



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA PARA CIRCUITOS MONOFÁSICOS DE BAIXA TENSÃO**

Ricardo Schuler

Lajeado, dezembro de 2020



Ricardo Schuler

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA CIRCUITOS MONOFÁSICOS DE BAIXA TENSÃO

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Hennemann

Lajeado, dezembro de 2020

Ricardo Schuler

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA CIRCUITOS MONOFÁSICOS DE BAIXA TENSÃO

A banca examinadora aprova a monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Prof. Dr. Luciano Hennemann - Orientador

Universidade do Vale do Taquari - Univates

Prof. Me. Daniel Luis Sechi

Universidade do Vale do Taquari - Univates

Prof. Me. Yuri Solis Stypulkowski

Universidade do Vale do Taquari - Univates

Lajeado, dezembro de 2020

Dedico este trabalho a minha amada filha, Lia Nogueira Schuler que chegou a pouco em minha vida e a tornou ainda mais significativa e especial.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha amada esposa, Milene Nogueira Schuler pela compreensão, apoio e incentivo ao longo dessa jornada.

A minha querida mãe, Mariela Ligocki Schuler por sempre ter acreditado, apoiado e incentivado.

A toda minha família, amigos e colegas que contribuíram para que este feito fosse possível.

Ao professor Dr. Luciano Hennemann que me orientou e incentivou durante a realização deste trabalho.

A todos os professores que participaram da minha formação.

RESUMO

A presente monografia traz o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de energia elétrica para circuitos monofásicos. O projeto consiste no desenvolvimento de um protótipo eletrônico que tem a capacidade de realizar medições de potência média, tensão, corrente, potência média acumulada, fator de potência e valor da fatura em moeda corrente, calculados com base nas tarifas aplicadas em instalações elétricas monofásicas de baixa tensão. Para a construção do protótipo é utilizado um sensor de corrente SCT 013, um circuito sensor de tensão baseado no transformador ZMPT101B, uma placa de desenvolvimento Devkit V1 que contém um microcontrolador ESP32. A montagem é realizada em *protoboard* e são utilizadas as linguagens de programação C para o desenvolvimento da lógica de funcionamento e linguagem HTML para o desenvolvimento da página *web*. O sistema disponibiliza os dados para o usuário por meio da rede *Wi-Fi* de *internet* do local de instalação. O servidor é o próprio protótipo desenvolvido, pois armazena a página *web* em sua memória interna e a disponibiliza quando solicitado por um navegador de *internet* que o consumidor poderá acessar de qualquer dispositivo independente de fabricante ou modelo, apenas digitando o nome do seu domínio. O sistema permite ao usuário um monitoramento de seus gastos por consumo de energia elétrica, proporcionando indicadores disponibilizados na página *web*, como a tensão elétrica em volts, a potência média em watts, a potência média acumulada em kWh e a previsão de gastos em reais já calculada com as tarifas incididas.

Palavras chave: Medição de Energia. Sistema de Monitoramento. Consumo de Energia.

ABSTRACT

This monograph presents the development of an electrical energy monitoring system for single-phase circuits. The project consists of the development of an electronic prototype that has the capacity to perform measurements of average power, voltage, current, accumulated average power, power factor and invoice value in currency, calculated based on the tariffs applied in single-phase electrical installations of low tension. To build the prototype, a SCT 013 current sensor, a voltage sensor circuit based on the ZMPT101B transformer, a Devkit V1 development board containing an ESP32 microcontroller, is used. The assembly is carried out in a protoboard and C programming languages are used for the development of the operating logic and HTML language for the development of the web page. The system makes the data available to the user through the Wi-Fi internet network at the installation location. The server is the prototype itself developed, as it stores the web page in its internal memory and makes it available when requested by an internet browser that the consumer can access from any device regardless of manufacturer or model, just by typing the name of its domain. The system allows the user to monitor their spending on electricity consumption, providing indicators available on the website, such as the electric voltage in volts, the average power in watts, the average power accumulated in kWh and the forecast of expenses in reais already calculated with the tariffs charged.

Keywords: Energy Measurement. Monitoring System. Energy Consumption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Triângulo das potências	26
Figura 2 - Wattímetro	27
Figura 3 - Medidor de energia convencional	28
Figura 4 - Microcontrolador PIC18F8722	31
Figura 5 - Estrutura institucional do setor brasileiro	40
Figura 6 - O sistema elétrico brasileiro	41
Figura 7 - Gastos por componente na conta de luz	45
Figura 8 - Fatura de energia elétrica residencial	50
Figura 9 - Detalhes da fatura de energia elétrica	51
Figura 10 - Circuito de amostra de tensão do transformador de precisão	49
Figura 11 - Circuito integrado LM358	50
Figura 12 - Etapa de amplificação	51
Figura 13 - Circuito de medição de tensão	53
Figura 14 - Resposta do sinal de tensão com auxílio de osciloscópio	54
Figura 15 - Transformador de corrente SCT 013	55
Figura 16 - Circuito equivalente do transdutor de corrente SCT 013	56
Figura 17 - Resposta do sensor de corrente com o auxílio de osciloscópio	56
Figura 18 - Formas de onda de tensão e corrente	57
Figura 19 - Placa de desenvolvimento Devkit V1 (30 pinos)	58
Figura 20 - Circuito eletrônico do sistema de monitoramento de energia elétrica	60
Figura 21 - Criação do nome de domínio do site noip, provedor de DDNS	62
Figura 22 - Configuração de redirecionamento Intelbras IWR 3000N	63
Figura 23 - Configuração de DDNS Intelbras IWR 3000N	63
Figura 24 - Programação de acesso ao <i>Wi-Fi</i> pela porta 80	64
Figura 25 - Trecho de código HTML da criação da página <i>web</i>	65
Figura 26 - Página <i>web</i> acessada de um notebook	65

Figura 27 - Página web acessada de um smartphone	66
Figura 28 - Diagrama de montagem do EM12 - DIN	67
Figura 29 - Instalação do wattímetro EM12	68
Figura 30 - Montagem do circuito em <i>protoboard</i>	69
Figura 31 - Montagem em <i>protoboard</i> com o circuito ligado	70
Figura 32 - Medição de potência atual do wattímetro EM12 da Carlos Gavazzi	71
Figura 33 - Medição de potência acumulada do wattímetro EM12	72
Figura 34 - Página <i>web</i> gerada pelo sistema de monitoramento	73
Figura 35 - Página <i>web</i> do sistema de monitoramento	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A - Ampère

ABRACEEL - Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia

ACR - Ambiente de Contratação Regulada

ACL - Ambiente de Contratação Livre

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Social e Econômico

CCC - Conta de Consumo de Combustíveis

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CDE - Conta de Desenvolvimento Energético

CFURH - Compensação Financeira pelo Uso de Recursos Hídricos

CIP - Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública

CISC - Computador com Conjunto Reduzido de Instruções

CNPE - Conselho Nacional de Política Energética

CMSE - Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico

COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

cos - função trigonométrica cosseno

DDNS - *Dynamic Domain Name System*

DNS - *Domain Name System*

EPROM - *Erasable Programmable Read Only Memory*

EEPROM - *Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

ESS - Encargos e Serviços do Sistema

F - Frequência

FTP - *File Transfer Protocol*

h - hora

Hz - Hertz

ICMS - Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços

IDE - *Integrated Development Environment*

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers

MME - Ministério de Minas e Energia

ONS - Operador Nacional do Sistema

P - Potência ativa

P&D - Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética

PIB - Produto Interno Bruto

PIS - Programa de Integração Social

PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

Q - Potência reativa

ROM - Read Only Memory

RAM - Random Access Memory

RISC - Computador com Conjunto Complexo de Instruções

RMS - "*root mean square*", valor médio quadrático

RGR - Reserva Global de Reversão

s - segundo

S - Potência aparente

SIN - Sistema Interligado Nacional

T - Período

TUSD - Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

TFSEE - Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica

TC - Transformador de corrente

ULA - Unidade Lógica e Aritmética

V - volt

VA - volt-ampère

VAR - volt ampère reativo

W - Watts

LISTA DE SÍMBOLOS

θ_v - Ângulo de fase

θ_i - Ângulo de corrente

π - Pi (constante cujo valor corresponde a 3,14159.....)

ω - Velocidade angular [rad/s]

A/D - analógico-digital

FP - Fator de potência

$i(t)$ - Corrente instantânea

I_{cc} - Corrente em CC

I_m - Corrente de pico

j - número imaginário $j = -1$

$p(t)$ - Potência instantânea

P - Potência média

P_{cc} = Potência em CC

$v(t)$ - Tensão instantânea

V_{ca} - Tensão alternada

V_{cc} - Tensão contínua

V_m - Tensão de pico

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	4
RESUMO	5
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	10
LISTA DE SÍMBOLOS	12
SUMÁRIO	13
INTRODUÇÃO	15
1.1 Tema	17
1.1.1 Delimitação do tema	17
1.2 Objetivo geral	17
1.2.1 Objetivos específicos	18
1.3 Justificativa	18
1.4 Estrutura do trabalho	19
2 REVISÃO TEÓRICA	20
2.1 A potência elétrica	20
2.1.1 Potência instantânea	21
2.1.2 Potência média	22
2.1.3 Valor eficaz (RMS)	24
2.1.4 Potência aparente	27
2.1.5 Potência reativa	28
2.1.6 Potência ativa	28
2.1.7 Potência complexa	29
2.1.8 Fator de potência	31
2.1.9 O triângulo das potências	32
	13

2.1.10 Medição de potência	33
2.2 Hardware	35
2.2.1 Microcontrolador	35
2.2.1.1 Arquiteturas	36
2.3 Software	37
2.3.1 Linguagem de programação	38
2.3.1.1 Linguagem de programação C	38
2.3.2 IDE	39
2.3.3 Compilador	39
2.3.4 Firmware	39
2.4 Wi-Fi	40
2.5 Servidor	40
2.6 Organização do setor elétrico brasileiro	41
2.6.1 ANEEL	44
2.7 O faturamento de energia elétrica	44
2.7.1 Consumo de energia elétrica	48
2.7.2 Energia reativa	49
2.7.3 Fatura de energia elétrica residencial	49
3 O SISTEMA DE MONITORAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA	52
3.1 Desenvolvimento do hardware	52
3.2 Medição da tensão	54
3.3 Medição da corrente	60
3.4 Medição do ângulo de defasagem	63
3.5 O circuito eletrônico	64
3.6 A configuração do DDNS	67
3.7 A construção da página web	70
4 RESULTADOS	73
5 CONCLUSÃO	81
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
7 ANEXO	86

INTRODUÇÃO

Um dos principais indicadores do produto interno bruto (PIB) é o consumo de energia elétrica. Conforme o desenvolvimento econômico avança, se consome mais energia elétrica em todos os setores, seja na indústria, no comércio ou nas residenciais. O aumento do consumo energético é sinônimo de maior produtividade, aumento do conforto em nossas residências, aquisição de máquinas, equipamentos e eletrodomésticos (ANEEL, 2008).

