

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

GLADSTON CARLOS ALMEIDA

**SENSOREAMENTO E COMUNICAÇÃO REMOTA DE
SISTEMAS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

Porto Alegre
Julho de 2017

GLADSTON CARLOS ALMEIDA

**SENSOREAMENTO E COMUNICAÇÃO REMOTA DE
SISTEMAS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

Trabalho de Conclusão apresentado à comissão de Graduação de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Fausto Bastos
Líbano**

Porto Alegre
Julho de 2017

GLADSTON CARLOS ALMEIDA

**SENSOREAMENTO E COMUNICAÇÃO REMOTA DE
SISTEMAS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

Este Trabalho foi julgado adequado para obtenção dos créditos da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____
Prof. Dr. Fausto Bastos Líbano, UPM
Doutor pela Universidade Politécnica de Madrid,
Espanha

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Fausto Bastos Líbano, UFRGS
Doutor pela Universidade Politécnica de Madrid, Espanha

Prof. Me. Alexandre Ambrozi Junqueira, UFRGS
Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, RS

Prof. Dr. Marcelo Götz, UFRGS
Doutor pela Universität Paderborn - Paderborn, Alemanha

Porto Alegre
Julho de 2017

AGRADECIMENTOS

Obrigado mãe e pai por tudo.

RESUMO

Este trabalho trata do desenvolvimento e aplicação de um sensor remoto com aplicação para geração distribuída, mais precisamente na geração fotovoltaica. O sensor remoto possui comunicação bidirecional permitindo receber e enviar dados ao sensor. Os dados recebidos pelo sensor são as grandezas: tensão elétrica, corrente elétrica, potência elétrica, temperatura e tempo. Os dados enviado para o sensor são grandezas booleanas de liga e desliga para o acionamento de chaves eletromagnéticas.

Essa comunicação é feita utilizando comunicação Wi-Fi e o sistema de medição foi feito para corrente contínua. A maior preocupação na concepção do trabalho foi o custo e a conectividade, ou seja, que o sistema de comunicação pudesse ser estabelecido com o maior número de aparelhos possível e que o sistema de recepção fosse o mais genérico possível. Sendo assim, o sistema de recepção foi desenvolvido para ser colocado em qualquer aparelho que possua a possibilidade de conexão Wi-Fi e que possua um navegador web que suporte HTML 5 e Java Script.

O sistema ainda prevê que o usuário possa salvar os dados adquiridos em um arquivo csv para uma possível análise posterior, salvando a data e horário de início da aquisição. A interface homem-máquina disponibiliza um gráfico no tempo com todas as amostras desde o início da conexão.

Palavras-Chave: Monitoramento sem fio, conectividade, sensoriamento, geração distribuída.

ABSTRACT

This work deals with the development and application of a remote sensor with application for distributed generation, more precisely in the photovoltaic generation. The remote sensor has bi-directional communication allowing to receive sensor data and send data to the sensor. The data received by the sensor are the quantities: electric voltage, electric current, electrical power, temperature and time. The data sent to the sensor are boolean quantities for the activation of electromagnetic keys.

This communication is made using wifi and the measuring system is made for direct current. The main concern in designing the paper was cost and connectivity, that is, that the communication system could be established with as many devices as possible. Therefore, the reception system was developed to be received on any device that has the possibility of wifi connection and that has a web browser that supports HTML 5 and Java Script.

The system further provides that the user can save the data acquired in a csv file for a possible later analysis by saving the date and start time of the acquisition. The human machine interface provides a timed chart with all samples since the start of the connection.

Keywords: Wireless monitoring, distributed generation, connectivity.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE ABREVIATURAS	12
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Motivação	13
1.2 Internet das Coisas e o monitoramento de energia	14
1.3 Estrutura do trabalho	15
2 SMART GRID	17
2.1 Rede de sensoreamento sem fio	18
2.2 Nomenclaturas de topologias de redes	19
2.3 Redes inteligentes no Brasil	20
2.4 Redes inteligente no mundo	21
3 ALGUMAS DAS COMUNICAÇÕES SEM FIO QUE PODEM SER APRO- VEITADAS PARA O SENSOREAMENTO INTELIGENTE	24
3.1 Wi-fi	24
3.2 Zigbee	25
3.3 Bluetooth	26
3.4 WiMax	26
3.5 Escolha do protocolo para o projeto	27
4 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	29
4.1 Geração Distribuída no Brasil	30
5 MEDIDORES INTELIGENTES SEM FIO	33
5.1 Características dos nós	34
5.2 IEEE 1451	34
5.3 Sensores Industriais	35
5.3.1 Fluke Conect	35
5.3.2 Medidores Schneider	36
5.3.3 Medidores Siemens	36
5.3.4 Comparativo entre sensores	37

6	PARÂMETROS DA RSSF	38
6.1	Tolerância a falhas	38
6.2	Escalabilidade	38
6.3	Custo de produção	39
6.4	Ambiente de operação	39
6.5	Topologia de rede	39
6.6	Restrições de hardware	40
6.7	Meios de transmissão	40
6.8	Custo de energia	40
6.9	Segurança	41
7	ESTUDO DE CASO APLICADO A MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA	42
7.1	ESP8266	43
7.1.1	Testes dos comandos de configuração	44
7.2	Microcontrolador externo	46
7.3	Navegador web como IHM	47
7.4	Sensoreamento	50
7.4.1	Sensor de tensão	50
7.4.2	Sensor de corrente	51
7.4.3	Sensor de temperatura	55
7.5	Montagem da placa	56
7.6	Potência demandada pelo circuito	59
8	RESULTADOS	62
8.1	Clima com céu sem nuvens	62
8.2	Clima com céu nublado	64
8.3	Clima chuvoso	64
8.4	Distância de transmissão	64
8.5	Sugestões para projetos futuros	66
9	CONCLUSÃO	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
	APÊNDICE A	73
A.1	Custos do projeto	73
	APÊNDICE B	74
B.1	Código do Arduino	74
	APÊNDICE C	82
C.1	Código da IHM implementada para ser lido no browser	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Exemplo de arranjo para medidor do tipo invasivo.	14
Figura 2:	Exemplo de arranjo para medidor do tipo não invasivo.	15
Figura 3:	Representação de uma rede elétrica inteligente de uma cidade.	19
Figura 4:	Topologias de redes ponto-a-ponto.	20
Figura 5:	Topologias de redes de difusão.	20
Figura 6:	Distribuição das redes inteligentes no Brasil.	21
Figura 7:	Distribuição das redes inteligentes nos Estados Unidos da América.	22
Figura 8:	Distribuição das redes inteligentes no mundo.	23
Figura 9:	Tipos de configuração de rede de wi-fi: infraestruturado e AdHoc.	24
Figura 10:	Exemplo da tecnologia 802.11 trabalhando em conjunto com a tecnologia 802.16.	27
Figura 11:	Sistema elétrico de potência convencional simplificado.	29
Figura 12:	Modelo conceitual de rede inteligente com prosumidores, operadores e mercados.	30
Figura 13:	Medidores inteligentes homologados pela ANEEL para consumidores ou prosumidores residenciais.	31
Figura 14:	Projeção de unidades consumidoras que receberiam os créditos.	31
Figura 15:	Evolução da potência instalada desde 2012 em (MW), evidenciando o forte crescimento em 2016, com aumento de 407% em relação a 2015 da energia solar fotovoltaica.	32
Figura 16:	Rede de sensores <i>wireless</i> com comunicação bilateral entre sensores, servidor e <i>smartphones</i>	33
Figura 17:	Configuração típica de nó de sensor inteligente.	35
Figura 18:	Operação do Fluke Connect.	36
Figura 19:	Medidor de energia elétrica externa em média tensão.	37
Figura 20:	Modelo inicial de monitoramento da energia das células fotovoltaicas para controle local.	43
Figura 21:	Diagrama de blocos do ESP8266EX.	44
Figura 22:	Adaptação para leitura do ESP8266 na porta usb do computador.	45
Figura 23:	Configuração da rede para envio de dados pelo Termit.	45
Figura 24:	Passos de identificação de rede até o envio e recebimentos de comandos pelo <i>smartphone</i>	46
Figura 25:	Envio dos comandos de configuração do ESP8266 pelo Arduino obtendo o endereço de IP 192.168.4.1.	47

Figura 26:	Primeira transmissão de leitura na entrada analógica A0 realizada pelo Arduino enviada entre cabeçalhos de HTML para o navegador.	48
Figura 27:	Microprocessador externo utilizado: Arduino Uno R3 Atmega328 SMD.	48
Figura 28:	Primeira versão gráfico transmitido para um <i>smartphone</i> . O gráfico não possui eixos pois estava em fase de desenvolvimento.	49
Figura 29:	Arquivo csv como opção de <i>download</i> para salvar as medidas antes que a memória do microprocessador fique cheia.	50
Figura 30:	Gráfico com eixos para tensão e corrente elétrica, com o botão de acionamento e indicação do estado do relé, botão para download do arquivo csv.	51
Figura 31:	Circuito condicionador para medição de tensão nos painéis fotovoltaicos.	52
Figura 32:	Função de transferência do sensor de tensão condicionado para medição de corrente elétrica.	53
Figura 33:	Diagrama de ligação do sensor de corrente implementado com $R_a = 500\Omega$, onde V_s é a conversão do sinal de corrente I_s em sinal tensão.	54
Figura 34:	Sensor de efeito Hall SECOHR 50 BCI-15 implementado como sensor de corrente.	54
Figura 35:	Função de transferência do sensor de efeito Hall condicionado para medição de corrente elétrica.	55
Figura 36:	Sinal na medição de corrente apresentando um ruído sem a correção do filtro.	55
Figura 37:	Sinal na medição de corrente depois da implementação de um filtro capacitivo de primeira ordem.	56
Figura 38:	Esquema elétrico de ligação do sensor LM35 para medição de valores positivos de temperatura.	57
Figura 39:	Esquema elétrico do conversor CA-CC e dos vários níveis de tensão necessários para o projeto do monitor.	58
Figura 40:	Esquema elétrico da interligação dos componentes de transmissão, processamento, sensoreamento e chaveamento.	58
Figura 41:	Placa de testes para o monitor wifi com os componentes de sensoreamento, processamento e acionamento integrados.	60
Figura 42:	Placa de circuito impresso definitiva projetada para ser acoplada pelos pinos fêmea do Arduino.	61
Figura 43:	Corrente drenada pelo Arduino medida a partir do osciloscópio digital no momento da transmissão wifi.	61
Figura 44:	Corrente drenada pelo ESP8266 medida a partir do osciloscópio digital no momento da transmissão wifi.	61
Figura 45:	Corrente no primário do transformador de tensão $127/\pm 18$ V.	62
Figura 46:	Conjunto de painéis fotovoltaicos instalados no DELET.	63
Figura 47:	Conjunto de cargas utilizados como carga nos painéis fotovoltaicos.	64
Figura 48:	Teste com carga variável sem a interferência de nuvens. A corrente está multiplicada por um fator de 100 vezes para visualização da forma de onda.	64

Figura 49:	Teste com carga fixa com a interferência de nuvens. A corrente está multiplicada por um fator de 100 vezes para visualização da forma de onda.	65
Figura 50:	Gráfico gerado pela IHM no navegador web sob clima com céu nublado. Os botões em vermelho dão a oportunidade ao usuário acionar chaves eletromecânicas remotamente e se o usuário passar o mouse pelo gráfico os valores dos pontos aparecem no topo.	66
Figura 51:	Curva gerada inicialmente com céu nublado e 30 minutos depois sob chuva.	66
Figura 52:	Distância aproximada dos painéis fotovoltaicos até o centro de recepção dos sinais de medição e controle em azul.	67
Figura 53:	Ponto de máxima geração de um painel fotovoltaico.	67
Figura 54:	Ponto de máxima geração de um painel fotovoltaico em função da temperatura.	68
Figura 55:	Ponto de máxima geração de um painel fotovoltaico em função da incidência de raios solares.	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Alguns padrões de modulação, frequência e taxa de transmissão de dados estão estabelecidos na IEEE 802.11 e suas revisões.	25
Tabela 2:	Especificação de corrente drenada de acordo com a configuração de funcionamento	44
Tabela 3:	Parâmetros da influência da temperatura dos painéis fotovoltaicos onde o monitor foi instalado.	56
Tabela 4:	Níveis de tensão de alimentação exigidos pelos componentes do projeto.	57
Tabela 5:	Custos dos componentes do projeto.	74

LISTA DE ABREVIATURAS

DELET	Departamento de Engenharia Elétrica
IoT	<i>Internet of Things</i>
REI	Redes Elétricas Inteligentes
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
M2M	<i>machine to machine</i>
MEMS	Sistema microeletromecânicos
ISM	<i>Industrial Scientific and Medical</i>
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
SoC	<i>Sistem on Chip</i>
SEP	Sistema elétrico de Potencia
RSSF	Rede de Sensoreamento Sem Fio
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
WiMax	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
IHM	Interface Homem Máquina
CI	Circuito Integrado
OFDM	<i>Orthogonal frequency-division multiplexing</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Em vista do rápido desenvolvimento da tecnologia da automação, incorporando sistemas e a conectividade, a emergente “internet das coisas” ou (IOT – *Internet Of Things*) está vindo para ficar. O número de dispositivos que podem se intercomunicar através da IoT cresce dia após dia. Esta tecnologia veio para simplificar e tornar nossa vida cada vez mais produtiva. A IoT pode ser considerada como uma conexão entre múltiplas coisas/dispositivos, sendo elas inanimadas ou organismos vivos. A internet das coisas se refere a interconexão de múltiplos dispositivos provendo-os inteligência de tal forma que os torne independentes. Permitindo que o no mundo real os dispositivos se comuniquem uns com os outros e se configurem independentemente. O desenvolvimento de um sensor capaz de coletar dados a sua volta e remotamente atuar o controle corretamente torna-se possível graças a internet das coisas. Como o Wi-Fi está crescendo e se tornando muito comum nos últimos anos, esta infraestrutura, que está por todos os lugares, pode ser utilizada para tornar possível a internet das coisas na automação residencial ou empresarial (KODALI; SORATKAL; BOPANA, 2016).

Em 2005, a *International Telecommunication Union* (ITU) formulou o conceito de IoT. A reportagem ressalta e dá exemplos que a era das comunicações das coisas está chegando. O relatório também dá alguns exemplos sobre o que esperar da era da IoT: quando um carro não operar corretamente ele irá automaticamente acionar o alarme indicando o problema; a pasta lembrará o proprietário para não esquecer de algum compromisso ou atividade; as roupas vão informar a máquina sobre as cores e temperatura correta para então iniciar o ciclo de lavagem. A aplicação da internet das coisas prevê, tal como segurança, bibliotecas inteligentes e coisas do gênero. No futuro com um protocolo padrão que seja prático, um super *network* incluindo tudo no mundo deve ser construído, isso deve mudar dramaticamente o mundo (LI et al., 2011).

Uma importante parte da IoT vem da época em que o conceito de *smart grids* foi posto em pauta. Um *smart grid* é um poderoso sistema inteligente feito com informação, comunicação, controle computacional e transmissão/distribuição de uma forte infraestrutura. Um *smart grid* pode melhorar a eficiência energética, reduzir o impacto ambiental, aumentar a segurança e o fornecimento de energia elétrica (LI et al., 2011).

Estas melhorias foram percebidas como uma poderosa configuração nervosa central de um sistema, onde, através do uso de sensores, controle digital, e ferramentas de análise, uma empresa, casa, ou uma microgeradora pode monitorar automaticamente a rede prevenindo faltas, sobrecargas, e administrando o consumo de potência.

Sendo assim, com a população mundial crescendo com a demanda energética, os siste-

mas de microgeração e principalmente a microgeração inteligente são grandes aliados no suprimento desse crescimento e se tornarão indispensáveis dentro de um futuro próximo.

1.2 Internet das Coisas e o monitoramento de energia

A internet das coisas pode ser considerada atualmente como a grande tecnologia em desenvolvimento mundial. A internet das coisas liga máquina a máquina (*machine to machine – M2M*) permitindo comunicação, englobando sensores e atuadores que ajudem usuários no monitoramento e controle de dispositivos remotamente de maneira eficiente. Com a internet das coisas, objetos, animais ou pessoas possuem identificadores que habilitam a transferência de dados sobre uma *network* sem requerer iteração homem-máquina. A internet das coisas tem convergido em torno da tecnologia *wireless*, sistemas microeletromecânicos (MEMS) e a internet.

O monitoramento de energia é uma das importantes aplicações decorrentes da internet das coisas. Medidores inteligentes nos permitem obter dados de consumo de energia que podem ser analisados para melhor utilização dessa energia. Contudo, os medidores convencionais nos permitem verificar somente o consumo total e não um consumo em tempo real. A possibilidade de se ter dados de uma determinada fonte de energia em tempo real permite a análise para se obter soluções no suprimento de energia elétrica. Muitos medidores têm sido desenvolvidos nos últimos anos tendo em vista, entre outros, a economia de energia elétrica. Estes medidores podem ser divididos em dois grandes grupos de sistemas: invasivo e não invasivos (*intrusive and non-intrusive systems*). Para sistemas invasivos (*intrusive*), existe um sensor aplicado para cada equipamento, e uma comunicação em *network* é necessária para o controle, monitoramento e comunicação entre os sensores. Este tipo de sistema torna-se dispendioso pelo fato de exigir muitos sensores e pode ser de difícil implementação, pois exige uma configuração capaz de se adaptar em diferentes tipos de comunicação de diferentes tipos de sensores.

Figura 1: Exemplo de arranjo para medidor do tipo invasivo.

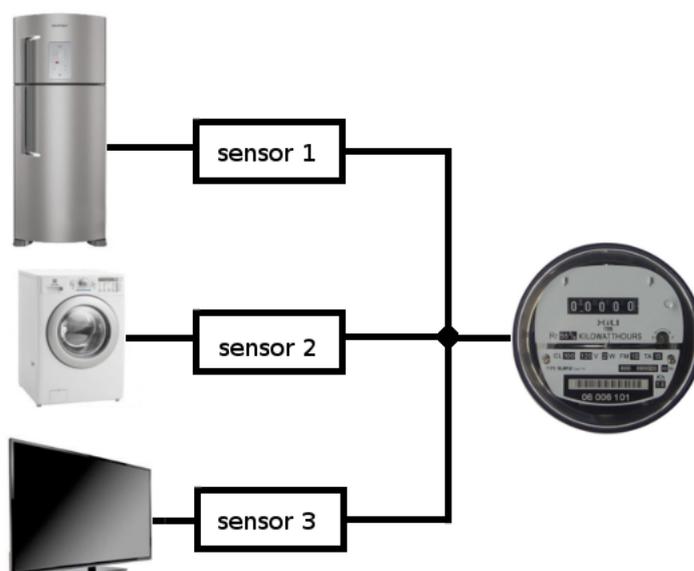
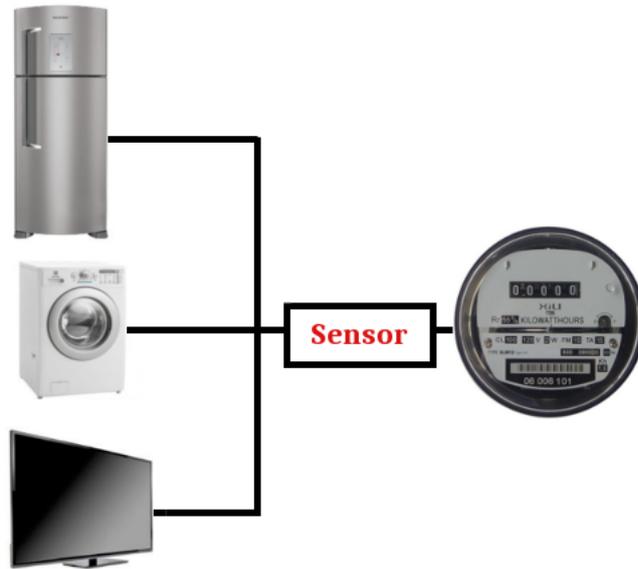


Figura 2: Exemplo de arranjo para medidor do tipo não invasivo.



Em contrapartida, um sistema não invasivo (*non-intrusive*) possui apenas um sensor para todos os equipamentos alimentados. Este sensor pode ser colocado no barramento principal de alimentação. Este tipo de sistema possui o desafio de decompor os dados para conseguir quantificar a energia drenada para cada equipamento individualmente. No entanto, este reconhecimento é um tanto complexo de se implementar, sistemas não invasivos (*non-intrusives*) tendem, por sua praticidade, ser os mais utilizados nas aplicações de medição (ASHRAF et al., 2015).

Neste trabalho será estudado o sistema não invasivo (*non-intrusive*) que é o sistema mais utilizado em relação ao invasivo (*intrusive*). Motivado pelo fato de que conhecer com confiabilidade, parâmetros de corrente, tensão, temperatura e umidade pode abrir caminhos para pesquisas onde encontraram o ponto ótimo de operação de *microgrid* ou qualquer fonte de energia vigente. Estes dados, em quantidade suficiente e manipulados de forma correta tornam-se uma arma valiosa na mão de um engenheiro. Ou ainda, um *display* mostrando o montante monetário gasto na forma de energia elétrica pode conscientizar o usuário leigo sobre o consumo. Esta ideia, com base nos medidores de consumo inteligentes, que estão presentes no nosso dia a dia em todos os nossos dispositivos com bateria, tais como: celulares, *notebooks* e *tablets*. No entanto, para o usuário comum, pode ser complicado saber quanto foi gasto em energia antes que a conta da concessionária chegue. Sendo assim, o controle de energia é mensal, enquanto que se houvesse uma medição em tempo real e de fácil acesso, poderia ser diária (ASHRAF et al., 2015).

Portanto, seja para o indivíduo especialista ou completamente leigo, dados são necessários para que a vida humana se torne cada dia mais fácil, rápida e produtiva. E este é o caminho pelo qual o futuro está chegando até nós.

1.3 Estrutura do trabalho

O trabalho foi desenvolvido inicialmente mostrando as formas de comunicação sem fio mais utilizadas, ilustrando as principais características, aplicações, limitações e pon-

tos fortes de configurações e padrões de comunicação sem fio no Capítulo 3. Passa pelo cenário de geração distribuída no Brasil, mostrando o estado atual com projeção de demanda futura de energia de geração alternativa, no Capítulo 4. No Capítulo 5, mostra as características dos medidores sem fio, as normas que regem, alguns exemplos dos principais fabricantes do mercado e um comparativo entre eles. Em seguida, no Capítulo 6, as principais características para avaliação de uma rede de sensores sem fio que precisam ser consideradas para a tomada de decisão na escolha de uma rede desse tipo. E por fim, no Capítulo 7, a metodologia utilizada para o desenvolvimento de um monitor remoto de energia de geração distribuída e seus resultados obtidos a partir disso estão no Capítulo 8.

2 SMART GRID

A internet das coisas e os medidores inteligentes parecem convergir para compor os sistemas de *smart grids*. Esta tendência vem pelo viés de economia de energia e atendimento da demanda crescente de energia elétrica que será atendida, entre outras formas, com a otimização do consumo e distribuição da energia elétrica. O termo *smart grid* é utilizado para denominar uma rede elétrica com comunicação digital, formada por uma variedade de tecnologias, cuja finalidade é integrar sistemas de automação, melhorar o aproveitamento dos sistemas elétricos de potência e prover suporte a novas aplicações (PETEBEL F.; PANAZIO, 2014).

Este tipo de rede inteligente permite que a concessionária, obtenha dados remotamente de uma determinada região de interesse, identificando e comunicando possíveis faltas ou anomalias na rede agilizando o processo de correção, garantindo maior rapidez na solução do problema. É esperado que esta solução, venha sem a intervenção humana, ou seja, que a própria rede se auto gereencie.

A rede elétrica atual possui um formato fixo há mais de cem anos, contudo a demanda e o consumo aumentaram continuamente. Desse modo, a rede se transformou em algo complexo e sem ferramentas que automatizem o sistema para garantir uma energia com qualidade (GUNGOR et al., 2011). A taxa de crescimento da demanda energética crescerá cerca de 0,5% ao ano entre 2010 e 2040 e em 2040 esse crescimento será responsável por 60% do consumo mundial (LIU, 2015).

Esse modelo estático gera inúmeros problemas que são percebidos no consumidor final. Contínuos *blackouts*, limitações na geração de energia e distribuição e problemas em equipamentos são dificuldades corriqueiras encontradas por concessionárias de energia elétrica.

Uma *smart grid* tem grandes desafios para ser estabelecida, entre eles estão a previsão de novos equipamentos ligados a rede como: carros elétricos, armazenadores de energia, painéis fotovoltaicos. O sensoramento e controle também é um desafio no que diz respeito a medidores microprocessados, cabos e chaves automatizadas, sistema de monitoramento, medidores fasoriais. Uma rede capaz de trafegar, armazenar e gerenciar todos esses dados com um protocolo de comunicação são parte desse sistema. Este modelo inovador virá como solução para grande parte dos problemas enfrentados no engessado modelo atual (CARVALO FILHO, 2014).

No entanto, o conceito de *smart grid* traz uma grande preocupação sobre segurança. Devido aos medidores e centrais de comunicação estarem próximos aos usuários finais e possuem uma comunicação por ondas de rádio, por exemplo, a vulnerabilidade desse sistema é um tema que é uma preocupação vigente. Este modelo pode ser alvo de *hackers* com objetivos de perturbar o sistema de medição com *blackouts* ou obter vantagens sob o valor do consumo de energia.

Em um estudo realizado na Coreia utilizando o protocolo IEEE62056 que regula uma linguagem de comunicação: *Device Language Message Specification/Companion Specification for Energy Metering (DLMS/COSEM)*. Foi analisado a vulnerabilidade dessa comunicação, onde o maior grau de fragilidade foi encontrado em uma possível mudança de senha que inutiliza o medidor inteligente. O ataque muda o valor de autenticação antes da conexão entre o medidor e a rede de transmissão causando um erro na amostragem do valor de energia. O medidor só poderia restabelecer corretamente sua comunicação e medição se fosse reconfigurado com a senha correta (LEE et al., 2016).

Este tipo de medidor inteligente parece ser o que está chegando como maior rapidez ao cotidiano do cidadão comum, pois permite uma cobrança dinâmica sobre o consumo. Podendo discriminar os horários de pico em que os sistemas de geração e distribuição sofrem mais, como por exemplo, reduzindo as perdas devido a aquecimento de transformadores e linhas. Estas tarifas dinâmicas têm como objetivo forçar os cidadãos a consumir menos energia nesses horários de pico, reeducando o consumidor através de uma tarifa mais alta nos períodos de alta demanda. Outra motivação para essa troca seria limitação dos medidores residenciais atuais que não quantificam grandezas como o fator de potência. Também é interessante salientar que o mesmo conceito de *smart grid* poderia ser aplicado para recursos hídricos e de gás.

2.1 Rede de sensoreamento sem fio

Uma rede de sensores sem fio (RSSF) é uma tecnologia que vem ganhando cada vez mais espaço no meio industrial. Uma RSSF tem ampla capacidade de conexão com meio físico extraindo uma grande quantidade de dados do mesmo. Esta facilidade torna mais simples a manipulação desses dados e fazem uma cobertura mais eficiente que as técnicas de instrumentação tradicionais.

Estas redes possuem grandes quantidades de dispositivos chamados nodos (ou nós) do sistema. Os nós são responsáveis por enviar determinado tipo de informação no qual foram programados e disseminar esta informação até que atinjam um ponto de processamento central para tratamento dos dados de interesse. Estes nós geralmente são espalhados em uma grande área de específica, como por exemplo, uma fábrica ou cidade, devendo trabalhar sem a intervenção humana. Para se ter uma ideia da quantidade de nós de um sistema, a Figura 3 mostra um modelo complexo de uma Rede Elétrica inteligente integrado a medidores inteligentes. Essas características podem oferecer algumas limitações ao nó, como de dimensão física, durabilidade de bateria, tipo de protocolo de comunicação, memória e processamento dependo da aplicação.

