões de pesquisa. O termo mais comum para hospital é *hospital*, mas se encontram também na literatura *medical*, *clinical* e, menos comumente, *armamentarium*, que é relativo a equipamento hospitalar.

Há na literatura várias expressões para PLC. São elas: *power-line carrier*, *power-line digital subscriber line* (PDSL), *mains communication*, *power-line telecommunications*, or *power-line networking* (PLN).

Assim, foi composta a *string* genérica da seguinte forma:

((“*power-line communication*” OR “*power-line networking*” OR “*power-line telecommunications*” OR “*power-line digital subscriber line*” OR “*mains communication*” OR “*power-line carrier*”) AND (*hospital* OR *medical* OR *clinical* OR *armamentarium*))

3.3.5 String de Busca na Base IeeeX

A sintaxe para a busca no site do IEEE Xplore, baseada na *string* genérica, é:

((*"power-line communication"* OR *"power-line networking"* OR *"power-line telecommunications"* OR *"mains communication"* OR *"power-line digital subscriber line"* OR *"power-line networking"* OR *"power-line carrier"*) AND (*hospital* OR *medical* OR *clinical* OR *armamentarium*))

Resultado Geral: 25 publicações.

3.3.6 String de Busca na Base Sciencedirect

Como a *string* de busca genérica estava muito grande para a base, decidiu-se dividir a busca em duas partes, com duas *strings* diferentes. Uma delas contém os termos *hospital* e *medical* e a outra *string* contém os termos *clinical* e *armamentarium*:

- ***((*"power-line communication"* OR *"power-line networking"* OR *"power-line telecommunications"* OR *"mains communication"* OR *"power-line digital subscriber line"* OR *"power-line networking"* OR *"power-line carrier"*) AND (*hospital* OR *medical*))***
- ***((*"power-line communication"* OR *"power-line networking"* OR *"power-line telecommunications"* OR *"mains communication"* OR *"power-line digital subscriber line"* OR *"power-line networking"* OR *"power-line carrier"*) AND (*clinical* e *armamentarium*))***

Resultado Geral: 159 publicações

3.3.7 String de Busca na Base Springer

Para esta base de busca foi montada a seguinte *string* a partir da genérica:

(("power line communication" OR "power line networking" OR "power line telecommunications" OR "mains communication" OR "power line digital subscriber line" OR "power line networking" OR "power line carrier") AND (hospital OR medical OR clinical OR armamentarium))

Resultados: 181 publicações

3.3.8 String de Busca na Base Pubmed

Tomando por base também a string genérica, a construída para realização da busca na base Pubmed foi a seguinte:

("power line communication"[All Fields] OR "power line carrier"[All Fields]) AND ("hospital"[All Fields] OR "medical"[All Fields] OR "clinical"[All Fields] OR "armamentarium"[All Fields])

Para pesquisar nas bases de saúde escolhidas, averiguou-se que elas não exibem resultados de termos compostos que não sejam descritores (índices) delas. Assim sendo, os termos que não eram descritores foram automaticamente removidos da string de busca, então seria desnecessário utilizá-los. Por este motivo a String de busca desta base e da PMC é menor que a genérica.

Resultado Geral: 24 publicações.

3.3.9 String de Busca na Base PMC

A string de busca nesta base, inspirada na genérica, ficou exatamente idêntica à da Pubmed. É ela:

("power line communication"[All Fields] OR "power line carrier"[All Fields]) AND ("hospital"[All Fields] OR "medical"[All Fields] OR "clinical"[All Fields] OR "armamentarium"[All Fields])

Resultado Geral: 1 publicação.

3.3.10 Artigos Encontrados

Foi encontrado um total de 388 artigos. A Tabela 2 exibe o total de artigos encontrados por base.

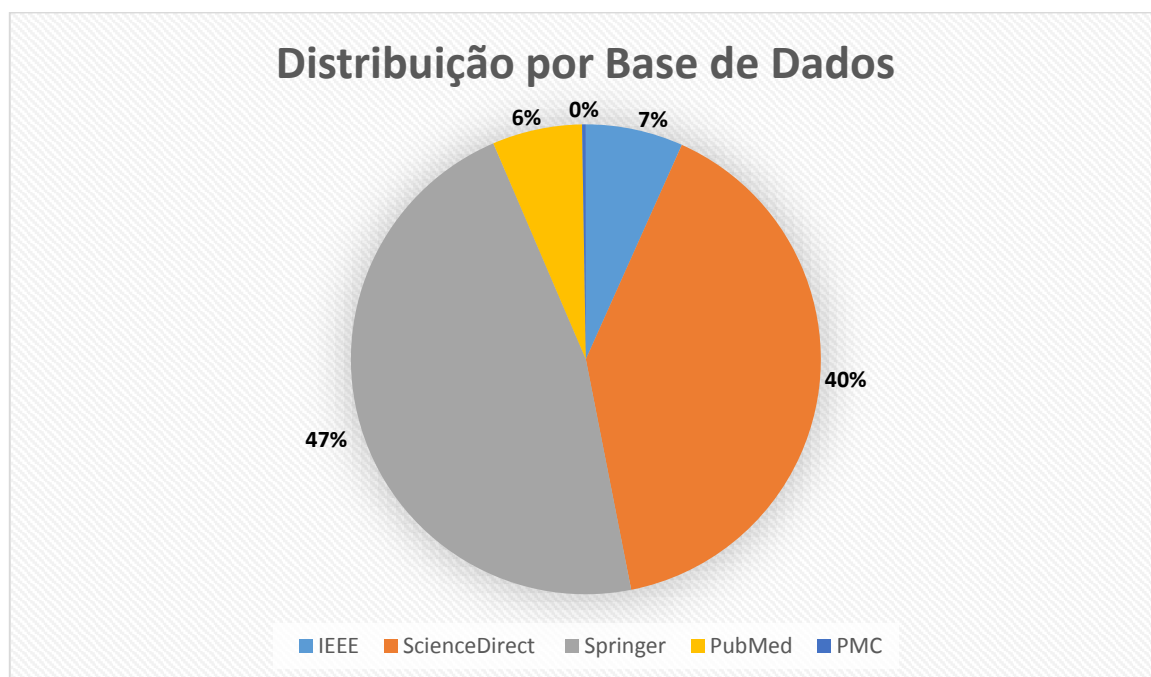
Tabela 2 – Totais de artigos encontrados por base

Base	Quantidade
IEEE	26
ScienceDirect	156
Springer	181
PubMed	24
PMC	1

Fonte: O Autor, 2019.

Com base na Tabela 2, foi construído o gráfico da Figura 5. Ele dá uma visão mais clara da distribuição percentual por base.

Figura 5 – Gráfico referente a distribuição percentual dos artigos encontrados na busca inicial, por base



Fonte: O autor, 2019.

As referências mais encontradas foram nas bases ScienceDirect e Springer. A Pubmed foi a de menor ocorrência.

3.4 LEITURA DE TÍTULO E RESUMO

A próxima etapa da revisão sistemática foi a leitura de Título e Resumo. Nela se verificou quais artigos tratam realmente de comunicação de dados pela rede elétrica em ambientes hospitalares. Inicialmente a leitura foi feita em artigos da base IEEE. Dos vinte e seis artigos, dezessete foram selecionados (Tabela 3).

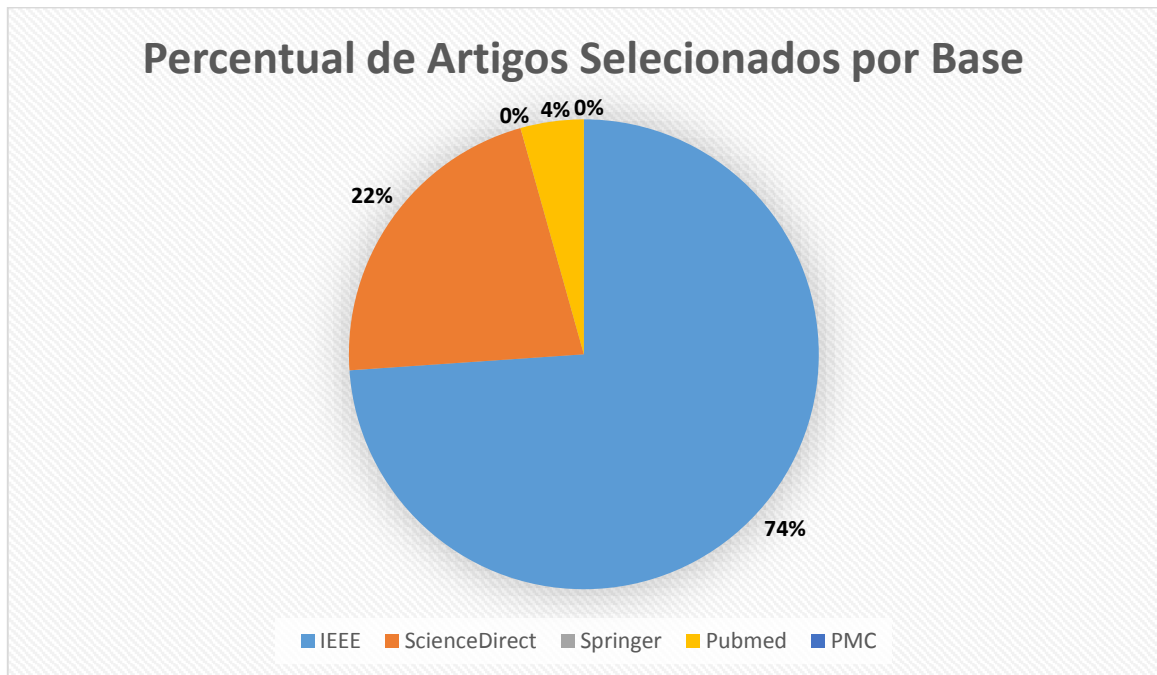
Tabela 3 – Quantidade de artigos selecionados por base após a leitura de título e Resumo

Base	Quantidade
IEEE	17
ScienceDirect	5
Springer	0
PubMed	1
PMC	0

Fonte: O Autor, 2019.

Em seguida, foi analisado o artigo encontrado na PMC, que não tinha relevância. Analisaram-se, então, os artigos encontrados na PubMed. Dentre os vinte e cinco pesquisados apenas um foi considerado relevante. Com relação aos artigos baixados da base ScienceDirect apenas cinco dos cento e cinquenta e seis abordavam o assunto. A Springer, apesar de ser a base que mais retornou fontes com base na *string* de busca, não trouxe um artigo relevante no que tange PLC e hospital. A Figura 6 exibe o resultado percentual por base selecionado após leitura de título e resumo.

Figura 6 – Gráfico que exibe o percentual por base da quantidade total de artigos selecionados após a leitura de título e resumo



Fonte: O Autor, 2019.

O total foi de vinte e três artigos selecionados para sua leitura completa, assunto abordado na próxima subseção.

3.5 LEITURA COMPLETA

Após a leitura completa, apenas onze artigos abordaram aspectos relevantes para a resposta das questões de pesquisa. A análise completa dos artigos encontrados trouxe informações importantes. A primeira delas foi a inexistência na literatura de trabalhos que tratem de algum protótipo que afere o consumo de EMHs e que realiza a comunicação dos dados via PLC. Zhang (2010) utilizou PLC para monitorar o status operacional de alguns EMHs, mas não especificamente o consumo.

A segunda delas é que a comunicação de dados pela rede elétrica foi citada como uma alternativa possível em ambientes hospitalares (AHN et al. 2008). Por exemplo, Wang (et al., 2010) utilizou PLC para a comunicação de dados médicos em EAS. Wu (2011) projetou um sistema para realização de chamadas médicas em EAS via PLC.

A comunicação via PLC é vista como uma alternativa à comunicação Wireless por não ser baseada em radiofrequência e, conseqüentemente, não tem a presença de radiação eletromagnética de alta frequência. Mesmo assim, Ding et al. (2015) propôs um sistema de comunicação híbrido composto por PLC e VLC (*Visible Light Communication*), que assegurava uma comunicação totalmente livre de radiação em ambientes internos de hospitais. Song (et al., 2015) também desenvolveu um sistema de comunicação híbrido, com PLC e VLC, mas não em hospitais.

Mas existe ainda a preocupação com relação à interferência do sinal de PLC nos equipamentos, de forma a produzir diagnósticos incorretos, principalmente os de diagnóstico por imagem. Ishida et al. (2016) realizou experimentos com vários equipamentos.

Primeiramente Ishida verificou que não houve interferência de campo elétrico irradiado por *modems* PLC em nenhum equipamento, o que já era esperado. No entanto observou artefato de ruído em um equipamento de diagnóstico por ultrassom quando este era alimentado em um trecho da rede entre o modem cliente e o servidor. Então uma possível restrição para o uso do PLC em um determinado circuito seria a presença de equipamento de ultrassom no mesmo, dependendo obviamente da frequência e do tipo de modulação do sinal do PLC.

Além do que já foi citado, observou-se na literatura a utilização de PLC de baixa tensão para alguns tipos de equipamento. Este tipo de PLC é diferente do que vem sendo relatado no trabalho. Não é aproveitada a rede elétrica existente em um local para transmitir dados. Ao invés disso, é cabeada e montada uma nova rede em baixa tensão, com o único propósito de comunicação de dados.

Dentre os projetos com PLC de baixa tensão, encontram-se exames de Eletroencefalografia (EEG), pois o PLC já proporcionava a comunicação e a alimentação dos eletrodos em um único par de fios (PINTO et al., 2017). Outro exemplo é um sensor capacitivo para a medição do volume líquido de gotejamento intravenoso (KIM et al, 2012).

Na pesquisa também foi identificada a utilização de PLC para o monitoramento remoto de pacientes (HUH, 2016; HARUYAMA et al. 2007), mas não de EMHs.

4 METODOLOGIA

Este capítulo discorre sobre o a forma de desenvolvimento do trabalho, desde definições relativass a *hardware* e *software* até a maneira como os testes foram realizados em laboratório e, também, no Hospital das Clínicas (HC).

4.1 HARDWARE, FIRMWARE E SOFTWARE

O trabalho consiste do projeto e concepção, em *hardware* e *firmware*, de um protótipo que monitora o consumo de EMHs pela rede elétrica hospitalar, enviando as informações coletadas a um servidor, que exibe tais informações em *software* também desenvolvido, o qual também armazena essas informações.

A Figura 7 exibe a idealização do protótipo, o módulo cliente. Nela consta uma caixa azul, representando o módulo cliente, e este conectado à tomada da rede elétrica, que o alimenta. O EMH, por sua vez é alimentado eletricamente pelo módulo cliente, ou seja, seu cabo de força é ligado numa tomada de saída presente no módulo.

Figura 7 – Representação de como o módulo cliente é instalado em um EMH



Fonte: O Autor, 2019.

* O módulo cliente (caixa azul na figura) é instalado no EMH; o protótipo é alimentado pela rede elétrica e o EMH, por sua vez, alimentado pelo protótipo.

O módulo cliente realiza a aquisição dos sinais, processa-os, e transmite as informações obtidas a um computador servidor, por meio da rede elétrica. O módulo cliente conta com um microcontrolador que executa um *firmware* desenvolvido para que as tarefas atribuídas a ele sejam efetuadas.

O servidor de dados tem que estar conectado a um módulo PLC receptor, através da porta Ethernet, e este, conectado ao mesmo circuito da rede elétrica em que está conectado o módulo cliente (Figura 8). No servidor, um *software*, foi projetado e desenvolvido para receber as informações do módulo cliente, exibí-las na tela em tempo real, e armazená-las em arquivo.

Figura 8 – Representação da ligação entre módulo PLC (caixa azul) e servidor, por meio de Ethernet, e do módulo sendo alimentado pela rede elétrica



Fonte: O Autor, 2019.

4.2 PROCEDIMENTOS PARA TESTES

Foram realizados dois tipos de testes do sistema: inicialmente testes de validação da comunicação PLC na rede do hospital e testes para aferição do consumo. Para todos os testes utilizaram-se um servidor e dois módulos clientes. Montados os protótipos, foi realizado o teste de comunicação com o PLC e, após, seguiram-se os demais testes de consumo com EMHs.