Em momentos de avanço econômico ou mesmo em crises a fatura de energia elétrica é uma conta que muitas vezes passa despercebida de nosso controle, talvez pela falta de tal hábito. Por muitas vezes a chegada da conta de luz, como é conhecida popularmente, é uma surpresa para nós consumidores. Esse fato ocorre devido a dois fatores principais. Primeiro porque não temos esse indicador à nossa disposição de fácil acesso, e segundo porque a conta de energia elétrica é formada por diversos fatores que podem tornar o seu entendimento um pouco complexo para os clientes das concessionárias de energia elétrica.

A fatura de energia elétrica é composta pelo custo do kWh, pela bandeira tarifária que está sendo aplicada no período e ainda por diversos impostos incididos, como o PIS, COFINS, ICMS e CIP (ANEEL, 2020).

Hoje já contamos com algumas facilidades e mobilidades em diversos serviços, como são os casos da conta telefônica, *internet*, TV a cabo e outros que disponibilizam um acompanhamento e controle *online* através de aplicativos para *smartphones*. Um indicador tão essencial como a energia elétrica não pode ficar de fora dessa lista. Segundo pesquisa do Instituto de Desenvolvimento Estratégico do

Setor Energético (ILUMINA) realizada em 2016, o brasileiro precisa trabalhar em média 11,1 horas para pagar a sua conta de energia elétrica. Segundo dados da Agência Internacional de Energia (AIE), o Brasil é o país onde o consumidor precisa trabalhar o maior número de horas para garantir a sua energia elétrica.

Também ficamos atrás de outros países no quesito liberdade de escolha de fornecedores quando o assunto é energia elétrica. Segundo pesquisas da ABRACEEL, o Brasil ocupa o penúltimo lugar no *ranking* de liberdade de comercialização de energia, ficando na frente apenas da China em uma lista de 56 países. Infelizmente o consumidor residencial ainda está preso à concessionária de sua área de concessão. Não é a mesma realidade de consumidores industriais, que desde 1998 podem negociar de forma livre a compra de sua energia. Existe uma proposta de modificação desse modelo de estrutura na Câmara, através de um projeto de lei que defende a abertura do mercado livre para todos os consumidores atendidos pela alta e média tensão até 2026. Com isso, as expectativas de que o mercado livre chegue ao consumidor residencial de baixa tensão fica para mais tarde.

Segundo a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), atualmente 30% do consumo da energia elétrica brasileira é através do mercado livre. Na Europa e em países de primeiro mundo como os Estados Unidos, todos os consumidores, incluindo os residenciais, têm a liberdade de negociação de sua energia elétrica.

Levantada tal necessidade, o presente trabalho vem implementar um sistema de monitoramento de energia elétrica para que os consumidores monofásicos de baixa tensão tenham o controle de suas faturas de energia elétricas. O sistema consiste em um dispositivo eletrônico capaz de realizar as medições da potência média, dos valores RMS (*Root Mean Square*) da tensão e corrente elétrica, da potência média acumulada em kWh e com isso calcular os valores gastos com energia elétrica. São disponibilizados dados indicadores, como tensão em volts, potência média em watts, potência média acumulada em kWh e gastos em reais, através de uma página *web* que pode ser acessada por um *smartphone*, *tablet*, *pc*, *notebook* ou qualquer equipamento munido de um navegador de *internet*.

1.1 Tema

O presente trabalho trata do projeto e implementação de um sistema de monitoramento de consumo de energia elétrica para circuitos monofásicos de baixa tensão. O dispositivo proposto realiza a medição da potência média, da potência média acumulada, da tensão elétrica e disponibiliza tais indicadores assim como os gastos em reais calculados levando em consideração as tarifas aplicadas. Os dados são disponibilizados através de uma página *web*. Possibilitando ao usuário um controle de seus gastos com energia elétrica.

1.1.1 Delimitação do tema

A proposta do sistema de monitoramento de consumo de energia elétrica para circuitos monofásicos de baixa tensão se dá através da utilização de um microcontrolador ESP32, de um circuito sensor de tensão e um transformador de corrente para a realização das medidas da potência média em tempo real dada em watts, da medição da corrente elétrica RMS em ampéres, da medição da tensão elétrica RMS em volts e da potência média acumulada em kWh. Os indicadores, tensão elétrica, potência média, potência média acumulada, e os gastos em reais calculados com base nas tarifas vigentes são disponibilizados em uma página *web* desenvolvida em HTML.

1.2 Objetivo geral

Desenvolver um protótipo eletrônico que realiza medições de potência média atual e acumulada e disponibiliza os dados em uma página *web*. Tem por objetivo monitorar o consumo de energia elétrica do usuário a fim de propor um controle de gastos.

1.2.1 Objetivos específicos

Os objetivos deste trabalho são:

- Desenvolver um protótipo eletrônico que realiza medições de potência média atual e acumulada e ainda o cálculo do valor a ser pago na fatura de energia elétrica, voltado para circuitos monofásicos de baixa tensão;
- Realizar a programação do microcontrolador ESP32 em linguagem C para interpretar as medições de tensão e corrente apresentadas nas suas entradas analógicas e realizar os cálculos necessários para disponibilizar os indicadores citados;
- Desenvolver uma página *web* em HTML que pode ser acessada através de qualquer navegador a fim de disponibilizar o monitoramento do consumo de energia elétrica, potência média atual, e potência média acumulada para o consumidor planejar seus gastos com energia elétrica.

1.3 Justificativa

O cidadão brasileiro é um dos mais onerados quando se trata da fatura de energia elétrica. Segundo estudos, precisamos trabalhar em média 11,1 horas para pagar a conta de energia elétrica enquanto consumidores do Canadá, por exemplo, precisam trabalhar apenas 1,6 horas em média.

O consumidor residencial não realiza o controle de seus gastos com energia elétrica devido a complexidade da fatura e também pelo fato de não ter a disposição esse monitoramento. A maioria dos consumidores residenciais não sabe como é composta a fatura de sua conta. A fatura de energia elétrica é realmente complexa para leigos, é formada pelo preço do kWh, pela bandeira tarifária que pode ser verde, amarela ou vermelha de acordo com o preço da geração de energia que varia com a utilização de mais ou menos termelétricas, devido a variação dos níveis dos

reservatórios de água das hidrelétricas, e ainda os impostos incididos, que são o PIS, COFINS, ICMS e CIP.

Este trabalho vem propor o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de energia elétrica residencial que visa propor um controle dos gastos com tal fatura. O sistema conta com a disponibilidade de informações como a tensão elétrica, a potência média, o consumo acumulado, e a previsão de gastos em reais já calculada com os impostos incididos. Se dá através de uma página *web* que pode ser acessada de qualquer local que tenha acesso a *internet* e um navegador. Poderá ser acessada por um *smartphone*, *tablet*, *notebook* ou *pc* apenas digitando o endereço no navegador de *internet*.

1.4 Estrutura do trabalho

No primeiro capítulo é apresentada a introdução do trabalho, onde são abordados o tema a sua delimitação, os objetivos gerais e específicos e ainda a justificativa da proposta.

No segundo capítulo é introduzida a revisão teórica onde é embasado o trabalho dentro da bibliografia atual.

No terceiro capítulo é apresentado o desenvolvimento do projeto em si, é mostrado o dimensionamento dos circuitos de hardware assim como seus componentes escolhidos, também é apresentado o desenvolvimento de software.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos com o projeto.

No quinto capítulo são explanadas as conclusões obtidas ao decorrer do trabalho.

2 REVISÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentado o referencial teórico onde este trabalho está embasado. A revisão teórica é constituída por duas grandes áreas. A primeira baseada na teoria da medição da potência elétrica e a utilização de tecnologias como as redes *Wi-Fi*, microprocessamento e linguagens de programação. Ainda no capítulo são explanados e discutidos os métodos de medição a fim de fundamentar a técnica utilizada no projeto.

A segunda área diz respeito a conceitos mais sistêmicos, onde é apresentada a estrutura do setor elétrico brasileiro, passando pelos órgãos ao qual o constituem e chegando até as contas de energia elétrica dos consumidores residenciais, dessa maneira norteando o trabalho.

Todos esses conhecimentos que estão aqui abordados se fazem necessários para o desenvolvimento do sistema de monitoramento de energia elétrica.

2.1 A potência elétrica

A potência elétrica é o valor mensurável mais importante dentro da eletricidade, a energia está a todo instante sendo transferida de um ponto a outro. Todo equipamento elétrico, seja de uso residencial, comercial ou industrial tem sua potência elétrica nominal definida. A potência elétrica é transferida das usinas de geração até o ponto de consumo através da corrente alternada. No Brasil, com frequência nominal de 60 Hz, essa característica permite sua transmissão a longas

distâncias com menores perdas se comparada a corrente contínua (SADIKU; ALEXANDER, 2011).

2.1.1 Potência instantânea

A potência instantânea é a potência drenada por um equipamento em um instante de tempo. É definida pelo produto da tensão instantânea e da corrente instantânea absorvida, essa grandeza é expressa em watts (W) (SADIKU; ALEXANDER, 2011).

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) \quad [1]$$

Onde, definimos a tensão elétrica instantânea $v(t)$ e corrente elétrica instantânea $i(t)$:

$$v(t) = V_m \cdot \cos(\omega t + \theta_v) \quad [2]$$

$$i(t) = I_m \cdot \cos(\omega t + \theta_i) \quad [3]$$

Onde:

V_m = Tensão de pico;

I_m = Corrente de pico;

$\omega = 2\pi/T$ = Velocidade angular, onde T = período ;

θ_v = Ângulo de fase;

θ_i = Ângulo de corrente.