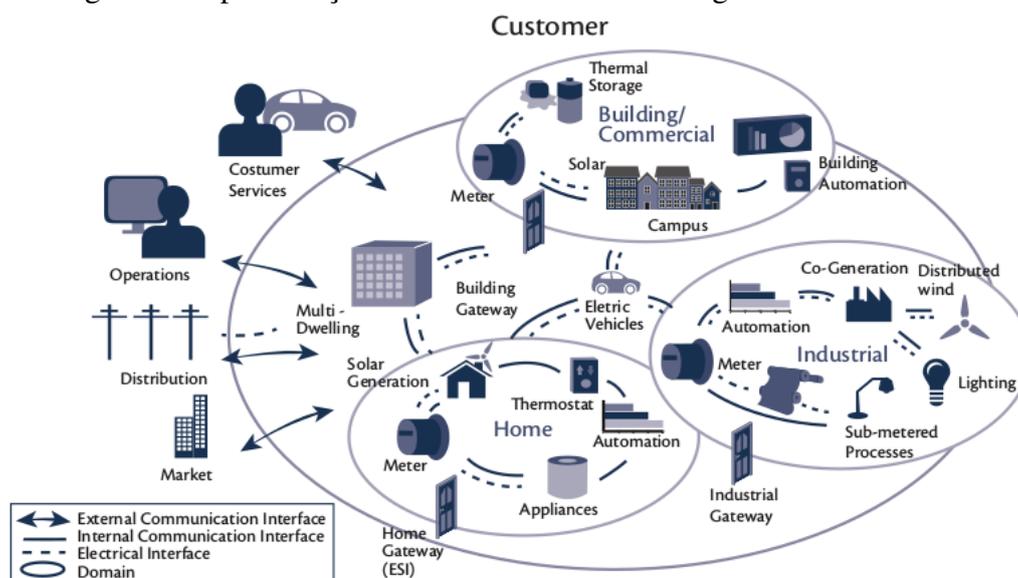
Muitas vezes vários sensores na RSSF podem fazer o controle de uma mesma variável, fazendo com que gere redundância na medida, aumentando a confiabilidade do dado que chega ao servidor. Outra característica interessante é a imensa aplicabilidade desse conceito: Projetos de RSSF estão sendo desenvolvidos em todo o mundo na área de robótica, automação residencial, aplicações meteorológicas, área médica, sistema de segurança, prevenção contra incêndios e em várias outras aplicações.

O estudo dessas redes teve início na área militar. Uma das primeiras aplicações desse conceito foi uma rede de sensores localizados estrategicamente no fundo do mar durante a guerra fria para a detecção de submarinos soviéticos. Atualmente essa rede tem a finalidade de obter dados de atividades sísmicas e de animais (DA SILVA, 2006).

Atualmente, gigantes como Ember, Crossbow, Sensoria e a Intel desenvolvem nós sensores e toda estrutura necessária para implementação da RSSF cada vez mais baratos,

eficientes e menores. Quando esse conceito foi proposto, nos anos 1980, as estruturas com sensores de dimensões da ordem de uma caixa de sapato, pesando unidades de quilogramas, com sensoreamento, processamento e comunicação produzidos em módulos separados e com baterias que duravam no máximo alguns dias têm sido substituídos pelos novos nós sensores. Esses sensores modernos têm dimensões ínfimas, peso insignificante, computação quântica e são sustentados por energia renovável com autonomia de anos.

Figura 3: Representação de uma rede elétrica inteligente de uma cidade.



Fonte: (CGEE, 2012).

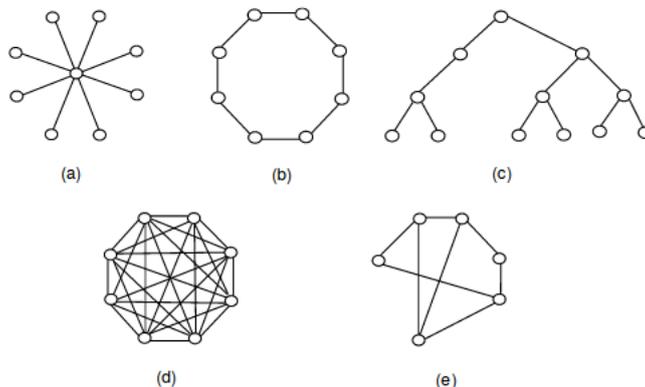
2.2 Nomenclaturas de topologias de redes

Algumas extensões de redes de comunicação podem ser definidas conforme o seu alcance. LAN (*Local Area Network*). Sua interconexão de computadores estão localizados em uma mesma sala ou em um mesmo prédio. A extensão típica de alcance é de aproximadamente 200 m. Outras redes como a rede CAN (*Campus Area Network*), tem alcance típico de 5 km. A rede MAN (*Metropolitan Area Network*), de 50 km e uma rede WAM (*Wide Area Network*) ou rede de longa distância que é uma rede com alcance superior a 50 km.

Também pode-se obter várias topologias de comunicação: ponto a ponto e difusão. Nos canais ponto a ponto, a linha é composta por diversas linhas de comunicação associadas a um par de estações de cada vez. A comunicação entre estações adjacentes é feita através de estações intermediárias, essa política é conhecida como comutação de pacotes e é utilizada na maioria das redes WAN, MAN, CAN e algumas LAN (KUROSE; ROSS, 2006). Conforme a Figura 4 as redes ponto a ponto podem ser classificadas como: Figura 4(a) estrela; Figura 4 (b) anel; Figura 4 (c) árvore; Figura 4 (d) malha regular; Figura 4(e) malha irregular.

Já na comunicação via canais de difusão a rede é composta por uma única linha de comunicação compartilhada por todas as comunicações. As mensagens difundidas no canal são lidas por todas as estações e o destinatário é decodificado por um endereço codificado na mensagem. É possível enviar mensagens para todas as estações (*broad-*

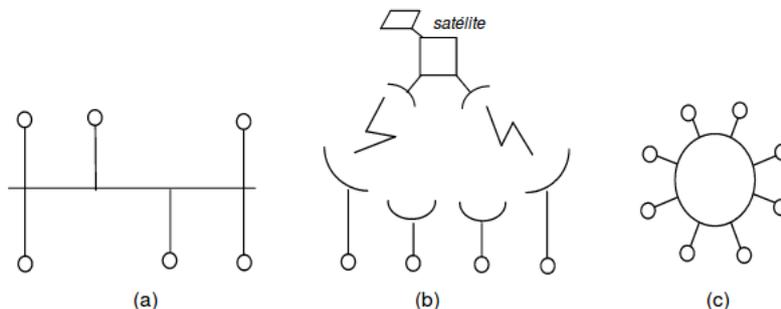
Figura 4: Topologias de redes ponto-a-ponto.



Fonte: (KUROSE; ROSS, 2006).

casting) ou a um conjunto delas (*multicasting*) usando endereços reservados para estas finalidades. As topologias mais comuns são LAN e WAN requerendo mecanismos de arbitragem para evitar conflitos. Na figura 5 são mostrados alguns tipos de redes de difusão: (a) barramento; (b) satélite; (c) anel;

Figura 5: Topologias de redes de difusão.



Fonte: (KUROSE; ROSS, 2006).

2.3 Redes inteligentes no Brasil

Devido a grande extensão do território brasileiro, existem muitos lugares remotos habitados onde esta população pode demandar desde algumas unidades até dezenas de mega *watts*. Este fato pode ser um empecilho para a medição e controle do fluxo de potência no abastecimento dessas localidades ou até mesmo o controle do consumo dos consumidores. Justamente está foi a motivação para ser criada a primeira *smart grid* no território nacional, pois nestas localidades muitas vezes é o consumidor final quem faz o controle de faltas ou até mesmo dos níveis de tensão da rede.

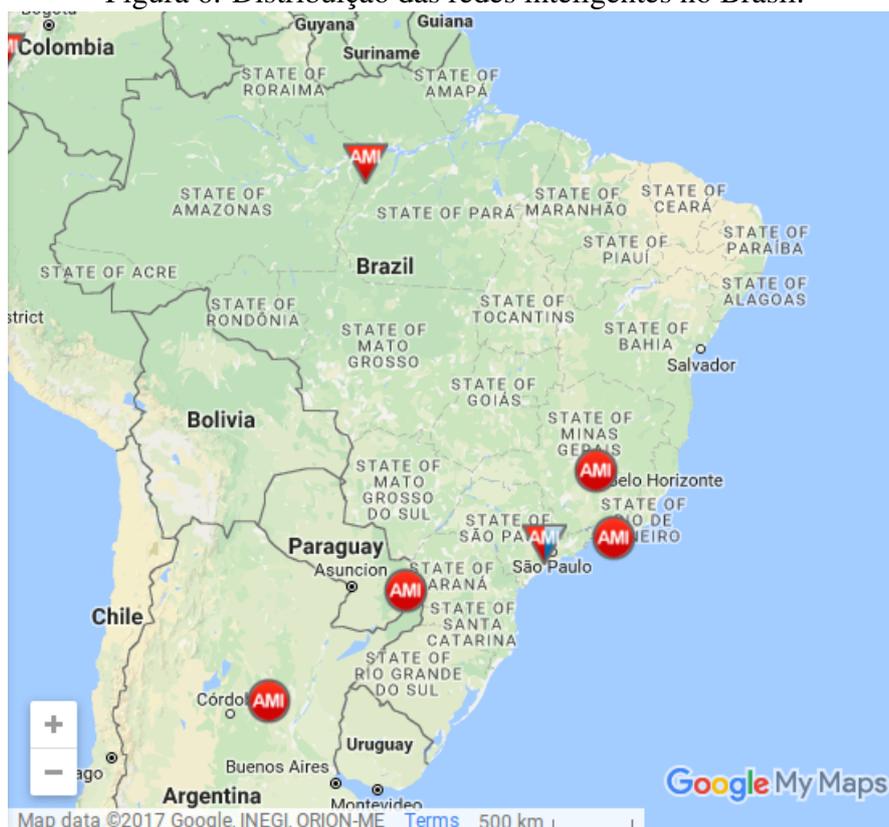
O primeiro grande projeto de rede inteligente de grande porte no Brasil foi desenvolvido pela Eletrobrás em Parintins no estado do Amazonas tendo seu início em 2011. Este local foi escolhido devido a sua localização estar muito distante dos grandes centros urbanos e, mesmo assim, demandar 25 MW por uma usina térmica em um sistema isolado de abastecimento. Neste município pode-se obter valores de consumo de energia elétrica

a distância pela concessionária, além do sistema possuir equipamentos que impedem desvios de energia para aumentar a confiabilidade do sistema. O sistema tem como objetivo beneficiar cerca de 14500 consumidores residenciais da ilha e monitora cerca de trezentos transformadores (AUTOMATIZAR, 2012).

Um outro projeto interessante fica em São Paulo na cidade de Aparecida do Norte. Foi feito um projeto que incluiu a prefeitura da cidade e a concessionária que gere a distribuição e demanda de energia na cidade, a EDP Bandeirante. Neste projeto existem equipamentos que permitem o monitoramento do fornecimento de energia e detecção de falhas permitindo o diagnóstico antes da interrupção do fornecimento. Outro aspecto que chama atenção é que os medidores das residências possuem uma comunicação via 3G, da tecnologia *mobile*, isso permite que os consumidores se tornem prosumidores, ou seja, além de consumidores os cidadãos podem se tornar produtores de energia elétrica através, por exemplo, da emergente energia solar (CARVALO FILHO, 2014).

Uma distribuição dessas redes inteligentes no Brasil pode ser conferida na figura 6 e no estado do Amazonas pode-se conferir a *smart grid* de Parintins mencionada. O desenvolvimento desse tipo de rede ainda está no início no Brasil e necessita de maiores investimentos na área.

Figura 6: Distribuição das redes inteligentes no Brasil.



Fonte: Google Maps.

2.4 Redes inteligente no mundo

Em um mapa disponível no Google Maps, pode-se obter a localização e número das redes inteligentes no mundo. São catalogados neste *site* 266 *smart grids* em todo o mundo

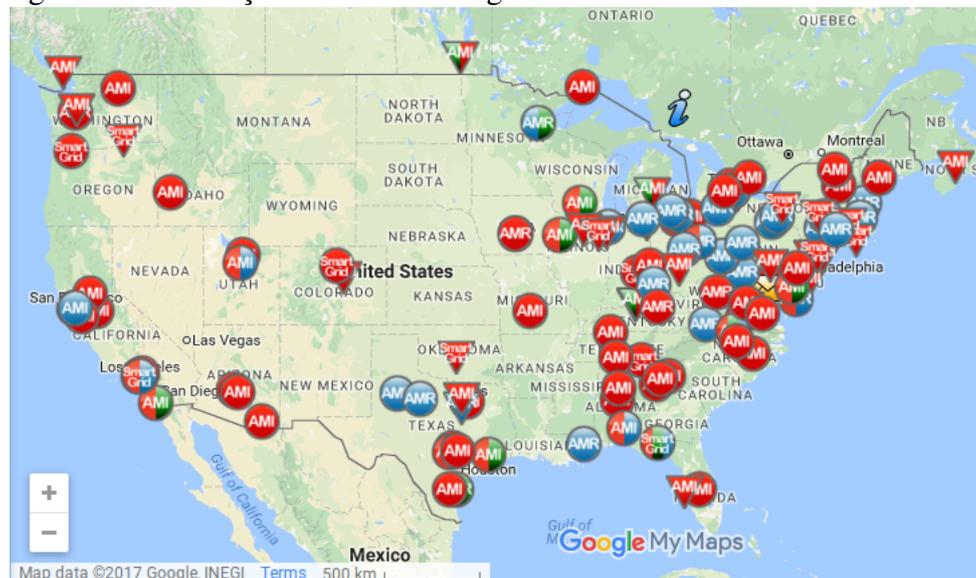
(figura 8). Nota-se que o número de *Smart grids* tem proporcionalidade direta com o desenvolvimento tecnológico de cada país, a produção de energia elétrica que ele demanda e conseqüentemente seu poder econômico.

Os Estados Unidos, por exemplo, um dos países que possui maior demanda por energia no mundo investe pesado no desenvolvimento dessa tecnologia. Outro motivo é que o país possui uma matriz energética predominantemente composta por carvão e devido seu alto grau de poluição, este tende a diminuí-la. É importante salientar que o governo americano investe pesado no incentivo da proliferação das *smart grids*. Mediante o “*American Recovery Reinvestment Act*”, lançado em 2009, o governo americano tem alocado recursos para a modernização da rede elétrica nacional por meio de dois programas: “*Smart Grid Investment Grant*” (SGIG) e o “*Smart Grid Demonstration Program*” (SGDP). A infraestrutura de medição dos consumidores e os desenvolvimentos dos sistemas elétricos de transmissão, de distribuição e de armazenamento são contemplados pelos programas americanos em investimentos em torno de US\$7 bi (CGEE, 2012).

No contexto europeu, os países estão com projetos em *smart grid* e possuem meta de alcançar 20% de geração renovável até 2020. A Alemanha apresenta como característica do sistema elétrico 17% de energia renovável na matriz energética, política de desativação e substituição de usinas nucleares e forte potencial em energia eólica. Já a Itália, tem como objetivo difundir o uso de carros elétricos, devido ao desenvolvimento das recargas por meio dos serviços inteligentes. O plano de ação está relacionado ao fornecimento de veículos elétricos a vários clientes e estações de recargas (CARVALO FILHO, 2014).

Sendo assim, a inclusão do sistema de redes inteligentes, *smart grids* é uma realidade próxima mas que exige algumas preocupações. É uma tecnologia que possui uma infinidade de melhorias e também preocupações. No entanto, antes de obter uma rede inteligente interligada ao sistema de potência também inteligente, é preciso uma rede de sensoramento sem fio que pode assumir vários tipos de topologias que dependem da aplicação desejada. Portanto, o próximo passo abordado será algumas das comunicações sem fio mais utilizadas, servindo como base para a escolha do protocolo utilizado no trabalho.

Figura 7: Distribuição das redes inteligentes nos Estados Unidos da América.



Fonte: Google Maps.

Figura 8: Distribuição das redes inteligentes no mundo.



Fonte: Google Maps.

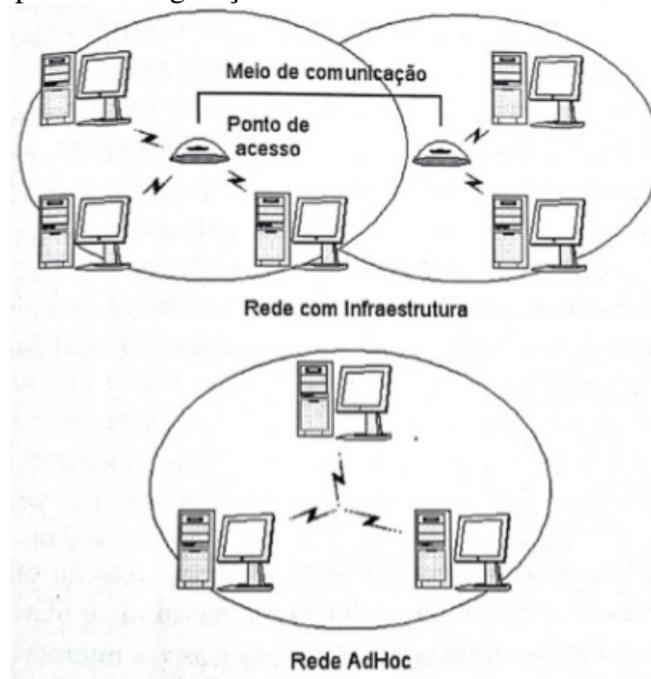
3 ALGUMAS DAS COMUNICAÇÕES SEM FIO QUE PODEM SER APROVEITADAS PARA O SENSOREAMENTO INTELIGENTE

3.1 Wi-fi

O padrão de comunicação Wi-Fi foi estabelecido pela Wi-Fi Alliance e está normatizado segundo a norma IEEE 802.11 onde trata das camadas físicas e enlaces no que diz respeito a configuração de redes sem fio locais (WLAN na sigla em inglês). Também são definidas as frequências de banda de operação: 2.4 GHz, 5 GHz e 60 GHz.

A comunicação entre as máquinas, nesta rede local, pode ser estabelecida de duas maneiras distintas. Em uma, as máquinas são conectadas a pontos de acesso que por sua vez são responsáveis pela regulamentação da rede. Este sistema é chamado de infraestrutura. No outro sistema de comunicação, as máquinas são os próprios pontos de acesso e podem se comunicar livremente gerenciando a regulamentação da rede, este sistema se chama AdHoc.

Figura 9: Tipos de configuração de rede de wi-fi: infraestrutura e AdHoc.



Fonte: (BOLZANI, 2004).

A camada física é parte responsável pela transmissão dos dados. Como a rede é sem fio, deve-se estabelecer a banda do sinal e a frequência de modulação do sinal. Na primeira banda, em 2,4 GHz os sinais são divididos em 14 canais que são separados em 5 MHz com exceção do primeiro e último canal. Esta faixa é a utilizada pelos modems residenciais e é conhecida como ISM, sigla em inglês para industrial, científica, médica. A banda de 5GHz é dividida em três canais que definem sua utilização como *indoor*, *in/outdoor* e *outdoor point-to-point*. Estas regulamentações podem depender da legislação de cada país ou continente. No que diz respeito ao Brasil o órgão regulamentador é a ABNT que segue a FCC (*Federal Communications Commission*). No que tange a modulação existem duas técnicas a DSSS (*Direct Sequence Spread-Spectrum*) e o OFDM (*Orthogonal frequency-division multiplexing*). Na DSSS, basicamente, cada dispositivo é codificado em sinais PN que são ortogonais entre si, permitindo assim a comunicação de vários dispositivos simultaneamente. Já no OFDM, o que permite a comunicação simultânea é multiplexação dos sinais.

Na camada de enlace é onde é feito o controle de acesso por meio de dois conjuntos. Um baseado em protocolo de temporização que evita colisões no tráfego de informações, no outro, é feita uma verificação periódica e quando se detecta dados à serem transmitidos é dedicado um canal para a comunicação.

Tabela 1: Alguns padrões de modulação, frequência e taxa de transmissão de dados estão estabelecidos na IEEE 802.11 e suas revisões.

Padrão	ano	Mbps(máx)	Mbps(típico)	Banda(GHz)	Modulação
802.11a	1999	54	23	5	OFDM
802.11b	1999	11	4.3	2,4	DSSS
802.11g	2004	54	19	2,4	OFDM
802.11n	2008	600	74	74	OFDM

3.2 Zigbee

Zigbee é o protocolo de comunicação criado pela *Zigbee Alliance*. Zigbee é uma especificação para uma rede de comunicação local sem fio WLAN via rádio frequência. Este padrão foi criado para operar em aparelhos que não necessitem de altas taxas de transferências de dados e baixo custo de energia elétrica. Este padrão é normatizado segundo a IEEE 802.15.4. Neste protocolo são definidos três faixas de frequência que podem variar conforme a região, no Brasil é a banda da ISM (industrial, científica, médica), ou seja, 2,4 GHz com 16 canais espaçados em 5 MHz.

A transmissão é feita através de balizas de referência (*beacons frames*) para fazer a transmissão do sinal de forma confiável e para a sincronização. Para acessar ao canal pode-se fazer pelo *beacon* habilitado onde o coordenador envia de forma periódica sinais para sincronizar os dispositivos, garantindo os intervalos de tempos para transmissão entre os dispositivos. Através do beacon não habilitado é necessário a verificação do canal antes da transmissão dos dados. O segundo modo é utilizado apenas em configuração de roteadores pois não permite o modo de espera (*sleep*), consumindo mais energia que o primeiro modo.

A rede zigbee é responsável pelo roteamento dos pacotes. E pode ter funções adicionais, tais como: detectar redes, estabelecer conexão com novos dispositivos, sincronização de dispositivos através de *beacons*, endereçar dispositivos que estiverem entrando na rede. A aplicação fornece serviços para as aplicações determinando quais dispositivos estão atuando na área de um outro dispositivo e encaminha a comunicação entre eles. Existe um perfil para cada dispositivo que permite a aquisição ou transporte de dados de forma transparente.

3.3 Bluetooth

Bluetooth é um padrão de tecnologia sem fio para troca de dados entre dispositivos que utiliza comprimentos de onda de rádio da ordem de UHF na banda da ISM de 2.4 até 2.485 GHz para dispositivos fixos e móveis permitindo que seja estabelecido uma rede pessoal de trabalho (PAN). Apesar de estar na mesma banda de frequência do wi-fi, o bluetooth utiliza de diferentes métodos de multiplexagem. Desenvolvido pela Ericsson em 1994 foi inicialmente concebido para ser uma alternativa à rede de cabos RS-232.

O bluetooth é administrado pela *Bluetooth Special Interest Group* (SIG) no qual tem mais de 30000 empresas associadas em áreas diversas, como: telecomunicações, computação e consumidores de eletrônicos. A sua norma regulamentadora é a IEEE 802.15.1, mas já não mantém o padrão. O BLUETOOTH SIG é que mantém o desenvolvimento, gerencia o programa de qualificação e protege as marcas registradas.(SIG, 2017)

Esta tecnologia tem como característica alta taxa de transmissão de dados e é geralmente utilizada para dispositivos que estejam separados por unidades de metros. Uma das principais diferenças entre o bluetooth e o wi-fi é que enquanto o bluetooth tem como característica a intercomunicação entre dispositivos, funcionando como um substituto de cabos com aplicabilidade em transmissão de áudio como exemplo, o wi-fi é utilizado apenas para estabelecimento de redes locais. Também é importante salientar que o bluetooth não requer configuração de endereços de redes ou permissões como em outras tecnologias.

3.4 WiMax

O WiMax pode ser considerado uma evolução do wi-fi para cobertura de grandes áreas. Também pode ser chamado de IEEE 802.16 ou popularmente de WiMax (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*). Assim como na tecnologia bluetooth que possui o SIC, essa tecnologia tem como fórum administrador o WiMax. Este é um fórum de uma organização sem fins lucrativos que desenvolve e promove essa tecnologia.

Devido ao seu grande alcance, o 802.16 pode servir como distribuição de redes *wireless* para localidades de difícil acesso como áreas rurais, agrícolas ou pontos de difícil acesso de cabos sem a necessidade altos investimentos. Esse padrão promete um alcance de 30 a 50 Km de cobertura e a fornece acesso para milhares de usuários, o que elevaria a tecnologia *wireless* a um novo patamar. Esta é uma tecnologia que pode trabalhar em conjunto com 802.11, ou seja, o wi-fi. O WiMax vem para competir com as estruturas DLS e os modems cabeados que predomina principalmente na América latina, como se pode observar na figura 10.

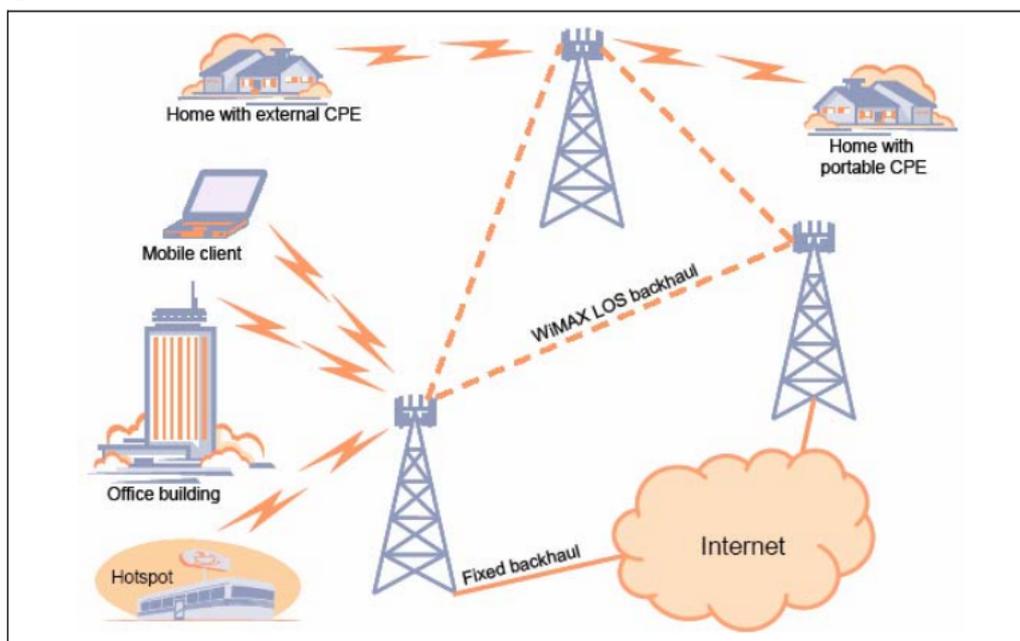
A Intel, uma das maiores patrocinadoras do Fórum WiMAX, acredita que o 802.16 é “a coisa mais importante desde o advento da própria Internet”. A empresa já comanda um

teste real de uma rede sem fio de longo alcance em seu escritório na cidade de Hillsboro, no estado de Oregon, nos Estados Unidos. Com uma “fazenda de antenas” no topo do edifício, o sinal cobre aproximadamente 30 quilômetros e fornece acesso banda larga sem fio ao aeroporto da cidade, que fica a mais de 1 km de distância do edifício da Intel, e para 15 residências na vizinhança. (SANTOS LIMA; SOARES; ENDLER, 2004)

O padrão 802.16 trabalha na faixa de 10 a 66 GHz e possui uma taxa de transmissão de 70 Mbps permitindo alta qualidade para áudio e vídeo, sendo que em sua primeira versão, em 2002, tinha como limitação a visada direta de transmissão. Isso foi corrigido em 2003 pela 802.16a que também permitiu o uso de frequências mais baixas de 2 a 11 GHz.