4.2.1 Teste para Validação da Comunicação PLC

Neste teste não houve a aferição do consumo de EMHs, consequentemente os módulos clientes não foram conectados a nenhum equipamento, mas apenas à rede elétrica.

Definiu-se então um pacote exemplo a ser enviado ao servidor, conforme a Tabela 3. Este pacote possui 19 campos sendo o primeiro para caracteres e os demais para valores inteiros. O primeiro campo é o de identificação do módulo cliente (ID). Entre o segundo e o décimo oitavo, os campos que representam as amostras a serem enviadas. O último refere-se ao número do pacote.

Tabela 4 – Representação do pacote exemplo para validação da PLC

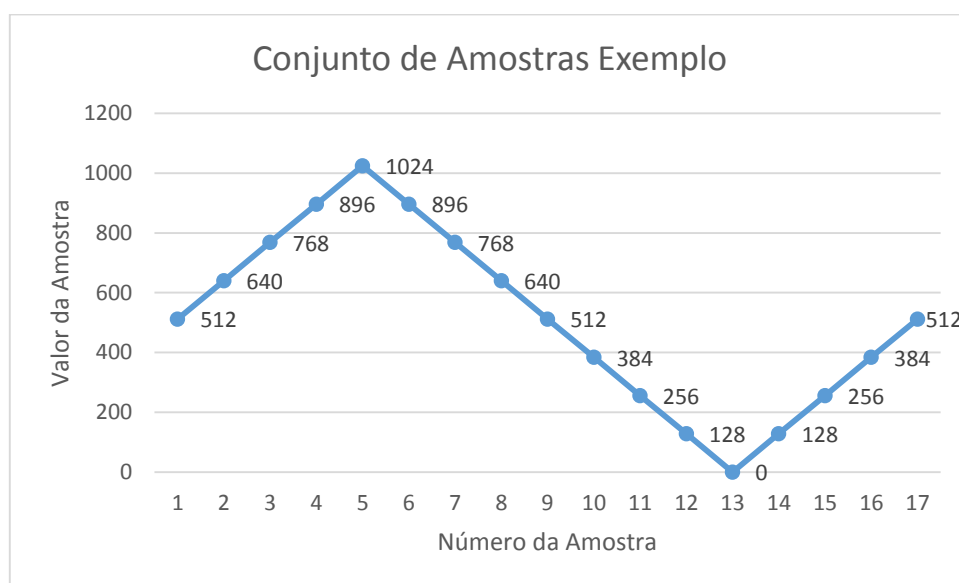
ID	Amostras																	Nº
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

Fonte: O Autor, 2019.

O primeiro campo de cada pacote é preenchido de acordo com qual cliente estava enviado o pacote no momento. O conjunto de amostras escolhido representa uma onda triangular. Tal onda foi escolhida por ser de fácil detecção a possível perda de alguma amostra (corrupção do pacote).

A onda triangular foi montada com pontos que assumiam valores entre 0 e 1024, e pontos distavam 128 unidades entre si, totalizando 17 amostras, conforme pode ser visto na Figura 9. A primeira amostra é o valor 512, as seguintes seguem a ordem crescente, somando 128 por vez, até o valor 1024. As próximas seguem uma sequência decrescente, agora sendo subtraídos 128 unidades por vez, até atingir o valor 0. Então as amostras assumem valores crescentes novamente, adicionando-se 128 unidades por vez, até chegarem novamente em 512. O módulo cliente foi ajustado para enviar um pacote a cada 16ms.

Figura 9 – Gráfico que representa o conjunto de amostras exemplo para execução do teste de comunicação PLC



Fonte: O Autor, 2019.

Neste primeiro teste o servidor ainda não utilizou a interface gráfica, já que é apenas um pacote exemplo foi utilizado e o consumo não foi monitorado. O servidor foi programado para receber os pacotes e armazená-los em arquivos. Ao receber um pacote, é concatenado a este o horário do recebimento, com precisão de milissegundos. O pacote é adicionado a um arquivo de texto e salvo no computador. A Tabela 5 mostra um exemplo de um pacote, para ser armazenado pelo servidor.

Tabela 5 – Exemplo de um pacote armazenado pelo servidor

ID	Amostras																	Nº	Horário
C1	512	640	768	896	1024	896	768	640	512	384	256	128	0	128	256	384	512	19	16:40:05.778

Fonte: O Autor, 2019.

Prontos os equipamentos, foram executados testes dentro do próprio laboratório de desenvolvimento, antes de serem levados ao hospital. Em seguida procederam-se os testes em ambiente hospitalar, no setor de Broncoscopia, no Hospital das Clínicas (HC) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Lá são realizados no mínimo dois tipos de exame com diagnóstico por imagem: a própria Broncoscopia e o Ecotransesofagia.

Cada exame é realizado em uma sala. Desta maneira, o servidor foi instalado na sala de recepção, um módulo cliente na sala onde se faz Ecotransesofagia e outro módulo sensor na sala de Broncoscopia, na qual os EMHs foram ligados (à rede apenas, não aos módulos sensores), simulando a realização de exames durante o teste. A duração do teste foi aproximadamente o tempo gasto para a realização de dois exames.

4.2.2 Testes de Averiguação do Consumo de Equipamentos

Os testes para averiguação do consumo foram realizados no Hospital das Clínicas, nos setores de Engenharia Clínica e Diagmagem (Diagnóstico por Imagem), com o apoio dos engenheiros e técnicos dos setores e da empresa terceirizada de manutenção dos EMHs.

4.2.2.1 Testes no Setor de Engenharia Clínica

A motivação de executar testes no setor de Engenharia Clínica surgiu da facilidade de acesso a equipamentos que estão parados. Inicialmente foi preciso ligar os Módulos Sensores e o Servidor no mesmo circuito elétrico. Após conseguido tal, o primeiro equipamento a ser monitorado foi um respirador, de potência máxima 1100VA, que pode ser visto na Figura 10. O respirador foi ligado à tomada do Módulo Sensor e este, por sua vez, à rede elétrica.

Figura 10 – Fotografia do respirador em que foi realizado o teste de consumo



Fonte: O Autor, 2019.

O interesse na realização deste teste, além de monitorar o consumo de energia, foi de avaliar o consumo durante um dia inteiro (24 horas) de operação do equipamento na rede hospitalar. A rede elétrica tem seus momentos de pico, de baixas e oscilações e é desejado saber se esses momentos interferem na operação do EMH, assim como na rede PLC.

Concomitantemente com o módulo sensor instalado no respirador, outro foi instalado em um bisturi elétrico (Figura 11), equipamento caracterizado por funcionar em alta frequência e precisar efetuar vários chaveamentos durante sua operação. Em seguida, um dos técnicos do HC executou algumas rotinas simulando a operação do equipamento.

Figura 11 – Fotografia de bisturi elétrico que foi utilizado no segundo teste para a avaliação do consumo, realizado no HC



Fonte: O Autor, 2019.

4.2.2.2 Teste no Setor Diagnóstico

O terceiro teste de consumo foi efetuado no setor Diagnóstico do Hospital das clínicas. O setor possui uma sala de recepção/espera e várias salas, onde são realizados os exames de vários tipos.

Em uma das salas de exame, onde são realizados exames de ultrassonografia, foi realizada no equipamento uma manutenção preventiva. O equipamento pode ser visto na Figura 12. O ultrassom possui potência máxima, especificada em sua carcaça, de 780VA. O teste então, foi marcado para o dia da manutenção preventiva, após o término desta.

Figura 12 – Fotografia do equipamento de ultrassom em que foi utilizado para o quarto teste



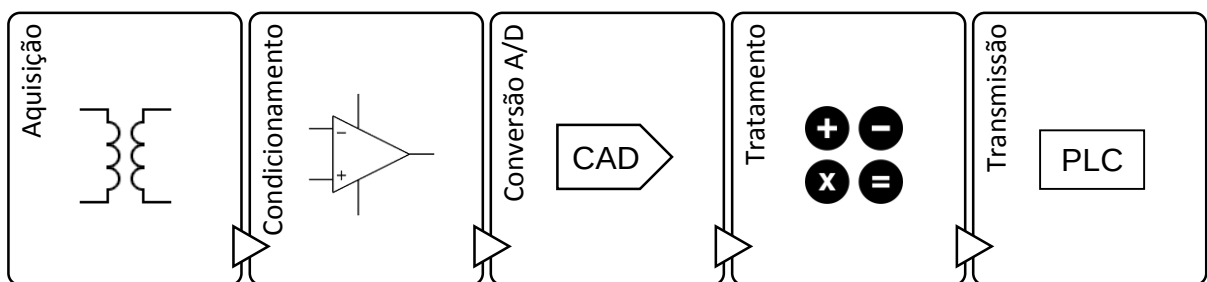
Fonte: O Autor, 2019.

Da mesma forma que no teste com o respirador, foi instalado um módulo sensor no equipamento de ultrassom. Em alguma outra parte do setor onde foi encontrada uma tomada ligada à mesma rede elétrica, foi conectado o servidor.

5 PROJETO E CONCEPÇÃO DE HARDWARE

O projeto necessitou que *hardware* fosse desenvolvido para o sensoriamento, condicionamento, processamento e comunicação dos sinais. Este capítulo disserta sobre como as plataformas de *hardware* foram projetadas e desenvolvidas e também a interligação existente entre elas. A Figura 13 exibe um fluxograma do que o protótipo de coleta dos dados, o módulo sensor, deve executar.

Figura 13 – Procedimento seguido pelo módulo sensor para obtenção e envio dos dados



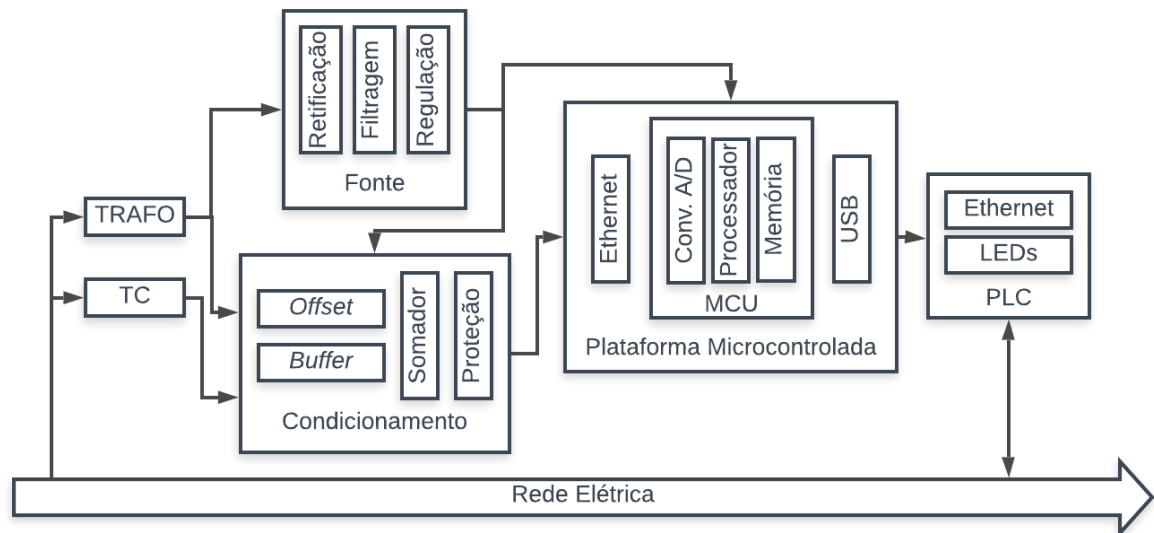
Fonte: O Autor, 2019.

O módulo sensor tem como primeira etapa realizar a aquisição através de sensores dos sinais de tensão e corrente. A segunda etapa é a adequação dos sinais dos sensores (condicionamento) para a posterior conversão A/D (terceira etapa).

Na quarta etapa, por meio de operações matemáticas aplicadas às amostras, são calculados os valores eficazes de tensão e corrente, as potências ativa e aparente, além do fator de potência. A partir daí, deve ser montado um pacote contendo os valores calculados e este enviado ao servidor de dados por meio de PLC.

A figura 14 é um diagrama de blocos mais específico sobre o *hardware* constituinte do módulo sensor. Os sinais de energia são adquiridos por meio de transformadores. Um Transformador de Corrente (TC) para a corrente e um Transformador (TRAFO) abaixador para tensão. O TRAFO é, além de sensor de tensão, responsável por fornecer a energia à fonte de alimentação simétrica do circuito. Esta tem as etapas de retificação, filtragem e regulação. Ela tanto alimenta o circuito de condicionamento de sinais, como a plataforma microcontrolada.

Figura 14 – Diagrama de blocos que representa o *hardware* constituinte do módulo sensor



Fonte: O Autor, 2019.

O TRAFO e o TC enviam os sinais de tensão e corrente adquiridos ao circuito de condicionamento. Tal circuito é constituído de etapas de *buffer*, *offset*, e somador para que o sinal se torne adequado à aquisição. Além disso há a parte de proteção, para que não haja a possibilidade de que a saída do circuito de condicionamento danifique a entrada da plataforma microcontrolada.

A plataforma microcontrolada possui as interfaces Ethernet e USB e o microcontrolador (MCU). O MCU possui internamente o conversor A/D, processador e memória. Os sinais analógicos são convertidos em digitais e armazenados. Em seguida, são extraídas as informações desejadas, a partir dos sinais, as quais são encaminhadas ao módulo PLC via protocolo Ethernet.

O módulo PLC possui interface Ethernet e LEDs de indicação do seu funcionamento. Ele é alimentado pela rede elétrica e também se comunica através dela. O Módulo, então, recebe as informações da plataforma microcontrolada e as transmite pela rede elétrica.

5.1 PLATAFORMA MICROCONTROLADA

O microcontrolador escolhido foi o ESP32, da Expressive Systems. O ESP32 possui diversos recursos e vantagens que justificaram sua escolha para o projeto. Uma delas, é a velocidade, já que possui um microprocessador *dual core* de 32 *bits* (EXPRESSIVE SYSTEMS, 2019). Outra é o conversor AD de 12 *bits* (EXPRESSIVE SYSTEMS, 2019), quantidade de *bits* mínima necessária para amostragem de sinais quando se refere a qualidade de energia (ANEEL, 2008).

Figura 15 – Fotografia do microcontrolador ESP32.



Fonte: Expressif, 2019.

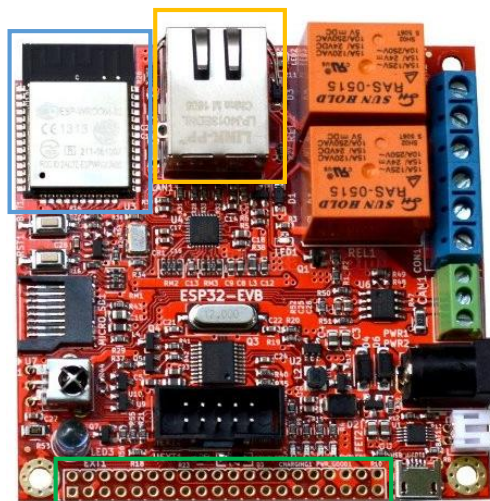
O ESP32 ainda tem como característica a facilidade de conexão Ethernet (algo necessário ao projeto, quando se pensa em monitoramento remoto) e também a facilidade de programação pela existência de muitas bibliotecas.

Após a escolha do microcontrolador, procedeu-se o desenvolvimento de uma placa contendo o microcontrolador e que faria a interface entre o circuito de condicionamento e o *modem* PLC. As requisições para o projeto são o acesso às portas referentes a duas entradas do conversor A/D, interface de comunicação USB, para que o *firmware* seja carregado no microcontrolador, terminais de *reset* do microcontrolador e *hardware* que permita a comunicação Ethernet, por meio da qual se dá comunicação com o *modem* PLC.

A placa foi desenvolvida em parceria com Bispo (2019), e o intuito foi que ela atendesse aos dois trabalhos. O *software* utilizado para desenvolvimento de esquemático e *layout* da placa foi o Kicad.