Substituindo [2] e [3] em [1], temos:

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) = V_m \cdot I_m \cdot \cos(\omega t + \theta_v) \cdot \cos(\omega t + \theta_i) \quad [4]$$

Com a ajuda da identidade trigonométrica abaixo:

$$\cos A \cdot \cos B = \frac{1}{2} \cdot [\cos(A - B) + \cos(A + B)] \quad [5]$$

Aplicamos [5] em [4]:

$$p(t) = \frac{1}{2} \cdot V_m \cdot I_m \cdot \cos(\theta_v - \theta_i) + \frac{1}{2} \cdot V_m \cdot I_m \cdot \cos(2\omega t + \theta_v + \theta_i) \quad [6]$$

Essa equação sugere duas características da potência instantânea que estão relacionadas aos dois termos dela. O primeiro termo não depende do tempo, portanto é constante, seu valor depende da diferença de fase da tensão e da corrente. O segundo termo depende do dobro da frequência angular.

Valores instantâneos são difíceis de serem medidos. Assim, valores médios são mais convenientes de serem mensurados. Muitos instrumentos mostram leituras de valores médios. Sabendo disso, é definida a potência média a seguir.

2.1.2 Potência média

A potência média é definida pela seguinte equação:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt \quad [7]$$

Onde:

P = Potência média [W];

T = Período dado em segundos [s], definido por $\frac{1}{F}$ onde F = frequência [Hz].

Aplicando [6] em [7], temos:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T \left[\frac{1}{2} \cdot V_m \cdot I_m \cdot \cos(\theta_v - \theta_i) + \frac{1}{2} \cdot V_m \cdot I_m \cdot \cos(2\omega t + \theta_v + \theta_i) \right] dt$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot V_m \cdot I_m \cdot \cos(\theta_v - \theta_i) \cdot \frac{1}{T} \int_0^T 1 dt + \frac{1}{2} \cdot V_m \cdot I_m \cdot \frac{1}{T} \int_0^T \cos(2\omega t + \theta_v + \theta_i) dt$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot V_m \cdot I_m \cdot \cos(\theta_v - \theta_i) \cdot \frac{1}{T} \cdot T + 0$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot V_m \cdot I_m \cdot \cos(\theta_v - \theta_i) \quad [8]$$

A equação é formada por dois termos análogos à equação da potência instantânea. No desenvolvimento da equação da potência média podemos verificar que o primeiro termo é constante e fica de fora da integração e o segundo termo é a média de uma função senoidal, sabemos que resulta em zero pois o semiciclo positivo se anula com o semiciclo negativo. Outro detalhe importante é que não interessa o sinal entre $\theta_v - \theta_i$ e sim a defasagem entre tensão e corrente. Observa-se que o valor da potência instantânea varia com o tempo, ao passo que a potência média não depende do tempo.

Outra análise interessante que devemos abordar é a potência média em circuitos puramente resistivos e puramente reativos.

Sabendo que em um circuito puramente resistivo não existe diferença angular entre tensão e corrente, assim $\theta_v - \theta_i = 0$ e $\cos(0) = 1$. Dessa forma a potência média pode ser calculada apenas por:

$$P = \frac{1}{2} \cdot V_m \cdot I_m \quad [9]$$

Da mesma forma, sabendo que um circuito puramente reativo, tanto capacitivo como indutivo, tem a diferença angular $\theta_v - \theta_i = \pm 90^\circ$, assim $\cos(90) = 0$. Ou seja, um circuito reativo puro não drena potência média.

Veremos mais adiante que a potência média e a potência ativa são equivalentes, porém em algumas esferas se costuma utilizar um termo ou outro.

2.1.3 Valor eficaz (RMS)

O conceito de valor eficaz ou RMS (*Root Mean Square*) surgiu da necessidade de saber qual é a potência drenada por uma carga puramente resistiva de uma fonte de tensão alternada. O valor eficaz das grandezas elétricas em CA é o valor equivalente da mesma grandeza comparada em CC que causa a mesma dissipação de calor em uma carga puramente resistiva. Por exemplo, se sabemos que uma tensão CC aplicada a um resistor de valor R resulta em uma potência P, analogamente, o valor eficaz da tensão CA que aplicado ao mesmo resistor R gera a mesma potência eficaz P em CA (SADIKU; ALEXANDER, 2011).

Consideremos um circuito constituído por uma fonte de tensão e um resistor R. Primeiro aplicamos ao resistor uma tensão contínua V_{cc} , de forma que podemos obter a potência absorvida por:

$$P_{cc} = V_{cc} \cdot I_{cc} \quad [10]$$

Onde:

P_{cc} = Potência em CC [W];

V_{cc} = Tensão em CC [V];

I_{cc} = Corrente em CC [A].

Sabemos pela Lei de Ohm que:

$$V = R \cdot I \quad [11]$$

Substituindo [11] em [10] obtemos:

$$P_{cc} = R \cdot I^2 \quad [12]$$

Agora voltamos ao nosso circuito e vamos analisá-lo com uma fonte de tensão alternada. Obtemos a potência média através da equação abaixo onde aplicamos [12] em [7] pois a Lei de Ohm também é utilizada em CA .

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T (i^2 \cdot R) dt$$

$$P = \frac{R}{T} \int_0^T i^2 dt \quad [13]$$

Agora igualando as potências cc e ca e considerando que a corrente I é a corrente de referência para valor eficaz já que obtivemos ela do circuito cc. Então aplicando a igualdade de [12] com [13] temos:

$$R \cdot I^2 = \frac{R}{T} \int_0^T i^2 dt$$

$$I_{eficaz} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad [14]$$

Seguindo a mesma análise podemos obter a equação da tensão eficaz:

$$V_{eficaz} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2 dt} \quad [15]$$

Os valores de tensão e corrente senoidais são normalmente expressos pelo seu valor eficaz (RMS). Por exemplo, na nossa conta de energia elétrica vem discriminado o nível de tensão ao qual a concessionária entrega, 220 Vca ou 127 Vca, esses valores são eficazes. Da mesma forma, os instrumentos de medida são construídos para informar seus valores eficazes (RMS).

2.1.4 Potência aparente

A potência aparente é dita como o produto dos valores de tensão e corrente RMS. Ou seja, não leva em consideração o termo $\cos(\theta_v - \theta_i)$ da equação da potência. A potência aparente é expressa pela unidade VA, volt-ampère. Esse valor de potência é dito aparente pois se fizermos uma analogia com a potência CC, se obtém o resultado apenas multiplicando os valores de tensão e corrente, e aparentemente podemos imaginar que a potência CA pode ser obtida da mesma forma.

A equação da potência aparente [S] é obtida:

$$S = V_{eficaz} \cdot I_{eficaz} \quad [16]$$

Onde:

S = Potência aparente, em volt-ampère [VA].

2.1.5 Potência reativa

A potência reativa é a medida do valor da energia trocada entre a fonte e as cargas reativas, capacitores e indutores. Sabemos que as cargas reativas não dissipam energia, elas realizam uma troca constante com a fonte. Essas cargas são ditas reativas pois reagem as grandezas elétricas, cargas capacitivas adiantam a corrente em relação a tensão e cargas indutivas atrasam a corrente em relação a tensão. Essas características influenciam no fator de potência, e se não utilizadas de forma correta podem acarretar em problemas na instalação como sobrecarga de condutores e atuação indevida de dispositivos de proteções.

Sua equação é definida abaixo:

$$Q = V_{eficaz} \cdot I_{eficaz} \cdot \text{sen}(\theta_v - \theta_i) \quad [17]$$

Onde:

Q = Potência reativa, dada em volt-ampère reativo [VAR].

2.1.6 Potência ativa

A potência ativa é igual a potência média, ou seja, são equivalentes, porém esse termo também é bastante utilizado. Podemos definir além das considerações do item 2.1.2, que essa potência comparada com as potências reativa e aparente, que ela é a realmente realiza trabalho em um sistema elétrico. Ela depende da resistência ou impedância dos circuitos. Outra denominação utilizada é a de potência útil. É através da medida dessa grandeza que pagamos nossa conta de energia elétrica, o consumo de potência real em Watts (W).

Sua equação é definida abaixo:

$$P = V_{eficaz} \cdot I_{eficaz} \cdot \cos(\theta_v - \theta_i) \quad [18]$$

Onde:

P = Potência ativa, dada em Watts [W].

No item 2.1.10 veremos a igualdade matemática das equações, onde confirmamos que potência ativa e média são equivalentes.

2.1.7 Potência complexa

A potência complexa é uma forma desenvolvida por engenheiros para expressar a potência de modo a conter todas as informações pertinentes pelas cargas do circuito medido. A potência complexa simbolizada por “S” é formada por duas partes, a primeira simbolizada pela letra “P” da potência ativa e a segunda simbolizada pela letra “Q” da potência reativa. A potência complexa é medida em volt-ampére [VA].

Considerando:

$$V = V_m \theta_v \quad [19]$$

$$I = I_m \theta_i \quad [20]$$

Podemos definir a potência complexa [S] sendo:

$$S = \frac{1}{2} \cdot V \cdot I^* \quad [21]$$

Assim:

$$S = V_{eficaz} \cdot I_{eficaz}^* \quad [22]$$

Onde I^* = conjugado complexo da corrente.

Portanto:

$$S = V_{eficaz} \cdot I_{eficaz} \cdot (\theta_v - \theta_i)$$

$$S = V_{eficaz} \cdot I_{eficaz} \cdot \cos(\theta_v - \theta_i) + jV_{eficaz} \cdot I_{eficaz} \cdot \sen(\theta_v - \theta_i) \quad [23]$$

Na equação [23] observamos que a magnitude da potência complexa é a potência aparente e o ângulo da potência complexa é o ângulo do fator de potência. Podemos comprovar com esta equação que o primeiro termo a direita da igualdade da potência complexa é o termo da potência ativa P , e o segundo, a potência reativa Q . O que nos leva a equação abaixo:

$$S = P + jQ \quad [24]$$

2.1.8 Fator de potência

O ângulo resultante da diferença entre os ângulos da tensão e da corrente $\theta_v - \theta_i$, é denominado ângulo do fator de potência e seu cosseno é o fator de potência. O ângulo do fator de potência também pode ser expresso pelo ângulo da

impedância da carga. O fator de potência pode ser relacionado ainda como o percentual de potência real que está sendo absorvido da potência aparente. Como o fator de potência pode variar entre zero e um, podemos dizer que ao medir um fator de 0,92 estamos com 92% da potência aparente sendo drenada como potência real, os 8% restantes são ditos potência reativa.