É notório o crescimento das *smart grids*, suas aplicações vantagens são muito promissoras e viabilizam um futuro sustentável e produtivo. Tendo em vista o crescimento populacional, crescimento da demanda energética e escassez dos recursos naturais tenderá em futuro próximo para este caminho tecnológico. Outra tecnologia que vem crescendo muito no Brasil e no mundo, pelos mesmos conceitos, é a geração distribuída que agrega ainda mais valor neste cenário. Assunto que será discutido no próximo capítulo.

Figura 10: Exemplo da tecnologia 802.11 trabalhando em conjunto com a tecnologia 802.16.



Fonte: (PAOLINI, 2004).

3.5 Escolha do protocolo para o projeto

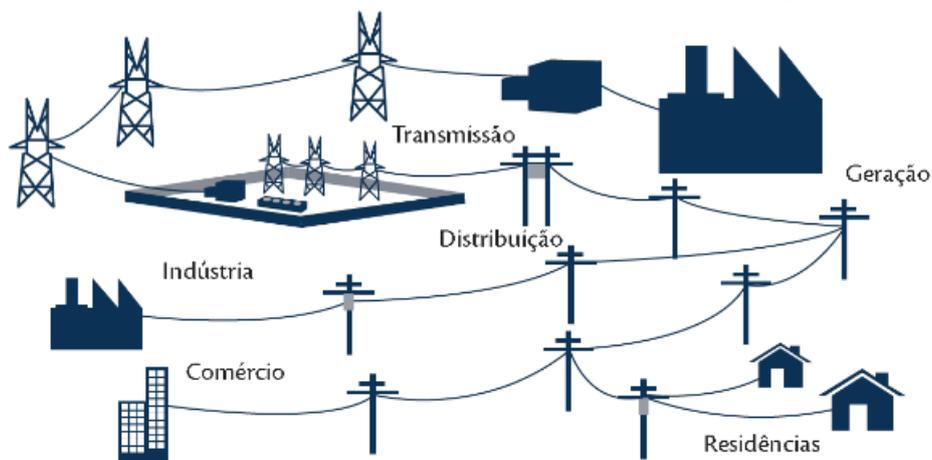
É importante salientar que não existem somente esses padrões de comunicação. Existem uma infinidade de outros protocolos de comunicação sem fio. A escolha do padrão utilizado levou em consideração duas primícias: custo e a possibilidade de conexão com o máximo de dispositivos presentes no cotidiano da vida moderna. Portanto, o protocolo utilizado foi o padrão 802.11, ou seja, o wi-fi. Podendo servir como interface homem máquina qualquer *smart phone*, *tablet* ou computador que possua esse tipo de conexão e um navegador web. Tudo isso sob baixo custo.

Haja vista que a implementação final do projeto é para a geração distribuída, no próximo capítulo encontra-se uma abordagem do assunto. Para justificar o estudo de caso empreendido.

4 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Esta ideia que parece ser um novo conceito de geração de energia elétrica, é, na verdade, um conceito antigo. As primeiras unidades geradoras de energia foram microgeradoras, quando a geração de energia elétrica era predominantemente em corrente contínua e a distância entre a geração e carga era limitada pelas perdas por efeito Joule devido à dificuldade do rebaixamento da corrente ou eram feitas através de baterias. Mais tarde com a consolidação da corrente alternada, se pôde transmitir energia para longas distâncias e pouco a pouco o sistema de distribuição foi crescendo e se interligando. Esse sistema elétrico de potência (SEP) é composto basicamente pela geração, rede de transmissão, rede de distribuição e usuários. Um modelo simplificado é mostrado na figura 11 onde a geração pode se dar através de hidrelétricas, usinas térmicas ou nucleares.

Figura 11: Sistema elétrico de potência convencional simplificado.

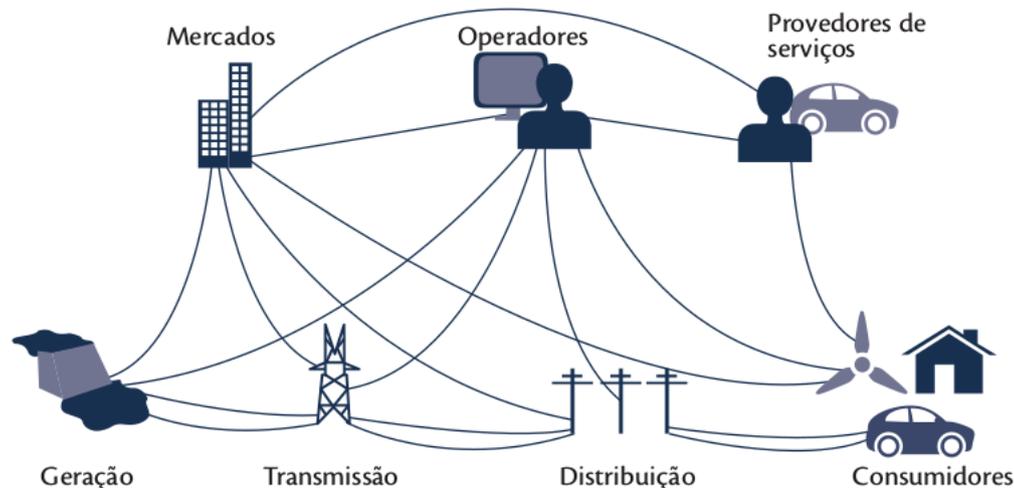


Fonte: (CGEE, 2012).

Na rede inteligente a geração é relacionada as gerações de grandes parcelas da energia elétrica, a transmissão é parte responsável pelo transporte de energia em longas distâncias em alta tensão, a distribuição é parte que leva a energia elétrica em média tensão para os clientes que são relacionados aos usuários finais da eletricidade que assumem o papel de produtor e consumidor: *prosumer* ou prosumidor. Os mercados são a parte competente aos operadores e participantes do mercado de energia. Os Operadores de rede são os gerenciadores do fluxo de energia elétrica e os provedores de serviços estão relacionados aos fornecedores de utilidades e serviços aos consumidores finais, como se pode observar na figura 12.

No Brasil, o sistema de geração, devido a grande riqueza hídrica, é predominantemente concebida através de hidrelétricas, mas este modelo tem sofrido grandes restrições devido aos impactos ambientais provocado pela construção do reservatório da hidrelétrica. Sendo possível apenas a construção de reservatórios a fio d'água. Sendo esse, mais um motivo para o crescimento da geração distribuída.

Figura 12: Modelo conceitual de rede inteligente com prosumidores, operadores e mercados.



Fonte: (CGEE, 2012).

A vinda dos medidores inteligentes (*smart meters*) e RSSFs abrem portas para a geração distribuída (*distributed generation*). Nesse contexto os consumidores têm a possibilidade de se tornarem prosumidores (*prosumers*), ou seja, consumidores e fornecedores de energia elétrica ao mesmo tempo. Isso se configura um sistema de microgeração, ou seja, um sistema de geração em menor escala de geração de energia em comparação aos sistemas de tradicionais.

4.1 Geração Distribuída no Brasil

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é responsável pela regulamentação da geração (produção), transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, além da responsabilidade de ser o órgão fiscalizador diretamente ou mediante convênios com órgãos estaduais, as concessões, as permissões e os serviços de energia elétrica. Também é sua incumbência implementar as políticas e diretrizes do governo federal relativas à exploração da energia elétrica e ao aproveitamento dos potenciais hidráulicos, além de estabelecer tarifas.

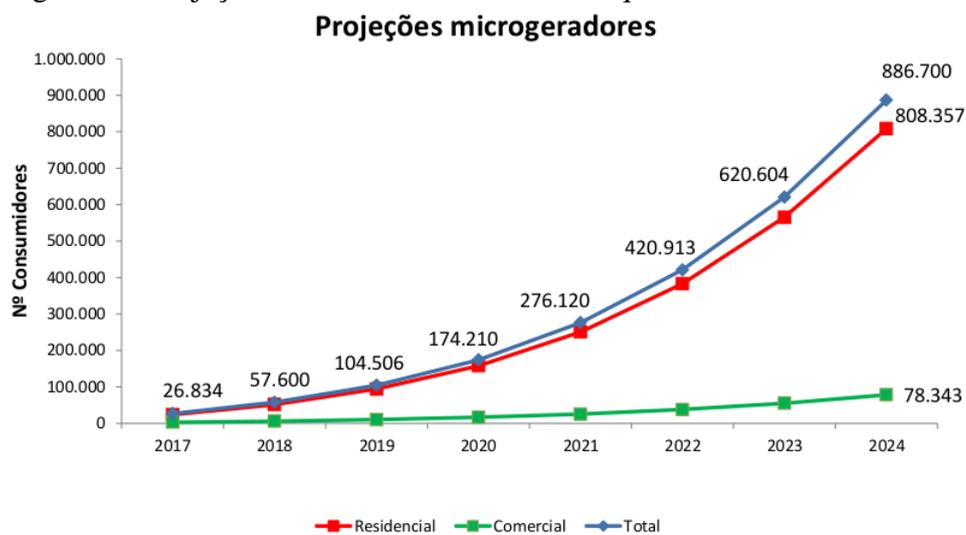
Desde 17 de abril de 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. A normativa prevê que o consumidor fica com créditos, não podendo ser revertidos em dinheiro, que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes aplicados sobre o excedente de energia elétrica por um período de até 60 meses. Esses créditos podem ser abatidos sob qualquer unidade consumidora de mesma titularidade.

Figura 13: Medidores inteligentes homologados pela ANEEL para consumidores ou produtores residenciais.



Fonte: (0056/2017-SRD/ANEEL, 2017).

Figura 14: Projeção de unidades consumidoras que receberiam os créditos.



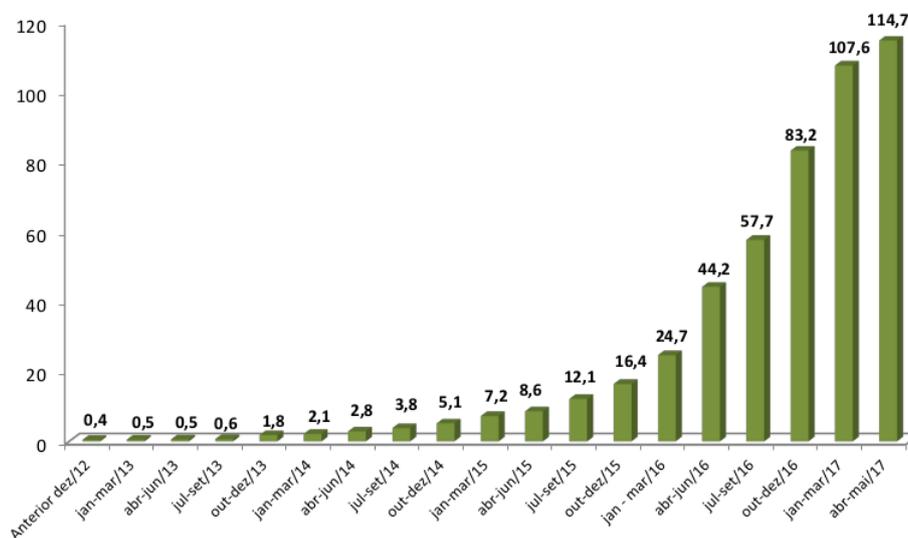
Fonte: (0056/2017-SRD/ANEEL, 2017).

Denomina-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada inferior a 75 kW; e minigeração para potência acima de 75 kW e inferior a 5 MW (exceto para geração com fonte hídrica, com máximo de 3 MW), a qual era para potência acima de 100 kW e inferior a 3 MW.

Segundo nota técnica da ANEEL (0056/2017-SRD/ANEEL, 2017) o número de geradores instalados por fonte de energia predominantes no sistema elétrico de potência brasileiro é a energia solar que representa 99% do número total de instalações, seguida pela fonte eólica. Em termos de potência instalada, a fonte solar responde por 70% e a eólica por 9%, até 2017.

Com relação à participação dos consumidores, destacam-se as classes residencial com 79,5% das instalações e a comercial com 15% e por essa característica 72% das instalações são iguais ou menores que 5 kW. Outro dado interessante é que o número de consumidores residenciais e comerciais que receberiam os créditos pela injeção de energia no sistema elétrico de potência brasileiro aumentaria significativamente nos próximos anos, conforme figura 14.(0056/2017-SRD/ANEEL, 2017) De posse desses dados pode-se dizer que a demanda por uma rede inteligente é eminente com tudo que a cerca: medidores inteligentes, redes de dados seguras, relés e outros componentes inteligentes bem como toda estrutura necessária para sua implementação. No entanto, passo imediato para essa estruturação seria a construção do medidor inteligente.

Figura 15: Evolução da potência instalada desde 2012 em (MW), evidenciando o forte crescimento em 2016, com aumento de 407% em relação a 2015 da energia solar fotovoltaica.



Fonte: (0056/2017-SRD/ANEEL, 2017).

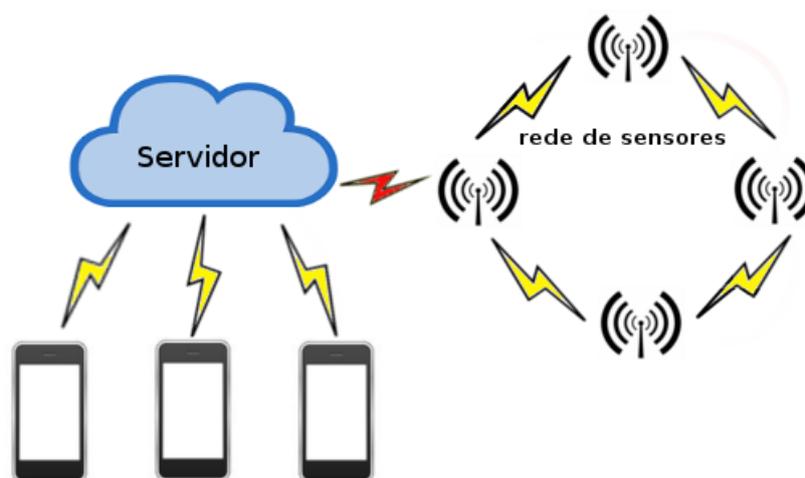
Como pode-se notar, ainda que pequeno, existe uma preocupação do governo nesse assunto. Mesmo assim, sem grandes incentivos, a energia proveniente da geração distribuída está crescendo substancialmente. Sobre tudo a energia fotovoltaica, mas para que se possa interligar ou estudar esse tipo de geração é necessário entender os medidores inteligentes, suas características e conhecer alguns medidores industriais disponibilizados no mercado de trabalho. Estas características serão estudadas no capítulo 5.

5 MEDIDORES INTELIGENTES SEM FIO

O século vinte e um é século da revolução da era digital. Esta é revolução na qual introduz a sociedade a avanços exponenciais de tecnologia. E este avanço vem por um caminho sem fio, onde a tecnologia wi-fi está tão arraigada nessa revolução das internet das coisas, que não se pode imaginar uma sem a outra. E como tudo em engenharia, não se pode deixar de incluir o peso da realização do projeto, entre outros, é o custo.

Usualmente, conexões com fio estão empregadas em maior escala para transferência de dados a base de controle dos sensores e atuadores. Este tipo de conexão possui alta confiabilidade e alta estabilidade na intercomunicação de controle dos controles. Contudo, quando se compara o custo dos cabos e de transmissores *wireless* a balança vem pendendo para o uso dos transmissores sem fio que vem, impulsionado pela internet das coisas (IoT), se tornando cada vez mais robustos, confiáveis e baratos. Através de escolhas acertadas pode-se desenvolver sistemas baratos, eficientes, com baixo consumo de energia, alta performance e aplicabilidade.

Figura 16: Rede de sensores *wireless* com comunicação bilateral entre sensores, servidor e *smartphones*.



Entretanto, no atual estágio de desenvolvimento os atuais sensores sem fio não vêm apenas para a substituição dos antiquados cabos. O grande crescimento da utilização dessa tecnologia em sensores é a possibilidade da implementação de redes de sensores,

as chamadas redes de sensores sem fio (RSSFs). Redes de sensoriamento sem fio usualmente possuem vários sensores e diferem das redes de computadores tradicionais em vários aspectos. Normalmente as RSSFs têm limitações de energia e devem se configurar automaticamente se um sensor, nó do sistema, apresentar falha de comunicação ou qualquer tipo de erro. (LOUREIRO et al., 2003)

O que torna interessante esse tipo de projeto é o poder de controlar e monitorar os sensores ou atuadores por dispositivos móveis, tais como *smartphones* ou *tablets*. Essa mobilidade tem como objetivo, entre outros, aumentar a produtividade do produto controlado. Se o servidor tiver acesso a internet, por exemplo, o controle da planta, *smart grid* ou sistema de distribuição pode ser feito de qualquer lugar do mundo por qualquer um que tenha acesso e conhecimento suficiente. Levando em consideração o poder de processamento digital de um *smartphone*, a disponibilidade dessa ferramenta na população mundial, a capacidade de fácil instalação de aplicativos tornando o aparelho customizável para praticamente qualquer tipo de atividade e sua interface gráfica de fácil operabilidade não se pode imaginar um futuro com fios para o tráfego de informação digital.

5.1 Características dos nós

Os medidores inteligentes de uma rede de sensoriamento sem fio (RSSF), os chamados nós do sistema, podem ser classificados, de forma geral, com o objetivo de otimizar o processo de comunicação e caracterizar as funções para organizar uma grande quantidade de sensores na rede como: nós escravos, mestres e sink.

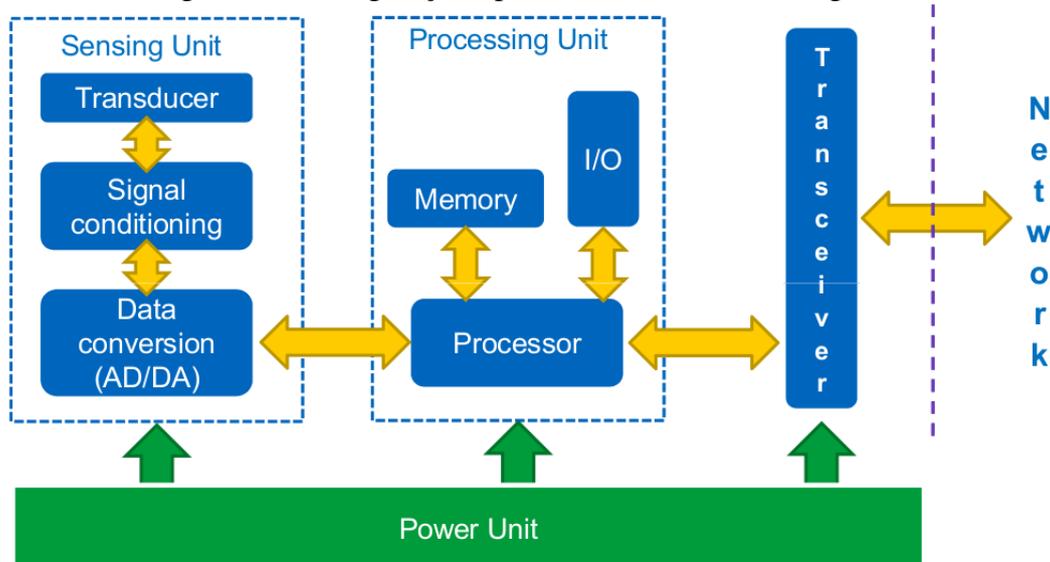
Em geral os nós escravos têm o objetivo de sensoriar e transmitir uma determinada grandeza de interesse. Esse tipo de nó coleta a informação e envia ao seu respectivo nó mestre. O nó mestre é responsável por controlar e monitorar os nós escravos, o número de nós escravos que o nó mestre controla depende da sua capacidade de processamento e interesse, podendo ser de dezenas ou centenas de nós. Os nós sink são responsáveis pela interconexão da RSSF ao meio externo. Esta rede externa pode ser uma intranet ou internet onde solicita a um operador ou sistema de controle algum tipo de autorização de serviço. Como exemplo, seria a comunicação em infra vermelho da figura 16.

Esta nomenclatura não necessariamente são modelos de sensores diferentes. O que define a forma que esses sensores vão operar é a programação dos sensores, podendo operar ainda de formas mistas por multiplexação ou outras técnicas de controle.

5.2 IEEE 1451

A norma que integra diversos sensores é a IEEE 1451, uma família de padrões que define e descreve interfaces para conexão de transdutores (sensores e atuadores), de forma independente de rede de comunicação, a microprocessadores, sistemas de instrumentação e controle, e outros sistemas dotados de transdutores (SONG; LEE, 2008). Sua principal função é definição do *Transducer Electronic Data Sheets* (TEDS). O TEDS é a estrutura que acompanha o transdutor onde possui as informações do mesmo no que diz respeito aos dados de identificação, calibração, medição, correção de dados, além de informações sobre suas características de fabricação e operação. O objetivo da norma é permitir o acesso dos dados dos transdutores através de um conjunto comum de interfaces, estejam os sensores e atuadores ligados a sistemas de redes com ou sem fio.

Figura 17: Configuração típica de nó de sensor inteligente.



Fonte: (TAMRAKAR, 2017).

5.3 Sensores Industriais

Devido a demanda crescente por rapidez em processos produtivos, a necessidade de monitoramento contínuo e armazenamento desses dados (*data loggers*) e o acompanhamento periódico de equipamentos ou máquinas, através de dados coletados por meio de monitoramento ou inspeções, a chamada manutenção preditiva vem pra ficar. Isso abre um nicho de mercado para os sensores sem fio aplicados a setores industriais que, ou são de difícil acesso, ou precisam de monitoramento intermitente.

Técnicas cada vez mais robustas estão sendo utilizadas devido ao alto grau de complexidade das plantas modernas. Fábricas que possuem muitas máquinas mecânicas utilizam técnicas por meio de vibração para diagnóstico de falhas nesse equipamento. Outras técnicas como ultrassom, monitoramento de processos, inspeção visual, ferrografia, tribologia, e muitas outras estão sendo utilizadas. Uma das principais fatias no custo operacional em plantas industriais é garantida aos processos de manutenção e diagnósticos. Dependendo da área de atuação em que uma indústria esteja, tais cifras podem variar de 15% a 30% dos custos totais produzidos. (DA SILVA, 2006)

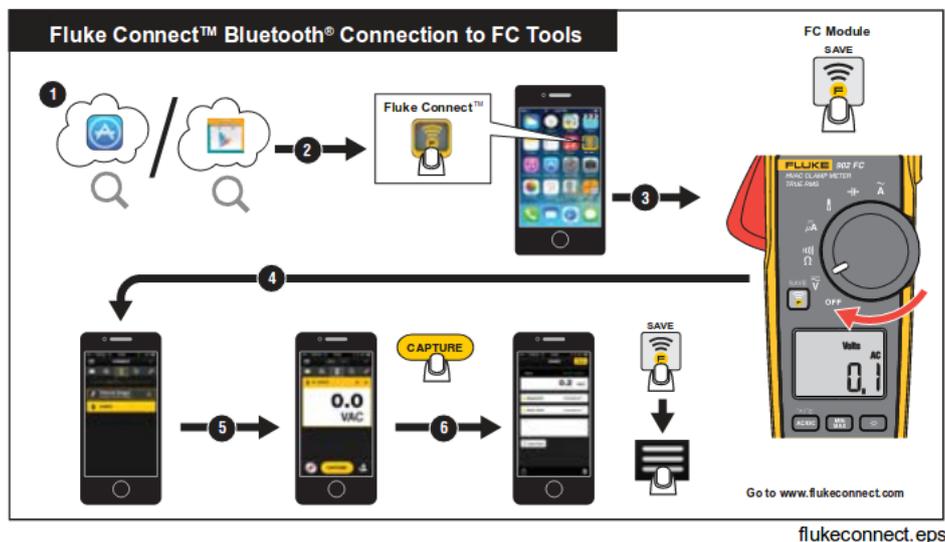
Algumas empresas como Fluke que tem uma linha chamada Fluke Conect, os Medidores Schneider, Siemens, entre outros gigantes do mercado, investem pesado para a conquistar parte dessa fatia de mercado.

5.3.1 Fluke Conect

Com inúmeros produtos no mercado, a Fluke promete facilidade, acessibilidade e compartilhamento e segurança para seu cliente. Alguns módulos captam as medidas de instrumentos como amperímetros e voltímetros e salvam em qualquer *smart phone* via bluetooth através de um aplicativo desenvolvido pela própria empresa para uma posterior análise mais detalhada. Os dados também podem ser carregados na nuvem. Essa medição a distância fornece maior segurança ao técnico se ele desejar medir, por exemplo, média tensão. Algumas ferramentas ainda têm o poder de gerar relatórios e enviá-los via *e-mail* gerando padrões e ainda chamadas de vídeo pela sua tela. Na figura 18 mostra a integração

entre um alicate amperímetro e um *smart phone* utilizando a tecnologia da Fluke.

Figura 18: Operação do Fluke Connect.



Fonte: (FLUKE, 2017).

5.3.2 Medidores Schneider

Estes medidores são projetados para aplicações simples de monitoramento de rede como o acompanhamento de condições de tempo real de energia, rede de monitoramento e estado do equipamento, tendências de carga e de registro alarmante e eventos básicos. A linha possui medidores projetados para aplicações simples de monitoramento de rede como o acompanhamento de condições de tempo real de energia, rede de monitorização e estado do equipamento, tendências de carga e de registro alarmante e eventos básico em alta tensão ou baixa tensão. Alguns modelos possuem portas *Ethernet* para integração de outros sensores, páginas de web integradas para visualização de dados remotamente, registro de dados local em memória não volátil, fornece o custo de energia mensurado em tarifas dinâmicas além de todos os parâmetros envolvidos para análise da qualidade de energia.

5.3.3 Medidores Siemens

A área de Serviços de Medição & Comunicação da SIEMENS é fornecedora de soluções de medição inteligente, é responsável pelo desenvolvimento de sistemas de medição de energia, água e gás para o mercado de distribuidoras e grandes consumidores. Segundo site da empresa, as sessenta e quatro principais empresas de serviços públicos globais, que representam mais de 72 milhões de medidores inteligentes, dependem da Siemens. E tem projetos implementados onde seu software de produção pode suportar mais de 500.000 medidores inteligentes em cada um de seus projetos. A Siemens atua tanto atendendo necessidades industriais como do consumidor residencial. Portanto, empresa possui uma infinidade de equipamentos e softwares para as mais variadas aplicações de monitoramento/acionamento remoto.

Figura 19: Medidor de energia elétrica externa em média tensão.



Fonte: (SIEMENS, 2017).

Um exemplo é um equipamento dedicado à telemedição de grandes consumidores de energia elétrica. Possui em seu software interno mais de 30 rotinas de detecção de irregularidades. Totalmente autônomo e parametrizável, o equipamento envia automaticamente os dados de medição, configuração e alarmes, dispensando a necessidade de mensagens de requisição, sendo esse um exemplo de equipamento de baixo custo e alta performance.

Outra inovação que está disponível no Brasil, é um equipamento que modifica os conceitos aplicados na medição até então. A medição, anteriormente feita em cabines é sujeita a todo tipo de intervenção dos usuários, agora pode ser feita externamente, instaladas diretamente no poste de média tensão. Além disso, monitora seu cliente 24 horas através do software de gestão de dados de medição. Um exemplo desse equipamento instalado pode ser conferido na figura 19.

5.3.4 Comparativo entre sensores

Como em qualquer área, existem mercados a serem atendidos, cada empresa possui seu público alvo no qual concentra seu esforço para suprir a demanda requerida por seus clientes. Nos medidores inteligentes abordados pode-se ter uma noção básica dos vários tipos de sensores e módulos que estão no mercado. Existem sensores comerciais super sofisticados, utilizando o que existe de melhor no que diz respeito a Interface Homem Máquina (IHM), com integração com diferentes tecnologias presentes no cotidiano de qualquer cidadão como *smart phones* facilitando o trabalho do operador técnico substancialmente. Em contra partida está seu alto custo de aquisição.

No entanto, existem soluções com menor tecnologia de interface e conectividade mas com mesma eficiência se o operador puder compensar com conhecimento técnico. Essa é uma solução mais barata do ponto de vista de aquisição mas o operador necessita ser um pouco mais qualificado, o que geraria mais custos por operador.