Em paralelo com o projeto da Plataforma Microcontrolada, foram adquiridas placas de desenvolvimento da Olimex, modelo ESP32-EVB (*Evaluation Board*, exibida na figura 16) para agilizar o desenvolvimento do projeto. Ela possui também um microcontrolador ESP32 (destaque em azul na Figura 16), interface Ethernet (destaque em amarelo também na Figura 16) e um conector que permite o acesso a todas as portas do ESP32, bem como as entradas referentes ao conversor A/D (destaque em verde na Figura 16). A ESP32-EVB tem recursos muito além dos necessários ao projeto, até por ser uma placa de desenvolvimento, mas a nível de protótipo pôde ser utilizada devido a sua compatibilidade.

Figura 16 – Placa ESP32-EVB



Fonte: Olimex, 2019 – Grifo do Autor.

* Fabricada pela Olimex, com destaque para o microcontrolador ESP32, em azul, para a interface de comunicação ethernet, em amarelo, e para o conector de acesso aos terminais do ESP32, em verde

5.2 COMUNICAÇÃO PLC

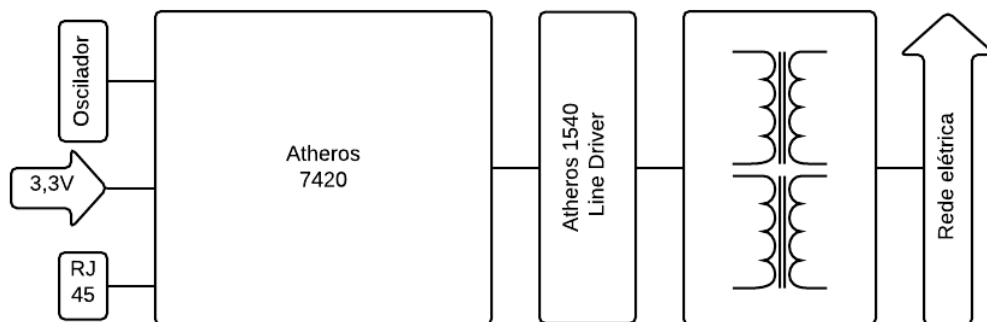
Para a comunicação PLC a ideia foi o desenvolvimento de um circuito que funcionasse tanto para ser componente do módulo sensor como para que também pudesse ser conectado ao servidor de dados. Para tal, precisaria de uma interface que atendesse às duas necessidades.

O CI transceptor AR7420, que foi descrito na fundamentação teórica, possui uma interface ethernet compatível com a necessidade desse projeto. Assim, foi criado

um circuito com o AR7420 para suprir essa necessidade. O próprio fabricante do transceptor também fornece um drive de linha, chamado AR1540. Ele inclui um filtro de transmissão, um *driver* de linha de ganho programável e um amplificador de recepção de ganho programável.

O diagrama de blocos representativo do circuito está na Figura 17. Além dos circuitos integrados são necessários também um oscilador, um conector RJ45, a alimentação dos CIs e dois transformadores, a serem ligados nos módulos: um para transmissão e outro para recepção.

Figura 17 – Diagrama de representação do módulo PLC a ser construído



Fonte: O Autor, 2019.

Para maior brevidade no projeto, foram adquiridos módulos TL-PA4010, da marca TP-Link. O *hardware* básico dele é o AR7420. Assim sendo, os módulos possuem interface Ethernet. Quando dois ou mais módulos são conectados ao mesmo circuito elétrico, eles são capazes de transmitir pacotes de dados pela rede elétrica (TP-LINK, 2012). Qualquer dos módulos funciona tanto com o servidor quanto com o cliente (módulo sensor) e os próprios módulos TL-PA4010 detectam a que estão conectados, servidor ou cliente. Em um só módulo servidor podem ser conectados até dezesseis módulos clientes (TP-LINK, 2012).

Existe uma rotina do próprio módulo PLC que indica quando ele está conectado. Pode-se perceber, em destaque vermelho na Figura 18, a presença de três *leds* em cada módulo. O superior indica que o módulo está ligado à rede elétrica, o do meio que dois ou mais módulos estão interconectados pela rede elétrica e o inferior indica que o cabo ethernet está conectado ao módulo (TP-LINK, 2012).

Figura 18 – Fotografia de um módulo TL-PA4010



Fonte: TP-Link, 2012 – grifo do Autor.

* Destaque em vermelho para os leds indicativos de funcionamento.

5.3 SENSORES

Para a aquisição dos sinais de tensão e corrente foram utilizados transformadores. Utilizou-se um transformador de 220V para 12V (250mA) com derivação central. A escolha deste dispositivo ocorreu por ser um componente isolador e abaixador de tensão, facilitando o uso do conversor A/D; também por ser comercial e de fácil aquisição.

Na saída do transformador, foi adicionado um divisor resistivo, com resistores de $10k\Omega$ e 560Ω , responsável por reduzir a tensão de 12V para 0,7V. Este valor de tensão foi escolhido por ser o valor adequado para a o conversor A/D do ESP32.

Já para o sinal de corrente foi escolhido o sensor SCT013 (Figura 19). Ele também é um transformador, só que de corrente, por efeito *hall*. O SCT013 que possui várias características importantes, dentre elas uma não linearidade de apenas $\pm 3\%$ (YHDC). Além disso, é não invasivo e existem versões comerciais dele para vários fundos de escala de corrente.

Figura 19 – Transformador de Corrente SCT013



Fonte: YHDC, 2019.

No projeto, utilizou-se o SCT013 de 20A para 1V pois corrente máxima dos EMHs interligados ao sistema não ultrapassa 20A. Tal fato ocorre na maioria dos EMHs em uma EAS. Equipamentos com maior consumo de energia são equipamentos trifásicos, os quais não são abordados neste estudo.

No Brasil, em quase todo o sistema de abastecimento, a tensão e a corrente da rede elétrica são alternadas e, conseqüentemente, os sinais de saída dos sensores também são. Deste modo, assumem valores negativos durante a metade de um ciclo e valores positivos na outra metade. Entretanto, o conversor A/D do microcontrolador escolhido só faz conversões de sinais positivos (EXPRESSIVE SYSTEMS, 2019). Assim, os sinais têm de ser condicionados para que possam ser digitalizados. A próxima seção trata desse condicionamento.

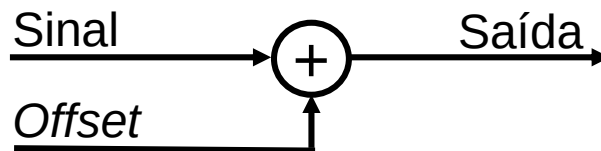
5.4 CONDICIONAMENTO DOS SINAIS E FONTE DE ALIMENTAÇÃO

Como já abordado anteriormente, dois sinais são adquiridos: o de tensão e o de corrente. Desta maneira, são necessários dois canais na placa de condicionamento, sendo um para cada sinal.

Basicamente o circuito condicionador adiciona ao sinal capturado pelo sensor um nível de tensão contínua, chamado aqui de *offset*, que faz com que o valor na saída esteja totalmente positivo, permitindo assim, que o sinal seja conectado à porta

do conversor A/D, interno ao microcontrolador. Um diagrama funcional de cada canal do circuito de condicionamento de sinais pode ser visto na Figura 20

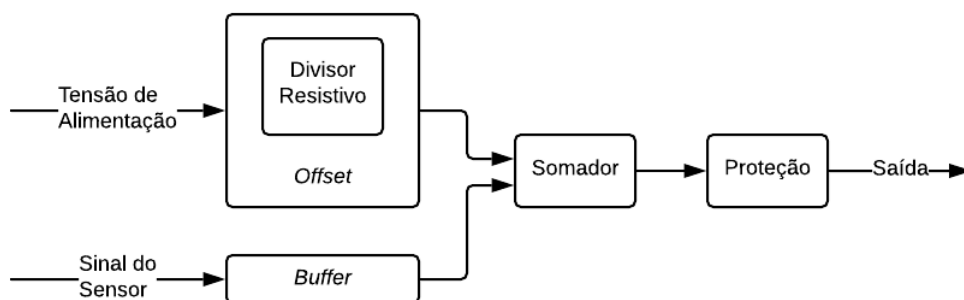
Figura 20 – Diagrama funcional de cada canal do circuito de condicionamento de sinais.



Fonte: O Autor, 2019.

A entrada de cada canal, de tensão e de corrente, passa inicialmente por um *buffer* cuja saída é ligada a um somador não inversor que adiciona o sinal e o *offset* (Figura 21). O *offset* é obtido a partir de um divisor de tensão da alimentação do próprio circuito. Os somadores têm diodos zener de 3,3V para a proteção contra sobretensão nas portas correspondentes ao conversor A/D do microcontrolador, que faz a digitalização dos sinais.

Figura 21 – Fluxograma que representa a sequência de etapas do circuito condicionador de sinais



Fonte: O Autor, 2019.

Junto com a parte de condicionamento de sinais foi construída também a fonte de alimentação do circuito. Aproveitou-se o transformador utilizado como sensor de tensão para alimentar uma ponte de diodos que retifica o sinal, o qual é filtrado e regulado para +5V e -5V. Para que fosse possível a obtenção da tensão de -5V, o transformador adquirido possui derivação central, e esta foi interligada à referência (ou terra) da fonte de alimentação.

O projeto do circuito final que foi impresso, a níveis de esquemático e *layout*, foi realizado utilizando o *software* CAD Eagle. Duas cópias da placa tiveram seus circuitos impressos por uma impressora laser, 3D, multifuncional, ZMorph VX.

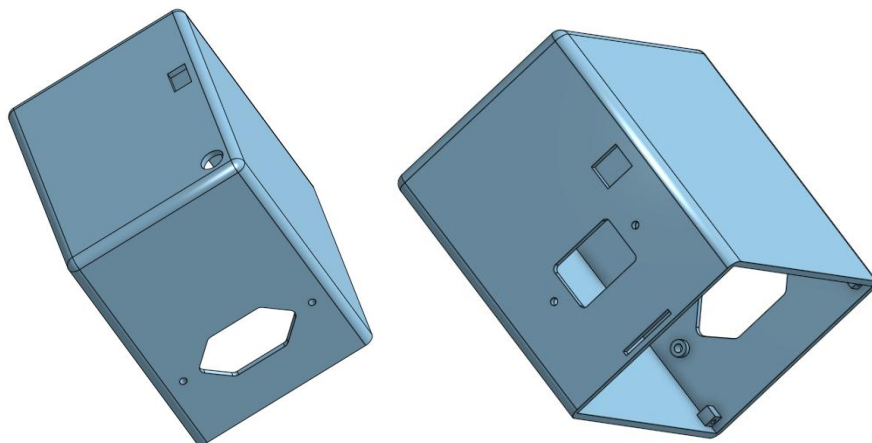
5.5 CAIXA PARA ENCAPSULAMENTO DO PROTÓTIPO

Para a encapsulamento do protótipo do módulo cliente, foi desenvolvido um *layout* de caixa no programa *online* Onshape. Requisições:

- botão de *reset*;
- abertura para o acesso à interface micro-USB da placa Microcontrolada;
- abertura para a visualização dos LEDs do modem PLC
- tomada de entrada, para alimentação do protótipo;
- tomada de saída, onde é conectado o EMH a ser monitorado.

Foram impressas duas caixas na impressora 3D Davinci 1.0 Professional, da marca XYZprinting, uma para cada protótipo. A figura 22 exibe o *layout* desenvolvido no Onshape.

Figura 22 – Vistas do layout da caixa desenvolvida no Onshape para o módulo sensor



Fonte: O Autor, 2019.

6 DESENVOLVIMENTO DE *FIRMWARE* E *SOFTWARE*

Tanto o MCU quanto o computador que exerce o papel de servidor de dados precisam que seja estabelecida uma rotina adequada às tarefas que devem executar. Para tais atividades foram desenvolvidos *firmwares*, para o MCU, e *software* para o servidor de dados.

6.1 *FIRMWARES* PARA O MCU

Foram desenvolvidos dois *firmwares* para o projeto. Um deles para o primeiro teste, referente à validação da comunicação PLC no HC e o outro para a utilização nos demais ensaios referentes ao consumo de energia dos EMHs.

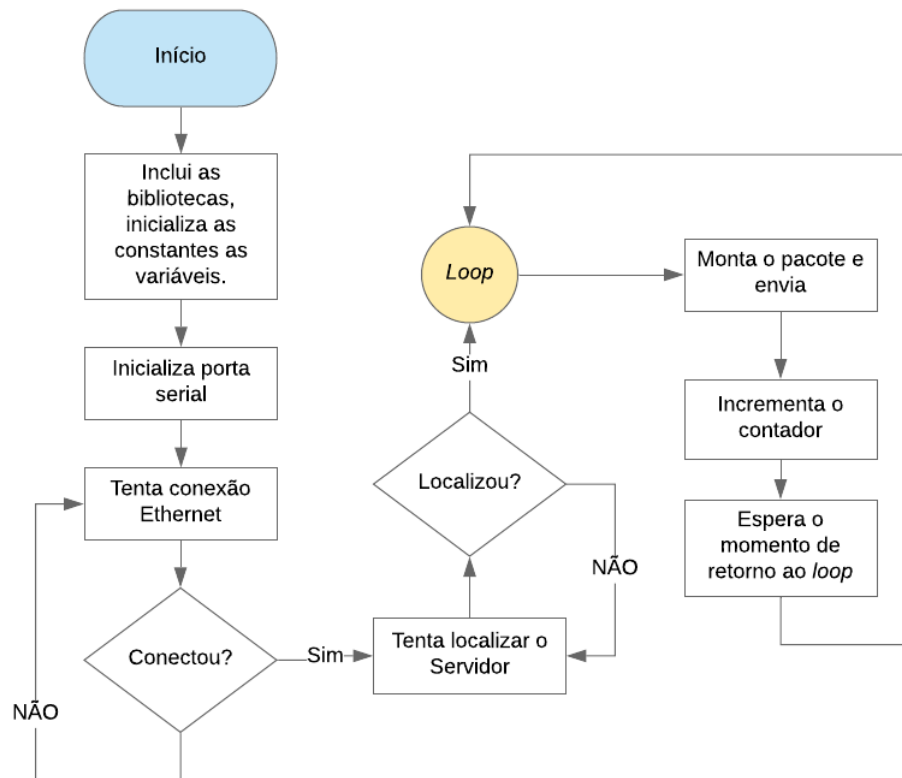
6.1.1 Primeiro *Firmware*

Dentre as especificações relativas ao primeiro *firmware*, era necessário que ele pudesse enviar um pacote exemplo, contendo a identificação do módulo sensor que gerasse aquele pacote, dezessete amostras e um contador de pacote, que seria acrescentado a cada pacote enviado. O período de envio destes pacotes seriam $16,7ms$, o que resulta numa frequência de $60Hz$.

6.1.1.1 Rotina Principal do Primeiro Firmware

A Figura 23 exibe o fluxo dos procedimentos que a rotina principal executa.

Figura 23 – Fluxograma representativo da rotina principal do 1º *firmware*



Fonte: O Autor, 2019.

Analisando o fluxograma da Figura 24 pode-se definir os seguintes passos:

- O *firmware* inicializa com a inclusão de bibliotecas e com a inicialização de constantes e variáveis;
- A porta serial é inicializada, para a possível necessidade de se depurar o *status* do módulo com relação à conexão com o servidor;
- Após é chamado um procedimento para conexão do sistema à Ethernet;
- Assim deve-se avaliar se a conexão Ethernet foi confirmada:
 - Se sim, segue a rotina;
 - Se não, tenta conectar novamente;
- Tenta-se, então, localizar o servidor e permanece tentando até conseguir encontrar a conexão;
- Em sequência é iniciada a rotina de repetição para montagem e envio dos pacotes (*loop*); nessa rotina estão inclusas o incremento do contador e um tempo de espera, até que chegue o momento de voltar ao *loop*; a função de envio do pacote é via protocolo MQTT.