Temos a seguinte equação para o fator de potência (FP):

$$FP = \frac{P}{S} = \cos(\theta_v - \theta_i) \quad [25]$$

Assim, para uma carga puramente resistiva temos a diferença dos ângulos da tensão e corrente $\theta_v - \theta_i = \pm 0^\circ$ e o fator de potência $\cos(\theta_v - \theta_i) = 1$. E para uma carga puramente reativa, capacitiva ou indutiva, o ângulo resultante é $\theta_v - \theta_i = \pm 90^\circ$ e o fator de potência $\cos(\theta_v - \theta_i) = 0$. São utilizados os termos de fator de potência atrasado e fator de potência adiantado.

Se o fator de potência estiver adiantado é dito que a corrente está adiantada em relação a tensão, significando que o fator de potência é capacitivo, gerado por cargas capacitivas. Ao contrário, quando temos um fator de potência atrasado, dizemos que a corrente está atrasada em relação a tensão, dessa forma o fator de potência é indutivo, causado por cargas reativas indutivas.

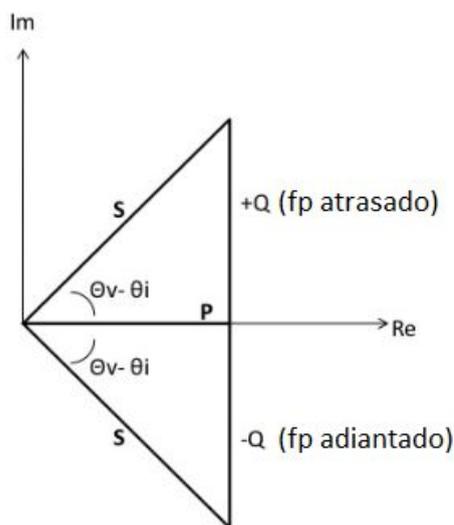
O fator de potência é controlado pela concessionária de energia para alguns tipos de consumidores, os dos grupo A e os subgrupos B2, B3 e B4 do grupo B, veremos mais adiante como são classificados os grupos de consumidores. Por exemplo em uma indústria onde a grande maioria das grandes é indutiva devido aos motores de indução o fator de potência vai ficando indutivo quanto mais motores forem sendo ligados, para contornar esse efeito e manter o fator de potência próximo ao valor unitário as empresas utilizam bancos de capacitores.

A má utilização da energia ou baixo fator de potência está passível de multas na conta de energia, veremos em outro capítulo mais detalhes.

2.1.9 O triângulo das potências

O triângulo das potências é uma representação utilizada na engenharia que relaciona as quatro grandezas envolvidas, a potência aparente complexa, a potência ativa (média), a potência reativa e o ângulo do fator de potência. Na figura 1 vemos o triângulo das potências representado em um plano cartesiano onde o eixo das abscissas representa a parte real, ou potência ativa (média) e o eixo das ordenadas representa a parte imaginária ou potência reativa. A potência aparente se dá pela hipotenusa no triângulo retângulo formado, na representação temos também o ângulo entre a hipotenusa e o cateto adjacente que é o ângulo do fator de potência, $\theta_v - \theta_i$.

Figura 1 - Triângulo das potências.



Fonte: SADIKU; ALEXANDER (2011).

A partir do triângulo das potências podemos definir a seguinte equação, utilizando o princípio de pitágoras:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad [26]$$

2.1.10 Medição de potência

A potência elétrica é medida por um instrumento chamado wattímetro, também conhecido como medidor de energia elétrica. Os primeiros wattímetros são instrumentos eletrodinâmicos, uma evolução do galvanômetro de D'Arsonval. D'Arsonval foi um médico, físico e inventor do século XIX, além do galvanômetro de bobina móvel ele inventou o amperímetro termopar, invenções de grande importância na jornada de evolução da instrumentação.

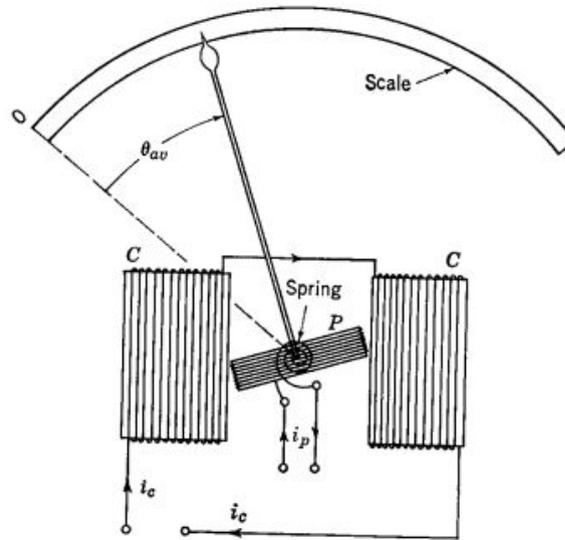
O wattímetro mede a potência média absorvida por circuitos através da medida da tensão e da corrente. O instrumento analógico é composto por duas bobinas, uma fixa, a bobina de tensão e outra móvel a bobina de corrente, conforme a figura 2. Quando as duas bobinas são energizadas o ponteiro produz um ângulo de deflexão que é proporcional ao valor resultante da equação abaixo:

$$P = |V_{eficaz}| \cdot |I_{eficaz}| \cdot \cos(\theta_v - \theta_i) = \frac{1}{2} \cdot V_m \cdot I_m \cdot \cos(\theta_v - \theta_i)$$

[27]

A equação acima nos comprova que o produto dos módulos dos valores eficazes de tensão e corrente multiplicados pelo cosseno da diferença de fases entre eles é igual a potência média. Ou seja, a potência ativa é igual a média.

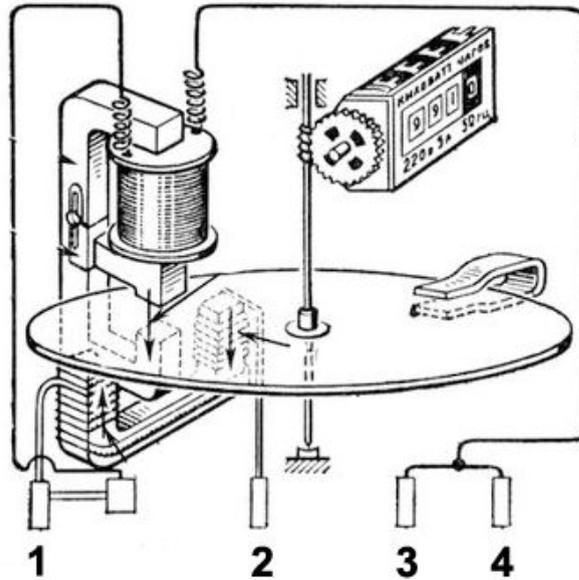
Figura 2 - Wattímetro.



Fonte: NOVA ELETRÔNICA (2020).

O medidor do consumo de energia elétrica residencial clássico é um instrumento com o mesmo princípio de funcionamento porém em vez de um ponteiro indicando a potência medida ele é equipado com um disco magnético que gira quando excitado pela força magnética resultante do produto das bobinas de tensão e corrente. Este disco está ligado a um mecanismo numérico que incrementa seu valor total dado em kWh. Atualmente os medidores de consumo de energia elétrica são instrumentos eletrônicos microprocessador que indicam suas grandezas através de *displays*. Existem algumas instalações onde o instrumento digital está equipado com tecnologia para enviar seus dados para a concessionária de forma remota.

Figura 3 - Medidor de energia elétrica convencional.



Fonte: NOVA ELETRÔNICA (2020).

2.2 Hardware

Hardware é um termo técnico de engenharia, sua tradução literária significa equipamento. O *hardware* é definido pelas partes físicas, eletrônicas de um microcomputador (GIMENEZ, 2002).

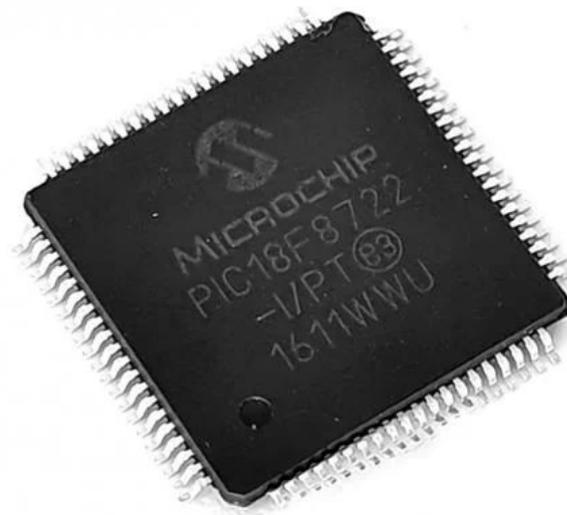
2.2.1 Microcontrolador

Em 1977 foi produzido o primeiro microcontrolador, batizado como 8048 pela empresa Intel, logo após surgiu seu sucessor o famoso 8051 (GIMENEZ, 2002). Podemos definir um microcontrolador como sendo um computador dentro de uma única pastilha de silício, nele estão integrados o processador (ULA - Unidade Lógica e Aritmética), memória PROM (*Programmable Read Only Memory*), memória RAM (*Random Access Memory*), periféricos de entrada e saída e outros que podem variar de modelo para modelo (MICROCHIP, 2020).

Muitas vezes são confundidos os microcontroladores e os microprocessadores, porém ambos diferem em suas funções. O microprocessador é onde são executadas as funções matemáticas e lógicas e ainda as tomadas de

decisões. Nele estão os registradores, são memórias rápidas que armazenam valores os quais estão sendo manipulados a cada instrução. O microprocessador necessita de seus periféricos para funcionar, ao contrário do microcontrolador que tem todas as funções incorporadas em seu chip (GIMENEZ, 2002).