Também se pode observar empresas de ponta que apostam em soluções simples, robustas e inovadoras. Estas empresas têm solidez no mercado e atuam com uma imensa gama de produtos que podem suprir qualquer demanda de medição ou rede de medição em qualquer escala de consumidor. É interessante notar que cada empresa atua forte em busca de fatias cada vez maiores do mercado mas por caminhos diferentes.

Outro ponto que é interessante salientar é que esse tipo de medição inteligente tem um custo bastante elevado por se tratar de uma tecnologia que ainda não está totalmente difundida no cotidiano. Portanto, o objetivo deste trabalho é a construção um dispositivo de baixo custo com a performance possível.

Sendo assim, existem alguns parâmetros que esse tipo de medidor deve obedecer. Estes parâmetros serão abordados no próximo capítulo.

6 PARÂMETROS DA RSSF

Para o desenvolvimento de uma RSSF exigem algumas considerações para serem analisadas para sua implementação. De um modo geral a caracterização do ambiente é um assunto que abrange a combinação de modelos analíticos e métodos empíricos e a literatura apresenta uma série de propostas que vão desde trabalhos envolvendo processos estocásticos até elabora dos modelos baseados em observações e medições estratégicas.(SIQUEIRA et al., 2004)

De maneira que se possa obter uma rede que se adequa as necessidades definidas, serão abordados os seguintes tópicos para a execução do projeto: tolerância a falhas, escalabilidade, custo de operação, ambiente de operação, topologia da rede, restrições de hardware, meios de transmissão, consumo de energia e técnicas de segurança.

6.1 Tolerância a falhas

A tolerância a falhas deve levar em conta o a robustez da programação da interconexão entre os nós escravos, mestres e os que, possivelmente, se conectarão em redes externas. Ou seja, se o sistema de controle tem a capacidade de detecção de falhas em nós. Se o sistema consegue corrigir uma possível falha ou requisitar reparo ou permissões de execução de protocolos de segurança, ou ainda, contornar através de outros nós da rede de sensoreamento sem fio (RSSF) o nó que opera de maneira anômala.

Alguns fatores, como interferência eletromagnética, devem ser levados em consideração. É desejável que os nós sejam capazes de driblar ambientes que possuem altos níveis de insalubridade que podem prejudicar o funcionamento do nó.

6.2 Escalabilidade

A escalabilidade é um jargão da telecomunicação cuja característica é muito importante na RSSF, em uma rede ou em um processo, que indica sua capacidade de manipular uma porção crescente de trabalho de forma uniforme, ou estar preparado para crescer. Esse processo pode ser muito importante para a continuidade do processo controlado, no caso de uma porção significativa do sistema sofrer *blackout*, a RSSF deve ser capaz de reorganizar o fluxo de dados para não sobrecarregar alguns nodos.

6.3 Custo de produção

O custo de produção é sempre levado em consideração como um *tradeoff* em relação as outras variáveis, tais como, escalabilidade, tolerância a falhas, alcance, custos de energia, entre outros. Geralmente esta variável é solucionada quando se estabelece os pré requisitos mínimos dos nodos em que todas as necessidades preteridas são atendidas com excelência. Este problema tem sido cada vez menos determinante na escolha dos nodos devido a queda no preço de módulos, SoCs e Circuitos Integrados (CIs) disponíveis no mercado com cada vez mais funções integradas. No mercado, já se pode encontrar módulos que permitem comunicação sem fio por \$5,00 e a tendência é que esse preço caia a ainda mais. A instalação de RSSF e outros dispositivos sem fio têm sido alvo de intensos estudos nos últimos anos. Fatores que justificam esta escolha envolvem fator econômico das instalações (já que se dispensa a instalação do cabeamento entre as estações) e a facilidade de instalação, reconfiguração e expansão (SIQUEIRA et al., 2004).

6.4 Ambiente de operação

O ambiente de operação deve ser muito bem observado. Como qualquer CI, existe um range de condição na qual a operabilidade do CI é possível. Condições de temperatura, ventilação, altitude, resíduos de matéria no ar, interferência eletromagnética, umidade, entre outros. Essas condições podem variar muito dependendo da aplicação adotada. Os nodos podem ser hospedados no interior de máquinas, casas, prédios, interior de organismos vivos, no oceano, em condições climáticas adversas para citar algumas aplicações.

6.5 Topologia de rede

A topologia de rede é definida conforme a necessidade. Inicialmente são instalados os nodos nos locais de interesse, essa instalação pode ser feita por diversas maneiras, seja por mãos humanas ou por lançamento de foguetes espaciais. Nessas instalações é importante observar a distância de comunicação, relação sinal ruído, obstáculos, energia disponível, etc. Existem ainda nodos fixos monitorando estruturas estáticas e nodos com mobilidade, instalados em robôs, sondas espaciais onde até mesmo velocidade deve ser considerada para uma comunicação aceitável. Conforme (SIQUEIRA et al., 2004) a *Received Signal Strength Indication* (RSSI) pode ser utilizado como uma métrica prática e simples para a de terminação da localização dos nós sensores em um ambiente industrial uma vez que sejam considerados os seguintes fatores para dimensionamento do enlace de rádio:

- Distância entre os nós sensores;
- Sensibilidade do rádio;
- Altura dos elementos em relação aos pontos de maior tráfego;
- Uso de antenas setoriais nos pontos mais distantes;
- Proximidade com divisórias;
- Limite de sensibilidade dos nós sensores;

- Potências de transmissão e ganho das antenas compatíveis com o meio;

6.6 Restrições de hardware

A unidade de hardware é composta por quatro unidades básicas: sensoriamento, processamento, transmissão e energia. Estas unidades ainda se dividem em outras áreas. Basicamente a unidade de sensoriamento capta a grandeza de estudo, seja deformação mecânica, temperatura, tempo, intensidade luminosa, química, etc e transforma em uma grandeza elétrica. Essa grandeza elétrica é quantificada e manipulada pela unidade de processamento que geralmente é composta por um microprocessador que contará com um conversor Analógico Digital (AD). Com o dado tratado uma antena na unidade de transmissão que pode ter a capacidade de recepção conjunta, faz esse trabalho. A etapa de transmissão/recepção é que liga o nodo na RSSF. Tudo isso é sustentado por uma fonte de energia elétrica que será escolhida com base nos pré requisitos do hardware e pelo custo de produção.

6.7 Meios de transmissão

Os meios de comunicação podem ser: Rádio Frequência (RF), Infravermelho (IR), meios óticos. Os meios mais utilizados são em RF utilizando a banda livre não licenciada ISM. As frequências disponíveis são 915 MHz, 2.450 GHz e 5.800 GHz e devem ser mantidas dentro de bandas de utilização restritas que variam de acordo com a legislação de cada país. Algumas das tecnologias mais utilizadas operam nessas faixas, tais como: Bluetooth (2,4 GHz), WIFI (2,4 e 5.8 GHz) e ZigBee (915 MHz na Europa e 2,4 GHz).

O infravermelho, também é um meio não licenciado, que já foi muito utilizado em telefones e sistemas embarcados têm a limitação de exigir visada direta mas é um meio muito robusto no que diz respeito a interferência eletromagnética. Por último o meio ótico, este método de transmissão muito utilizado em sistema de mira a laser.

6.8 Custo de energia

Nas redes de sensores o tempo de vida do nodo pode ser definido pela sua fonte de energia. Sendo assim, o baixo nível de consumo energético e a otimização desses recursos é uma tendência em todos os ramos da tecnologia. A tecnologia *mobile* trouxe esse conceito mais perto da vida dos consumidores, mas essa é uma preocupação que acompanha o homem desde a sua existência.

Seja pelo uso em sondas interplanetárias ou o monitoramento de energia, recursos hídricos ou de gás, esse é um problema importante a ser solucionado haja vista a localização muitas vezes de acesso restrito em que os nodos dos sistemas são hospedados. O custo de energia deve prever todos os processos de *hardware* do nodo. Esse custo pode ser reduzidos com decisões acertadas de programação, onde os nodos, em sua maioria quando ociosos, entram em modos de consumo mínimo de energia, mantendo apenas blocos de vital importância para a continuidade do nodo.

6.9 Segurança

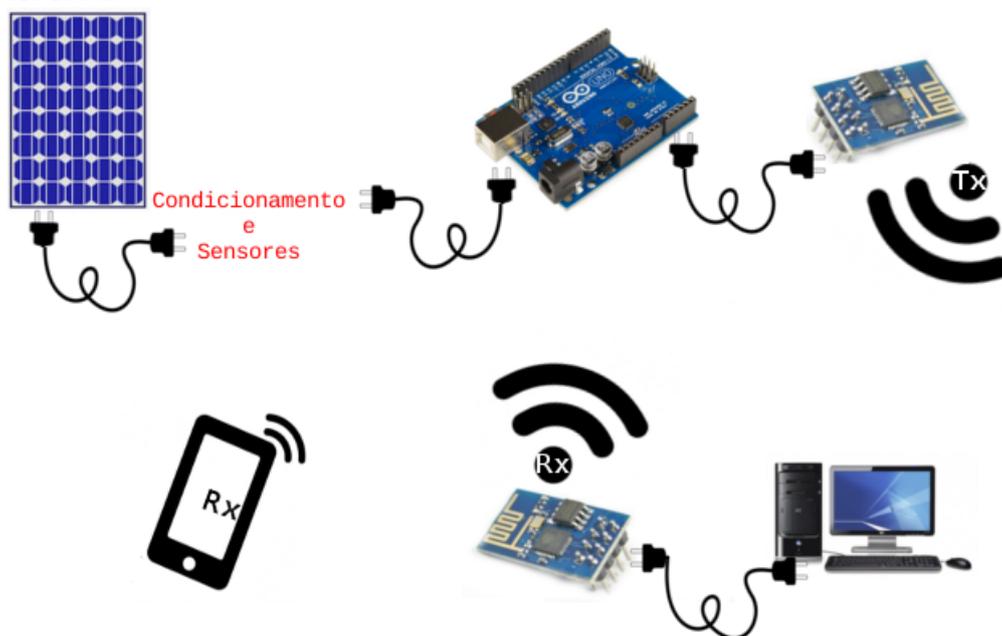
Como a comunicação das RSSF é disseminada em várias direções que dependem do diagrama de radiação da antena. E existem nós que podem acessar redes externas como a internet. A segurança é um fator de primordial importância no desenvolvimento do projeto. Pesquisas se desenvolvem em todo o mundo com diversas técnicas e propostas de seguranças para as RSSF e expõem as falhas nos protocolos de comunicação existentes, como em (LEE et al., 2016).

Os nodos que tem a tarefa de comunicação para redes externas possuem uma atenção especial. Isso estrutura o sistema em duas camadas: a camada de rede local e a camada de rede externa. Nesse exemplo, os nodos de sensoriamento podem ou não ter acesso à rede externa, como a internet. Quanto maior número de sensores capazes de se conectar a rede externa, maior fator de escalabilidade e aumenta também a vulnerabilidade da rede.

Com essa fundamentação teórica, foi desenvolvido sensoriamento e a comunicação remota do sistema de geração distribuída do Departamento de Engenharia Elétrica (DE-LET) da UFRGS. Com essas informações têm-se os parâmetros necessários para o desenvolvimento de um bom projeto de monitor.

7 ESTUDO DE CASO APLICADO A MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Figura 20: Modelo inicial de monitoramento da energia das células fotovoltaicas para controle local.

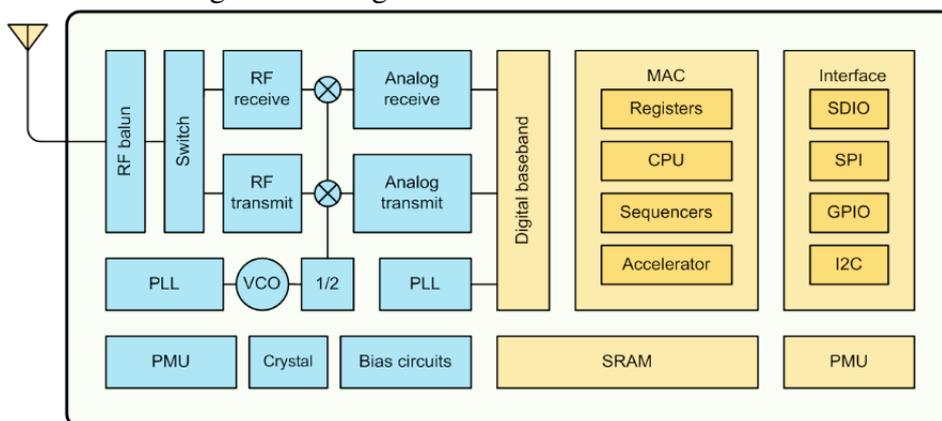


Como modelo geral inicial, ilustrado na figura 20, mostra as partes onde foram interligadas com e sem fio. Esta é apenas uma configuração inicial. Como o SoC escolhido tem o poder de criar uma rede local wifi, talvez não seja necessário outro ESP8266 como receptor. A utilização do Arduino também será avaliada posteriormente. Sua utilização é devido suas várias entradas Analógico/Digitais (AD) que possibilitam a medição de vários sensores conjuntamente. Já o ESP8266 possui apenas uma entrada A/D por SoC, acessível apenas nos terminais do microprocessador, não nos terminais de acesso do SoC. A comunicação cabeada do ESP8266 será desenvolvida pela sua porta serial. Partindo desse modelo foi desenvolvido o modelo definitivo, levando em consideração os parâmetros do capítulo 6.

7.1 ESP8266

Espressif Systems' Smart Connectivity Platform (ESCP) ou plataforma de conectividade inteligente, é um *Sistem on Chip (SoC)* desenvolvido pela Espressif Systems. Esta empresa tem uma linha de alta performance e alta integração de SoCs. Essa linha é habilitada para utilizar a tecnologia wifi para aplicações em rede com outros equipamentos ou em uma configuração *standalone*. Provendo isso com baixo custo e mínimo espaço demandado.

Figura 21: Diagrama de blocos do ESP8266EX.



Fonte: (ESPRESSIF SYSTEMS, 2015).

Este SoC tem o poder de criar uma rede *network* wifi ou se conectar a uma rede pré existente com acesso a internet, por exemplo. Possui uma antena na faixa RF *balun* em PCB integrada, amplificador de potência, amplificador de baixo ruído na recepção, filtros e blocos de gerenciamento que requerem o mínimo de circuitos externos para a maioria das aplicações. O ESP8266 ainda possui um processador integrado. O consumo de corrente do SoC pode ser conferido na tabela 2 bem como o range de tensão de alimentação. Os protocolos de segurança são os mesmos de modems comerciais.

Tabela 2: Especificação de corrente drenada de acordo com a configuração de funcionamento

modo	típico	unidade
802.11b, CCK 1Mbps, POUT=+19.5dBm	215	mA
802.11b, CCK 11Mbps, POUT=+18.5dBm	197	mA
802.11g, OFDM 54Mbps, POUT=+16dBm	145	mA
802.11n, MCS7, POUT =+14dBm	135	mA
802.11b, packet size of 1024 bytes, -80dBm	60	mA
802.11b, packet size of 1024 bytes, -70dBm	60	mA
802.11b, packet size of 1024 bytes, -65dBm	62	mA
Standby	0.9	uA
Deep sleep	10	mA
Tensão de alimentação	3.3 ± 0.3	V

Fonte: (ESPRESSIF SYSTEMS, 2015).

7.1.1 Testes dos comandos de configuração

Para identificação e familiarização dos comandos foi criada uma rede e se transmitiu dados do tipo *string* entre o *smartphone* e ESP8266, conforme Figura 7.4. Como interface gráfica foi utilizado o programa Termit e um conversor serial/usb, conforme figura 22.

Figura 22: Adaptação para leitura do ESP8266 na porta usb do computador.

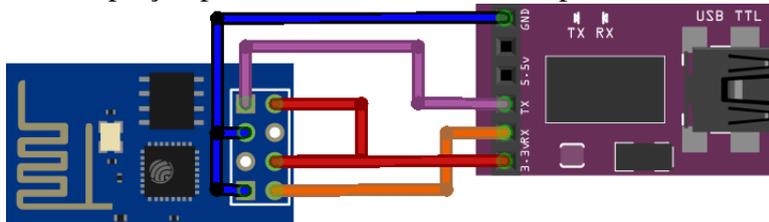


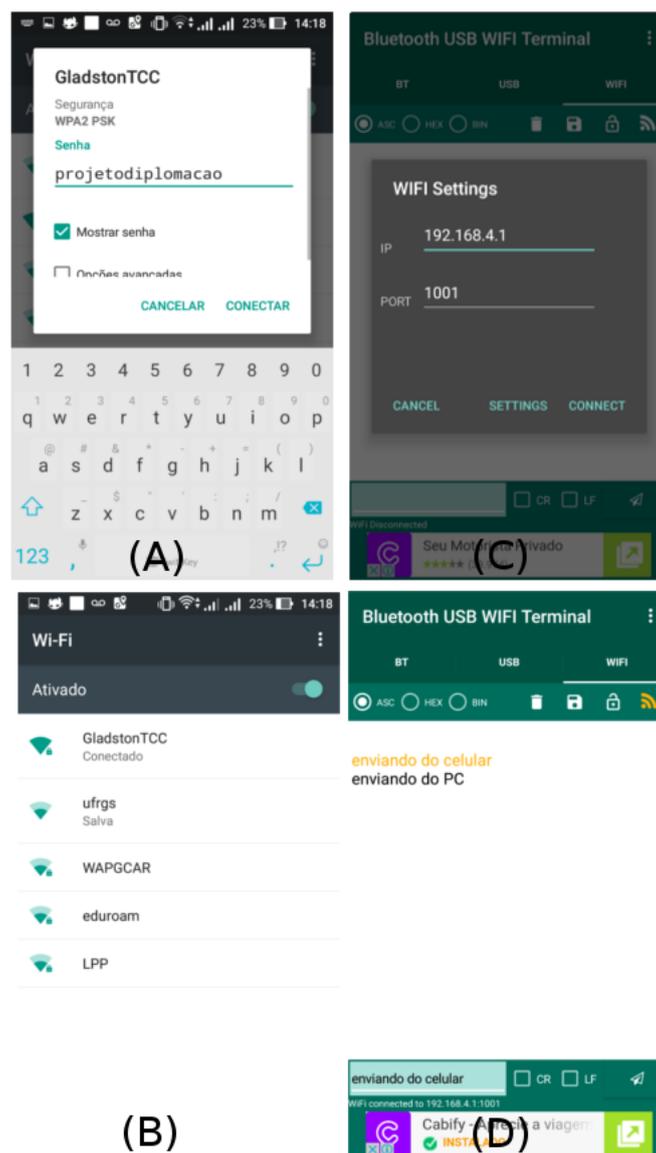
Figura 23: Configuração da rede para envio de dados pelo Termit.



Em seguida foi configurado o modo de operação como servidor e cliente, definiu-se o nome da rede, senha, frequência, e tipo de segurança WPA2. Definiu-se a porta e finalmente se obteve um IP para conexão. Os comando feitos com sucesso são sempre respondidos com OK.

Conforme pode-se ver na figura 24 (a) a rede criada foi observada pelo *smartphone*, na figura 24 (B) a conexão é estabelecida com a senha definida com os comando AT, na figura 24 (C) é feita a conexão wifi através do aplicativo Bluetooth USB WIFI Terminal, disponível na Google Play Store para o sistema Android, com o IP e porta configurados, na figura 24 (D) é feita a comunicação com sucesso de recebimento e envio de *strings*, onde também pode ser observado no terminal do computador em uma comunicação bidirecional.

Figura 24: Passos de identificação de rede até o envio e recebimentos de comandos pelo *smarphone*.

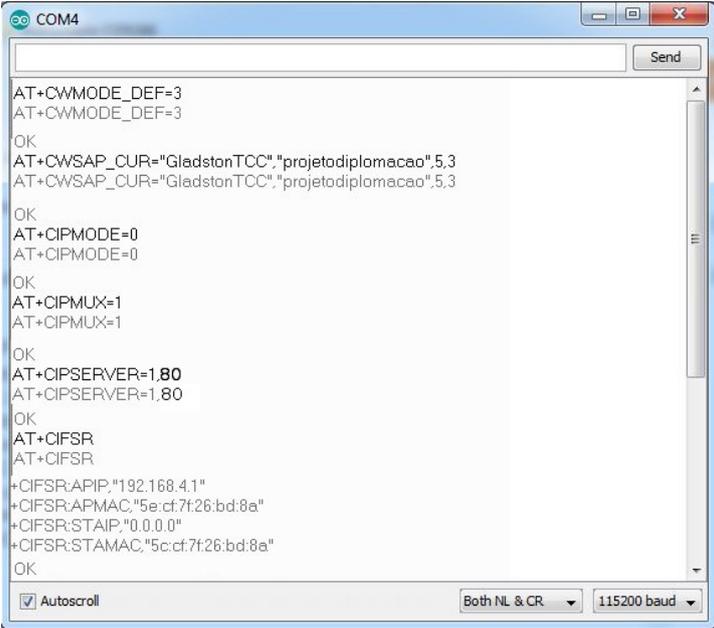


7.2 Microcontrolador externo

Como microprocessador de controle foi escolhido o Arduino Uno R3 Atmega328 SMD devido a disponibilidade. O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de placa única, projetada com um microcontrolador ATmega328, tensão de operação 5 V, pinos de entrada/saída: 14 (dos quais 6 podem ser PWM), 6 pinos de entrada analógica, fornece no máximo 40 mA por pino I/O em 5 V e 50 mA 3.3 V, memória flash 32 KB, memória SRAM: 2 KB, memória EPROM 1 KB e velocidade do clock de 16 MHz.

A escolha de um processador externo vem da escalabilidade das grandzas controladas e controles remotos. Dos 6 pinos de entradas analógicas dois serão utilizados para o monitoramento de tensão e corrente, no entanto nada impede de adicionar outras grandezas para o monitoramento, tal como temperatura e umidade, por exemplo. Dos 14 pinos digitais 2 serão utilizados para a comunicação serial entre o ESP8266 e o Arduino e uma para o acionamento de relés remotamente.

Os pinos de fontes de alimentação do Arduino não foram utilizados para alimentação do ESP8266 pois a sua demanda é de 400% a corrente limítrofe do Arduino, necessitando de uma fonte externa, como a porta USB do computador. Outra limitação importante é a pouca memória RAM disponível. Esta característica determinou que a armazenagem dos dados não poderia ser feita no Arduino, mas sim no *client-side*.



```

COM4
Send
AT+CWMODE_DEF=3
AT+CWMODE_DEF=3
OK
AT+CWSAP_CUR="GladstonTCC","projetodiplomacao",5,3
AT+CWSAP_CUR="GladstonTCC","projetodiplomacao",5,3
OK
AT+CIPMODE=0
AT+CIPMODE=0
OK
AT+CIPMUX=1
AT+CIPMUX=1
OK
AT+CIPSERVER=1,80
AT+CIPSERVER=1,80
OK
AT+CIFSR
AT+CIFSR
+CIFSR:APIP,"192.168.4.1"
+CIFSR:APMAC,"5e:cf:7f:26:bd:8a"
+CIFSR:STAIP,"0.0.0.0"
+CIFSR:STAMAC,"5c:cf:7f:26:bd:8a"
OK
Autoscroll Both NL & CR 115200 baud

```

Figura 25: Envio dos comandos de configuração do ESP8266 pelo Arduino obtendo o endereço de IP 192.168.4.1.

No microcontrolador externo foi implementado uma rotina de configuração do modo de operação do ESP8266, aquisição dos dados de corrente e tensão dos painéis temporizado e envio de dados sempre que o cliente solicitar conexão com o servidor (ESP8266). Também pode-se enviar sinais de liga e desliga que podem ser sinais de controle de relés ou transistores de potência ou *reset de hardware* dos microprocessadores.

Com o ESP8266 configurado, conectou-se o PC na rede criada e colocando o endereço de IP obtido indexado na porta 80, pôde-se começar a transmissão para o PC através do

navegador. Como a porta 80 é a porta padrão dos servidores web, não é necessário digitar seu endereço ao final do endereço de IP.

Como transmissão teste foi enviado com um HTML simples a leitura do pino analógico A0 do microcontrolador externo entre cabeçalhos, conforme figura 26.

Figura 26: Primeira transmissão de leitura na entrada analógica A0 realizada pelo Arduino enviada entre cabeçalhos de HTML para o navegador.

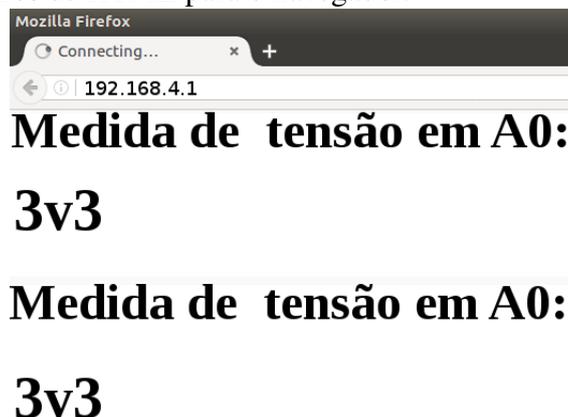
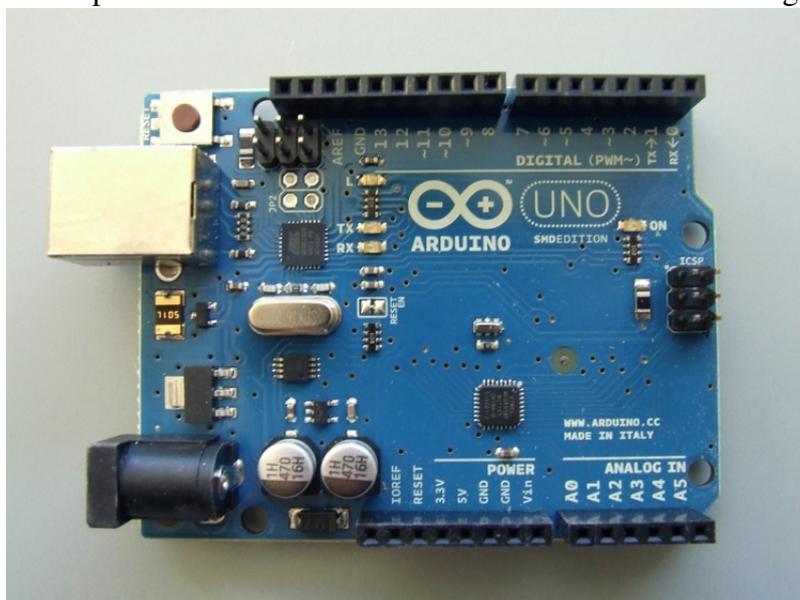


Figura 27: Microprocessador externo utilizado: Arduino Uno R3 Atmega328 SMD.



7.3 Navegador web como IHM

Um *web browser* ou navegador de rede ou simplesmente navegador, é um programa que habilita seus usuários a interagirem com documentos em um servidor *web*. Como a conexão será dedicada e *offline* todo o processamento de dados foi implementado pelo microprocessador externo e pelo navegador, onde o dados são armazenados. A interface homem máquina (IHM) foi desenvolvida em HTML, JavaScript e Canvas para gerar os gráficos.

Esta foi a interface escolhida devido a ampla disponibilidade em dispositivos como: computadores e *smartphones*. E possibilita que qualquer pessoa que possua conectividade com a rede wifi e acesso a um navegador atualizado tenha acesso aos dados sem a necessidade de instalar programas externos em seus dispositivos.