As bibliotecas utilizadas no código são referentes à comunicação Ethernet e ao protocolo MQTT. Dentre as constantes presentes no código está a *string* que contém o pacote exemplo. Ela é constituída da ID atribuída ao módulo sensor e as dezessete amostras exemplo, separadas por vírgula. A Figura 24 exemplifica a *string* do módulo sensor nº 1, chamada de MOD1. As demais constantes são relativas a MAC e IP do protótipo e também do IP do servidor.

Figura 24 – Representação da *string* exemplo criada para o 1º *firmware*

```
"MOD1,512,640,768,896,1024,896,768,640,512,384,256,128,0,128,256,384,512"
```

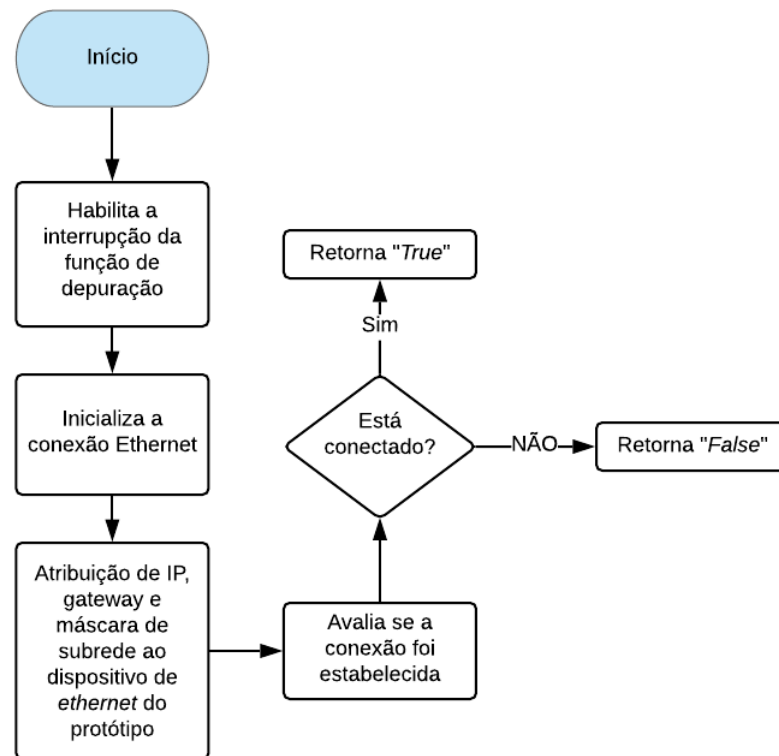
Fonte: O Autor, 2019.

Uma variável presente é o contador de pacotes, que é incrementado a cada novo envio. Outra, do tipo *string*, é usada para a montagem do pacote final. Durante o *loop*, na montagem do pacote, o valor do que está no contador é convertido em *string* e concatenado à constante exibida na figura 24, formando o pacote final, que é armazenado na variável. As rotinas de conexão Ethernet e localização do servidor são funções à parte, chamadas pela rotina principal.

6.1.1.2 Rotina de Conexão Ethernet

O fluxograma da Figura 25 exhibe a sequência de passos seguidos pela rotina de conexão Ethernet.

Figura 25 – Fluxograma representativo da rotina da função de conexão Ethernet



Fonte: O Autor, 2019.

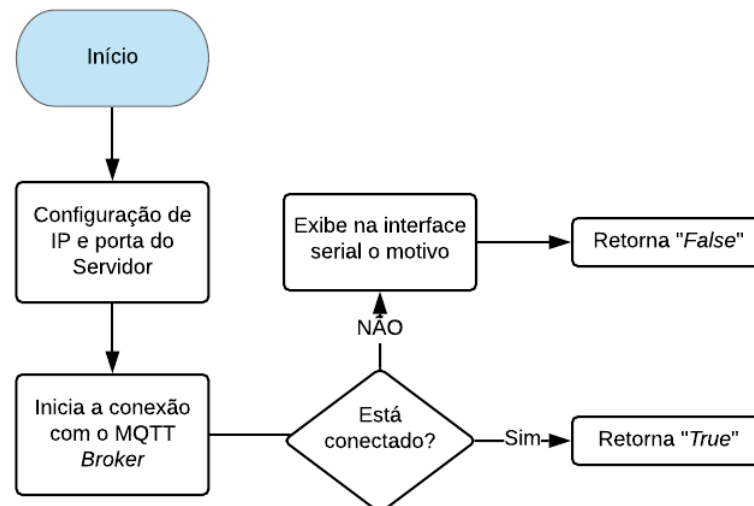
Os tópicos a seguir explicam a rotina:

- A rotina é iniciada com a habilitação da interrupção da função de depuração, que detecta alguma alteração na conexão e informa, através da interface serial, que evento (por exemplo uma desconexão de cabo) ocorreu.
- Após inicializar a rotina de comunicação Ethernet, o sistema realiza a atribuição de IP, *gateway* e máscara de sub-rede ao *hardware* de *ethernet* do módulo sensor;
- Em seguida a rotina avalia se a conexão foi estabelecida:
 - Se sim, retorna “*true*”;
 - Caso não, retorna “*false*”.

6.1.1.3 Rotina de Localização do Servidor e Conexão com o MQTT *Broker*

Essa rotina representa uma função responsável por localizar o servidor e estabelecer uma conexão com o MQTT *broker* (Figura 27).

Figura 26 – Fluxograma representativo da rotina da função localização do Servidor e conexão com o MQTT *broker*



Fonte: O Autor, 2019.

Rotina seguida pelo código:

- É configurado no módulo cliente o IP do servidor e porta de comunicação que será utilizada;
- Configura-se a conexão com o MQTT *broker*, indicando que módulo cliente está abrindo a conexão;
- Averigua-se se está conectado:
 - Caso sim, retorna “true”.
 - Caso não, exibe pela interface serial a razão da falha na conexão e, em seguida, retorna “false”.

6.1.2 Segundo *Firmware*

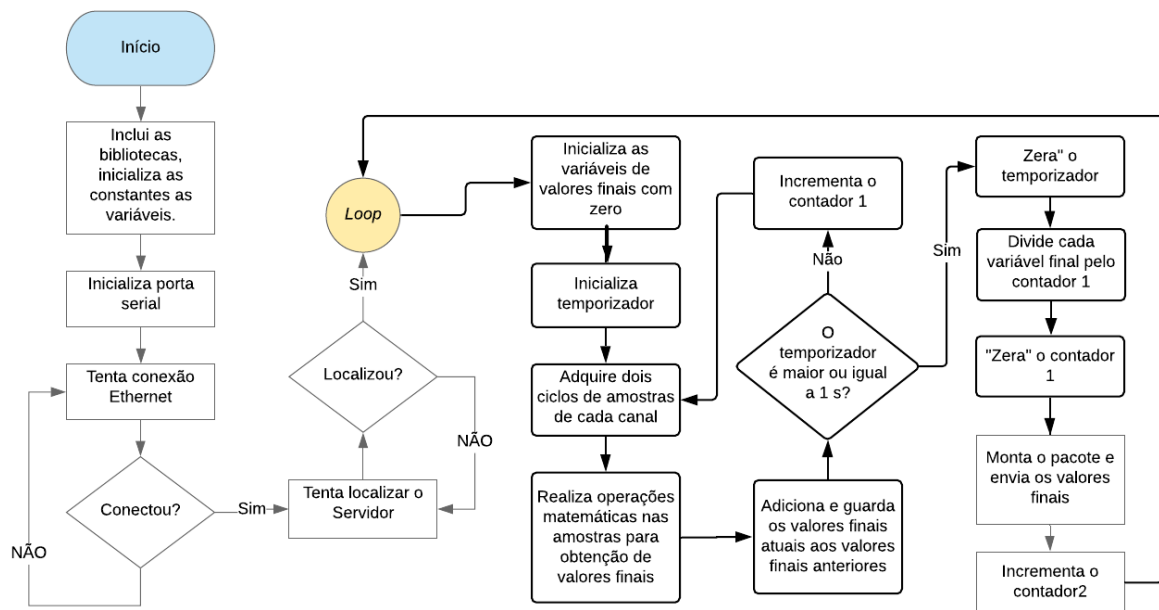
O segundo *firmware* é o de teste de consumo com os EMHs. Ele é responsável por tratar os dados que vêm do conversor A/D, efetuar as operações matemáticas

necessárias e obter os valores finais a serem transmitidos ao servidor: tensão e corrente eficazes, potências ativa e aparente e, também, fator de potência.

6.1.2.1 Rotina Principal

A Figura 27 exibe o fluxograma da rotina executada pelo segundo *firmware*. As partes iniciais de configuração e conexão ao servidor são exatamente iguais ao anterior. O que mudou foi o *loop*. Os blocos que mudaram estão em destaque, com um contorno mais acentuado.

Figura 27 – Fluxograma representativo da rotina principal do 2º *firmware*



Fonte: O Autor, 2019.

Nesta rotina foram criadas variáveis para os valores finais, aqueles que são enviados ao servidor. Segue a explicação das etapas do fluxograma:

- No início do *loop* estas variáveis recebem o valor zero e é iniciado um temporizador;
- São adquiridas 160 amostras de cada canal do conversor A/D, durante dois ciclos de onda da rede elétrica, a uma taxa de amostragem de 4,8KHz;
- São realizadas operações matemáticas para obtenção dos valores finais;

- Os valores finais obtidos são somados aos valores que já estavam anteriormente nas respectivas variáveis de valores finais;
- Então é avaliado se o temporizador já chegou a 1s:
 - Se não, um contador, chamado de contador 1, é incrementado e o procedimento a partir da aquisição de amostras é repetido;
 - Caso o temporizador seja igual a 1s, o temporizador é zerado, o valor de cada variável final é dividido pelo que valor que está no contador 1, e este é zerado; o pacote de dados é então montado com os valores finais e um segundo contador, chamado contador 2, é incrementado. Este é o contador de pacote, que é enviado junto com o pacote de dados para o servidor; a rotina então retorna ao *loop*.

O pacote de informações enviado desta vez foi bem parecido com o do *firmware* 1, no entanto ele possui apenas a identificação do medidor, cinco amostras, referentes respectivamente a tensão e corrente eficazes, potências ativa e aparente, fator de potência e o valor do contador de pacote, que identifica que pacote é aquele. A Figura 28 exibe um exemplo:

Figura 28 – Representação da *string* exemplo criada para o 2º *firmware*

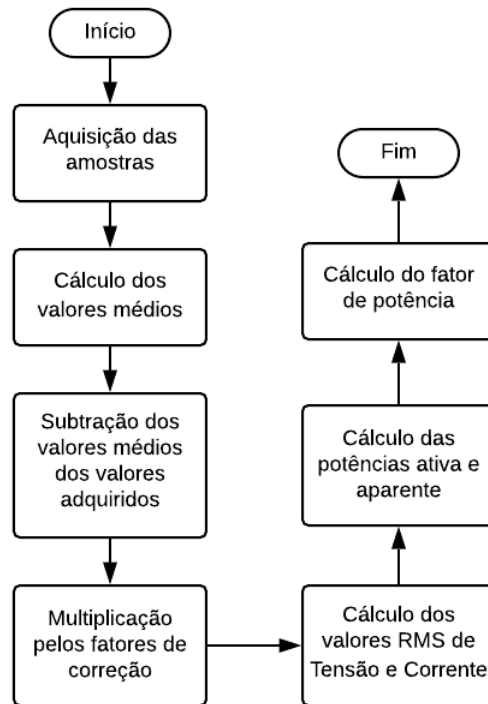
```
"MOD1,220.00,1.00,176.00,220.00,0.80,85"
```

Fonte: O Autor, 2019.

6.1.2.2 Operações Matemáticas para Obtenção dos Valores Finais

Uma sequência de operações, ainda em *firmware*, é efetuada sobre as amostras para que se obtenham os valores de tensão e corrente eficazes, potências ativa e aparente e fator de potência. A base teórica para estes cálculos encontra-se na seção 2.1 do Capítulo 2. O fluxograma da Figura 29 mostra a sequência de operações que são realizadas.

Figura 29 – Fluxograma que representa a sequência de operações matemáticas realizadas na rotina principal do firmware do módulo sensor



Fonte: O Autor, 2019.

A seguir detalha-se todo o procedimento:

- Inicialmente o conjunto de amostras de tensão e corrente são adquiridos e armazenados;
- Em seguida, de cada conjunto é extraído o valor médio, equivalente ao *offset* de tensão; assim, têm-se dois valores médios: o das amostras referentes à tensão e o das amostras referentes à corrente;
- De cada amostra (de tensão ou corrente) é subtraído seu respectivo valor médio; recupera-se assim o ciclo negativo do sinal;
- Em seguida, cada valor é multiplicado por seu fator de correção; é conhecido que na conversão A/D é atribuído um valor proporcional à tensão de tensão que está sendo medida; o fator de correção é a constante de proporcionalidade que faz o valor próximo ao valor original aferido;
- São calculados os valores eficazes das amostras; Para um sinal digital periódico, sabe-se que o valor eficaz é dado por X_{ef} ,

$$X_{ef} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N x_i^2}, \quad (15)$$

onde x_i representa o valor cada amostra e N o número de amostras em um período (OPPENHEIM, 2014); esta fórmula é aplicada às amostras de tensão e corrente, obtendo V_{ef} e I_{ef} ;

- Procedem-se então os cálculos das potências ativa e aparente; a potência ativa é dada por

$$P = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N v_i i_i, \quad (16)$$

onde v_i e i_i representam os valores de tensão e corrente amostra dos e N representa o número de amostras em um período; a partir da equação (14):

$$|S| = V_{ef} I_{ef}.$$

obtêm-se a potência aparente;

- Por fim é calculado o fator de potência; a partir do triângulo de potências (Seção 2.1), pode-se concluir que o fator de potência é dado por

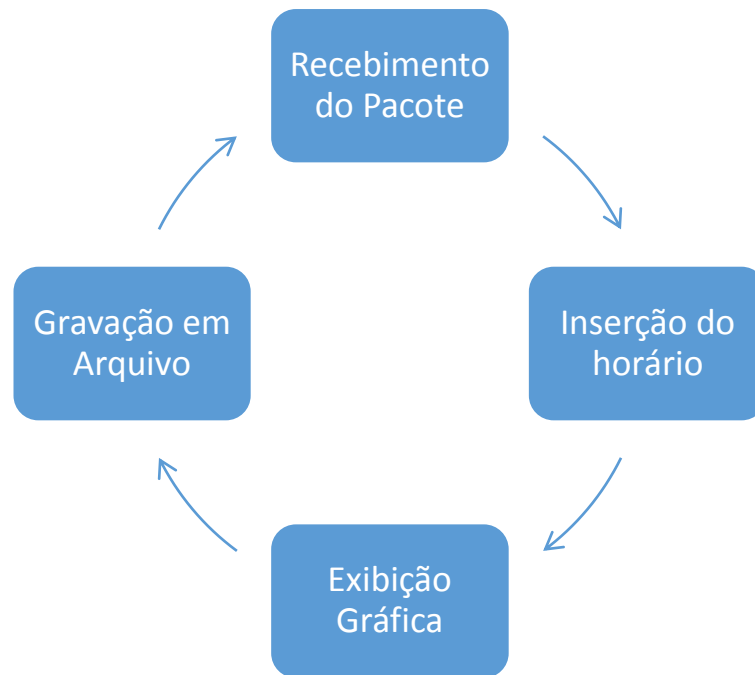
$$fp = \frac{P}{|S|}. \quad (17)$$

6.2 SOFTWARE PARA O SERVIDOR DE DADOS

Para servidor de dados utilizou-se um computador que é conectado a um dos módulo PLC através de interface Ethernet, e ligado à mesma rede elétrica em que estão os módulos clientes, como descrito no capítulo 4, seção 4.1.

A rotina de recebimento do servidor pode ser acompanhada no fluxograma da Figura 30. Ao receber um pacote de amostras do módulo PLC, o servidor acrescenta a ele o horário do recebimento, de acordo com o relógio do computador, com precisão de milissegundos.