Figura 4 - Microcontrolador PIC18F8722.



Fonte: Microchip Technology Inc. (2020).

2.2.1.1 Arquiteturas

Nos processadores de dados, microcontroladores ou microprocessadores, encontramos características distintas para a execução de suas instruções, que chamamos de arquiteturas. No aspecto relacionado à memória temos duas arquiteturas denominadas de Von Neumann e Harvard. A primeira tem a disposição apenas uma área de memória, assim executa uma instrução por vez. Já a arquitetura Harvard executa suas instruções com duas áreas de memória distintas, assim, enquanto executa uma instrução pode acessar a outra área de memória. Se compararmos as duas arquiteturas executando instruções na mesma frequência de *clock* temos a Harvard com um melhor desempenho.

Outra característica importante é referente ao conjunto de instruções que podem estar contidos em um processador. Nesse quesito existem duas arquiteturas, a RISC (Computador com Conjunto Complexo de Instruções) e a CISC (Computador com Conjunto Reduzido de Instruções).

Nos anos 80 havia uma tendência dos fabricantes de microcontroladores e microprocessadores em utilizar a arquitetura CISC em seus projetos. Porém essa tendência não se concretizou e alguns fabricantes optaram pela arquitetura RISC buscando um aumento da velocidade de processamento.

A arquitetura CISC tem como característica a simplificação do código fonte ficando o maior trabalho a cargo do processador, já que é portador de instruções complexas, contudo acaba consumindo um tempo importante de computação. A arquitetura RISC veio para ganhar em tempo de processamento com uma quantidade reduzida de instruções, porém o código fonte precisa ser mais trabalhado. Atualmente os projetos de microcontroladores utilizam as arquiteturas Harvard e RISC (DINIZ, 2009).

2.3 Software

A palavra *software* teve sua primeira aparição em 1958 em um artigo escrito pelo estatístico John Wilder Tukey. *Software* pode ser definido como uma sequência de instruções escritas em linguagem de programação a fim de informar a um microcomputador o que deve realizar, quais serão suas tarefas específicas. Os *softwares* sempre estão armazenados em uma memória.

Os *softwares* podem ser classificados em:

- *Software* de sistema: São programas que trazem um conjunto de informações processadas por um computador ou embarcado para tornar possível a interação do usuário com os periféricos da máquina;

- *Software* de aplicação: São programas de computador que permitem ao usuário realizar tarefas em áreas específicas como engenharia, matemática, jogos e programas industriais.
- *Software* de programação. São programas de computador que permitem aos profissionais de programação criarem seus próprios programas através de uma linguagem de programação.

2.3.1 Linguagem de programação

Para explicar o significado de linguagem de programação podemos fazer uma analogia a gramática das línguas naturais como o Português, Inglês e outras. Assim como qualquer língua, a linguagem de programação para ser escrita e fazer sentido deve seguir um conjunto de regras como a gramática. Existem diversas linguagens de programação que foram sendo criadas para atender demandas diversas. São exemplos de linguagens de programação o C, C++, C#, Java, BASIC, COBOL, Fortran, HTML, Pascal, Go, D, PHP, JavaScript, Python, Ruby, Perl, Lua, Lisp, Haskell e outras.

2.3.1.1 Linguagem de programação C

Em 1972 foi inventada a linguagem de programação C por Dennis M. Ritchie e Ken Thompson no laboratório Bell como uma sucessora da linguagem B que por sua vez é originada da ultrapassada linguagem BCPL.

A linguagem C é consagrada em diversas aplicações, está presente em sistemas operacionais, planilhas, editores de textos, sistemas de bancos de dados, jogos e outros. A linguagem C permite uma boa estruturação no desenvolvimento de um projeto e permite um trabalho em grupo, pois vários programadores podem trabalhar no mesmo programa e juntá-los ao final mantendo a funcionalidade e desempenho (MIZRAHI,2013).

2.3.2 IDE

IDE, do inglês *Integrated Development Environment* ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado. O ambiente de desenvolvimento nada mais é do que um editor de textos que irá receber a escrita da linguagem de programação compatível com ele.

Um IDE pode suportar várias linguagens de programação. O programa digitado em uma IDE é chamado de código fonte, ele é interpretado e traduzido por um compilador que o transformará em linguagem de máquina.

2.3.3 Compilador

O compilador é a ferramenta que faz a tradução da linguagem de programação escrita em uma IDE, por exemplo, em linguagem de máquina. O compilador lê instrução por instrução, verifica a consistência da semântica e, se não tiver nenhum erro, gera um código binário para que o microcontrolador possa interpretar (MIZRAHI, 2013).

2.3.4 Firmware

Firmware é um tipo de *software*, que é composto por um conjunto de instruções operacionais introduzidas diretamente no *hardware* de um dispositivo eletrônico. As informações são gravadas em um *chip* de memória não volátil, que não perde informação na desenergização. São memórias apenas de leitura que podem ser do tipo ROM (*Read Only Memory*), PROM (*Programmable Read Only Memory*), EPROM (*Erasable Programmable Read Only Memory*), EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) ou flash. O código fonte gerado pela escrita da linguagem de programação em uma IDE, é um exemplo de programação de um *firmware*. Um caso típico é a transferência de instruções operacionais para um microcontrolador através de um gravador de memória (GIMENEZ, 2002).

2.4 Wi-Fi

O termo *Wi-Fi* é originado de uma logo marca registrada da *Wi-Fi Alliance*, e surgiu de uma alusão a um termo que ficou muito conhecido desde os anos 1950 que era sinônimo de ótima qualidade e confiabilidade em sistemas de áudio, o consagrado Hi-Fi. A *Wi-Fi Alliance* surgiu em 1999 com a união de várias empresas visionárias para formar um grupo sem fins lucrativos que tem o objetivo de conectar tudo e todos com uma tecnologia sem fio (*Wi-Fi Alliance*, 2020).

A tecnologia *Wi-Fi* torna possível a comunicação entre equipamentos sem a utilização de fios e cabos, ela troca dados através da radiofrequência, ondas excursionadas pelo ar. Para que isso seja possível a tecnologia segue um conjunto de especificações baseadas no padrão IEEE 802.11. Essas especificações são verificadas pela *Wi-Fi Alliance* para que o produto leve o selo *Wi-fi Certified* e dessa forma seja totalmente confiável e compatível com outros dispositivos certificados. O padrão IEEE 802.11 dita as regras de utilização da rede sem fio, devido a comunicação por radiofrequência O IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*) determinou que a faixa de frequência a ser utilizada seria entre 2,4 GHz e 2,4835 GHz, faixa que está dentro de uma banda que não necessita de aprovação de entidades para ser utilizada, são as faixas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*). O padrão IEEE 802.11 tem diversas versões, basicamente ele iniciou com o 802.11 original com a capacidade de transmissão de taxa de 1 Mb/s, no ano de 1997, e vem em evolução constante, atualmente com o 802.11ac ou também conhecido como 5G Wi-Fi (INFOWESTER, 2020).

2.5 Servidor

O servidor como o próprio nome sugere é um sistema criado para servir seus clientes. Os servidores realizam serviços de gerenciamento, controle, armazenamento e *backup* de todos os tipos de dados. Os servidores precisam de um *hardware* para funcionar em conjunto com um *software*, sendo que esse pode ser um sistema operacional. O local onde estão instalados os grandes servidores físicos são conhecidos como *data centers*. Empresas que oferecem serviços de

armazenamento de dados contam com grandes estruturas, como é o caso da gigante de tecnologia, *Google*. Existem também pequenas aplicações, podemos contar com um servidor para gerenciar as impressões de uma impressora de uso compartilhado em um escritório por exemplo.

Os tipos mais comuns de servidores são:

- Servidor de arquivos;
- Servidor de bancos de dados;
- Servidor de mídia;
- Servidor de *e-mail*;
- Servidor de FTP (*File Transfer Protocol*);
- Servidor *proxy*;
- Servidor *Web*;
- Servidor de impressão;
- Servidor DNS (*Domain Name System*);
- Servidor em nuvem (*cloud*).

2.6 Organização do setor elétrico brasileiro

A estrutura do setor elétrico brasileiro passou por duas transformações importantes desde 1990. A primeira em 1996 que instituiu a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), neste ano foi implementado o modo de concorrência ou leilão para a exploração da hidroeletricidade e ainda a privatização de companhias do sistema elétrico.

A segunda mudança foi a introdução do chamado novo modelo do setor elétrico, ocorrido em 2004. Nesse momento foram implementados programas para garantir a segurança do suprimento de energia para o país, evitando apagões como os ocorridos entre 2000 e 2002.

No mesmo ano de 2004 foi implementado o programa governamental, Luz para Todos, que consiste em um conjunto de medidas para levar eletricidade para as localidades mais remotas com subsídios do governo. No novo modelo do setor

elétrico de 2004 foram criados dois ambientes de celebração de contratos, o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL).

No ACR as negociações são entre geradoras e distribuidoras, porém os valores são regulados pela ANEEL. E no ACL participam geradoras, comercializadoras, importadoras, exportadoras e consumidores livres.