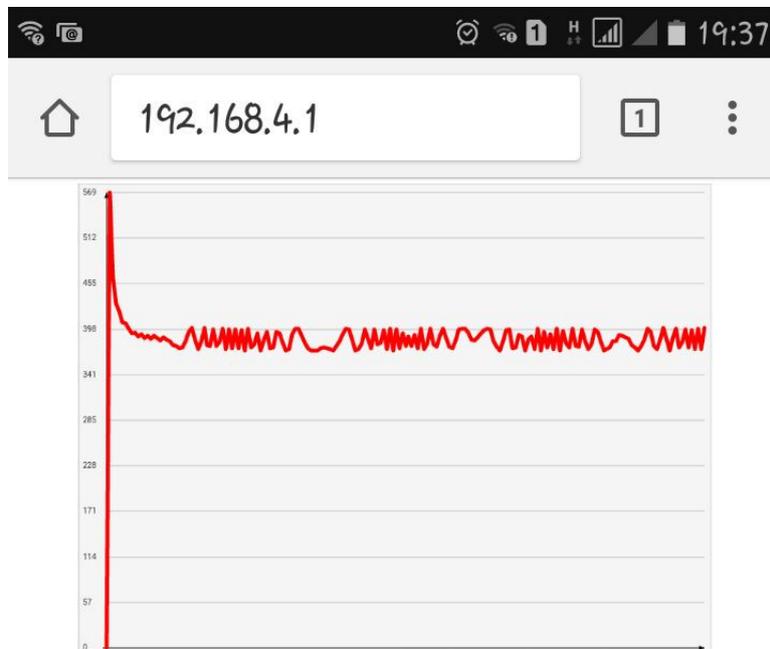
O HTML (*HyperText Markup Language* ou Linguagem de Marcação de Hipertexto) é uma das linguagens utilizadas para construção de páginas web que podem ser interpretados por navegadores. O HTML é a linguagem base da internet. Tim Berners-Lee criou o HTML para a comunicação e disseminação de pesquisas entre ele e seu grupo de colegas. A solução de Tim Berners-Lee se agregaria mais tarde a internet pública ganhando extensão mundial.

O JavaScript permite que o navegador, o *client-side* ou o lado do cliente, manipule dados no navegador sem a necessidade de enviar esses para dados para um servidor. Através desta ferramenta foi possível armazenar os dados no lado do cliente e gerar um arquivo com o histórico das medidas para um possível *download*.

O Canvas é um elemento do HTML destinado a delimitar uma área para renderização dinâmica de gráficos realizados através do JavaScript. Este elemento foi crucial para a elaboração dos gráficos e uma animação para ajudar a mostrar os valores com precisão do gráfico da IHM.

Os dados adquiridos pelo Arduino chegam no navegador pelo endereço de IP do ESP8266 na porta configurada por comandos enviados que foram gravados no Arduino, semelhante aos passos do capítulo 7.1.1.

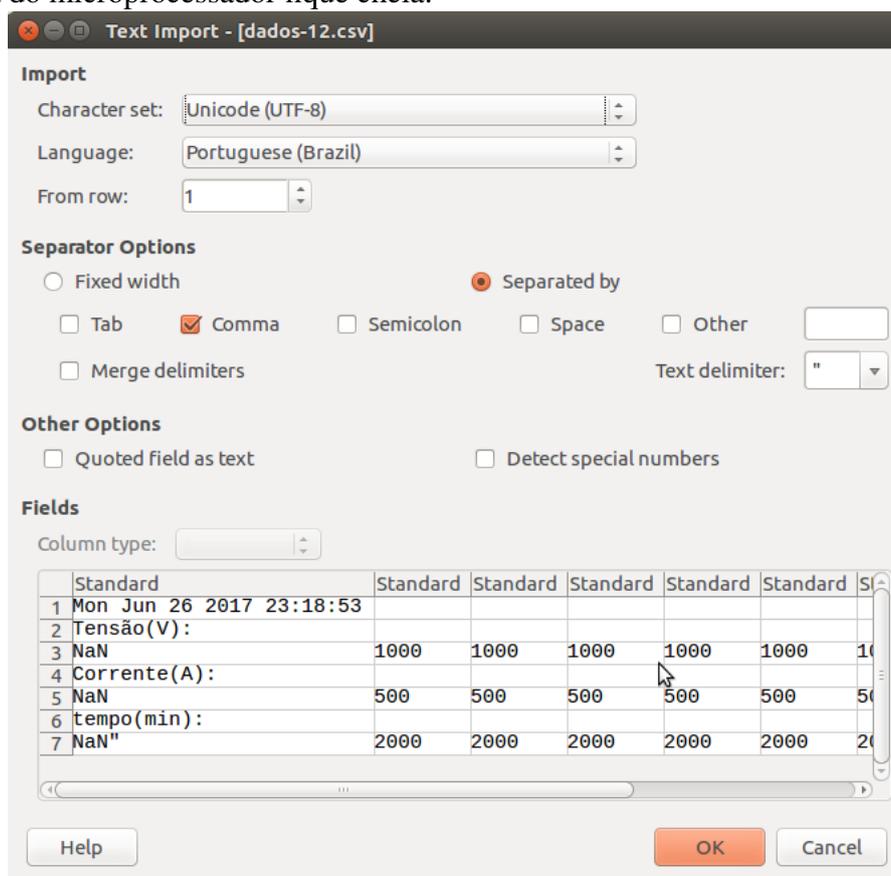
Figura 28: Primeira versão gráfico transmitido para um *smartphone*. O gráfico não possui eixos pois estava em fase de desenvolvimento.



A primeira versão do gráfico (figura 28) feita armazenava o dados adquiridos no Arduino, em uma *string* de dados. Esse tipo de configuração consumia toda a memória SRAM do microprocessador em cerca de 300 medidas e depois essas medidas desvaneciam devido a instabilidade do microprocessador causada pela falta de memória SRAM. Sendo assim, em 12 horas de medição, ou seja, 1 medida a cada 144 segundos, não atenderia a solicitação mínima de 1 amostra a cada 30 segundos.

Sendo assim, foi implementado a possibilidade de *download* de um arquivo *.csv* com o histórico dos dados. No entanto, o salvamento desses dados dependeriam de um operador que monitorasse a IHM continuamente. Então foi determinado, em JavaScript, que o Arduino enviaria uma média de 20 dados de cada 20 segundos. E que os dados de tensão, corrente, tempo e data de início da primeira medida seriam salvos em um vetor para cada grandeza no navegador web. A possibilidade de *download* do csv foi mantida através de um botão em HTML.

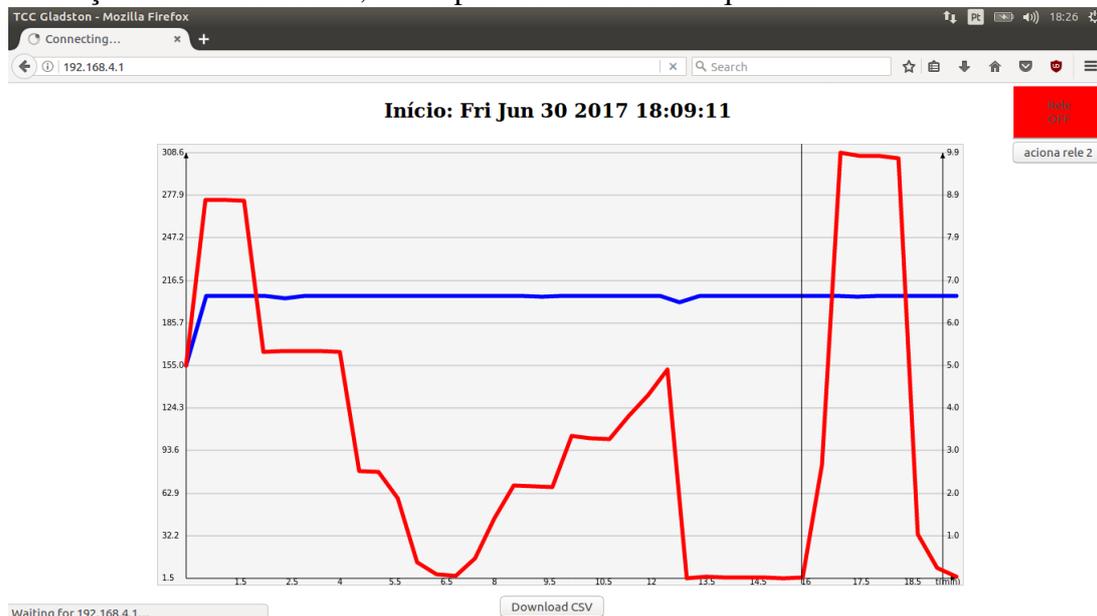
Figura 29: Arquivo csv como opção de *download* para salvar as medidas antes que a memória do microprocessador fique cheia.



Como próximo passo foi adicionado mais uma grandeza no gráfico, para simular a tensão elétrica, adicionando um eixo para corrente elétrica, outro para tensão elétrica, bem como uma base de tempo. Também uma indicação da data, com segundos, minutos, horas, dia, mês, ano da primeira aquisição da janela do navegador web. Outra funcionalidade interessante é uma linha vertical as curvas de tensão e corrente elétrica para indicar o valor no ponto onde se tiver interesse da medida. A linha acompanha o *mouse*, ou o dedo no *smartphone*, no local de interesse, mostrando no topo do gráfico as grandezas.

Uma funcionalidade interessante adicionada ao projeto foi a possibilidade de acionamento a distância pela rede local por um botão que indica o estado atual atuador. Acooplado a uma saída digital do microcontrolador externo tem a função *on/off*. Tornando a comunicação bidirecional. A posteriori foi adicionado o gráfico da potência em função tempo.

Figura 30: Gráfico com eixos para tensão e corrente elétrica, com o botão de acionamento e indicação do estado do relé, botão para download do arquivo csv.



7.4 Sensoreamento

O sensoreamento das grandezas envolvidas são tensão elétrica e corrente elétrica contínuas. E para sua medição foi necessário o condicionamento para níveis de tensão da entrada analógico/digital (D) do microcontrolador. O controlador possui um conversor A/D de 10 bits e excursiona em uma faixa de 0 até 5 V. Sendo assim, possui uma resolução Res de

$$Res = \frac{5}{2^{10}} \quad (1)$$

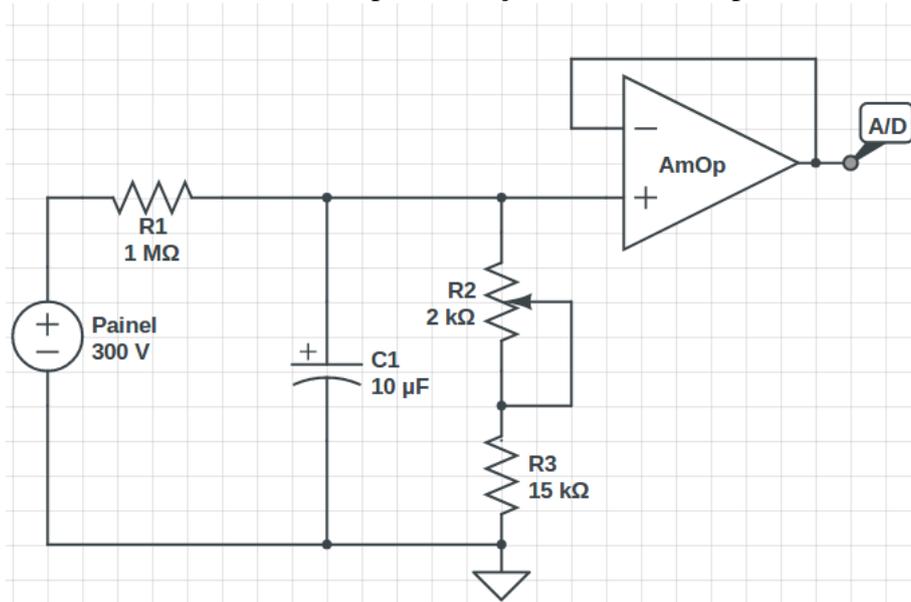
$$Res \simeq 4,89mV/bit \quad (2)$$

Os níveis de tensão e corrente são proporcionais a quantidade de painéis fotovoltaicos instalados. Como têm-se sete painéis instalados com a capacidade de 200 Watts de potência cada painel, a corrente ofertada não excederá 10 A e a tensão 300 V. Com base nestes dados foi feito o circuito condicionador para a tensão e corrente.

7.4.1 Sensor de tensão

Como a tensão fornecida pelos painéis fotovoltaicos é uma tensão contínua, foi desenvolvido um circuito simples e eficiente para a medição. Um circuito divisor de tensão que rebaixa a tensão e limita a corrente. Para limitar a corrente foi utilizado um resistor de 1 Mega Ohms e em função dele equacionou-se o circuito para se obter os limites de tensão de 0 até 5 V através de um resistor. Devido a tolerância de 5% dos resistores utilizados neste condicionador foi adicionado um resistor variável para calibração do circuito. Um capacitor no ponto de medição foi utilizado para estabilização da medida melhorando a aquisição de dados e um amplificador operacional serviu que não fosse drenado corrente do ramo, conforme figura 31.

Figura 31: Circuito condicionador para medição de tensão nos painéis fotovoltaicos.



Calibração do sensor de tensão

Como parâmetro de calibração do sensor de corrente o multímetro digital Fluke 15B que possui uma incerteza de 0,58% para a faixa de medição de 40 até 400 V que é a faixa de medidas onde 99% amostras foram colhidas e uma resolução de 1 mV. A resolução do condicionador desenvolvido R_{cond} :

$$R_{cond} = \frac{5.300}{1023} \simeq 1,5V/bit \quad (3)$$

Ou seja, a mínima variação de amplitude de tensão que será percebida pelo sensor de corrente será de 1,5 V. Qualquer valor entre menor que este pode ser desconsiderado.

Sabendo disto foi levantada a função de transferência do sensor de tensão para a validação e calibração, que pode ser conferida na figura 34. A curva possui coeficiente de linearidade $R^2 \simeq 0,9995$ e colocando a tensão medida pelo multímetro de calibração em função do sensor medição implementado, $V_{Fluke15}(V_{sensor})$, tem-se:

$$V_{Fluke15B} = 1,00978V_{sensor} - 1,4167 \quad (4)$$

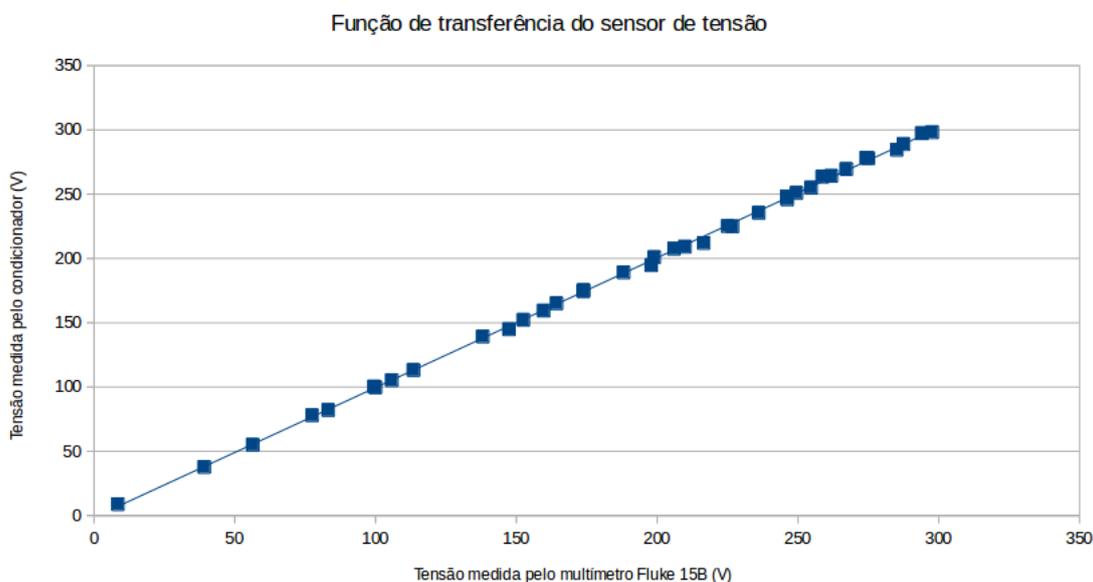
Note que o coeficiente linear não é zero, no entanto é menor do que a resolução do sistema de medição implementado.

7.4.2 Sensor de corrente

Sensores resistivos

Para a medição de corrente elétrica, inicialmente se considerou um sensor com um resistor *shunt* no qual uma resistência muito menor do que a impedância de carga é colocado em série com a mesma. Nesse tipo de sensor a corrente é monitorada pelo princípio da lei de Ohm, indiretamente, monitorando a queda de tensão sob a resistência *shunt*. O resistor *shunt* deve possuir baixa resistência elétrica com incerteza da ordem de %0,5 e capacidade de suportar grandes potências, isso para que a medida tenha o máximo de

Figura 32: Função de transferência do sensor de tensão condicionado para medição de corrente elétrica.



confiabilidade possível. Por ser um dispositivo resistivo existem perdas por efeito Joule envolvidas e um sistema de dissipação de calor pode ser requerido. Uma vantagem desse tipo de sensor é facilidade de implementação, no entanto, dependendo do nível de tensão na saída do sensor, um amplificador de alto ganho e baixo ruído deve ser adicionado.

Sensores de efeito Hall

Estes dispositivos transdutores de corrente são fabricados usando o princípio do efeito Hall, com a capacidade de medir sinais de corrente AC e DC com total isolamento galvânico. Podem trabalhar com vários formatos de onda e com ampla faixa de frequência.

Nesse tipo de sensor a quantidade de calor dissipado pode ser desprezada para a maioria das aplicações além de possuir isolamento galvânica, por outro lado, por ser um sensor ativo, para medidas de corrente contínua, exige alimentação simétrica.

Levando em consideração os pontos observados, foi disponibilizado um sensor de efeito Hall para a medição de corrente. O sensor disponibilizado é o SECOHR 50 BCI-15. Possui faixa de medição ± 80 A, fonte de corrente como saída em uma razão de 1:1000 de entrada:saída, exige alimentação simétrica de ± 15 V.

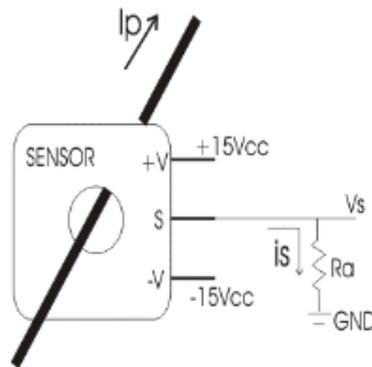
A ligação do sensor foi feita conforme *datasheet* e como a saída do sensor é uma fonte de corrente, foi adicionado uma associação de dois resistores em paralelo com tolerância de 1% de 1000Ω para obtenção da máxima excursão na entrada do conversor A/D do microprocessador.

Calibração do sensor de corrente

Depois da montagem do circuito, foi feita uma série de medidas para validação do sistema de medição. Como comparativo, o multímetro FLUKE 15B, no modo amperímetro para corrente contínua na escala de 10 A. Nesta faixa o amperímetro possui uma resolução de 0,01 A e uma precisão de 1,7% em relação a medida.

Com esse equipamento de referência foi adquirido para toda a faixa de tensão de

Figura 33: Diagrama de ligação do sensor de corrente implementado com $R_a = 500\Omega$, onde V_s é a conversão do sinal de corrente I_s em sinal tensão.



excursão do conversor A/D que trabalha na faixa de 0 até 5 V. Para a corrente a resolução do amperímetro R_A projetado é de:

$$R_A = \frac{5}{1023} 10 \quad (5)$$

$$R_A \simeq 48,88 \text{ mA/bit}. \quad (6)$$

Figura 34: Sensor de efeito Hall SECOHR 50 BCI-15 implementado como sensor de corrente.



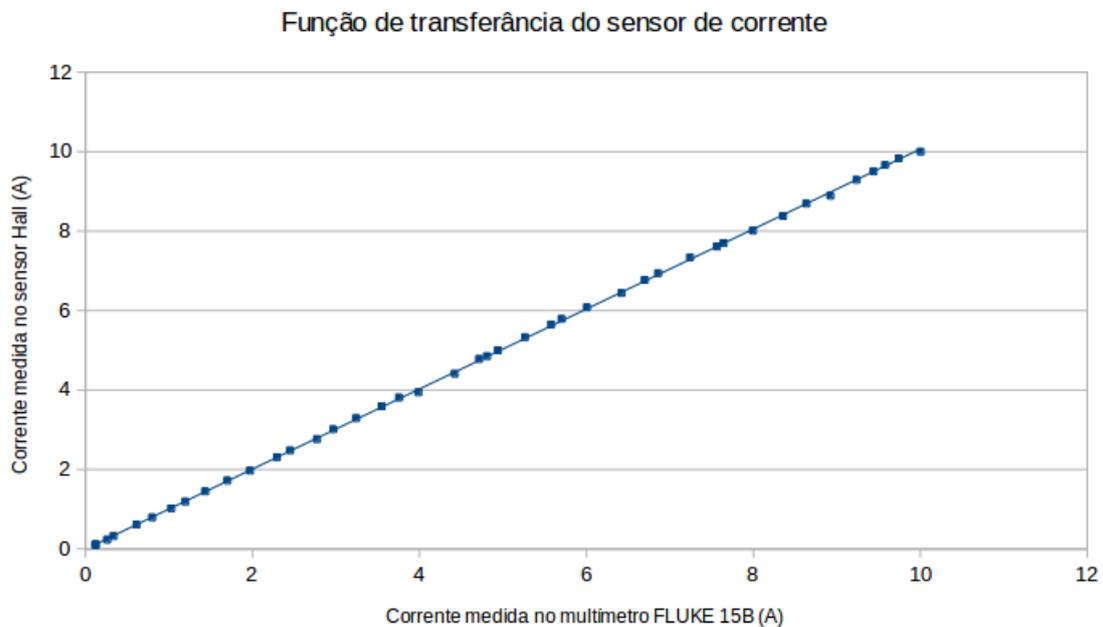
Portanto, qualquer variação menor do que R_A não será percebida pelo sensor de corrente desenvolvido. Esta é uma limitação que está de dentro dos limites tolerados pela demanda do projeto. A curva, de calibração do sensor de corrente $A_{SENSOR}(A_{FLUKE15B})$ pode ser conferida na figura 35.

A reta que caracteriza o sistema possui um coeficiente de linearidade $R \simeq 0,9998$ se comportando como o esperado dentro da faixa projetado.

Ruído na medição

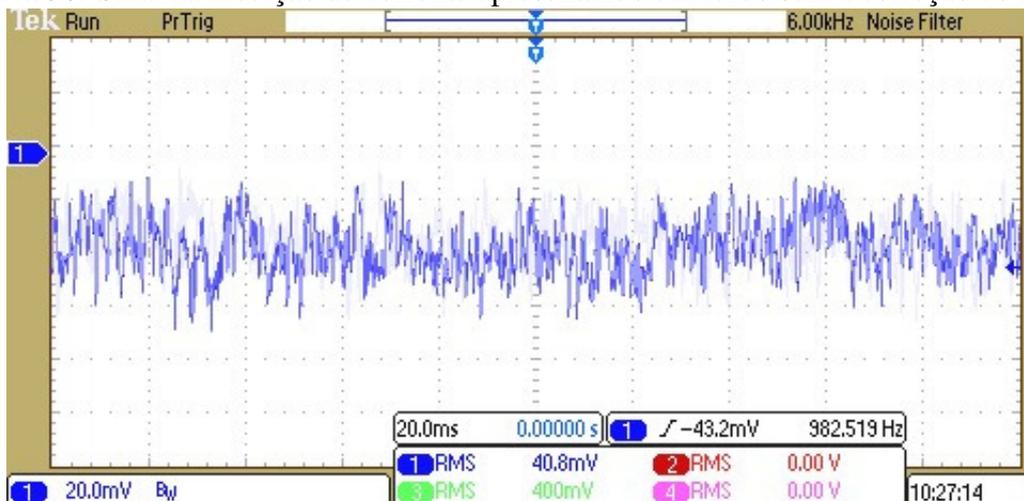
Avaliando as formas de onda dos sinais de alimentação com um osciloscópio digital, foi encontrado um ruído na medição tanto de tensão quanto de corrente, figura 36. Este

Figura 35: Função de transferência do sensor de efeito Hall condicionado para medição de corrente elétrica.



ruído não representou erros perceptíveis na medição devido ao micro processador fazer uma média a cada $100ms$ durante os $10s$. Onde esse tempo é o tempo definido para que o usuário possa avaliar o gráfico com todas as informações recebidas. No entanto, um capacitor em paralelo com os resistores transdutores, configurando um filtro passa baixas, possibilitou uma estabilização na medida, tornando o sistema mais confiável.

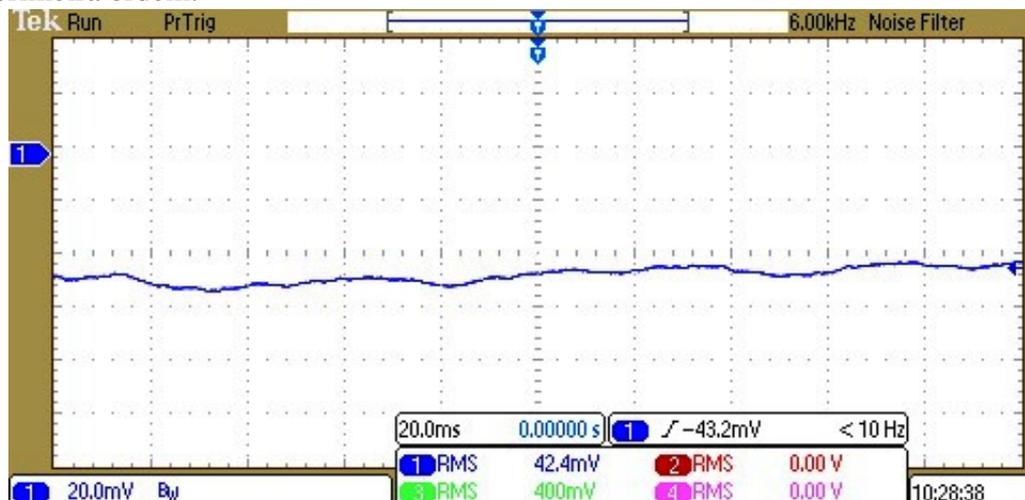
Figura 36: Sinal na medição de corrente apresentando um ruído sem a correção do filtro.



Note que o ruído tem uma frequência aproximada de 1 kHz e o capacitor adicionado funciona como um filtro passivo de primeira ordem. Embora, seja um filtro simples, ele atenua de forma efetiva e barata o ruído por não ser necessário o custo proveniente de amplificadores operacionais, como pode ser notado na figura 37.

Todos os outros sinais de tensão e corrente foram medidos e não apresentaram desconformidades em suas formas de onda.

Figura 37: Sinal na medição de corrente depois da implementação de um filtro capacitivo de primeira ordem.



7.4.3 Sensor de temperatura

Uma questão muito importante na conversão de energia de um painel fotovoltaico é a temperatura. Sabendo que a quantidade de irradiação solar incidente na célula fotovoltaica é diretamente proporcional a tensão e corrente elétrica disponível no painel e que o produto dessas grandezas fornece a potência ofertada pelo mesmo, no entanto, quanto maior a quantidade de incidência de raios solares maior a temperatura do painel. Isso provoca uma alteração nos valores nominais de tensão e corrente elétrica ofertadas pelo painel fotovoltaico, consequentemente na potência.

Estes valores são fornecidos pelos fabricantes dos painéis e são chamados de coeficiente de temperatura ou do inglês *temperature coefficients* expressos em porcentagem da grandeza especificada por graus Celsius ($\%/^{\circ}C$). A temperatura na superfície dos painéis fotovoltaicos sob uma forte incidência solar, por exemplo, ao meio dia, não ultrapassa os $100^{\circ}C$.

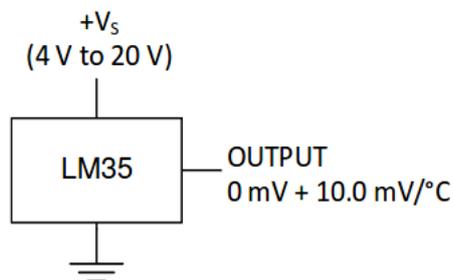
Para os painéis onde o sensor foi aplicado, segundo *datasheet*, os coeficientes de temperatura são descritos conforme tabela 3. Onde P_m é o coeficiente que atua sobre a potência que o painel oferece e I_m e V_m são os coeficientes aplicados na corrente e na tensão, respectivamente.