Figura 30 – Fluxograma que representa a rotina do *software* de recebimento do servidor de dados



Fonte: O Autor, 2019.

Em seguida, exibe na interface gráfica os dados de tensão, corrente, potência ativa, potência aparente e fator de potência. O *software* grava, então, os pacotes em arquivos, para possível análise à posteriori. O armazenamento é feito de forma que os pacotes advindos de módulos sensores diferentes sejam alocados em arquivos diferentes. Ou seja, cada arquivo é relativo a seu respectivo módulo sensor, contendo todos os pacotes recebidos.

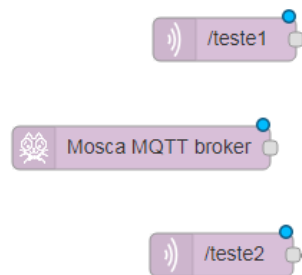
A parte de *software* foi desenvolvida através de uma ferramenta de programação gráfica, em Java Script, chamada Node-Red. Ela foi responsável pelo processamento e armazenamento dos dados contidos nos pacotes advindos dos módulos sensores, através do protocolo MQTT. Foi também na ferramenta que foi construída a interface gráfica para a exibição das informações em tempo real.

Um *broker*, construído pelo próprio *software* Node-Red, chamado Mosca, foi utilizado para a prototipagem. O Mosca é um *broker* que torna a prototipagem simples e eficiente. No momento em que o Node-Red se conecta ao *broker* Mosca, o próprio computador se torna um cliente do *broker* no sistema MQTT, permitindo a comunicação com outros dispositivos conectados a este *broker*, como os módulos cliente.

6.2.1 Rotina de comunicação

Para o recebimento dos pacotes enviados pelos módulos clientes no servidor, foi estruturada uma rotina de processamento dos pacotes recebidos pelo servidor. A Figura 31 exibe os primeiros procedimentos que foram efetuados.

Figura 31 – Diagrama que exibe a entidade *broker* e os tópicos criados para a recepção de dados dos módulos



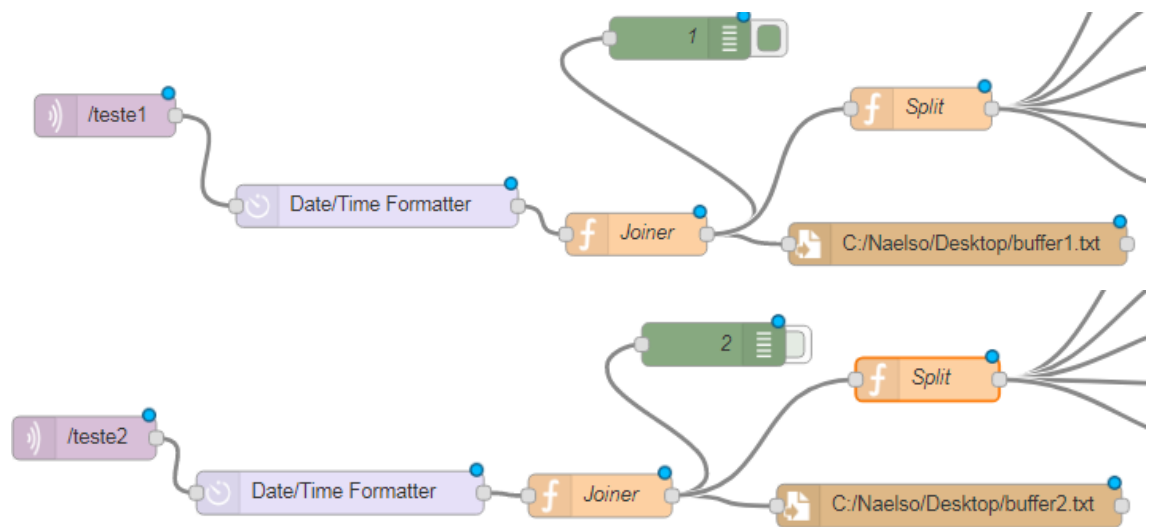
Fonte: O Autor, 2019.

O diagrama da Figura 31 mostra:

- A criação do *Broker* Mosca, através do Bloco “Mosca MQTT broker”;
- A criação dos tópicos “/teste1” e “/teste2”; através destes dois tópicos o Node-Red recebe os pacotes de dados dos módulos sensores 1 e 2, respectivamente.

A Figura 32 exibe o diagrama de fluxo para o processamento dos dados.

Figura 32 – Fluxograma de recepção e processamento dos dados recebidos dos módulos clientes 1 e 2



Fonte: O Autor, 2019.

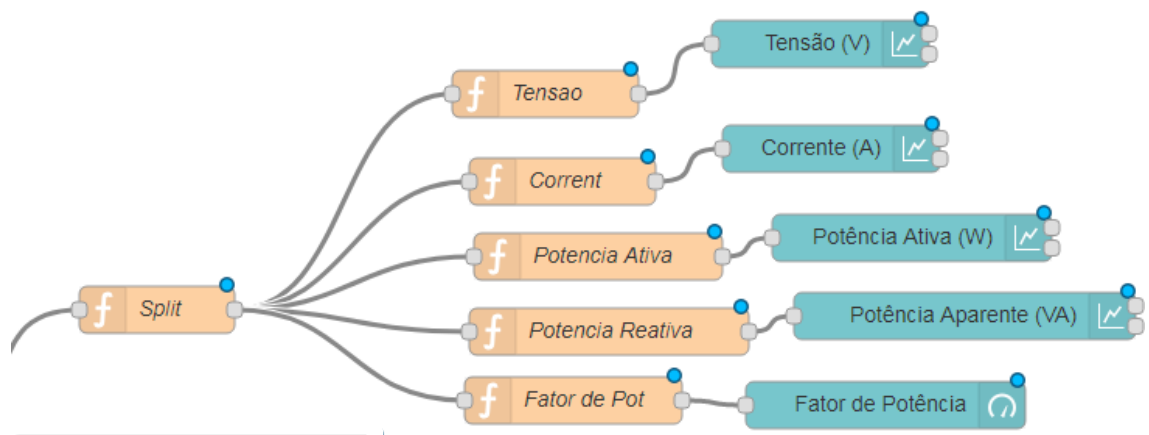
A explicação do fluxograma da figura 32 é a seguinte:

- Após a recepção dos pacotes de dados pelos tópicos “/teste1” e “/teste2”, é acrescentado o horário ao pacote de dados (através dos blocos “Date/Time Formatter” e “Joiner”), no seguinte formato hh:mm:ss.mmm, onde:
 - hh – dois algarismos representam as horas;
 - mm – dois algarismos representam os minutos;
 - ss – dois algarismos representam os segundos;
 - mmm – três algarismos representam os milésimos de segundos;
- Os blocos “C:/.../Desktop/buffer1.txt” e “C:/.../Desktop/buffer2.txt” têm a função de armazenar todos os dados coletados pelos módulos clientes em arquivos com extensão .txt, para futuras análises; os arquivos são gravados justamente no “caminho” indicado pelos respectivos nomes dos blocos.
- Cada bloco “Split” é responsável por dividir o pacote de dados em sete variáveis:
 - “tensao” – tensão (número real);
 - “corrente” – corrente (número real);
 - “pot_ativa” – potência ativa (número real);
 - “pot_comp” – potência aparente (número real);
 - “fp” – fator de potência (número real, entre 0 e 1);

- “ref” – identificação do pacote (número Inteiro);
- “timestamp” – tempo em que o pacote de dados foi recebido pelo computador (tempo no formato hh:mm:ss.mmm).

A Figura 33 exibe os blocos responsáveis por processar os dados na saída do bloco “Split” para realização da plotagem dos gráficos na interface gráfica, constituída pelos blocos Tensão(V), Corrente(A), Potência Ativa (W), Potência Aparente (VA) e Fator de Potência.

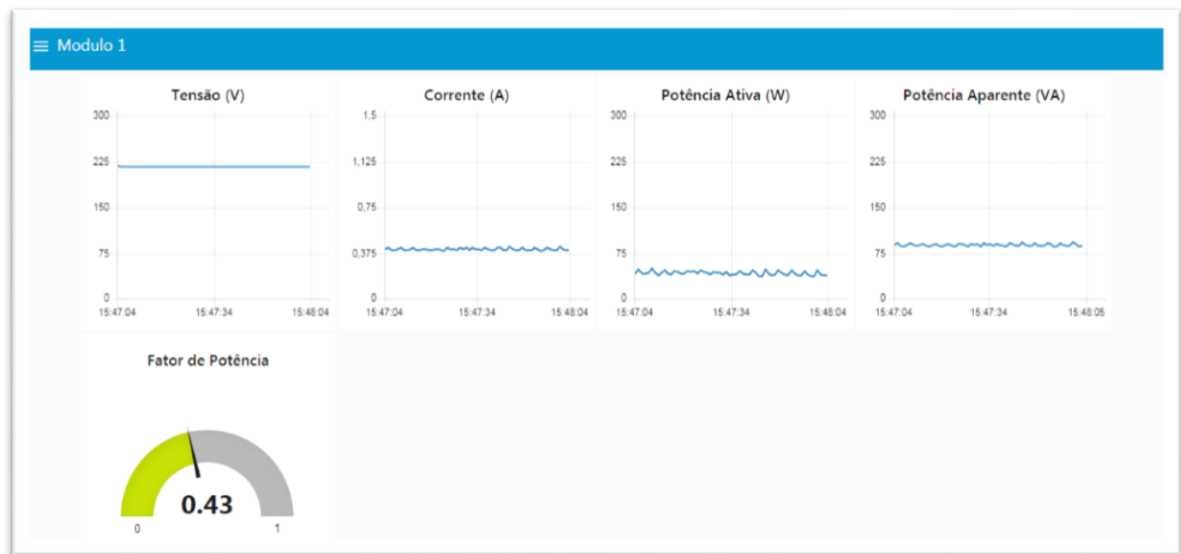
Figura 33 – Fluxograma que apresenta os blocos responsáveis pela exibição dos dados coletados pelos módulos clientes na interface gráfica do NODE-RED



Fonte: O Autor, 2019.

Como resultado, a Figura 34 traz um exemplo da interface de monitoramento em tempo real. Ela monitora o último minuto em cada gráfico (opção que também pode ser alterada).

Figura 34 – Exemplo de monitoramento através da interface gráfica desenvolvida para o servidor



Fonte: O Autor, 2019.

7 RESULTADOS E ANÁLISES

Como resultado deste trabalho, obtiveram-se *hardware* para os protótipos e informações relativas aos ensaios realizados no HC. Tais resultados estão divididos em três seções, sendo uma referente à parte de *hardware*, outra referente aos ensaios para validação da comunicação PLC e, por fim, uma relativa aos testes de consumo de equipamentos.

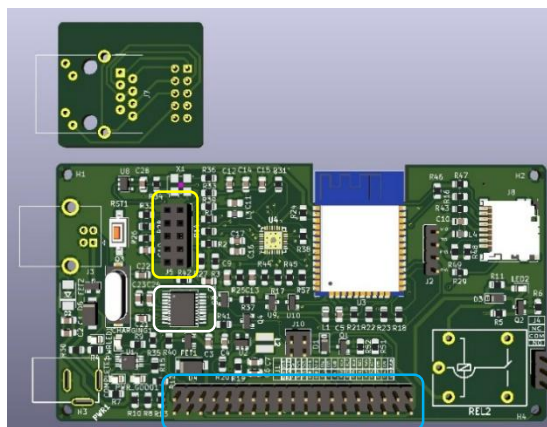
7.1 HARDWARES DESENVOLVIDOS

O capítulo 5 discorre sobre toda a parte de projeto e desenvolvimento de *hardware* necessária ao projeto. Como resultado, obtiveram-se duas placas: a placa microcontrolada e a placa de condicionamento de sinais.

7.1.1 Placa Microcontrolada

Na Figura 35 encontra-se uma visualização 3D da face superior das placas que foram desenvolvidas, geradas pelo *software* Kicad.

Figura 35 – Imagem gerada pelo *software* Kicad da face superior da placa base para o conector RJ45 e da Plataforma Microcontrolada



Fonte: Bispo (2019).

* Placa base para o conector RJ45 acima e Plataforma Microcontrolada abaixo.

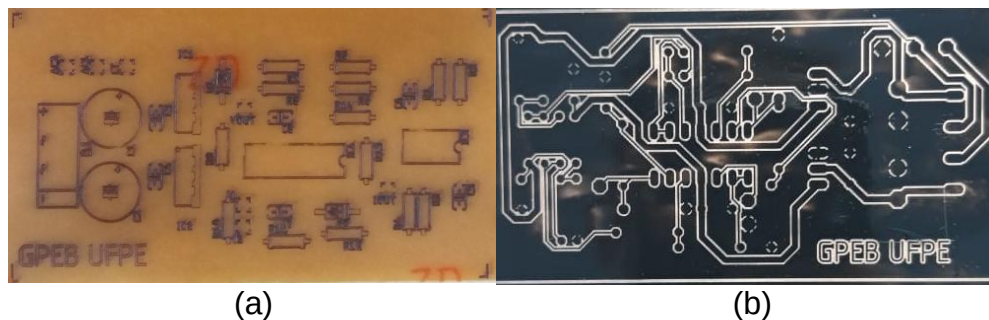
A placa superior é apenas um pequeno módulo que serve como base para um conector RJ45 fêmea a ser encaixado na placa principal (inferior), no conector destacado em amarelo. O conector existe porque a placa possui a interface Ethernet, cujo *hardware* pode ser observado na parte destacada em branco, na Figura 35.

A placa também possui outro conector, destacado em azul, que permite o acesso a todos os terminais do ESP32, inclusive aos referentes às entradas do conversor A/D. Esta placa possui mais recursos que os necessários neste projeto, como conector para cartão de memória e um relé para chaveamento (BISPO, 2019).

7.1.2 Placa de Condicionamento de Sinais

As placas resultantes são exibidas nas Figuras 36 e 37. Na Figura 36 pode ser vista a placa antes de montada; a parte (a) refere-se à parte superior da placa, onde ficam as referências e nomes dos componentes; a parte (b), à inferior, ou seja, o *layout* da placa, onde os componentes são montados e soldados.

Figura 36 – Fotografias da placa de circuito impresso para o circuito de condicionamento de sinais

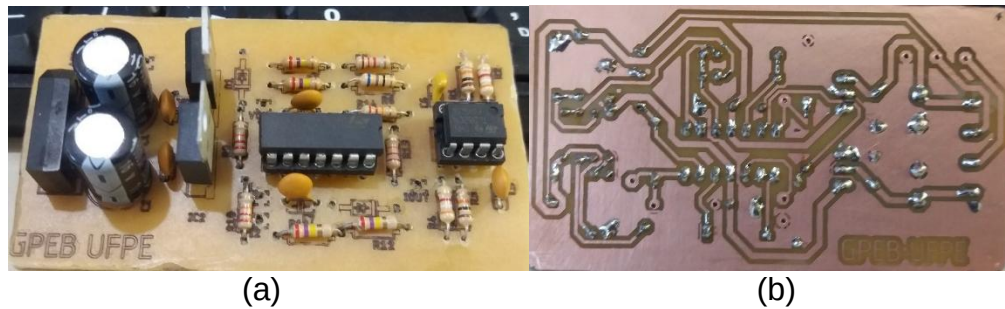


Fonte: O Autor, 2019.

* (a) Visão superior, onde ficam as referências dos componentes; (b) visão inferior, onde fica o *layout* da placa e são soldados os componentes.

Pode-se perceber que o *layout* da placa ainda se encontra pintado, já que até o momento apenas havia sido aplicado o laser para desenhar o circuito. Só depois foi realizada a corrosão. O restante da tinta foi, então, removido, a placa perfurada e os componentes soldados, conforme mostra a Figura 37. Na parte (a) têm-se a visão superior com os componentes montados e, na (b), a face inferior, com a placa finalizada e os componentes soldados.