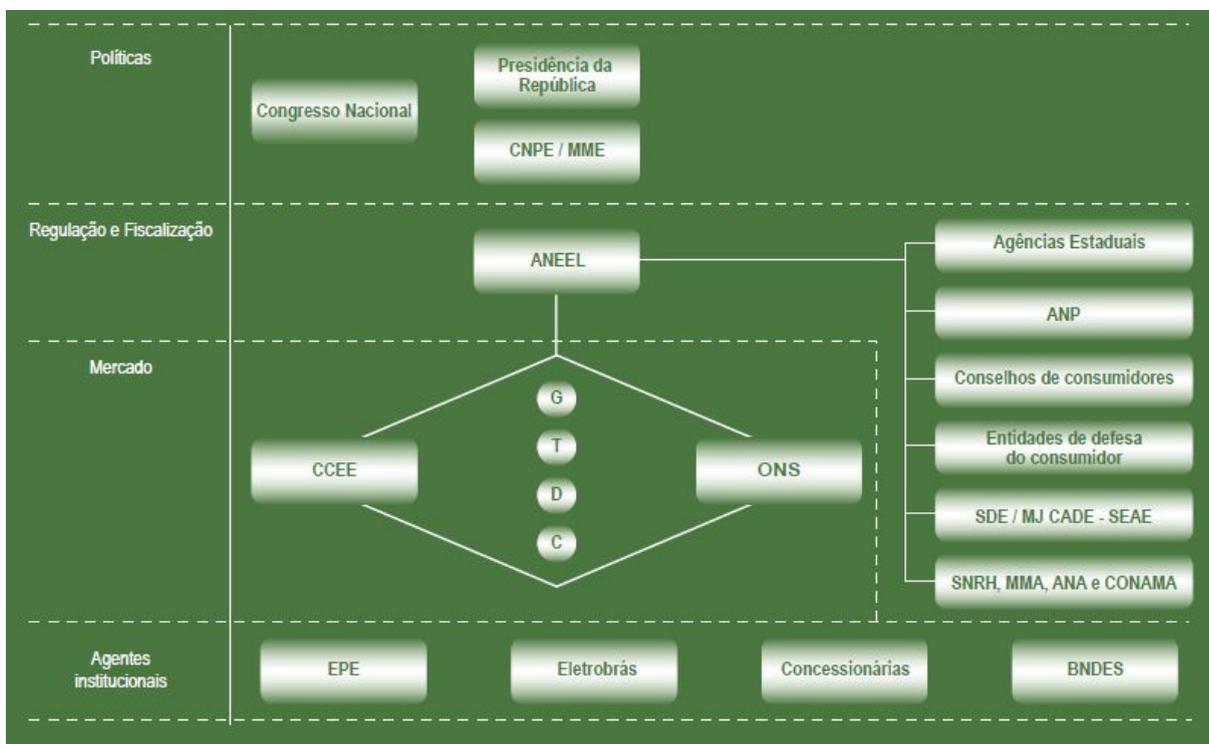
A estrutura institucional do setor elétrico brasileiro é dividida em quatro partes na hierarquia e cada uma delas conta com seus órgãos para manter a estrutura em equilíbrio e desenvolvimento. A primeira parte, diz respeito a políticas no topo da hierarquia através do Poder Executivo Federal por meio do Ministério de Minas e Energia (MME) assessorado pelo Conselho Nacional de Políticas Energéticas (CNPE) com o apoio do Congresso Nacional.

Logo abaixo da estrutura vem a segunda parte, intitulada de regulação e fiscalização, de responsabilidade da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A terceira parte é responsável pelo mercado, estão inseridos a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Na quarta e última parte estão os agentes institucionais como a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a Eletrobrás, as concessionárias e o Banco Nacional de Desenvolvimento Social e Econômico BNDES.

A Eletrobrás tem controle acionário pelo Governo Federal brasileiro e está presente na geração, transmissão e distribuição do sistema elétrico.

O BNDES é um banco de desenvolvimento controlado pelo Governo Federal, é importante para o setor elétrico, pois tem uma linha de iniciativas para modernização e tecnologia.

Figura 5 - Estrutura institucional do setor elétrico brasileiro.

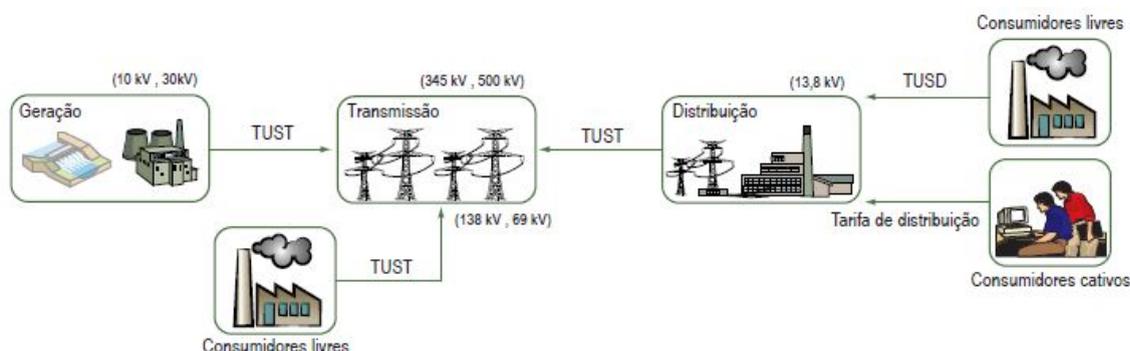


Fonte: ANEEL, Atlas de energia elétrica do Brasil, 3 ed (2008).

O sistema elétrico é subdividido em três, a geração, a transmissão e a distribuição. A geração e a transmissão do Brasil fazem parte do Sistema Interligado Nacional (SIN), consiste em uma rede com conjuntos de usinas e linhas de transmissão que atendem as cinco regiões geográficas do nosso país, as regiões Sul, Sudeste, Centro-oeste, Norte e Nordeste.

Ainda existem sistemas isolados principalmente na região da Amazônia devido às dificuldades por parte das características geográficas. A etapa de distribuição diz respeito à conexão e atendimento ao consumidor final da energia. Essa subdivisão é de responsabilidade das distribuidoras de energia elétrica, também chamadas de concessionárias, permissionárias ou autorizadas.

Figura 6 - O sistema elétrico brasileiro.



Fonte: ANEEL, Atlas de energia elétrica do Brasil, 3 ed (2008).

2.6.1 ANEEL

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é responsável por normatizar as políticas e as diretrizes determinadas pelo Governo Federal para o setor elétrico. Cabe à ANEEL controlar a tarifação da eletricidade no Brasil (ANEEL, 2020).

2.7 O faturamento de energia elétrica

Nas décadas de 70 a 90 a fatura de energia elétrica era composta por uma tarifa única para todo o país. Dessa forma o montante arrecadado era distribuído pelas concessionárias de cada estado, assim a empresa dando lucro ou não era mantida. Por diversos motivos esse modelo entrou em colapso e em 1995 foi aprovada a lei nº 8.987 que assegurou o equilíbrio no setor. Foi estabelecida uma tarifa para cada área de concessão. Assim as tarifas de cada região tem suas características, como número de consumidores, extensão da rede, custo com a compra da energia gerada e tributos estaduais.

As concessionárias compram a energia na geração, porém o transporte da energia da geração até o consumidor final é um monopólio, dessa forma a ANEEL atua para garantir uma tarifa justa. O fato é que o consumidor final paga embutida na sua conta de luz a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, e ainda todos os encargos e tributos destinados ao poder público (CEMIG, 2020).

Os encargos são definidos pelo Congresso Nacional, abaixo o objetivo de cada um:

- CCC - Conta de Consumo de Combustíveis: Subsidiar a geração térmica aplicado principalmente na região norte do país;
- RGR - Reserva Global de Reversão: Indenizar ativos vinculados à concessão e fomentar a expansão do setor elétrico;
- TFSEE - Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica: Prover recursos para o funcionamento da ANEEL;
- PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica: Subsidiar as fontes alternativas de energia elétrica;
- P&D - Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética: Promover pesquisas científicas e tecnológicas relacionadas à eletricidade e ao uso sustentável dos recursos naturais;
- CDE - Conta de Desenvolvimento Energético: Propiciar o desenvolvimento energético a partir das fontes alternativas, promover a universalização do serviço de energia e subsidiar as tarifas da subclasse residencial (baixa renda);
- ESS - Encargos e Serviços do Sistema: Subsidiar a manutenção da confiabilidade e estabilidade do Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN);
- ONS - Operador Nacional do Sistema: Promover recursos para o funcionamento do ONS;
- CFURH - Compensação Financeira pelo Uso de Recursos Hídricos: Compensar financeiramente o uso da água e terras produtivas para fins de geração de energia elétrica;
- Royalties de Itaipu: Pagar a energia gerada de acordo com o Tratado Brasil/Paraguai.

Fonte: Superintendência de Regulação Econômica (SRE) - ANEEL, 2007.

Os tributos são valores devidos ao governo para garantir suas atividades. No nosso país os tributos estão incididos em todos os bens e serviços, ou seja, contempla a nossa conta de energia elétrica. Os tributos são arrecadados pela empresa prestadora de serviço e depois repassados ao governo. Os tributos estão divididos em federais, estaduais e municipais, são eles:

Tributos federais:

- PIS - Programa de Integração Social;
- COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social;

Tributo estadual:

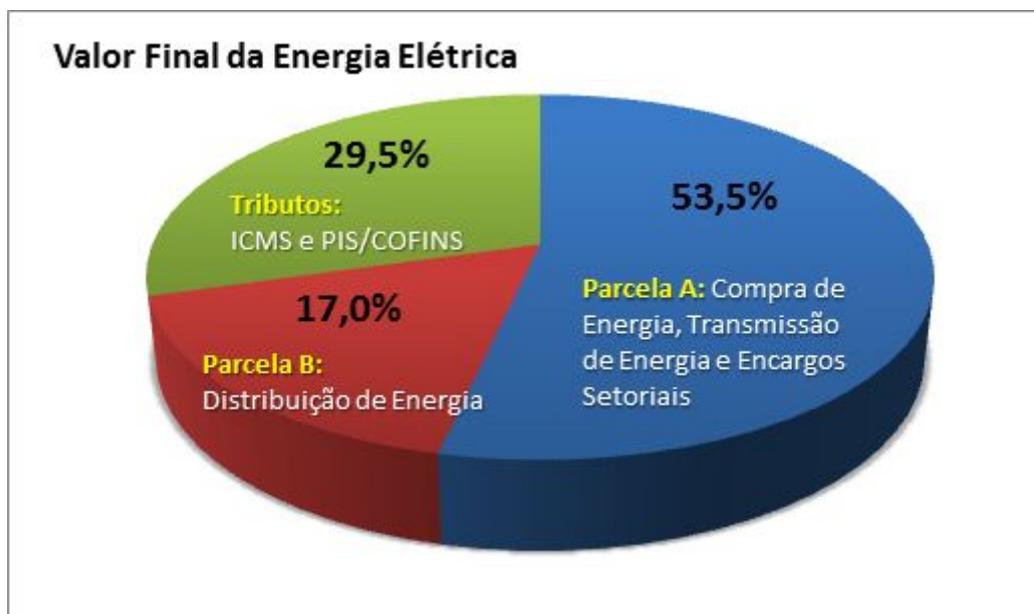
- ICMS - Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços.