Tabela 3: Parâmetros da influência da temperatura dos painéis fotovoltaicos onde o monitor foi instalado.

Coefficiente de temperatura $P_m(\%)$	$-0.47\%/^{\circ}C$
Coefficiente de temperatura $I_m(\%)$	$+0.10\%/^{\circ}C$
Coefficiente de temperatura $V_m(\%)$	$-0.38\%/^{\circ}C$
Faixa de temperatura	$-45^{\circ}C$ até $+85^{\circ}C$

De posse desses dados, foi implementado um sensor de temperatura. O sensor escolhido é o LM35 devido a disponibilidade no mercado, baixo custo e alta aplicabilidade. Esse sensor possui uma saída de tensão linear com coeficiente angular de $+10mV/^{\circ}C$, precisão de $\pm 1/4^{\circ}C$ na faixa de $25^{\circ}C$ e no seu fundo de escala, que varia de $-55^{\circ}C$ até

Figura 38: Esquema elétrico de ligação do sensor LM35 para medição de valores positivos de temperatura.



150°C, uma precisão de $\pm 3/4^\circ C$.

Este é um sensor de fácil aplicação e foi implementado, conforme *datasheet*, em seu modo básico para uma medição de 2 até 150°C. Onde essa é uma faixa de excelente aplicação onde abrange toda temperatura de trabalho de um painel fotovoltaico em Porto Alegre - RS. Segundo (PMPA, 2017) a temperatura mínima no inverno de Porto Alegre chega em 2°C em média.

7.5 Montagem da placa

Com os sensores devidamente dimensionados implementou-se inicialmente em uma placa do tipo ilha universal para a verificação dos sistemas integrados. O esquemático elétrico do circuito foi feito utilizando o programa de *design* de placa de circuito impresso (PCB) *EAGLE CAD 8.2.2*.

A primeira preocupação para a retirada do circuito da *protoboard* e início da montagem da placa foram os vários níveis de tensão que os componentes do circuito exigiu para o trabalhar, tabela 4.

Tabela 4: Níveis de tensão de alimentação exigidos pelos componentes do projeto.

Componente	V_{min}	V_{max}	$V_{projeto}$
ESP8266	3,0	3,6	3,3
ARDUINO	7	12	12
Sensor de temperatura	4	20	12
Sensor de corrente	$\pm 14,25$	$\pm 15,75$	± 15
buffer de tensão	± 5	± 15	$\pm 15,75$

Sendo assim, foi feito um sistema de alimentação para os quatro níveis de tensão conforme a tabela 4 e pode ser conferido na figura 39 com um conversor rebaixador de tensão CA-CC, que foi implementado com um retificador não controlado de onda completa com filtragem para suavização de *ripple*.

Definido os níveis de tensão, foi feita a integração dos componentes. O esquema da ligação dos sensores de tensão, corrente, temperatura, do ESP8266, Arduino, e chaveamento de sistema de potência através de relés pode ser observado na figura 40.

O sensor de temperatura LM35 está representado como um transistor devido a seus encapsulamentos serem iguais e o programa de desenvolvimento não contemplar a biblio-

Figura 39: Esquema elétrico do conversor CA-CC e dos vários níveis de tensão necessários para o projeto do monitor.

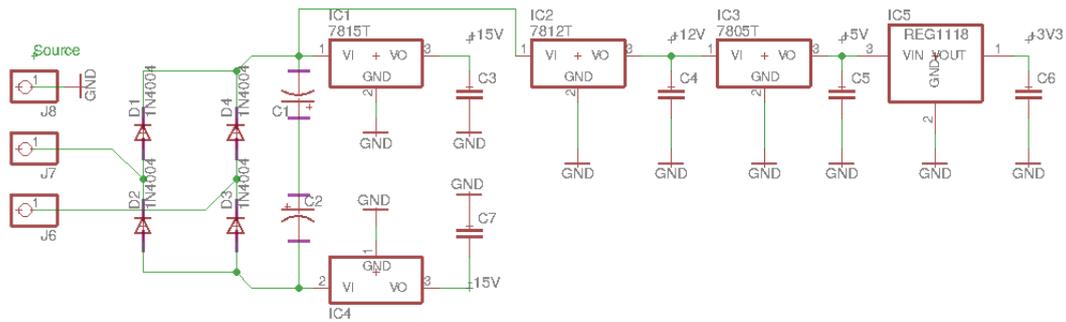
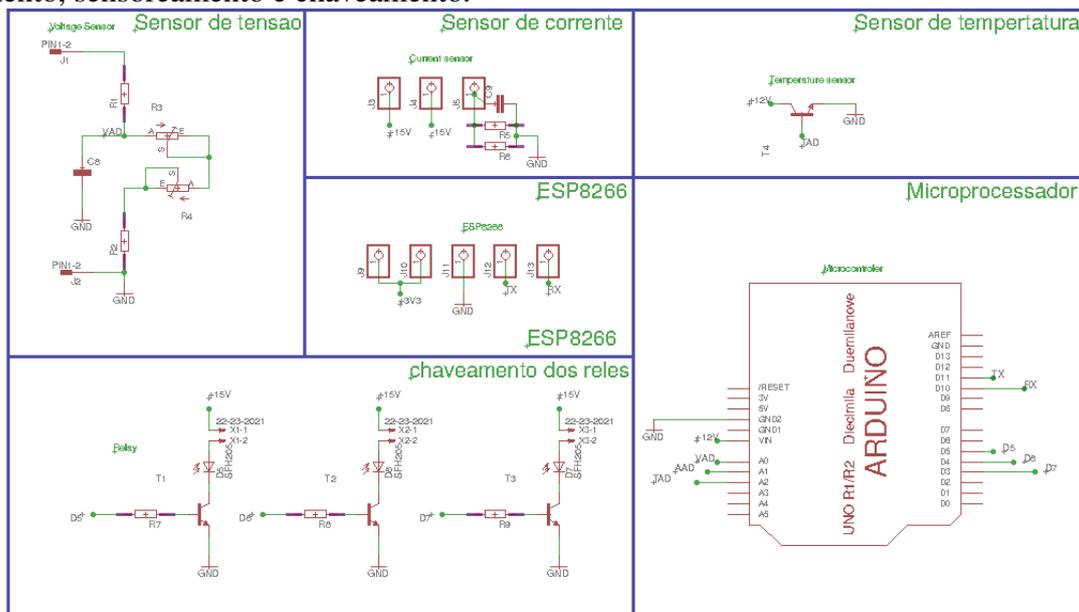


Figura 40: Esquema elétrico da interligação dos componentes de transmissão, processamento, sensoamento e chaveamento.



teca o LM35. somente as saídas dos relés estão representados para dar mais versatilidade na instalação da placa, pois assim pode-se colocar o distante da placa.

A placa para de testes desenvolvida com a placa ilha pode ser vista na figura 41. O ESP8266 de transmissão wifi foi integrado por fios para obter mobilidade e uma possível substituição e não foi soldado diretamente na placa.

A partir da placa de testes, foi desenvolvida a placa definitiva. Esta placa visa diminuir as dimensões físicas para instalação no local de medição, acoplado o Arduino e visando a redução de ruído e um melhor acabamento. Com a placa de circuito impresso, além de tornar o circuito mais robusto, se reduziu cerca de 40% da área ocupada pelo circuito.

Com as placas montadas e devidamente calibradas, pôde-se finalmente partir para os testes de medição nos painéis fotovoltaicos instalados no Departamento de Engenharia Elétrica da UFRGS além do levantamento de dreno de potência do circuito desenvolvido.

7.6 Potência demandada pelo circuito

Uma característica importante é a potência demandada pelo circuito de medição. Uma vez que o mesmo poderia ser alimentado pela própria fonte onde está monitorando, ter esse tipo de informação pode ser muito importante, pois, neste caso, o sistema de medição deve consumir o mínimo possível. Embora o sistema implementado tenha sido projetado para ser alimentado em uma fonte de corrente alternada em $127 V_{RMS}$.

A placa do sistema de monitoramento foi verificada com um osciloscópio da marca Tektronix, o modelo Tektronix DPO 2014B 100MHz 1 GS/s. As formas de corrente foram colhidas a partir de uma ponteira alicate amperímetro com uma atenuação de $1A/100mV$.

$$P_{total} = \sum (P_{arduino} + P_{ESP} + P_{sensores} + P_{reguladores}) \quad (7)$$

$$P_{sensores} = \sum (P_{LM35} + P_{Hall} + P_{tensão}) \quad (8)$$

$$P_{sensores} = 12(60 \cdot 10^{-6}) + 30 \cdot 10^{-2} = 0,30072W \quad (9)$$

A Potência demandada pelos reguladores de tensão foram calculadas considerando a queda de tensão em cada regulador e a corrente quiescente de cada regulador (P_r).

$$P_r = 3(0,951 + 0,0555) + 6(0,0555) + 7(0,951) + (0,952)1,7 = 0,1W \quad (10)$$

A corrente demanda pelo Arduino foi medida pelo osciloscópio conforme figura 43

$$P_{Arduino} = 12(55,5 \cdot 10^{-3}) = 0,666W \quad (11)$$

De forma análoga a corrente do ESP8266 foi obtida e pode ser conferida conforme figura 44. Note que existem picos que estão presentes de corrente com amplitude de 330 mA. Estes picos apresentam maior quantidade no momento da transmissão de dados.

$$P_{ESP} = 3,3(95,1 * 10^{-3}) = 0,31383W \quad (12)$$

Logo, a potência total demanda pelo circuito pode ser estimada como sendo

Figura 41: Placa de testes para o monitor wifi com os componentes de sensoriamento, processamento e acionamento integrados.

microprocessador

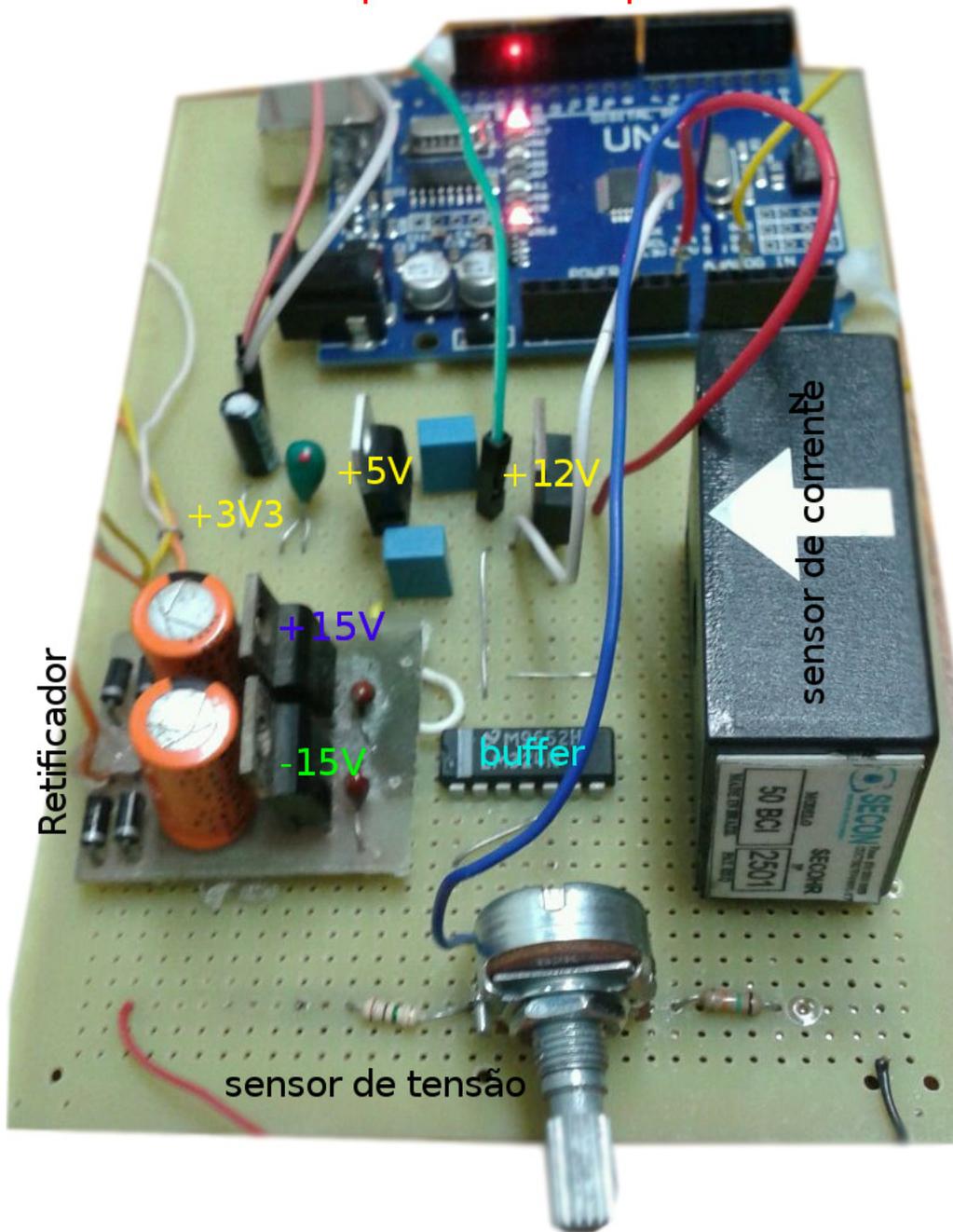


Figura 42: Placa de circuito impresso definitiva projetada para ser acoplada pelos pinos fêmea do Arduino.

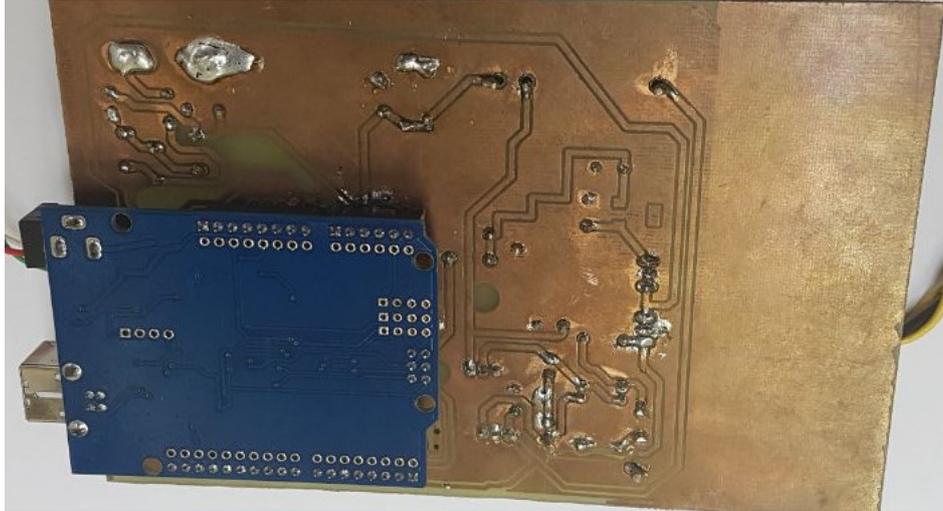


Figura 43: Corrente drenada pelo Arduino medida a partir do osciloscópio digital no momento da transmissão wifi.

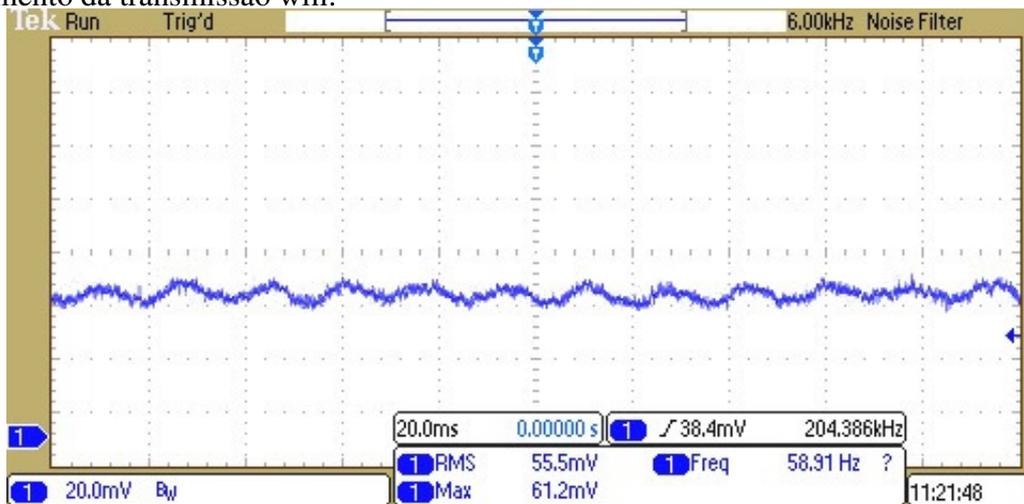
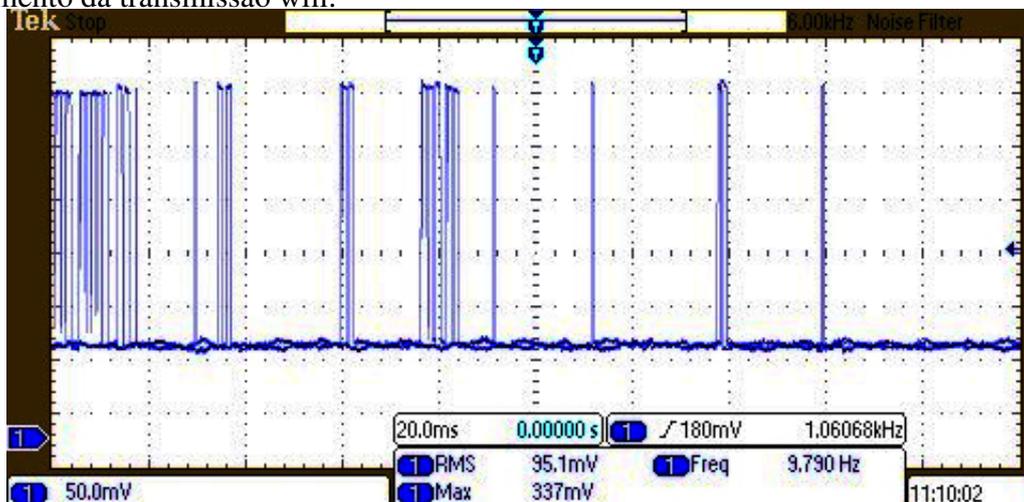


Figura 44: Corrente drenada pelo ESP8266 medida a partir do osciloscópio digital no momento da transmissão wifi.

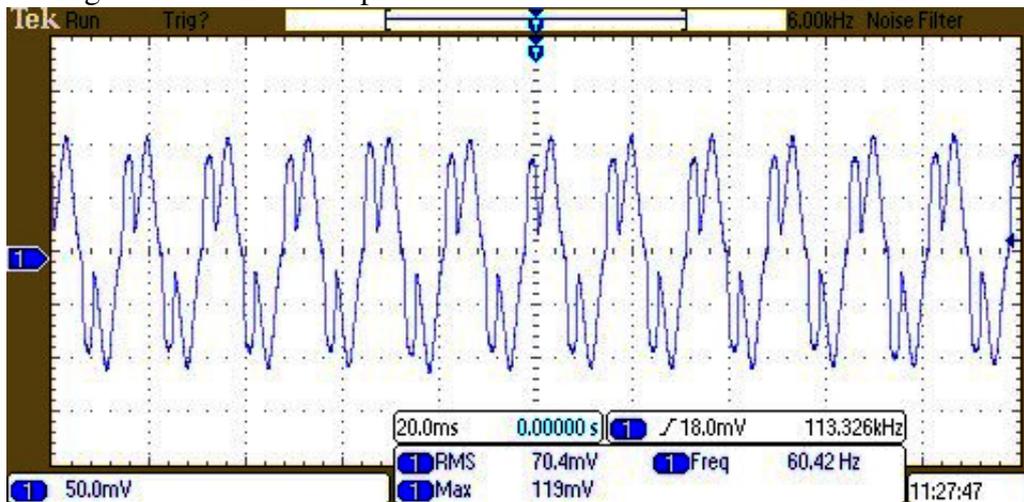


$$P_{total} = \sum (0,666 + 0,31383 + 0,1 + 0,30072) \simeq 1,38W \quad (13)$$

Corrente no primário do transformador que possui uma tensão de $18V_{RMS}$ pode ser conferida na figura 45. Assumindo que toda a corrente drenada do transformador está na parte positiva da alimentação simétrica, pois na parte negativa existe apenas um regulador de tensão. A potência que é fornecida pelo transformador $P_{transformador}$ é de

$$P_{transformador} = 70,4(18) \simeq 1,2672W \quad (14)$$

Figura 45: Corrente no primário do transformador de tensão $127/\pm 18$ V.



O que é uma estimativa razoável com um erro de aproximadamente 9%. E uma potência baixa de operação do monitor em relação a oferta de energia se ele fosse alimentado pelos painéis fotovoltaicos.

8 RESULTADOS

Conforme Figura 46, estão instalados sete painéis fotovoltaicos com capacidade de geração individual de 200 W por painel. Sabe-se que a geração nesse tipo de aplicação é extremamente dependente da incidência direta dos raios solares. Isso foi percebido nos testes realizados, onde os testes de medição foram realizados em três tipos de situações climáticas diferentes: com céu limpo, com céu nublado e na presença de chuva.

Figura 46: Conjunto de painéis fotovoltaicos instalados no DELET.



Como carga foram utilizados cinco resistores iguais com resistência de 484Ω com potência de 100 W. Esses resistores permitiram uma variação de carga dependendo da associação para simulação de uma situação real dinâmica. A partir do arquivo csv de dados gerado pelo monitor, os gráficos foram feitos utilizando o *software* LibreOffice Calc para cada situação.

8.1 Clima com céu sem nuvens

Neste tipo de situação o painel fotovoltaico pode chegar até sua potencia nominal sem uma significativa queda de tensão em seu barramento de geração. Isso permitiu que fossem aplicadas variações na potência drenada pela carga para comprovar esse fato. Na Figura

Figura 47: Conjunto de cargas utilizados como carga nos painéis fotovoltaicos.

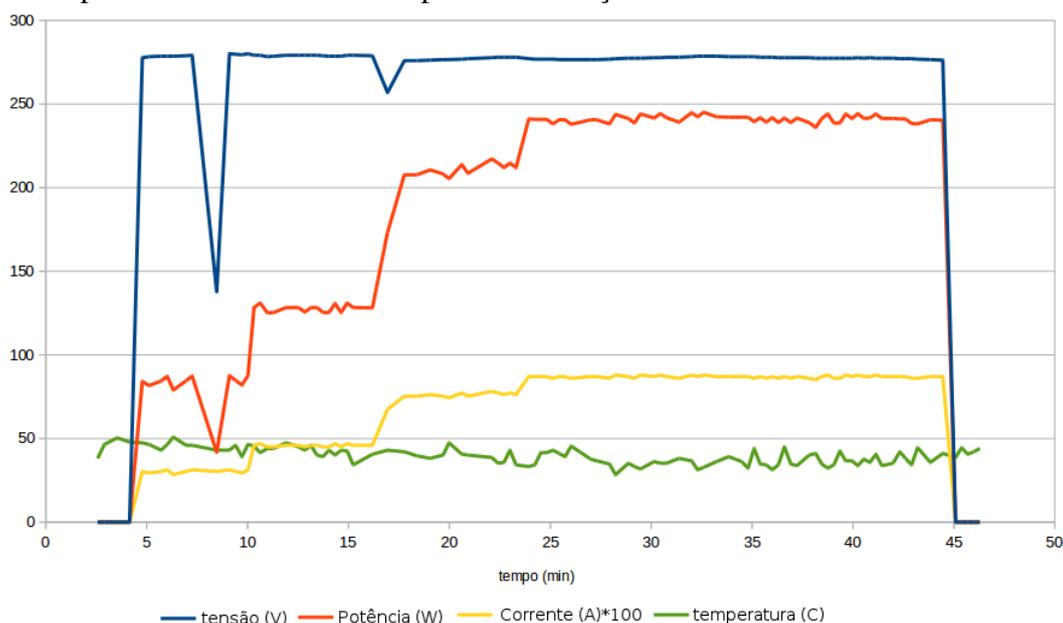


48 a corrente está multiplicada por um fator de 100 vezes para visualização da forma de onda.

O gráfico mostra que em aproximadamente em 4 minutos o disjuntores do painel são ligados e se inicia um fluxo de potência para uma carga de 806Ω que obtida com uma associação de resistores e lâmpadas incandescentes. Em 10 minutos a resistência cai para 564Ω e em 16 minutos cai para 356Ω e finalmente em 23 minutos 317Ω onde foi o limite de potência drenada possível com as cargas disponíveis.

Note que a tensão se mantém constante em todo o processo indicando que o sistema gerador poderia oferecer mais potência nesta condição.

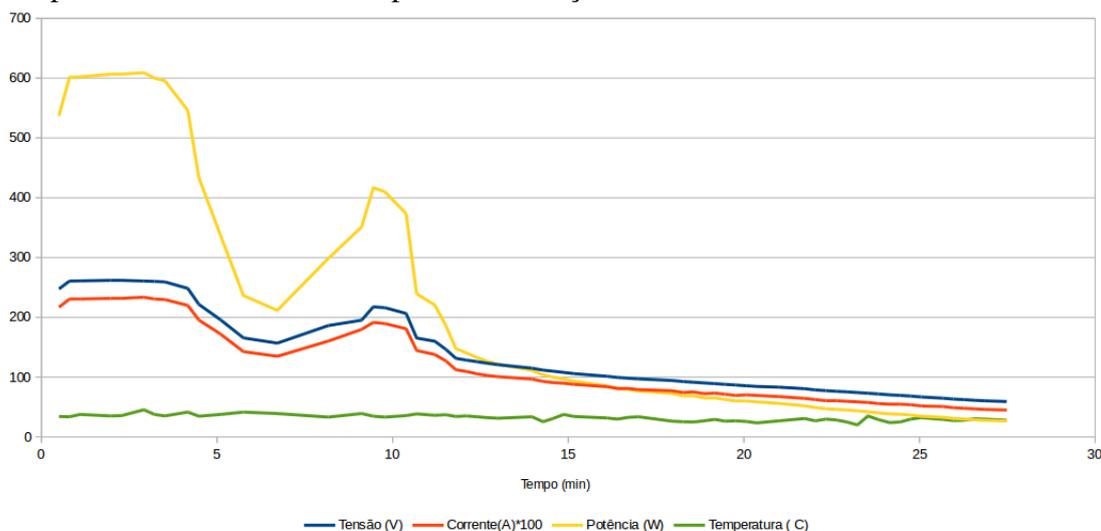
Figura 48: Teste com carga variável sem a interferência de nuvens. A corrente está multiplicada por um fator de 100 vezes para visualização da forma de onda.



8.2 Clima com céu nublado

Neste caso, inicialmente o painel opera como no Capítulo 8.1 quando uma nuvem passa bloqueando os raios solares incidentes em aproximadamente 4 minutos, sob uma carga constante de 110Ω . Notas-se uma drástica queda na potência drenada que cai de 600 W para 30 W depois dos 25 minutos. Note que em 10 minutos a nuvem sai por um estante e logo em seguida passa outra nuvem na linha de visada entre o painel e o sol.

Figura 49: Teste com carga fixa com a interferência de nuvens. A corrente está multiplicada por um fator de 100 vezes para visualização da forma de onda.



Na figura 50 pode-se ver o mesmo gráfico que na figura 49. A legenda do gráfico aparece com os valores das grandezas monitoradas quando se passa o mouse na região de interesse. Portanto, em azul é monitorado a tensão, em vermelho a corrente, em verde a potência e em amarelo a temperatura. Os dois picos em 2 minutos e em 17 minutos são provenientes de faltas esporádicas na comunicação e foram retirados na figura 49.