Figura 37 – Fotografias da placa de circuito impresso referente à fonte e condicionamento de sinais que foi montada

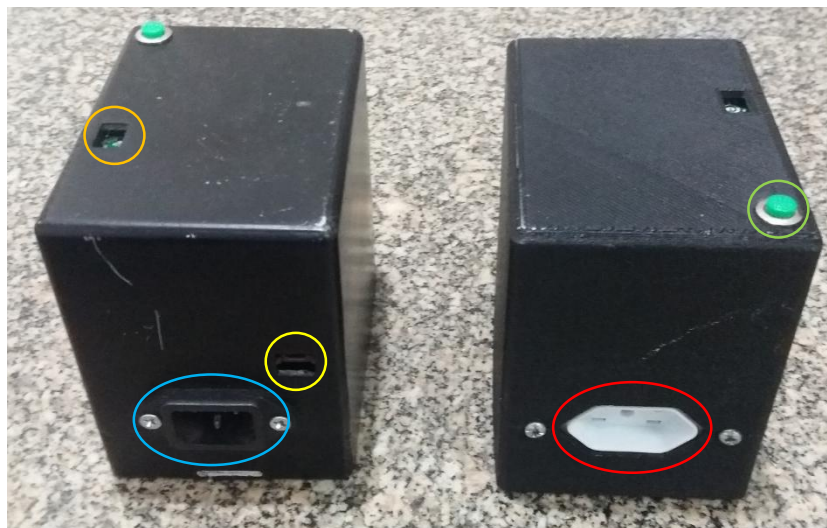


Fonte: O Autor, 2019.
* Em (a) se vê a parte superior e em (b) a inferior

7.1.3 Protótipo Encapsulado

Os dois protótipos, já montados em suas devidas, caixas podem ser vistos na Figura 38. O da esquerda exibe as partes superior e traseira e o da direita, a superior e a dianteira.

Figura 38 – Protótipos finais dos módulos clientes



Fonte: O Autor, 2019 – Grifo do Autor.
* O módulo da esquerda está de costas e o da direita de frente; com destaques para as tomadas e dispositivos de interface

Em destaque na figura 39:

- Laranja: LEDs de indicação do funcionamento do módulo PLC;
- Amarelo: interface micro-USB para a comunicação entre o microcontrolador e um microcomputador;
- Azul: tomada de entrada de energia elétrica;
- Vermelho: tomada de saída de energia elétrica;
- Verde: botão que serve para reiniciar o microcontrolador.

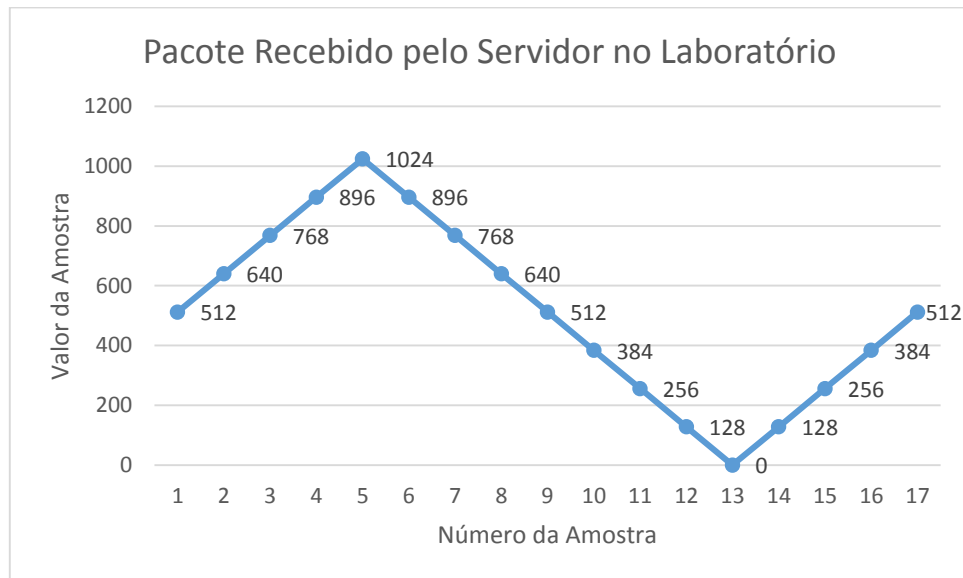
A operação do protótipo é bastante simples, já que basta apenas conectar o cabo de energia da rede elétrica na entrada dele e o cabo do equipamento na tomada de saída. Estando o protótipo e o servidor na mesma fase da rede elétrica, os módulos conectam-se automaticamente.

7.2 VALIDAÇÃO DA COMUNICAÇÃO PLC

Os testes em laboratório se deram no próprio DES (Departamento de Eletrônica e Sistemas). Foram encontradas tomadas pertencentes ao mesmo circuito elétrico na sala 412 e na 410, as quais distam em torno de 20m. O servidor foi instalado na sala 412 e os protótipos na 410.

Na Figura 39 está o gráfico de um dos pacotes que foi recebido pelo Servidor. Ele representa uma onda triangular com 17 pontos (amostras), como pode ser visto.

Figura 39 – Gráfico de um dos pacotes de amostras que foi recebido pelo Servidor no Laboratório



Fonte: O Autor, 2019.

O que pôde ser constatado posteriormente pela análise dos arquivos coletados foram os resultados da Tabela 6: ou seja, não houve perda de pacotes nem alteração neles.

Tabela 6 – Resultados dos testes executados no laboratório para validação da comunicação PLC

	Laboratório	
	Cliente 1	Cliente 2
Duração	51 min	51 min
Nº de Pacotes Recebidos	190.849	192.995
Tempo médio de recebimento de pacote	16,010 ms	16,017 ms
Perda de Pacote	0	0
Alteração na amostra	0	0

Fonte: O Autor, 2019.

A análise do tempo médio de recebimento de pacote foi calculado subtraindo o horário que um pacote chegou do horário que o anterior chegou e, em seguida calculando a média aritmética dos resultados. Percebeu-se, na análise dos arquivos,

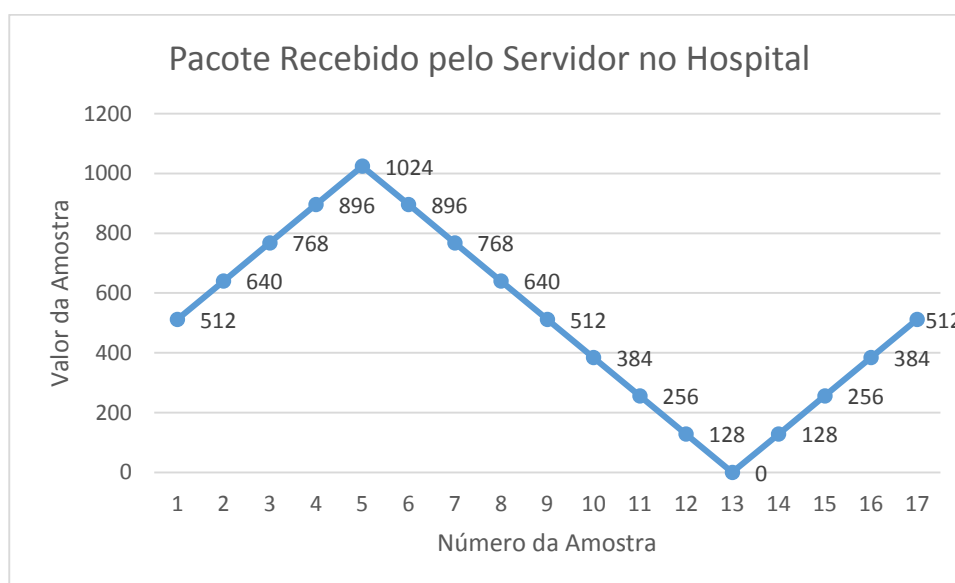
que há diferenças entre os tempos quando são realizadas as subtrações, mas que em média, todos se aproximam de $16ms$, tempo este o intervalo em que o módulo cliente foi ajustado para envio de pacotes.

No setor de Broncoscopia do HC também foram encontradas tomadas ligadas ao mesmo circuito elétrico. Duas delas na sala onde se encontrava o broncoscópio, uma na sala onde se faz a ecotranseofagia e outra na sala de recepção. Assim sendo, foi instalado um módulo sensor em cada sala de exames e o servidor foi ligado na recepção.

A distância entre o servidor e o módulo que estava na sala de ecotranseofagia era em torno de $10m$. Entre o servidor e o que estava na sala do broncoscópio era em torno de $20m$. Além dos equipamentos que realizam os exames, os demais nas tomadas eram apenas computadores. Em seguida, equipamento de broncoscopia foi ligado e assim permaneceu durante todo o teste.

A Figura 40 exibe o gráfico de um dos pacotes que foi recebido pelo Servidor no Hospital. Como o pacote escolhido para os testes no laboratório e no hospital foram os mesmos, o gráfico também representa uma onda triangular com 17 pontos, como pode ser visto.

Figura 40 – Gráfico de um dos pacotes de amostras que foi recebido pelo Servidor no Hospital



Fonte: O Autor, 2019.

Os resultados dos testes realizados no hospital, encontram-se na Tabela 7. Teve duração de uma hora e 48 minutos. Da mesma forma que no laboratório, pela

análise dos arquivos coletados, não houve perda de pacotes nem alteração neles. O mesmo método para o cálculo médio de recebimento que foi utilizado nos dados do laboratório, foi utilizados nos do hospital, indicando uma boa qualidade da rede elétrica e uma boa comunicação realizada pelo PLC.

Tabela 7 – Resultados dos testes executados no HC para validação da comunicação PLC

	Hospital	
	Cliente 1	Cliente 2
Duração	1 h e 48 m	1 h e 48 m
Nº de Pacotes Recebidos	406.011	405.122
Tempo médio de recebimento de pacote	16,008 ms	16,016 ms
Perda de Pacote	0	0
Alteração na amostra	0	0

Fonte: O Autor, 2019.

A conclusão é que no circuito elétrico utilizado, durante o tempo de teste, a comunicação foi válida, sem nenhum erro de comunicação. Com relação aos testes para validação da comunicação PLC, foi identificado que não existem perdas de pacote nem alteração nas amostras.

Como já dito, só foram confeccionados dois módulos clientes para a coleta dos dados. Estes protótipos juntos ao servidor de dados formam uma rede de dados bastante pequena.

Porém pode-se afirmar que a comunicação PLC naquele setor (broncoscopia) é possível. Não se sabe, porém, as limitações com relação a quanto módulos que a rede comporta sem erros ou perdas.

7.3 SETOR DE ENGENHARIA CLÍNICA DO HC

Os testes na Engenharia Clínica do HC foram dois: um com o respirador e o outro com o bisturi elétrico. Seguem os resultados de cada um deles.

7.3.1 Teste com o Respirador

O respirador foi instalado em uma das salas de manutenção de equipamentos do setor e o Servidor foi instalado na sala adjacente, onde foi encontrada uma tomada pertencente à mesma fase em que o protótipo estava conectado. A Figura 41 exibe o respirador e um módulo cliente, destacado em vermelho. O módulo cliente tem sua entrada conectada à rede elétrica e o respirador está conectado à saída do protótipo.

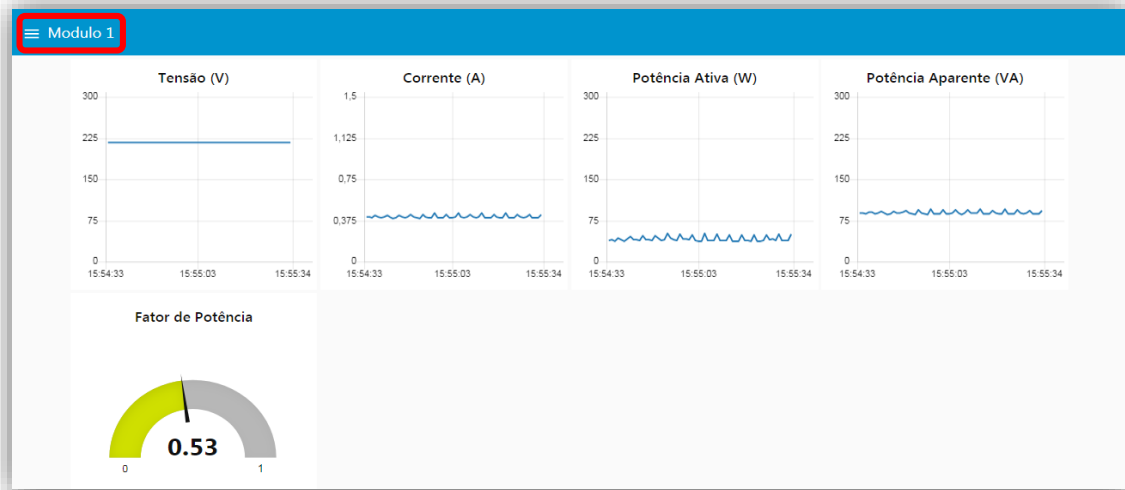
Figura 41 – Fotografia do respirador utilizado no primeiro teste de consumo



Fonte: O Autor, 2019 – Grifo do Autor.
Circulado em vermelho encontra-se o módulo cliente.

Na interface gráfica do servidor (Figura 42) podem ser vistos os gráficos referentes ao equipamento. Os módulos sensores foram configurados para enviar uma amostra a cada segundo, tempo considerado suficiente para análise do consumo em tempo real (ANEEL, 2010).

Figura 42 – Interface gráfica do servidor de dados



Fonte: O Autor, 2019 – Grifo do Autor.

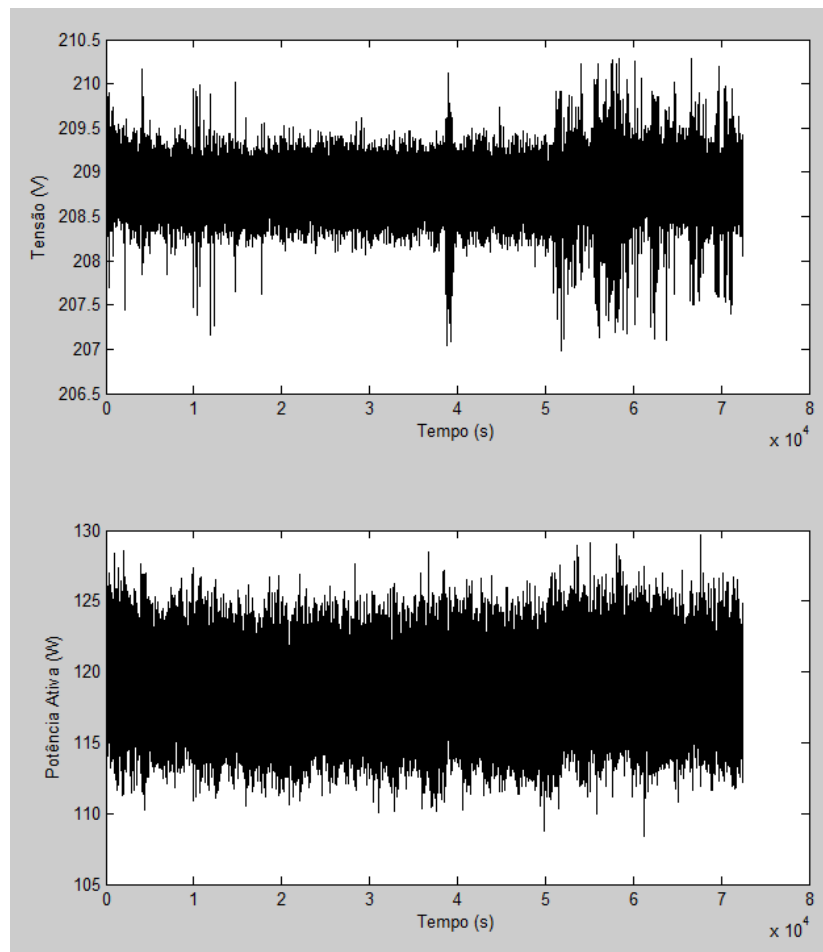
* Destaque para o *menu* onde pode ser selecionado o medidor a ser monitorado.