Tributo municipal:

- CIP - Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública.

Vale ressaltar que a inadimplência e os furtos (gatos), assim como as perdas técnicas, também estão embutidas na fatura de energia elétrica. A ANEEL vê essa questão de forma particular e estimula as concessionárias a eliminarem esses problemas a fim de não onerar o consumidor que paga sua conta de luz em dia.

Figura 7 - Gastos por componente na conta de luz.



Fonte: Superintendência de Regulação Econômica (SRE) - ANEEL (2017).

Os consumidores são classificados em dois grupos, o grupo A que é formado por consumidores de alta tensão e o grupo B formado por consumidores de baixa tensão. Dentro deles estão divididos o grupo A em outros seis subgrupos e o grupo B em outros quatro subgrupos.

Os subgrupos A estão divididos pela classe de tensão de fornecimento, já nos subgrupos B se enquadram todos os consumidores que recebem tensão abaixo de 2,3 kV não subterrânea e com carga instalada inferior a 75 kW, como veremos abaixo.

Grupo A:

- A1 - Tensão igual ou superior a 230 kV;
- A2 - Tensão de 88 kV a 138 kV;
- A3 - Tensão de 69 kV;
- A3a - Tensão de 30 kV a 44 kV;
- A4 - Tensão de 2,3 kV a 25 kV;
- AS - Tensão inferior a 2,3 kV com fornecimento subterrâneo.

Grupo B

- B1 - Residencial;
- B2 - Rural;
- B3 - Demais classes;
- B4 - Iluminação pública.

As tarifas e as faturas podem ser diferentes para cada grupo. Para o grupo A a fatura de energia é formada pela demanda contratada e consumo total. Existem ainda três modalidades tarifárias para o grupo A: convencional, horo-sazonal azul e horo-sazonal verde.

Para o grupo B a fatura é mais simples, cobrada apenas pelo consumo total. Uma questão muito importante nas faturas de energia elétrica são as multas que podem ocorrer por excedente de energia reativa, estão sujeitos a essa cobrança todo o grupo A e os subgrupos B2, B3 e B4.

2.7.1 Consumo de energia elétrica

O consumo de energia elétrica é a soma da quantidade total da energia consumida no período de um mês, medida através da potência ativa em kWh. Um instrumento faz a leitura na entrada da energia, denominado wattímetro, podemos fazer uma analogia com o hidrômetro que mede o volume total de água consumida em um mês. O wattímetro originalmente é um instrumento analógico e vem sendo substituído por instrumentos digitais.

2.7.2 Energia reativa

As concessionárias estão autorizadas pela ANEEL respaldadas pela resolução normativa REN 414/2020 a cobrança de multa por excedente de energia reativa. Os consumidores que estão enquadrados são todos do grupo A e os subgrupos B2, B3 e B4 do grupo B. O subgrupo B1 não pode ser faturado por excedente de energia reativa.

2.7.3 Fatura de energia elétrica residencial

A fatura de energia elétrica residencial ou popularmente conhecida, conta de luz, é formada pelo consumo em kWh da TUSD, Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição, somado ao consumo em kWh da TE, Tarifa Elétrica, mais os impostos incididos que são ICMS, PIS/COFINS e ainda a tarifa de iluminação pública municipal, CIP. Na figura 8 podemos verificar um exemplo de fatura de energia elétrica residencial da concessionária de energia RGE SUL.

O ICMS pago na fatura de energia elétrica é de 30 %, incidido sobre os consumos da TUSD e da TE. Verificamos na fatura mostrada na figura 8 que o ICMS sobre a TUSD teve um custo de R\$ 31,22, 30 % de R\$ 104,07. Já o mesmo imposto incidido sobre a TE foi de R\$ 29,05, 30 % de R\$ 96,82. Somando o ICMS total da fatura fica em R\$ 60,27. O PIS, da mesma forma é incidido tanto na TUSD como na TE, sua alíquota é 1,14 %. Na TUSD, 1,14 % de R\$ 104,07 é R\$ 1,19, assim como na TE 1,14 % de 96,82 é R\$ 1,10. Totalizando R\$ 2,29 o total na fatura. Seguindo a regra dos impostos a alíquota do COFINS é 5,28 %. Na TUSD, 5,28 % de R\$ 104,07 é R\$ 5,49, e na TE 5,28 % de 96,82 é R\$ 5,11. Totalizando R\$ 10,60 no total relacionado a COFINS na fatura. Somando todos os impostos da fatura temos um total de R\$ 73,16, equivalentes a 36 % dos gastos com consumo e distribuição de energia elétrica. Fora os impostos citados a fatura de energia elétrica conta com mais um item que é calculado a parte, o CIP, referente a contribuição com a iluminação pública. Cada município tem sua cobrança determinada por lei, em Lajeado/RS, por exemplo, é através da lei n° 6902 de 2002. Nela consta que a alíquota do CIP é de 4,5 % sobre o valor dos gastos com consumo e distribuição de

energia elétrica. Na fatura em questão temos um gasto total sem os impostos anteriores de R\$ 200,89 - 60,27 - 2,29 - 10,60 = R\$ 127,73, calculando os 4,5 % temos um custo com CIP de R\$ 5,74. Uma observação importante sobre a lei do CIP de lajeado é que consumidores residenciais com consumo de até 70 kWh e consumidores rurais com consumo de até 90 kWh estão isentos desta cobrança.

Figura 8 - Fatura de energia elétrica residencial.

DADOS DA UNIDADE CONSUMIDORA													
[REDACTED]		[REDACTED]		Classificação: Convencional B1 Residencial - Monofásico 220 V									
ATENDIMENTO	PN	SEU CÓDIGO	CONTA/MÊS	VENCIMENTO	TOTAL A PAGAR (R\$)								
0800 970 0900	[REDACTED]	[REDACTED]	ABR/2020	16/04/2020	206,63								
www.rge-rs.com.br													
DISCRIMINAÇÃO DA OPERAÇÃO - RESERVADO AO FISCO													
Cod.	Descrição da Operação	Mês	Quant.	Unid.	Tarifa com	Valor Total da	Base Cálculo	Aliq.	ICMS	Base Cálculo	PIS	COFINS	Bandeiras
115	Nº 901852914754	Ref.	Faturada	Med.	Tributos	Operação	ICMS	ICMS	PIS/COFINS	1,14%	5,28%	Tarifárias	
0605	Consumo Uso Sistema [kWh]-TUSD	ABR/20	228,000	kWh	0,45644737	104,07	104,07	30,00	31,22	104,07	1,19	5,49	Verde
0601	Consumo - TE	ABR/20	228,000	kWh	0,42464913	96,82	96,82	30,00	29,05	96,82	1,10	5,11	22 Dias
Total Distribuidora						200,89							Verde
DÉBITOS DE OUTROS SERVIÇOS													
0807	Contrib. Custeio IP-CIP Municipal	ABR/20				5,74							06 Dias
TOTAL CONSOLIDADO							206,63	200,89	60,27	200,89	2,29	10,60	

Fonte: Autor.

Na figura 9, no corpo da fatura, abaixo da discriminação da operação podemos observar outras informações interessantes como o histórico de consumo, as tarifas determinadas pela ANEEL (sem impostos) para a TUSD e para a TE, os detalhes do medidor e datas das leituras realizadas pelo leiturista da concessionária.

Figura 9 - Detalhes da fatura de energia elétrica.

HISTÓRICO DE CONSUMO			TARIFA ANEEL			EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO / DATAS DE LEITURA							
	kWh	Dias	Consumo	TUSD	TE	Nº	Energia	Leitura	Leitura	Fator	Consumo	Taxa de Perda	Leitura
			Consumo kWh	0,29026000	0,27001000	4187638	ATIVA	23766	23538	1,00	228	[%]	Próximo Mês
2020	ABR	228	28					06/04/2020	06/03/2020				07/05/2020
	MAR	228	32										
	FEV	239	28										
	JAN	386	30										
2019	DEZ	290	33										
	NOV	225	30										
	OUT	225	33										
	SET	187	29										
	AGO	202	30										
	JUL	220	32										
	JUN	169	29										
	MAI	203	33										
	ABR	158	27										

Fonte: Autor.

Existe a tarifa social para consumidores residenciais de baixa renda que têm consumo abaixo de 80 kWh ou entre 80 kWh e 220 kWh e estão inscritos no Cadastro Único de programas sociais do governo federal. Os descontos da tarifa social podem variar de 10% a 65%.

3 O SISTEMA DE MONITORAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

O sistema de monitoramento de energia elétrica é um equipamento eletrônico que faz a medição constante do consumo de energia elétrica. O dispositivo é constituído por um circuito eletrônico que realiza as leituras dos valores de tensão e corrente da carga a ser monitorada e os disponibiliza em uma página de internet através de sua rede *Wi-Fi* local.

As informações são recebidas pelo usuário por meio da página *web* que pode ser acessada por qualquer dispositivo e de qualquer local que possua um navegador de *internet*. A página traz as leituras de consumo médio e acumulado, assim como a tensão da rede e uma estimativa de gastos em reais.

3.1 Desenvolvimento do hardware

O hardware do sistema de monitoramento se trata de um circuito eletrônico microprocessado capaz de interpretar os valores de tensão e corrente e calcular a potência média consumida. O dispositivo armazena os dados em sua memória interna que também tem a função de servidor, pois guarda nela a própria página *web* em linguagem HTML. As informações são disponibilizadas por meio de um navegador de *internet* que recebe a página *web* do dispositivo e pode ser acessada por qualquer eletrônico que seja capaz de rodar um *browser* de *internet*. Os dados são trocados através da rede *Wi-Fi* da residência onde o equipamento está instalado. É utilizado um serviço de DDNS que tem o objetivo de direcionar o

endereço solicitado pelo navegador de *internet* para o servidor, no caso o microcontrolador instalado na residência. A medição da tensão elétrica da rede é obtida através da ligação do dispositivo na tomada do usuário, internamente o sinal é tratado a fim de atingir níveis plausíveis para a manipulação do controle. Já a medição da corrente elétrica é obtida com o auxílio de um transformador de corrente (TC) que é instalado no condutor fase da entrada geral de energia do usuário.