8.3 Clima chuvoso

Esta é a pior condição possível, do ponto de vista da geração fotovoltaica, que pode-se enfrentar durante o período de possível atividade. Nestas condições climáticas o painel gera uma quantidade muito baixa de potência elétrica, em relação a sua potência nominal. Nota-se também uma variação muito grande de temperatura, isso decorrente da forte incidência de vento no dia em que foi realizado esse teste.

8.4 Distância de transmissão

Depois dos testes de medição, um problema enfrentado foi a distância de transmissão entre os painéis fotovoltaicos e a sala onde fica o receptor principal. Como se pode notar, na figura 52 a distância entre o transmissor e o receptor é cerca de 28 m. Além da distância existem obstáculos como paredes e estruturas além de o receptor ficar em outro andar do prédio. Esse fato introduz uma atenuação no sinal o que impossibilitava a leitura no ponto desejado criando uma região de sombra na central de controle.

Figura 50: Gráfico gerado pela IHM no navegador web sob clima com céu nublado. Os botões em vermelho dão a oportunidade ao usuário acionar chaves eletromecânicas remotamente e se o usuário passar o mouse pelo gráfico os valores dos pontos aparecem no topo.

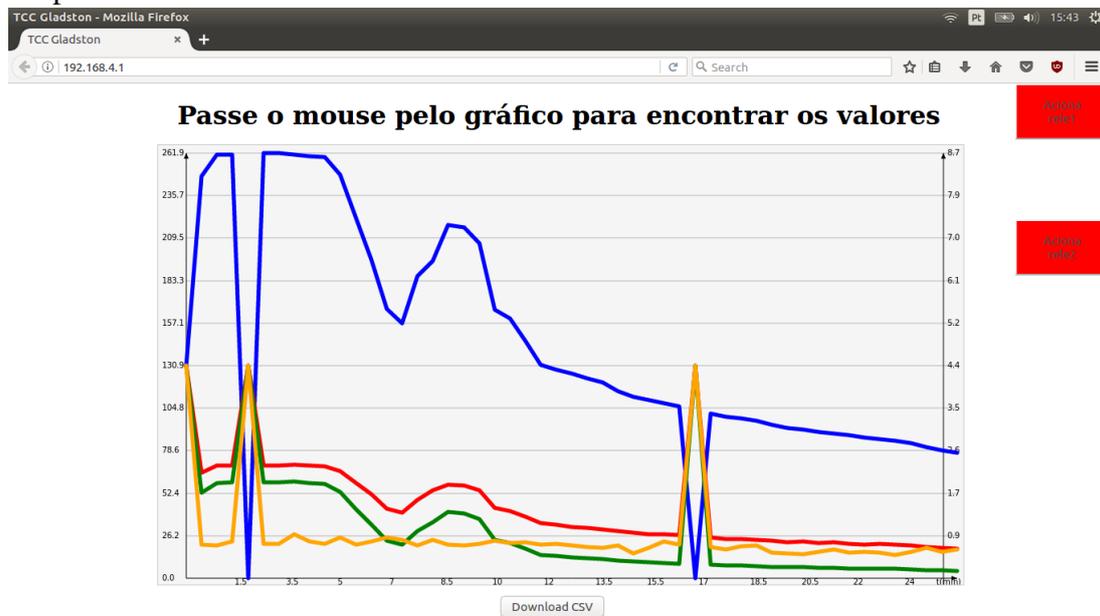
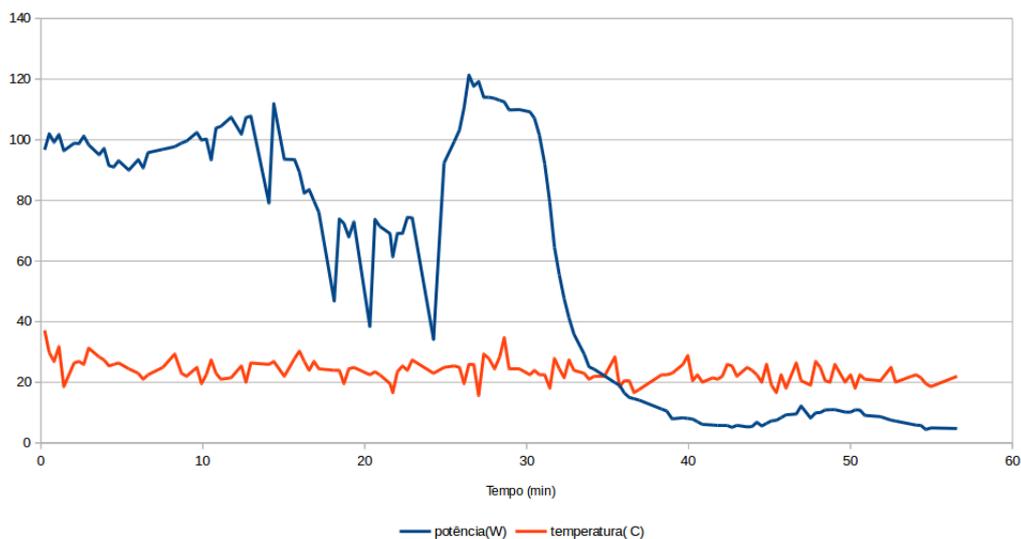
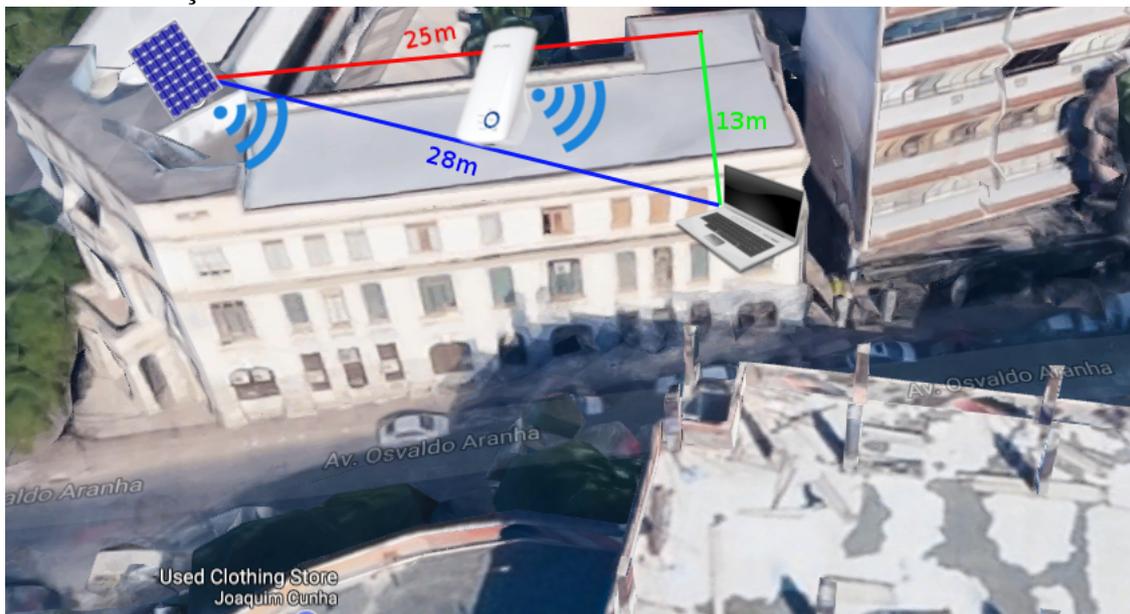


Figura 51: Curva gerada inicialmente com céu nublado e 30 minutos depois sob chuva.



Como solução foi implementado um repetidor de sinal wi-fi. O repetidor utilizado foi o Repetidor de Sinal 300 Mbps 2.4 GHz TL-WA850RE - TP-Link. Após a configuração da rede criada no repetidor de sinal, a conexão pôde ser estendida para uma distância maior e assim chegar no receptor desejado.

Figura 52: Distância aproximada dos painéis fotovoltaicos até o centro de recepção dos sinais de medição e controle em azul.

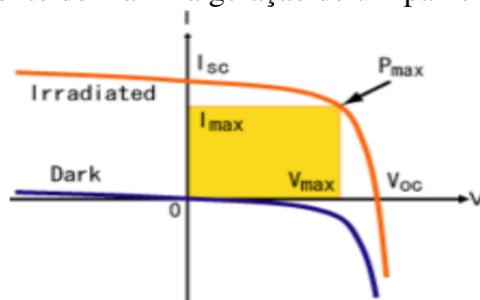


Fonte: (GOOGLE, 2017)

Esse projeto pode estender sua aplicação como ferramenta de atuação ativa de controle de fluxo de potência em sistemas de geração distribuída.

8.5 Sugestões para projetos futuros

Figura 53: Ponto de máxima geração de um painel fotovoltaico.



Fonte: (ARJYADHARA; ALI; CHITRALEKHA, 2013).

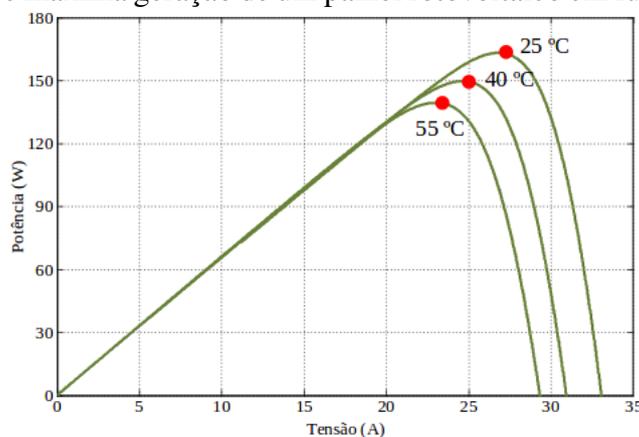
Como pode ser visto em (ARJYADHARA; ALI; CHITRALEKHA, 2013) a potência ofertada por um sistema de painéis fotovoltaicos é extremamente dependente da incidência de irradiação solar. Também pode ser observado que dependendo da carga os níveis de tensão e corrente podem variar, existindo uma carga ótima em que a potência é máxima. Portanto, para encontrar esse ponto pode-se implementar um controle por modulação de

pulsos ou do inglês *pulse width modulation* (PWM), com um sistema de controle em malha fechada com a função de variar a tensão média até encontrar esse ponto, mantendo o painel no ponto de máxima geração sempre.

Assim, o sistema deixaria a geração mais eficiente e ele se adaptaria sob qualquer temperatura, condição de carga ou luminosidade em um ponto máxima eficiência energética. A saída da tensão teria que ser filtrada com um banco capacitivo em uma configuração de filtro passivo passa baixas.

Essa configuração seria basicamente um conversor DC-DC MPPT (*Maximum Power Point Tracker*). Segundo (DE BRITO et al., 2010) em uma avaliação com diferentes tipos de controles MPPT um método simples, chamado método Beta, pode rastrear o ponto de máxima potencia.

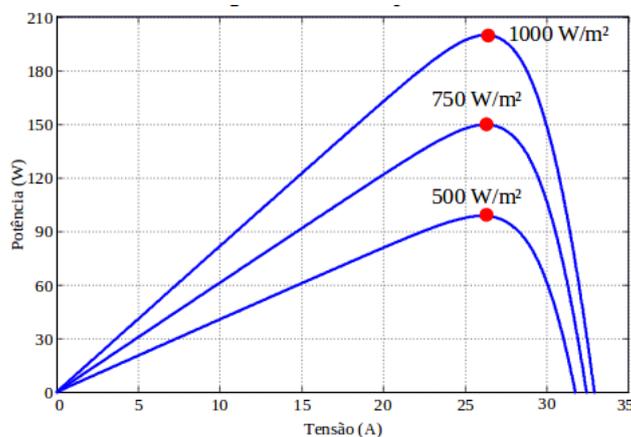
Figura 54: Ponto de máxima geração de um painel fotovoltaico em função da temperatura.



Fonte: (DE BRITO et al., 2010).

Esse método leva em consideração a carga do elétron, fator de qualidade da junção do painel, da constante de Boltzmann, da temperatura e da quantidade de células fotovoltaicas em série. Com esse método, segundo (DE BRITO et al., 2010), pode-se conseguir rendimentos superiores a 98% de eficiência na geração dos painéis.

Figura 55: Ponto de máxima geração de um painel fotovoltaico em função da incidência de raios solares.



Fonte: (DE BRITO et al., 2010).

Outro aspecto de melhoria seria na página web utilizado como IHM. Onde, trabalhando um pouco mais com linguagem de programação web pode-se carregar apenas

parte da página, tornado o sistema mais rápido e dinâmico.

9 CONCLUSÃO

Com o aumento da demanda de energia, levando em consideração os recursos limitados disponíveis e o processo demorado e caro para construção de novas usinas de energia. O suprimento dessa demanda será possível, em grande parte, graças a otimização do sistema de distribuição.

A escassez de dados dificulta uma previsão de demanda precisa e inteligente. Um sistema de armazenamento de dados tem o poder de abrir portas para um gerenciamento inteligente que aproveite ao máximo os recursos energéticos disponíveis. Com um controle em tempo real pelo lado da demanda, (BERGER; INIEWSKI, 2012) mostrou que o pagamento médio diário da conta de energia elétrica do usuário diminuiu em 25% com um regime de tarifas dinâmico.

Como pode ser visto em (MOIS; FOLEA; SANISLAV, 2017) monitores remotos inteligentes vem sendo alvo de muitas pesquisas recentes. E o protocolo IEEE 802.11 é de grande interesse devido a sua grande difusão e conectividade. A evolução tecnológica vem tornando os SoCs de comunicação sem fio cada vez mais baratos e vem substituindo com confiabilidade os cabos físicos. Nota-se também em (MOIS; FOLEA; SANISLAV, 2017) que o wifi, embora consuma mais energia do que os outros padrões, tem um custo menor de instalação com maior facilidade de conexão e acessibilidade.

Sendo assim, o trabalho implementa com sucesso um monitor sem fio com comunicação remota inteligente para gerenciamento de potência ofertada em um caso de geração distribuída que vem ganhando força em um crescimento exponencial nos últimos anos. O sistema implementado ainda visa certos pontos que um monitor remoto ou uma rede de sensoramento sem fio deve ser capaz de suportar, como: segurança, escalabilidade, custo de energia, tolerância a falhas, ambiente de operação e principalmente custo de produção. Outra característica muito importante do projeto é que os dados ficam no lado do cliente, desafogando a memória do microprocessador, além do sistema não necessitar a instalação de programas ou aplicativos para receber os dados. A possibilidade de salvar os dados com todas as informações de tempo das amostras, abre portas para uma análise estatística do comportamento do ponto de vista de geração ou até mesmo de incidência solar no local de instalação dos painéis são algumas das possibilidades que se podem obter a partir desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

0056/2017-SRD/ANEEL, N. T. Atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024. In: NOTA TÉCNICA NÚMERO 0056/2017-SRD/ANEEL, 2017. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2017.

ARJYADHARA, P.; ALI, S.; CHITRALEKHA, J. Analysis of solar PV cell performance with changing irradiance and temperature. **International Journal of Engineering and Computer Science**, [S.l.], v.2, n.1, p.214–220, 2013.

ASHRAF, Q. M.; YUSOFF, M. I. M.; AZMAN, A. A.; NOR, N. M.; FUZI, N. A. A.; SAHAREDAN, M. S.; OMAR, N. A. Energy monitoring prototype for Internet of Things: preliminary results. In: INTERNET OF THINGS (WF-IOT), 2015 IEEE 2ND WORLD FORUM ON, 2015. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2015. p.1–5.

AUTOMATIZAR, R. **Revista Automatizar. As perspectivas do smart grid no país com as primeiras cidades inteligentes**. [S.l.: s.n.], 2012.

BERGER, L. T.; INIEWSKI, K. **Smart grid: applications, communications, and security**. [S.l.]: Wiley, 2012.

BOLZANI, C. **Residência Inteligentes**. [S.l.]: Livraria da Física, 1º edição, 2004.

CARVALO FILHO, J. M. Smart Grids – uma visão geral com enfoque em condicionamento e qualidade de energia elétrica. In: EEL805 CONDICIONAMENTO DE ENERGIA, 2014. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2014.

CGEE, C. d. G. e. E. E. Redes Elétricas Inteligentes: contexto nacional. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES, 2012. **Anais...** Brasília: DF: Corporate Financial Center, 2012.

DA SILVA, I. M. D. **Redes de Sensores sem Fio aplicadas em Ambientes Industriais de Petróleo e Gás**. 2006. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE.

DE BRITO, M. A.; LUIGI, G.; SAMPAIO, L. P.; CANESIN, C. A. Avaliação das principais técnicas para obtenção de MPPT de painéis fotovoltaicos. In: INDUSTRY APPLICATIONS (INDUSCON), 2010 9TH IEEE/IAS INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2010. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2010. p.1–6.

ESPRESSIF SYSTEMS, I. T. **ESP8266EX Datasheet Version 4.3**. 2015.

FLUKE. <http://www.fluke.com/fluke/brpt/products/o-novo-da-fluke.htm>. 2017.

GOOGLE. **GoogleMaps**. 2017.

GUNGOR, V. C.; SAHIN, D.; KOCAK, T.; ERGUT, S.; BUCCELLA, C.; CECATI, C.; HANCKE, G. P. Smart grid technologies: communication technologies and standards. **IEEE transactions on Industrial informatics**, [S.l.], v.7, n.4, p.529–539, 2011.

KODALI, R. K.; SORATKAL, S.; BOPPANA, L. IOT based control of appliances. In: COMPUTING, COMMUNICATION AND AUTOMATION (ICCCA), 2016 INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2016. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2016. p.1293–1297.

KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. Redes de Computadores e a Internet. **São Paulo: Person**, [S.l.], p.28, 2006.

LEE, S.; KIM, J.; YOO, H.; SHON, T. Case Studies for Analyzing DLMS/COSEM-Based Smart Meter Vulnerabilities in Korea. In: INTERNET OF THINGS (ITHINGS) AND IEEE GREEN COMPUTING AND COMMUNICATIONS (GREENCOM) AND IEEE CYBER, PHYSICAL AND SOCIAL COMPUTING (CPSCOM) AND IEEE SMART DATA (SMARTDATA), 2016 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2016. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2016. p.667–674.

LI, L.; XIAO GUANG, H.; KE, C.; KETAI, H. The applications of WiFi-based Wireless Sensor Network in Internet of Things and Smart Grid. In: IEEE CONFERENCE ON INDUSTRIAL ELECTRONICS AND APPLICATIONS, 2011., 2011. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2011. p.789–793.

LIU, Z. “Chapter 3 - a global energy outlook,” in **Global Energy Interconnection**. [S.l.]: Boston: Academic Press, 2015. 91-100p.

LOUREIRO, A. A.; NOGUEIRA, J. M. S.; RUIZ, L. B.; MINI, R. A. d. F.; NAKAMURA, E. F.; FIGUEIREDO, C. M. S. Redes de sensores sem fio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES, 2003. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2003. v.21, p.19–23.

MOIS, G.; FOLEA, S.; SANISLAV, T. Analysis of Three IoT-Based Wireless Sensors for Environmental Monitoring. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, [S.l.], 2017.

PAOLINI, M. **Wi-Fi, WiMAX and 802.20–The Disruptive Potential of Wireless Broadband**. 2004.

PETEBEL F.; PANAZIO, C. Análise de uma Rede Smart Grid Usando a Norma IEC61850 e Dados de Medições. **São Paulo**, [S.l.], 2014.

PMPA, P. **Prefeitura Municipal de Porto Alegre**. 2017.

SANTOS LIMA, L. dos; SOARES, L. F. G.; ENDLER, M. WiMAX: padrão ieee 802.16 para banda larga sem fio. **Monografia, PUC, Rio de Janeiro**, [S.l.], Setembro 2004.

SIEMENS. **Soluções inteligentes para medição de energia Smart solutions for energy metering**. 2017.

SIG. **www.bluetooth.com**. 2017.

SIQUEIRA, I. G.; RUIZ, L. B.; LOUREIRO, A. A.; NOGUEIRA, J. M. S. Um Serviço de Gerenciamento para Controle de Densidade de Redes de Sensores Sem Fio. **22o. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC'04)**, [S.l.], p.249–262, 2004.

SONG, E. Y.; LEE, K. Understanding IEEE 1451-Networked smart transducer interface standard-What is a smart transducer? **IEEE Instrumentation & Measurement Magazine**, [S.l.], v.11, n.2, 2008.

TAMRAKAR, S. **IEEE 1451 and Smart Sensor/Transducer**. 2017.

ApêndiceA

A.1 Custos do projeto

Tabela 5: Custos dos componentes do projeto.

Componente	quantidade	Custo R\$	Custo estimado R\$
ARDUINO	1	0,00 ¹	30,00
LM35	1	14,00	-
Sensor de corrente de efeito HALL	1	0,00 ²	100,00
Amplificador operacional	1	0,00	1,00
Placa 100 X 150 ilhada	1	19,00	-
Regulador de tensão 3V3 smd LM1117	1	8,16	-
Potenciômetro 2K Ω	1	4,50	-
Resistores	7	0,00 ³	1,00
capacitores	9	0,00 ³	1,00
Reguladores de tensão	4	0,00 ³	10,00
Diodos	4	0,00 ³	1,00
Repetidor wifi	1	100,00	
Transistores	3	0,00 ³	1,00
Leds	3	0,00 ³	3,00
Cabos e fios	10	0,00 ³	10,00
Transformador 127/120 V - 18+18 V	1	0,00 ³	46,00
TOTAL	***	45,66	304,00

O Arduino ¹ já foi adquirido anteriormente. O sensor de corrente de efeito Hall ² foi cedido pelo professor. E os demais materiais foram retirados de placas sucateadas ³ Note que o custo do projeto desembolsado efetivamente foi de R\$45,66, no entanto, para implementação do projeto comprando todos os componentes é de aproximadamente R\$350,00.

¹Material adquirido anterior ao projeto.

²Material cedido pelo DELET.

³Material reaproveitado de sucata.

Apêndice B

B.1 Código do Arduino

```

1  /*
   |-----|
3  |           chip      1   8 | 1 \'{e} RX
   | Ant           2   7 |
5  | enna      processor 3   6 |
   |           4   5 | 5 \'{e} TX
7  |-----|
   ESP8266   TM4C123
9  1 URxD    PB1   UART out of ARDUINO
   2 GPIO0           +3.3V for normal operation (ground to flash)
11 3 GPIO2           +3.3V
   4 GND      Gnd   GND (70mA)
13 5 UTxD    PB0   UART out of ESP8266, 115200 baud
   6 Ch_PD           chip select, 10k resistor to 3.3V
15 7 Reset   PB5   low to cause hardware reset
   8 Vcc           regulated 3.3V supply with at least 70mA
17 */
   #include <SoftwareSerial.h>
19 //RX pino a, TX pino a+1

21 SoftwareSerial esp8266(10 , 11);
   //           esp8266(red , gray);
23 #define DEBUG true

25 long int time;
   float tempo;
27
   int voltage0 , current0 , temperat , releN;
29 int i = 1;
   String aux;
31 boolean relay1 = false , relay2 = false;

33
   void setup ()
35 {

37   pinMode(5 , OUTPUT);
   pinMode(6 , OUTPUT);
39   Serial.begin(115200);
   esp8266.begin(115200);
41   // Configure na linha abaixo a velocidade inicial do

```

```

43 // modulo ESP8266
44 /**
45  ** Define o modo Wi-Fi: padrao, ponto de acesso ou ambos
46  ** Modo 1: Estacao; Modo 2: AP; Modo 3: Estacao+AP
47  **/
48 sendData("AT+CWMODE_CUR=3\r\n", 2000, DEBUG); // configure as access
   point
49 //delay(1000);
51 sendData("AT+CWSAP_CUR=\"GladstonTCC\", \"projetodiploma\", 5, 3\r\n",
   3000, DEBUG); // configure network
   //sendData("AT+CIFSR\r\n", 2000, DEBUG); // get ip address
53 //delay(1000);
   sendData("AT+CIPMUX=1\r\n", 2000, DEBUG); // configure for multiple
   connections
55 //delay(1000);
   sendData("AT+CIPSERVER=1,80\r\n", 2000, DEBUG); // turn on server on
   port 80
57 //delay(1000);
   sendData("AT+CIPSTO=20\r\n", 2000, DEBUG);
59 // delay(1000);
61 //Serial.print("\r\n** Final da configuracao **");
   time = millis();
63 }
65 void loop() {
   int connectionId;
67
   if (millis() - time >= 1000) {
69     voltage0 += analogRead(0);
       current0 += analogRead(1);
71     temperat += analogRead(2);
       i++;
73     time = millis();
   }
75
   if (esp8266.find((char*)"IPD, "))
77   {
79     connectionId = esp8266.read() - 48;
81
83     if (esp8266.find((char*)"rele")) {
       releN = esp8266.read() - 48;
85
87         if (releN == 1) {
           digitalWrite(5, !digitalRead(5));
89           relay1 = digitalRead(5);
           }
91         if (releN == 2) {
           digitalWrite(6, !digitalRead(6));
93           relay2 = digitalRead(6);
           }
95     }

```

```

97     voltage0 = (voltage0) / i;
98     current0 = current0 / i;
99     temperat = temperat / i;
100
101     float P = float(current0) * float(voltage0) / 1023 * 1000 / 1023;
102
103     if (current0 < 0) {
104         while (current0 < 0) {
105             current0++;
106         }
107     }
108
109
110     /*page HTML and JS */
111
112     String cipSend = "";
113
114     cipSend = "AT+CIPSENDEX=";
115     cipSend += connectionId;
116     cipSend += ",";
117     cipSend += "2048";
118     cipSend += "\r\n";
119
120     sendData(cipSend, 10, DEBUG);
121     esp8266.print(F("<html><head><meta http-equiv=\"Content-Type\"
content=\"text/html; charset=utf-8\"/><meta http-equiv=\"refresh \"
content=\"10; url=http://192.168.4.1\"><title>TCC Gladston</title><
style>body{text-align:center;}#grafico{margin:auto;border:1px solid
#000;background-color:#F5F5F5;border:1px solid #CCC;}</style></
head><body><div id=\"xycoordinates\"></div><canvas id=\"grafico\"
width=\"1000\" height=\"550\" style=\"position: absolute; left:
185; top: 76; z-index: 0;\" onmousemove=\"cnvs_getCoordinates(event
)\" onmouseout=\"cnvs_clearCoordinates()\" ></canvas><canvas id=\"
grafico2\" width=\"1000\" height=\"550\" style=\"position: absolute
; left: 185; top: 76; z-index: 1;\" onmousemove=\"
cnvs_getCoordinates(event)\" onmouseout=\"cnvs_clearCoordinates()
\"></canvas></body><script>var delX,XIS,tempo;function id(
idElemento){return document.getElementById(idElemento); };function
mescla_objetos(velho,novo){for(chave in novo){velho[chave] = novo[
chave];}};function GraficoLinha(canvas,opcoes_usuario){var g,
altura,largura,altura_util,largura_util,deltaX,deltaY;function
constroi(){opcoes = {'cores':['red','blue','green','orange'],'
margem_esquerda':100,'divisoes':0,'espessura_linha':1};
mescla_objetos(opcoes,opcoes_usuario);g = canvas.getContext('2d');
largura = canvas.offsetWidth;altura=canvas.offsetHeight;
largura_util=largura-opcoes.margem_esquerda-10;altura_util=altura
-20;desenha_eixos();};function desenha_eixos(){g.strokeStyle = '
black';g.lineWidth = 1;g.beginPath();g.moveTo(opcoes.
margem_esquerda,altura-10);g.lineTo(opcoes.margem_esquerda,10);g.
moveTo(opcoes.margem_esquerda+940,altura-0);g.lineTo(opcoes.
margem_esquerda+940,10);g.moveTo(opcoes.margem_esquerda-0,altura
-10);g.lineTo(largura-10,altura-10);g.stroke();g.beginPath();g.
moveTo(opcoes.margem_esquerda,10);g.lineTo(opcoes.margem_esquerda
+3,17);g.lineTo(opcoes.margem_esquerda-3,17);g.moveTo(opcoes.
margem_esquerda+940,10);g.lineTo(opcoes.margem_esquerda+940+3,17)
;g.lineTo(opcoes.margem_esquerda+940-3,17);g.fill();g.beginPath()
;\0");};