Cada gráfico exibido na Figura 42 apresenta o último minuto de monitoramento da rede elétrica. Os gráficos são os de tensão e corrente eficazes, potência ativa, potência aparente, além de um indicador do fator de potência. A Figura 42 ainda destaca (em vermelho) o menu seletor do módulo sensor em que se desejam visualizar os gráficos.

À priori, a intenção era que este durasse vinte e quatro horas. Ele começou às 17h03min de um dia e durou até às 13h21min do outro. Foram transmitidos 72.501 pacotes, com intervalo de 1s entre um pacote e o próximo. O teste aconteceu no meio da semana, ou seja, durante momentos importantes de sobrecarga na rede por causa dos horários de pico dos começos da manhã, da tarde e da noite, assim como momentos de baixo consumo na rede como toda a madrugada.

A Figura 43 exhibe os gráficos de tensão (V) e potência ativa (W) em função do tempo, em segundos. Como pode-se perceber, os gráficos não estão claros, já que foram muitos pacotes durante toda a aquisição, e as amostras ficaram bastante comprimidas. No entanto, dá para perceber que não houve interrupção na transmissão durante todo o tempo de duração do teste.

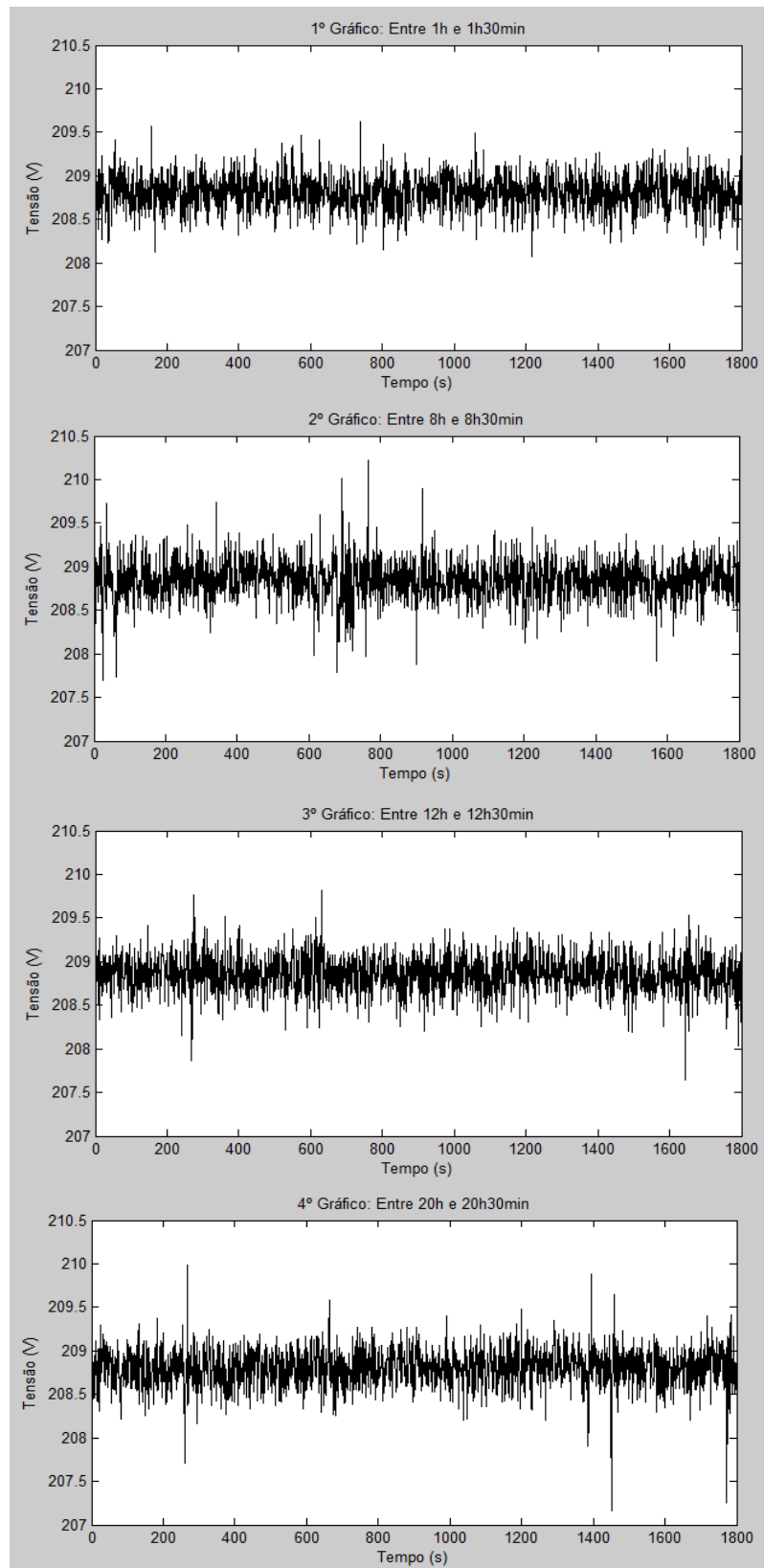
Figura 43 – Gráfico das medições referentes ao teste realizado com o respirador



Fonte: O Autor, 2019.

Mas para uma melhor análise, na Figura 44 são apresentados gráficos com intervalos correspondentes a meia hora de aquisição, em quatro momentos distintos: nos horários de pico, ou seja, início da manhã, da tarde e da noite e, também, na madrugada, quando a rede tem menor consumo.

Figura 44 – Gráficos de Tensão(V) em função do tempo (s) de momentos específicos durante a aquisição de dados



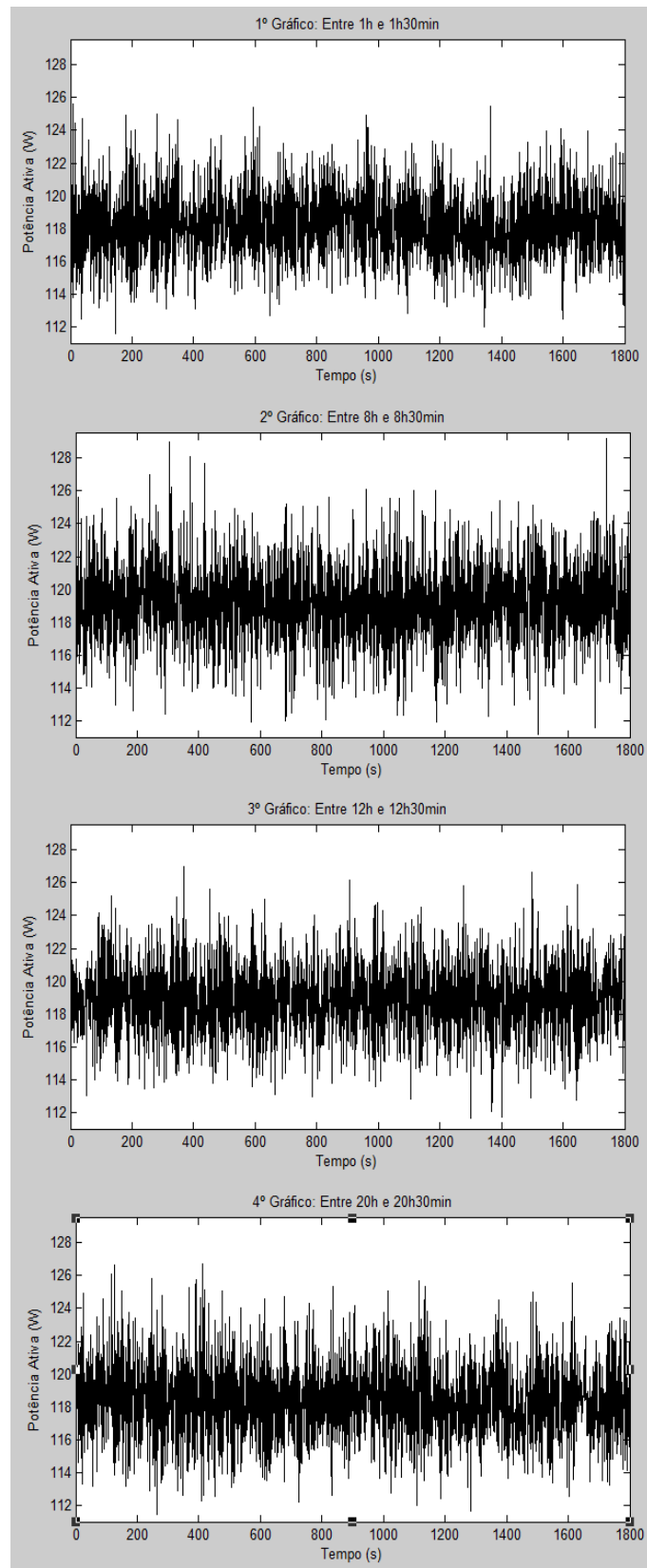
Fonte: O Autor, 2019.

* Todos os gráficos têm duração de meia hora, sendo que o primeiro começou 1h, o segundo às 8h, o terceiro ao meio dia e o quarto às 20h.

O primeiro deles possui os dados de tensão entre 1h e 1h30min, o segundo entre 8h e 8h30min, o terceiro entre 12h e 12h30m e o quarto, entre 20h e 20h30min. O segundo, entre 8h e 8h30min é o que apresenta uma quantidade maior de picos de tensão, enquanto o primeiro, entre 1h e 1h30m é o que apresenta menos.

Seguindo a mesma linha, a Figura 45 exhibe os gráficos da potência ativa (W) em função do tempo (s), nos mesmos horários dos gráficos de tensão da Figura 44. Observou-se um maior número de oscilações, de amplitude maior, no 2º, 3º e 4º gráficos com relação ao 1º, o da madrugada. Esse maior número é mais visível no 2º gráfico. Conclui-se assim, que instabilidade na rede elétrica causa instabilidade na potência ativa dos equipamentos, e sabendo que a potência ativa é diretamente relacionada ao consumo, pode-se afirmar que o consumo também sofre estas instabilidades.

Figura 45 – Gráficos de Potência Ativa (W) em função do tempo (s), de momentos específicos durante a aquisição de dados



Fonte: O Autor, 2019.

* Todos os gráficos têm duração de meia hora, sendo que o primeiro começou à 1h, o segundo às 8h, o terceiro ao meio dia e o quarto às 20h.

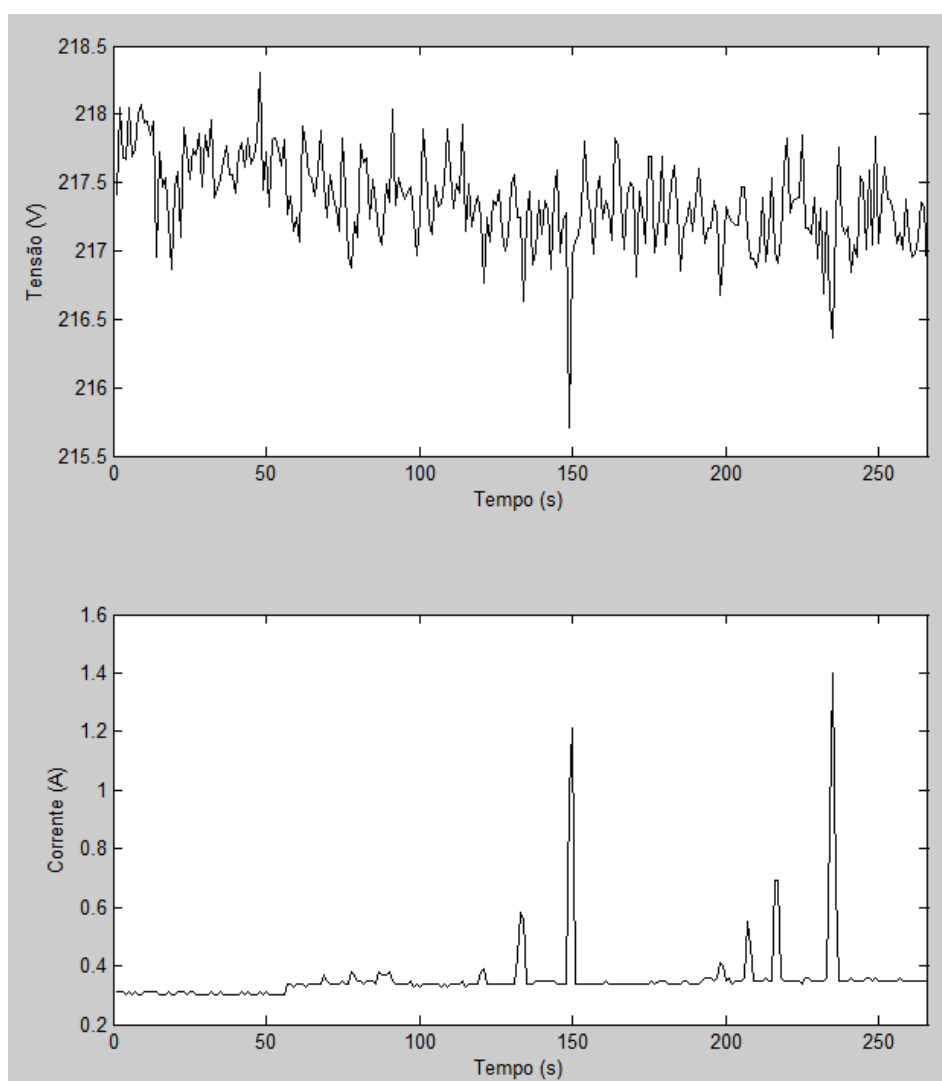
No gráfico também pôde-se perceber que o período em que a tensão mais oscilou foi a partir das 8 horas da manhã até o final da captura. A corrente variou entre aproximadamente $500mA$ e $600mA$, potência ativa entre $30W$ e $45W$ e fator de potência entre 0,36 e 0,55.

7.3.2 Teste com o Bisturi Elétrico

Alguns testes de foram feitos, alternando entre os vários modos de operação e os dados foram enviados pela rede PLC ao mesmo tempo em que o teste com o respirador acontecia (os dois EMHs e o servidor estavam conectados ao mesmo circuito elétrico).

O teste com o bisturi elétrico apresentou como resultado os gráficos da figura 46. Inicialmente, com o equipamento em modo “*stand by*” estava em torno de $310mA$. Após 57s o equipamento foi ligado e o módulo cliente passou a aferir uma corrente $350mA$.

Figura 46 – Gráfico que representa a variação da corrente de acordo com estímulos elétricos do bisturi elétrico



Fonte: O Autor, 2019.

No primeiro modo de operação, o equipamento foi acionado quatro vezes, nos instantes de 69s, 78s, 87s e 121s, quando registrou picos de 390mA. Foi então selecionado o segundo modo de operação do EMH. Este foi novamente acionado, no instante de 133s, e registrou um pico de corrente de 580mA.

Na sequência, foi selecionado o último modo de operação do bisturi e houve um acionamento do mesmo no instante de 150s, quando a corrente atingiu um pico de 1,21A. Neste exato momento houve também uma queda na tensão, de 217V para 215,7V.

Em seguida foi novamente selecionado o primeiro modo de operação do bisturi e se repetiu todo o ensaio, que registrou picos de corrente nos instantes de 198s,

208s, 216s e 235s, com a diferença que desta vez se utilizou o terceiro modo de operação do bisturi, no instante de 216s que, quando acionado, levou a um pico de 690mA. Novamente, no acionamento do último modo de operação, em 235s, percebe-se a queda no valor da tensão, de 217,3 para 216,3.