```

```

123     delay(1000);

125     sendData(cipSend, 10, DEBUG);
    esp8266.print(F("g.moveTo(largura - 10, altura - 10);g.lineTo(
largura - 17, altura - 13);g.lineTo(largura -17, altura -7);g.fill();});
function zera(){g.clearRect(0,0, largura, altura);desenha_eixos();};
function setDados(vdados){dados = vdados; zera();plota();}; var maior
= 0, maiorA=30000, menorA=0;function plota(){var x,y, deltaX, deltaY;
g.save();g.translate(opcoes.margem_esquerda, altura - 10);var menor
= Math.pow(2,53);for(var i=0;i<dados.length;i++){for(var j=0;j<
dados[i].dados.length;j++){if(dados[i].dados[j] < menor){menor =
dados[i].dados[j];}if(dados[i].dados[j] > maior){maior = dados[i].
dados[j];}if(dados[1].dados[j]>maiorA){maiorA=dados[1].dados[j];}if
(dados[1].dados[j]<menorA){menorA=dados[1].dados[j];}}deltaY=maior
-menor;var intervalo = deltaY/opcoes.divisoes;g.strokeStyle = 'rgba
(0,0,0,0.25)';if(opcoes.divisoes){g.fillText((menor/1023*300).
toFixed(1),5-opcoes.margem_esquerda,3);g.fillText("\t(min)
",70+64*14-opcoes.margem_esquerda,8);for(i=0;i<14;i++){g.fillText(
Math.round(dados[0].dados.length/15*(i+1))*0.5,95+64*i-opcoes.
margem_esquerda,8);}for(var i=0;i<opcoes.divisoes;i++){g.beginPath
();y = Math.round((i+1)*intervalo*altura_util/deltaY);g.fillText
((((i+1)*intervalo + menor)/1023*300).toFixed(1),5-opcoes.
margem_esquerda,-y+3);g.fillText((((i+1)*intervalo + menor)
/1023*10).toFixed(1),980-opcoes.margem_esquerda,-y+3);g.lineTo(0,-y
);g.lineTo(largura_util,-y);g.stroke();}g.lineWidth=opcoes.
espessura_linha;g.lineCap = 'round';g.lineJoin = 'round';for(var i
=0;i<dados.length;i++){deltaX = dados[i].dados.length;delX=deltaX
-1;g.strokeStyle = opcoes.cores[i%opcoes.cores.length];g.beginPath
();for(j=0;j<dados[i].dados.length;j++){x = Math.round(j*
largura_util/(deltaX-1));y = Math.round((dados[i].dados[j] - menor)
*altura_util/deltaY);x = isNaN(x)?0:x;y = isNaN(y)?(altura_util/2):
y;g.lineTo(x,-y);}g.stroke();}g.restore();};constroi();this.zera =
zera;this.setDados = setDados;document.getElementById("\
xycoordinates").innerHTML="\<h1>Passe o mouse pelo gr\`{a}fico
para encontrar os valores </h1>";};var opt = {'cores':\0});
127     delay(1000);

129     sendData(cipSend, 10, DEBUG);
    esp8266.print(F(["'blue','red','green','orange'], 'margem_esquerda
': 35,'divisoes': 10,'espessura_linha': 5});function
cnvs_getCoordinates(e){x=((e.clientX-218)/965*delX).toFixed(0);XIS=
x;v=dados[0].dados[x]*300/1023;a=dados[1].dados[x]/1023*10;refY();
document.getElementById("\xycoordinates").innerHTML="\<h3><font
color='0000FF'>Tens\~{a}o:\`{a}"+v.toFixed(1)+"V</font><font color='
FF0000'> Corrente: \"+a.toFixed(2) +"\`A </font>Tempo:\`{a}"+(tempo[x
]/60).toFixed(2)+"min <font color='006600'>P=\`{a}"+(P0[x]*3).toFixed
(2)+"\`W <font color='ffa500'>T=\`{a}"+ (T0[x]*5/1023*100).toFixed(1)
+"\`^{\`{o}C</h3>";};function refY(){var canvas = document.
getElementById("\grafico2");var g = canvas.getContext("\2d");for(
var i=1;i<dados[1].dados.length;i++){g.clearRect(0, 0, canvas.width
, canvas.height);g.lineWidth = 1;g.beginPath();g.strokeStyle = '
black';g.moveTo(35+((967-10)*(XIS)/delX),1222);g.lineTo
(35+((967-10)*(XIS)/delX,0);g.stroke();g.fill();};function
cnvs_clearCoordinates(){var data = sessionStorage.getItem("\data\");
document.getElementById("\xycoordinates").innerHTML="\<h2>In\`{i}
cio: \"+data.replace("\ GMT-0300 (BRT)\", "\");+"\`{a}</h2>";};var g
= new GraficoLinha(id('grafico'),opt);var dados = [{'legenda':'
linha1','dados':[]},{'legenda':'linha2','dados':[]},{'legenda':'

```

```

linha3 ', 'dados ':[]},{ 'legenda ': 'linha4 ', 'dados ':[]}]; var ino="\n\n0"
));
delay(1000);

131
cipSend = "";
133
cipSend = "AT+CIPSEND=";
cipSend += connectionId;
135
cipSend += ",";

137
String arduino = String(voltage0);
arduino += ",";
139
arduino += current0;
arduino += ",";
141
arduino += (time / 1000);
arduino += ",";
143
arduino += P;
arduino += ",";
145
arduino += temperat;

147
cipSend += arduino.length();
cipSend += "\r\n";
149

151
sendData(cipSend, 10, DEBUG);
esp8266.print(arduino);
153
delay(1000);

155
cipSend = "";
cipSend = "AT+CIPSENDEX=";
157
cipSend += connectionId;
cipSend += ",";
159
cipSend += "2048";
cipSend += "\r\n";

161

163
sendData(cipSend, 10, DEBUG);
esp8266.print(F("\n"; var arduino = ino.split("\n").map(Number); var
auxV=sessionStorage.getItem("\nvoltage0\n") +","\n"+ arduino[0]; var
auxA=sessionStorage.getItem("\ncurrent0\n") +","\n"+ arduino[1]; var
auxT=sessionStorage.getItem("\ntempo0\n") +","\n"+ arduino[2]; var auxP
=sessionStorage.getItem("\nP0\n") +","\n"+ arduino[3]; var auxTEMP=
sessionStorage.getItem("\nT0\n") +","\n"+ arduino[4]; sessionStorage.
setItem("\nvoltage0\n",auxV); sessionStorage.setItem("\ncurrent0\n",auxA
); sessionStorage.setItem("\ntempo0\n",auxT); sessionStorage.setItem("\n
P0\n",auxP); sessionStorage.setItem("\nT0\n",auxTEMP); var voltage0=
sessionStorage.getItem("\nvoltage0\n").split("\n").map(Number); var
current0=sessionStorage.getItem("\ncurrent0\n").split("\n").map(
Number); var tempo0=sessionStorage.getItem("\ntempo0\n").split("\n").
map(Number); var P0 = sessionStorage.getItem("\nP0\n").split("\n").
map(Number); var T0=sessionStorage.getItem("\nT0\n").split("\n").map(
Number); dados[0].dados=voltage0.concat(dados[0].dados); dados[1].
dados=current0.concat(dados[1].dados); dados[2].dados=P0.concat(
dados[2].dados); tempo=tempo0.concat(tempo0); var timeRef; if (dados
[0].dados.length==2){var dat = new Date(); sessionStorage.setItem("\n
data\n", dat);} sessionStorage.setItem("\ntempo0\n",tempo0); dados[3].
dados=T0.concat(dados[3].dados); g.setDados(dados); function
exportToCsv(filename, rows) {var k=0;var processRow = function (row
) {var finalVal = '';for (var j = 0; j < row.length; j++) {var
innerValue = row[j] === null ? '' : row[j].toString();if (row[j]

```

```

instanceof Date) {innerValue = row[j].toLocaleString();};var result
= innerValue.replace(/"/g, '\"');if (result.search(/(\\"|\\n)/
g) >= 0)result = '\"' + result + '\"';if (j > 0 && k!=0 && k!=1 &&
k!=3 && k!=5 && k!=7 ){finalVal += ',';}finalVal += result;}k++;
return finalVal + '\\n';};var csvFile = '';for (var i = 0; i < rows
.length; i++) {csvFile += processRow(rows[i]);}var blob = new Blob
([csvFile], { type: 'text/csv;charset=utf-8;'});if(navigator.
msSaveBlob) {navigator.msSaveBlob(blob, filename);}\\0");
delay(1000);
165
if (relay1 && relay2) {
167
    cipSend = "";
169    cipSend = "AT+CIPSENDEX=";
    cipSend += connectionId;
171    cipSend += ",";
    cipSend += "2033";
173    cipSend += "\\r\\n";

    sendData(cipSend, 10, DEBUG);
    esp8266.print(F("else{var link = document.createElement(\"a\");if
(link.download !== undefined) {var url = URL.createObjectURL(blob);
link.setAttribute(\"href\", url);link.setAttribute(\"download\",
filename);link.style.visibility = 'visible';document.body.
appendChild(link);link.click();document.body.removeChild(link)
;}}}</script><button type=\"submit\" onclick=\"exportToCsv('dados.
csv', [sessionStorage.getItem('data').replace(' GMT-0300 (BRT)',
''),'Tens\\{a}o(V*3.41):',dados[0].dados , 'Corrente(A*102.3):',
dados[1].dados , 'tempo(min*60):', tempo0 , 'Temperatura(graus C*2.046)
:', dados[3].dados)\" style=\"position: absolute; left: 610; top:
640; z-index: 1;\">Download CSV</button><form method=\"get\" action
=\"http://192.168.4.1/ 1\"><button type=\"submit\" style= \"
padding: 16px;background-color:lightgreen; position: absolute; left
: 1250; top: 0; z-index: 0;\">Aciona rele1 </button></form><form
method=\"get\" action=\"http://192.168.4.1/rele2\"><button type=\"
submit\" style= \"padding: 16px;background-color:lightgreen;
position: absolute; left: 1250; top: 170; z-index: 0;\">Aciona
rele2 </button>\\0\"));
177    delay(1000);
    }
179
if (relay1 == true && relay2 == false) {
181    cipSend = "";
    cipSend = "AT+CIPSENDEX=";
183    cipSend += connectionId;
    cipSend += ",";
185    cipSend += "2033";
    cipSend += "\\r\\n";
187

    sendData(cipSend, 10, DEBUG);
189    esp8266.print(F("else{var link = document.createElement(\"a\");if
(link.download !== undefined) {var url = URL.createObjectURL(blob);
link.setAttribute(\"href\", url);link.setAttribute(\"download\",
filename);link.style.visibility = 'visible';document.body.
appendChild(link);link.click();document.body.removeChild(link)
;}}}</script><button type=\"submit\" onclick=\"exportToCsv('dados.
csv', [sessionStorage.getItem('data').replace(' GMT-0300 (BRT)',
''),'Tens\\{a}o(V*3.41):',dados[0].dados , 'Corrente(A*102.3):',

```

```

dados[1].dados, 'tempo(min*60):', tempo0, 'Temperatura(graus C*2.046)
: ', dados[3].dados)]\" style=\"position: absolute; left: 610; top:
640; z-index: 1;\">Download CSV</button><form method=\"get\" action
=\"http://192.168.4.1/rele1\"><button type=\"submit\" style= \"
padding: 16px;background-color:lightgreen; position: absolute; left
: 1250; top: 0; z-index: 0;\">Aciona rele1 </button></form><form
method=\"get\" action=\"http://192.168.4.1/rele2\"><button type=\"
submit\" style= \"padding: 16px;background-color:red; position:
absolute; left: 1250; top: 170; z-index: 0;\">Aciona rele2 </button
>\\0\"));
    delay(1000);
191 }

193 if (relay1 == false && relay2 == true) {
    cipSend = \"\";
195 cipSend = \"AT+CIPSENDEX=\";
    cipSend += connectionId;
197 cipSend += \",\";
    cipSend += \"2033\";
199 cipSend += \"\r\n\";

    sendData(cipSend, 10, DEBUG);
    esp8266.print(F(\"else{var link = document.createElement(\"a\"); if
(link.download !== undefined) {var url = URL.createObjectURL(blob);
link.setAttribute(\"href\", url);link.setAttribute(\"download\",
filename);link.style.visibility = 'visible';document.body.
appendChild(link);link.click();document.body.removeChild(link)
;}}}</script><button type=\"submit\" onclick=\"exportToCsv('dados.
csv', [sessionStorage.getItem('data').replace(' GMT-0300 (BRT)',
''), 'Tens \\{a}o(V*3.41): ', dados[0].dados, ' Corrente(A*102.3): ',
dados[1].dados, 'tempo(min*60): ', tempo0, ' Temperatura(graus C*2.046)
: ', dados[3].dados)]\" style=\"position: absolute; left: 610; top:
640; z-index: 1;\">Download CSV</button><form method=\"get\" action
=\"http://192.168.4.1/rele1\"><button type=\"submit\" style= \"
padding: 16px;background-color:red; position: absolute; left: 1250;
top: 0; z-index: 0;\">Aciona rele1 </button></form><form method=\"
get\" action=\"http://192.168.4.1/rele2\"><button type=\"submit\"
style= \"padding: 16px;background-color:lightgreen; position:
absolute; left: 1250; top: 170; z-index: 0;\">Aciona rele2 </button
>\\0\"));
203    delay(1000);
    }

205
207 if (relay1 == false && relay2 == false) {
    cipSend = \"\";
209 cipSend = \"AT+CIPSENDEX=\";
    cipSend += connectionId;
211 cipSend += \",\";
    cipSend += \"2033\";
213 cipSend += \"\r\n\";

    sendData(cipSend, 10, DEBUG);
215    esp8266.print(F(\"else{var link = document.createElement(\"a\"); if
(link.download !== undefined) {var url = URL.createObjectURL(blob);
link.setAttribute(\"href\", url);link.setAttribute(\"download\",
filename);link.style.visibility = 'visible';document.body.
appendChild(link);link.click();document.body.removeChild(link)
;}}}</script><button type=\"submit\" onclick=\"exportToCsv('dados.

```

```

csv', [sessionStorage.getItem('data').replace(' GMT-0300 (BRT)',
''), 'Tens\~{a}o(V*3.41):', dados[0].dados, ' Corrente(A*102.3):',
dados[1].dados, 'tempo(min*60):', tempo0, ' Temperatura(graus C*2.046)
:', dados[3].dados])\" style=\"position: absolute; left: 610; top:
640; z-index: 1;\">Download CSV</button><form method=\"get\" action
=\"http://192.168.4.1/rele1\"><button type=\"submit\" style= \"
padding: 16px;background-color:red; position: absolute; left: 1250;
top: 0; z-index: 0;\">Aciona rele1 </button></form><form method=\"
get\" action=\"http://192.168.4.1/rele2\"><button type=\"submit\"
style= \"padding: 16px;background-color:red; position: absolute;
left: 1250; top: 170; z-index: 0;\">Aciona rele2 </button>&\\0\"));
    delay(1000);
217 }

219 sendData("AT+CIPCLOSE=5\r\n", 500, DEBUG);
    i = 1;
221
    voltage0 = analogRead(0);
223 current0 = analogRead(1);
    temperat = analogRead(2);
225 time = millis();

227 }
229 }

231 String sendData(String command, const int timeout, boolean debug)
233 {
    // Envio dos comandos AT para o modulo
235 esp8266.print(command);

237
    String response = "";
239 long int time = millis();
    while ((time + timeout) > millis())
241 {
        while (esp8266.available())
243 {
            // The esp has data so display its output to the serial window
245 char c = esp8266.read(); // read the next character.
            response += c;
247        }
    }
249 Serial.print(response);

251 return response;
}

```

code/arduino.ino

ApêndiceC

C.1 Código da IHM implementada para ser lido no browser

```

<html>
2  <head>
    <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8
    " />
4    <title>TCC</title>
    <style>
6      body{
        text-align:center;
8      }

10     #grafico{
        margin:auto;
12     border:1px solid #000;
        background-color:#F5F5F5;
14     border:1px solid #CCC;
        }

16     .disabled {
18     opacity: 0.6;
        cursor: not-allowed;
20     }

22     </style>
</head>
24 <body>
    <button class="button disabled" style="position: absolute; left:
    1250; top: 70; z-index: 0;">aciona rele 2</button>
26    <button class="button disabled" style="position: absolute; left:
    1250; top: 100; z-index: 0;">aciona rele 3</button>
    <div id="xycoordinates"></div>
28    <canvas id="grafico" width="1000" height="550" style="position:
    absolute; left: 185; top: 76; z-index: 0;" onmousemove="
    cvs_getCoordinates(event)" onmouseout="cvs_clearCoordinates()"
    ></canvas>
    <canvas id="grafico2" width="1000" height="550" style="position:
    absolute; left: 185; top: 76; z-index: 1;" onmousemove="
    cvs_getCoordinates(event)" onmouseout="cvs_clearCoordinates()"></
    canvas>
30 </body>

```

```
<script>
32     var delX,XIS;
34
36     function id(idElemento){
37         return document.getElementById(idElemento);
38     };
39     function mescla_objetos(velho,novo){
40         for(chave in novo){
41             velho[chave] = novo[chave];
42         };
43     };
44
45     function GraficoLinha(canvas,opcoes_usuario){
46         var g, altura, largura, altura_util, largura_util, deltaX, deltaY;
47         function constroi(){
48             opcoes = {
49                 'cores':['red','blue','green','orange'],
50                 'margem_esquerda':100,
51                 'divisoes':0,
52                 'espessura_linha':1
53             };
54
55             mescla_objetos(opcoes,opcoes_usuario);
56             g = canvas.getContext('2d');
57             largura = canvas.offsetWidth;
58             altura = canvas.offsetHeight;
59             largura_util = largura - opcoes.margem_esquerda - 10;
60             altura_util = altura - 20;
61             desenha_eixos();
62         };
63
64         function desenha_eixos(){
65             g.strokeStyle = 'black';
66             g.lineWidth = 1;
67             g.beginPath();
68             g.moveTo(opcoes.margem_esquerda, altura - 10);
69             g.lineTo(opcoes.margem_esquerda, 10);
70             g.moveTo(opcoes.margem_esquerda + 940, altura - 0);
71             g.lineTo(opcoes.margem_esquerda + 940, 10);
72             g.moveTo(opcoes.margem_esquerda - 0, altura - 10);
73             g.lineTo(largura - 10, altura - 10);
74             g.stroke();
75             g.beginPath();
76             g.moveTo(opcoes.margem_esquerda, 10);
77             g.lineTo(opcoes.margem_esquerda + 3, 17);
78             g.lineTo(opcoes.margem_esquerda - 3, 17);
79             g.moveTo(opcoes.margem_esquerda + 940, 10);
80             g.lineTo(opcoes.margem_esquerda + 940 + 3, 17);
81             g.lineTo(opcoes.margem_esquerda + 940 - 3, 17);
82             g.fill();
83             g.beginPath();
84             g.moveTo(largura - 10, altura - 10);
85             g.lineTo(largura - 17, altura - 13);
86             g.lineTo(largura - 17, altura - 7);
87             g.fill();
88         };

```

```

function zera(){
90 g.clearRect(0,0,largura , altura);
desenha_eixos();
92 };

function setDados(vdados){
94 dados = vdados;
zera();
96 plota();
98 };

100 var maior = 0,maiorA=30000,menorA=0;

102 function plota(){
var x,y, deltaX ,deltaY;
104 g.save();
g.translate(opcoes.margem_esquerda , altura - 10);
106 var menor = Math.pow(2,53);
for (var i=0;i<dados.length;i++){
108 for (var j=0;j<dados[i].dados.length;j++){
if(dados[i].dados[j] < menor){
110 menor = dados[i].dados[j];
}
112 if(dados[i].dados[j] > maior){
maior = dados[i].dados[j];
114 }
if(dados[1].dados[j]>maiorA){maiorA=dados[1].dados[j];}
116 if(dados[1].dados[j]<menorA){menorA=dados[1].dados[j];}
}
118 }
deltaY=maior-menor;
120 var intervalo = deltaY/opcoes.divisoes;
g.strokeStyle = 'rgba(0,0,0,0.25)';
122 if(opcoes.divisoes){
g.fillText((menor/1023*300).toFixed(1),5-opcoes.margem_esquerda
,3);
124 g.fillText("t (min)",70+64*14-opcoes.margem_esquerda ,8);
for (i=0;i<14;i++){
126 g.fillText(Math.round(dados[0].dados.length/15*(i+1))*5,95+64*i-
opcoes.margem_esquerda ,8);
}
128 for (var i=0;i<opcoes.divisoes;i++){
g.beginPath();
130 y = Math.round((i+1)*intervalo*altura_util/deltaY);
g.fillText((((i+1)*intervalo + menor)/1023*300).toFixed(1),5-
opcoes.margem_esquerda,-y+3);
132 g.fillText((((i+1)*intervalo + menor)/1023*10).toFixed(1),980-
opcoes.margem_esquerda,-y+3);
g.lineTo(0,-y);
134 g.lineTo(largura_util,-y);
g.stroke();
136 }
}
138 g.lineWidth=opcoes.espesura_linha;
g.lineCap = 'round';
140 g.lineJoin = 'round';
for (var i=0;i<dados.length;i++){
142 deltaX = dados[i].dados.length;

```

```

delX=deltaX-1;
144 g.strokeStyle = opcoes.cores[i%opcoes.cores.length];
g.beginPath();
146 for(j=0;j<dados[i].dados.length;j++){
x = Math.round(j*largura_util/(deltaX-1));
148 y = Math.round((dados[i].dados[j] - menor)*altura_util/deltaY);
x = isNaN(x)?0:x;
150 y = isNaN(y)?(altura_util/2):y;
g.lineTo(x,-y);
152 }
g.stroke();
154 }
g.restore();
156 };
constroi();
158 this.zera = zera;
this.setDados = setDados;
160 document.getElementById("xycoordinates").innerHTML="<h1>Passe o
mouse pelo gr\`{a}fico para encontrar os valores </h1>";
};
162 var opt = {
'cores': ['blue', 'red', 'green', 'orange'],
164 'margem_esquerda': 35,
'divisooes': 10,
166 'espessura_linha': 5
};
168 function cnvs_getCoordinates(e)
{
170 x=((e.clientX-218)/965*delX).toFixed(0);
XIS=x;
172 v=dados[0].dados[x]*300/1023;
a=dados[1].dados[x]/1023*10;
174
refY();
176 document.getElementById("xycoordinates").innerHTML="<h2><font
color=\`0000FF\`>Tens\`{a}o:"+v.toFixed(1)+"V</font><font color=\`
FF0000\`> Corrente: "+a.toFixed(2) +"A </font>Tempo:"+(tempo0[x
]/60).toFixed(2)+"min "+P0[x]+"W T="+ (T0[x]*5/1023*100).toFixed(1)
+"^`{o}C<h2>"; //5
};
178 function refY(){
var canvas = document.getElementById("grafico2");
180 var g = canvas.getContext("2d");
for(var i=1;i<dados[1].dados.length;i++){
182 g.clearRect(0, 0, canvas.width, canvas.height);
g.lineWidth = 1;
184 g.beginPath();
g.strokeStyle = 'black';
186 g.moveTo(35+((967-10)*(XIS)/delX),1222);
g.lineTo(35+((967-10)*(XIS)/delX),0);
188 g.stroke();
g.fill();
190 }
};
192 function cnvs_clearCoordinates()
{
194 var data = sessionStorage.getItem("data");

```

```

    document.getElementById("xycoordinates").innerHTML="<h2>In\ '{i}
196     cio: "+data.replace(" GMT-0300 (BRT)", "");+ "</h2>";
    };
    var g = new GraficoLinha(id('grafico'),opt);
198     var dados = [
        {'legenda':'linha1','dados':[]},
200     {'legenda':'linha2','dados':[]},
        {'legenda':'linha3','dados':[]},
202     {'legenda':'linha4','dados':[]}
    ];
204     var ino = "1000,500,2000,1500,100";
    var arduino = ino.split(",").map(Number);
206     var auxV=sessionStorage.getItem("voltage0") +"," + arduino[0];
    var auxA=sessionStorage.getItem("current0") +"," + arduino[1];
208     var auxT=sessionStorage.getItem("tempo0") +"," + arduino[2];
    var auxP=sessionStorage.getItem("P0") +"," + arduino[3];
210     var auxTEMP=sessionStorage.getItem("T0") +"," + arduino[4];
    sessionStorage.setItem("voltage0",auxV);
212     sessionStorage.setItem("current0",auxA);
    sessionStorage.setItem("tempo0",auxT);
214     sessionStorage.setItem("P0",auxP);
    sessionStorage.setItem("T0",auxTEMP);
216     var voltage0=sessionStorage.getItem("voltage0").split(",").map(
    Number);
    var current0=sessionStorage.getItem("current0").split(",").map(
    Number);
218     var tempo0=sessionStorage.getItem("tempo0").split(",").map(Number
    );
    var P0 = sessionStorage.getItem("P0").split(",").map(Number);
220     var T0 = sessionStorage.getItem("T0").split(",").map(Number);

222     dados[0].dados=voltage0.concat(dados[0].dados);
    dados[1].dados=current0.concat(dados[1].dados);
224     dados[2].dados=P0.concat(dados[2].dados);
    dados[3].dados=T0.concat(dados[3].dados);

226     if(dados[0].dados.length==2)
228     {var dat = new Date();
    sessionStorage.setItem("data",dat);
230     }
    g.setDados(dados);
232     function exportToCsv(filename, rows) {var k=0;var processRow =
    function (row) {var finalVal = '';
        for (var j = 0; j < row.length; j++) {var innerValue = row[j] ===
        null ? '' : row[j].toString();
234         if (row[j] instanceof Date) {innerValue = row[j].toLocaleString()
        };};var result = innerValue.replace(/"/g, '""');
        if (result.search(/"/g) >= 0)result = '"' + result + '"';
        if (j > 0 && k!=0 && k!=1 && k!=3 && k!=5 && k!=7){
236         finalVal += ',';} finalVal += result;
        }k++;return finalVal + '\n';};var csvFile = '';for (var i = 0; i
        < rows.length; i++) {
238         csvFile += processRow(rows[i]);
        }var blob = new Blob([csvFile], { type: 'text/csv;charset=utf-8;'
        });
240         if(navigator.msSaveBlob) {
            navigator.msSaveBlob(blob, filename);
242         }else {

```

```

var link = document.createElement("a");
244 if(link.download !== undefined) {
var url = URL.createObjectURL(blob);
246 link.setAttribute("href", url);
link.setAttribute("download", filename);
248 link.style.visibility = 'visible';
document.body.appendChild(link);
250 link.click();
document.body.removeChild(link);
252 }}}

254 function funcaoR2(){window.stop();};

256 //
////////////////////////////////////

258 </script>
<button type="submit" onclick="exportToCsv('dados.csv', [
sessionStorage.getItem('data').replace(' GMT-0300 (BRT)', ''), 'Tens
~{a}o(V*3.41):', dados[0].dados , 'Corrente(A*102.3):', dados[1].
dados , 'tempo(min*60):', tempo0, 'Temperatura(^{o}C*2.046):', dados
[3].dados]" style="position: absolute; left: 610; top: 640; z-
index: 1;">Download CSV</button>
<form method="get" action="http://192.168.4.1/rele1">
260 <button type="submit" style="padding: 16px;background-color:
lightgreen; position: absolute; left: 1250; top: 0; z-index: 0;">
Aciona rele1 </button>

```

code/hmi.htm