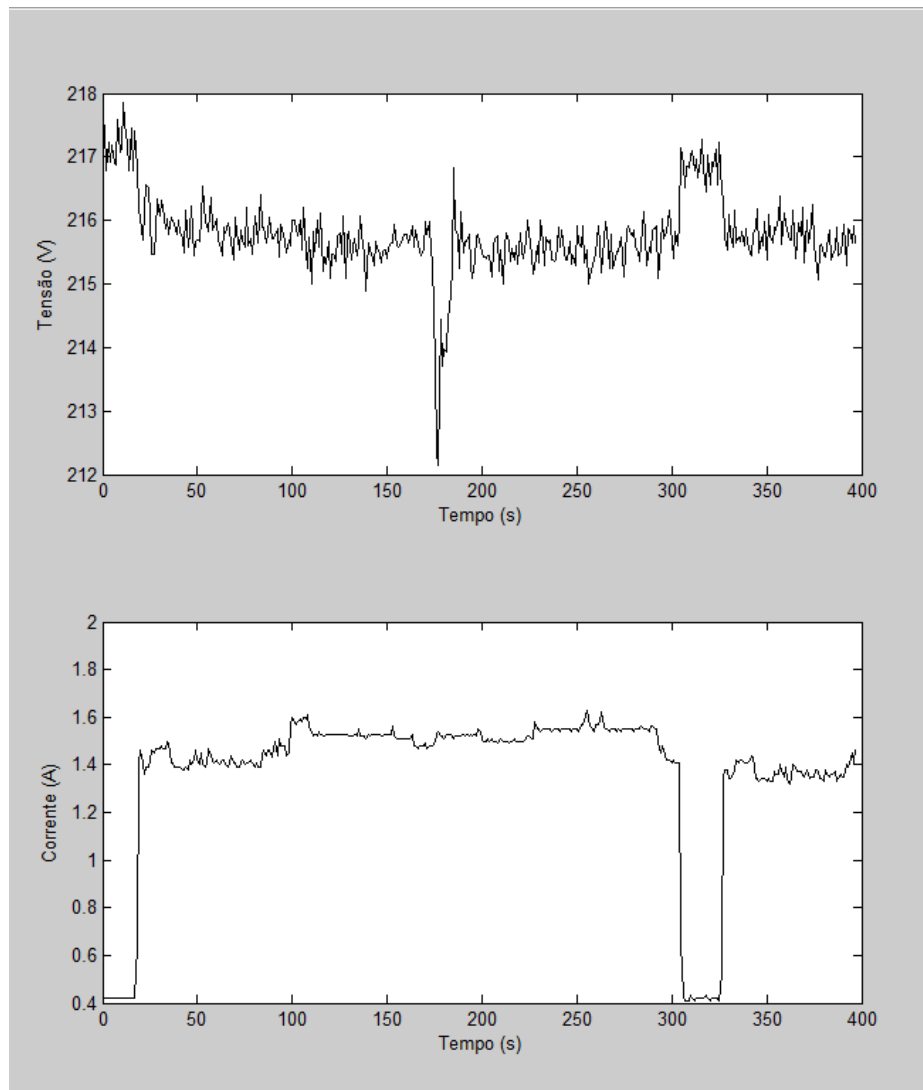
Pôde-se perceber que o medidor respondeu adequadamente aos modos de funcionamento do bisturi, apresentando as respectivas variações na corrente. Também a queda provocada na tensão quando os acionamentos que demandavam maior energia foram efetuados.

7.4 TESTE NO SETOR DIAGMAGEM DO HC

Foi colocado um módulo sensor no equipamento e o servidor foi instalado na sala de recepção, em uma tomada que pertencia à mesma rede em que o módulo sensor estava ligado.

O último teste realizado durou em torno de 7 minutos e foram comunicados um pouco menos de 400 pacotes de amostras. Ele resultou nos gráficos da Figura 47. No início da aquisição, com o equipamento de ultrassom ainda em *stand by*, a tensão era em média 217V e a corrente estava em torno dos seus 420mA.

Figura 47 – Gráficos de tensão e corrente referentes ao teste realizado no ultrassom do setor de Diagem do HC



Fonte: O Autor, 2019.

No momento em que o equipamento foi ligado, após 17s do início da aquisição, a tensão caiu de 217V de média para 216V e a corrente subiu de um valor médio de 420mA para um de 1,5A, apresentando pequenas oscilações, com valor mínimo de 1,36A e máximo de 1,63A, assim permanecendo até o instante de 304s, quando o ultrassom é novamente colocado em *stand by*.

A queda na tensão indica que a carga foi inserida na rede e o aumento da corrente já era de se esperar quando o equipamento fosse ligado, já que a corrente é a principal variável que indica se há ou não consumo de energia.

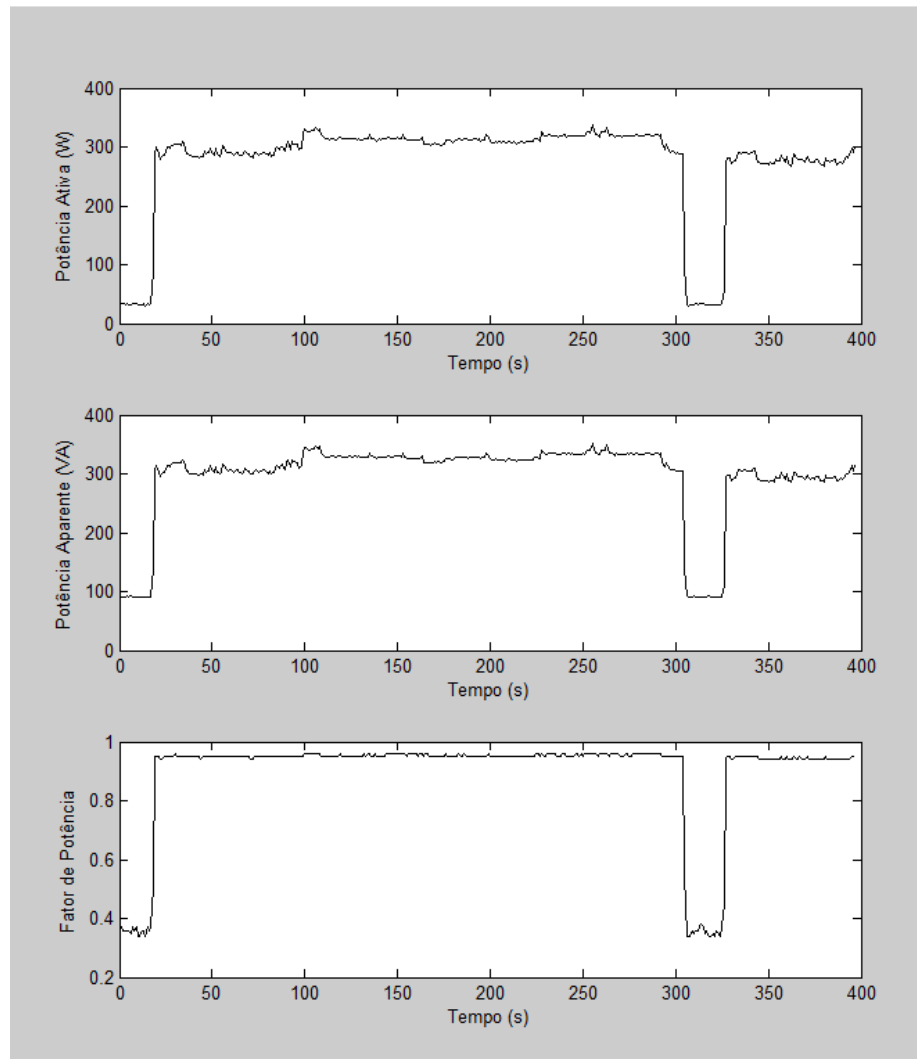
Durante o tempo em que o ultrassom permaneceu ligado pôde-se observar uma oscilação no sinal de tensão entre os instantes 172s e 186s, com valor mínimo de

212V e máximo de 217V. Tal oscilação na rede elétrica pode indicar sobrecarga na rede, quando um equipamento mais potente tenha sido ligado.

O equipamento passou mais 21s desligado, após o instante de 34s. Observou-se novamente o que foi descrito inicialmente, antes do equipamento ser ligado, ou seja, a tensão subiu um pouco, indo de 215V de média para 217V, e a corrente caiu de 1,5A para 420mA. Após o instante de 325s, o equipamento foi ligado novamente e assim permaneceu até o fim da aquisição.

A Figura 48 traz os gráficos das potências para o mesmo teste. O interessante foi que potência ativa e potência aparente permaneceram praticamente iguais quando o equipamento estava ligado. Tal fato ocorre quando o fator de potência tende a 1, ou seja, a defasagem entre tensão e corrente é bem pequena. A proximidade do valor 1 do fator de potência quando o protótipo está ligado pode ser observado no último gráfico.

Figura 48 – Gráficos de Potência Ativa, Potência Reativa e Fator de Potência referentes ao teste realizado no ultrassom do setor de Diágnomagem do HC



Fonte: O Autor, 2019.

8 CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho permitem concluir que é possível medir o consumo energético de equipamentos hospitalares e monitorá-los em tempo real, utilizando uma rede de PLC. Tal alternativa é válida em detrimento à comunicação Wireless, por exemplo, por não emitir radiação eletromagnética, que pode interferir em EMH de diagnóstico por imagem.

Foi possível desenvolver e instalar os protótipos nos equipamentos hospitalares, de forma menos invasiva possível, e adquirir os sinais indicadores do consumo energético dos mesmos equipamentos, sem necessitar qualquer tipo de intervenção no EMH.

Também foi possível transmitir dados indicadores deste consumo, por meio de PLC, demonstrando que a rede elétrica hospitalar não apresenta interferências relevantes para este método de comunicação. Ainda foi possível a visualização das informações referentes ao consumo energético dos equipamentos monitorados na interface que foi criada para o servidor, em tempo real, durante períodos pré-definidos de tempo.

Os resultados alcançados com este trabalho são importantes por proporcionar o monitoramento do consumo de EMHs e, conseqüentemente, detecção de problemas, tanto nos próprios EMHs quanto na rede elétrica. Estes problemas podem levar a erros de diagnóstico, o que implica diretamente em conseqüências para o paciente.

O trabalho também demonstrou que oscilações na rede elétrica mudam em função do horário. Este é um indicador que tem que ser estudado e definir o quanto essas mudanças afetam nos EMHs, tanto na qualidade dos exames, quanto no tempo de vida útil.

Com a viabilidade da aferição do consumo de energia elétrica, a gestão do EAS pode administrar o uso de EMHs em função do fator de demanda. Por exemplo, utilizar EMHs que consomem mais em horários de baixo consumo na EAS, baseando-se em previsões feitas a partir de medições anteriores.

Como prospecções futuras existe uma gama muito grande de possibilidades de evolução do projeto. Possivelmente a maior delas seria a possibilidade de monitoramento remoto de todos os equipamentos de um hospital, agregando o servidor PLC à internet, por exemplo.

REFERÊNCIAS

AHN, J.; HEO, J.; LIM, S.; KIM, W. A study of ISO/IEEE11073 platform based on power line communication. *In: Asia-Pacific Conference on Communications*, 14., 2008, Tokyo. **Proceedings [...]**. Tokyo: IEEE, 2008. p. 1-4.

BISPO, B. C. **Sistema de controle de acesso via RFID/NFC**. 2019. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Eletrônica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional**: módulo 8: qualidade da energia elétrica. Rio de Janeiro: ANEEL, 2010. 62 p.

DING, W.; YANG, F.; YANG, H.; WANG, J.; WANG, X.; ZHANG, X.; SONG, J. A hybrid power line and visible light communication system for indoor hospital applications. **Computers in Industry**, v. 68, p. 170-178, 2015.

ESPRESSIF INC. **ESP32 series**: datasheet. Shanghai: Espressif, 2019. 60p. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf. Acesso em: 01 abr. 2019.

HARUYAMA, K.; TANAKA, K.; WAKASA, Y.; AKASHI, T.; YAMADA, Y. Development of the detection and reporting device for patients' getting out of bed using ultrasonic radar and power line communication. *In: SICE Annual Conference*, 2007, Takamatsu: Japan. **Proceedings [...]**. Takamatsu: IEEE, 2007. p. 484-487.

HUH, J. A framework and test bed for the single-living senior citizens care: Access and grave site monitorings. *In: International Conference on Control, Automation and Systems*, 16., 2016, Gyeongju, South Korea. **Proceedings [...]**. Gyeongju: IEEE, 2016. p. 512-517.

ISHIDA, K.; HIROSE, M.; HANADA, E. Investigation of interference with medical devices by power line communication to promote its safe introduction to the clinical

setting. *In*: International Symposium on Electromagnetic Compatibility-EMC EUROPE, 2016, Wroclaw, Poland. **Proceedings [...]**. Wroclaw: IEEE, 2016. p. 818-822.

QUALCOMM ATHEROS. **AR7420 IEEE 1901 compliant home plug AV MAC/PHY transceiver**: datasheet. Hong Kong: Qualcomm Atheros, 2011. 2 p. Disponível em: <https://www.codico.com/fxddata/codico/prod/media/Datenblaetter/AKT/AR7420+AR1540%20Product%20Brief.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2019.

KIM, D. J.; WEI, Q.; LEE, J. H.; SEONG, K. W.; KIM, D. W.; KIM, M. N.; CHO, J. H. Design a wireless capacitive sensor detection system with power line communication for liquid volume of intravenous drip measurement. *In*: IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics, 2012, Hong Kong, China. **Proceedings [...]**. Hong Kong: IEEE, 2012. p. 269-272.

LAMPE, L.; TONELLO, A. M.; SWART, T. G. **Power line communications**: principles, standards and applications from multimedia to smart grid. 2nd. Rio de Janeiro: Wiley, 2016.

NILSSON, J. W.; RIEDEL, S. A. **Circuitos elétricos**. 8. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

OPPENHEIM, A. V.; SCHAFER, R. W. **Discrete-time signal processing**. New York: Pearson Education, 2014.

PINTO, P. M.; PIMENTA, T. C.; MORENO, R. L. A CMOS power line communication for EEG. *In*: Proceedings of the International Conference on Microelectronics, 28., 2016, Gyza, Egypt. **Proceedings [...]**. Gyza: IEEE, 2017. p. 41-44.

PINTO, P. M.; PIMENTA, T. C.; MORENO, R. L.; DUTRA, O.; BRAGA, R. S. An interchip power line communication. *In*: 2016 International Symposium on Integrated Circuits, 2016, Singapore, Singapore. **Proceedings [...]**. Singapore: IEEE, 2017. p. 1-4.

SONG, J.; DING, W.; YANG, F.; YANG, H.; YU, B.; ZHANG, H. An indoor broadband broadcasting system based on PLC and VLC. **IEEE Transactions on Broadcasting**, v. 61, n. 2, 2015. p. 299-308.

VARGAS, A. A. **Estudo sobre comunicação de dados via rede elétrica para aplicações de automação residencial/predial**. 2004. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia da Computação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

WANG, P.; MARSHALL, A.; NOORDIN, K. A.; HUO, X.; MARKARIAN, G. Hybrid network combining PLC and IEEE 802.16 for hospital environment. *In*: International Symposium on Line Communications and Its Power, 2010, Rio de Janeiro, Brasil. **Proceedings [...]**. Rio de Janeiro: IEEE, 2010. p. 267-272.

WU, Q.; KAI, S. Design of medical ward call system based on power line carrier technology. *In*: International Conference on System Science, Engineering Design and Manufacturing Informatization, 2011, Guiyang, China. **Proceedings [...]** Guiyang: IEEE, 2011. p. 101-104.

WOLKERSTORFER, M.; SCHWEIGHOFER, B.; WEGLEITER, H.; STATOVCI, D.; SCHWAIGER, H.; LACKNER, W. Measurement and simulation framework for throughput evaluation of narrowband power line communication links in low-voltage grids. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 59, 2016. p. 285-300.

YHDC. **SCT013 split core current transformer**: datasheet. 1 p. Disponível em: https://www.mcielectronics.cl/website_MCI/static/documents/Datasheet_SCT013.pdf. Acesso em: 30 jun. 2019.

YUAN, M. **Conhecendo o MQTT**. IBM Corporation, 2017. 9 p. Disponível em: <https://www.ibm.com/developerworks/br/library/iot-mqtt-why-good-for-iot/index.html>. Acesso em: 21 mar. 2019

ZHANG H. The intelligent device management system is based on the power line communication. *In*: International Conference on E-business and Information System

Security, 2., 2010, Las Vegas, United States of America. **Proceedings [...]**. Las Vegas: 2010.