O projeto eletrônico é baseado no microcontrolador ESP32 que tem como principal característica a tecnologia *Wi-Fi* embutida. O chip é fabricado pela empresa *Tensilica*, e a empresa chinesa *Espressif Systems* criou um microcódigo para possibilitar sua aplicação em projetos embarcados. O ESP32 é um único chip que contém as tecnologias *Wi-Fi* e *Bluetooth* de 2,4 GHz projetado para um ultra baixo consumo de energia e tamanho de 40 nm. É projetado para atingir a melhor potência e desempenho de RF (rádio frequência), mostrando robustez, versatilidade e confiabilidade em uma ampla variedade de aplicações e cenários de energia.

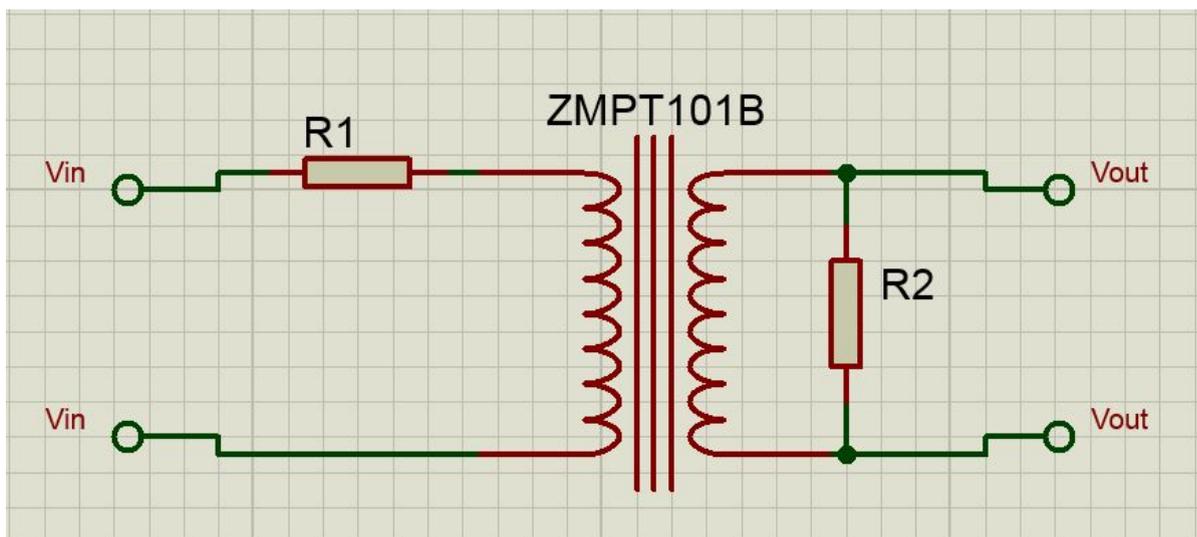
Abaixo suas principais características:

- CPU 32 bits com dois núcleos e arquitetura RISC;
- 512 KB de memória SRAM;
- 448 KB de ROM;
- Memória *Flash* QSPI (*Quad serial peripheral interface*) externo de 4 MB a 32 MB;
- *Wi-Fi* padrão IEEE 802.11 b/g/n *Wi-Fi*.
- *Bluetooth* V4.2;
- Tensão de trabalho 3,3 Vcc;
- Processador com *clock* de 80 MHz a 240 MHz;
- Conversor A/D 12 bits e amostragem de 200 kS/s.

3.2 Medição da tensão

Para a medição da tensão elétrica foi utilizado um circuito sensor baseado no transformador de precisão ZMPT101B. O circuito realiza a medição da tensão da rede elétrica através da relação de transformação de 1000:1000 e 2 mA:2 mA com o auxílio dos resistores R1 de primário e R2 de secundário conforme sugere o circuito da figura 10 abaixo.

Figura 10 - Circuito de amostra de tensão do transformador de precisão.



Fonte: Autor.

A tensão de saída é obtida pela equação abaixo:

$$V_{out} = \left(\frac{V_{in}}{R1}\right).R2 \quad [28]$$

R1 é escolhido de forma que a corrente através do enrolamento não exceda 2mA, a circulação da corrente elétrica até tais níveis mantém a linearidade, caso a corrente ultrapasse esse valor sua linearidade é comprometida.

Para o dimensionamento foi necessário determinar o valor máximo de saída (Vout). Quem determina esse valor é a máxima tensão que poderá ser aplicada na entrada analógica do nosso microcontrolador. Porém após a saída do transformador

o sinal passa por duas etapas de amplificação que totalizam um ganho de 100 vezes. Portanto vamos considerar um sinal de tensão de V_{out} de 25 mVca pois após a amplificação teremos 2,5 Vca.

O próximo passo é determinar o resistor R1 que limita a corrente do primário para a tensão a ser medida, lembrando que não podemos ultrapassar o valor de 2 mA para não perdermos a característica linear do nosso transformador. Considerando um fundo de escala de medição de tensão de 1000 Vca teremos.

$$R1 = \frac{V_{in}}{I} \quad [29]$$

$$R1 = \frac{1000}{0,0012}$$

$$R1 = 833,333 \text{ k}\Omega$$

O valor comercial mais próximo é 820 k Ω .

Por fim determinamos o valor de R2 através da seguinte equação para um valor de tensão a ser medido próximo a 220 Vca:

$$R2 = \frac{V_{out}}{V_{in}} \cdot R1 \quad [30]$$

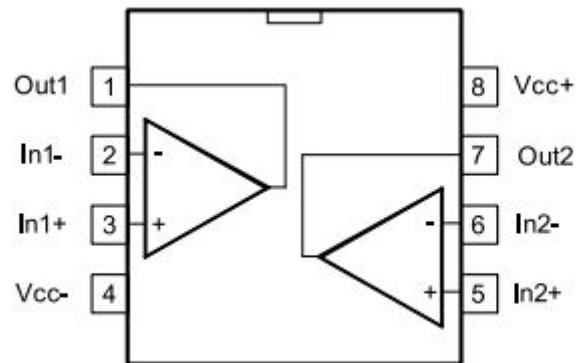
$$R2 = \frac{0,025}{220} \cdot 820k$$

$$R2 = 93,18 \Omega$$

O valor comercial mais próximo é de 100 Ω .

Para a etapa de amplificação é utilizado o LM358, um circuito integrado SMD com dois amplificadores operacionais independentes.

Figura 11 - Circuito integrado LM358.



Fonte: Datasheet ST LM358.

A amplificação de cada etapa é calculada pela seguinte equação:

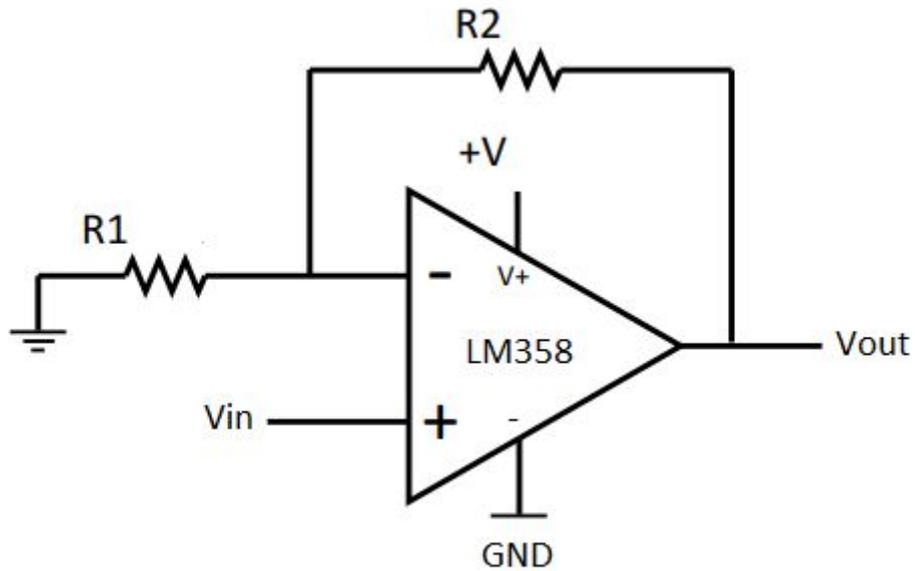
$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)V_{in} \quad [31]$$

Onde:

V_{out} = sinal de tensão na saída do amplificador;

V_{in} = Sinal de tensão na entrada do amplificador.

Figura 12 - Etapa de amplificação.



Fonte: Autor.

No circuito de medição de tensão temos duas etapas de amplificação após o secundário do transformador. Ambos têm a mesma relação entre R2 e R1, dez vezes. Dessa maneira teremos uma amplificação final de 100 vezes pois uma etapa multiplica a próxima de maneira que $10 \times 10 = 100$.

$$V_{out} = \left(1 + \frac{100k}{10k}\right) \cdot V_{in}$$

Para o sinal calculado teremos na saída da amplificação:

$$V_{out} = 100 \cdot 0,025$$

$$V_{out} = 2,5 \text{ V ca}$$

A seguir na figura 13 temos o circuito de medição de tensão elétrica completo, sendo que na entrada estamos realizando a medida de 220 Vrms e na saída

teremos 2,5 Vrms chegando a entrada analógica do microcontrolador ESP32. Dessa forma a saída varia de - 2,5 Vrms a + 2,5 Vrms, porém a entrada analógica do microcontrolador não captura valores negativos. Com isso surge a necessidade da aplicação de um *offset* de tensão de 2,5 Vcc, a partir daí temos a onda excursionada de 0 a 5 Vrms. Mas ainda precisamos de mais um ajuste pois a tensão máxima da entrada analógica é de 3,3 V. Sendo assim utiliza-se um divisor de tensão para ajustar a esse nível através da seguinte equação. Nela temos as tensões de entrada e saída máximas e escolhemos arbitrariamente um dos resistores, no caso o R2 de 1,8 kΩ.

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad [32]$$

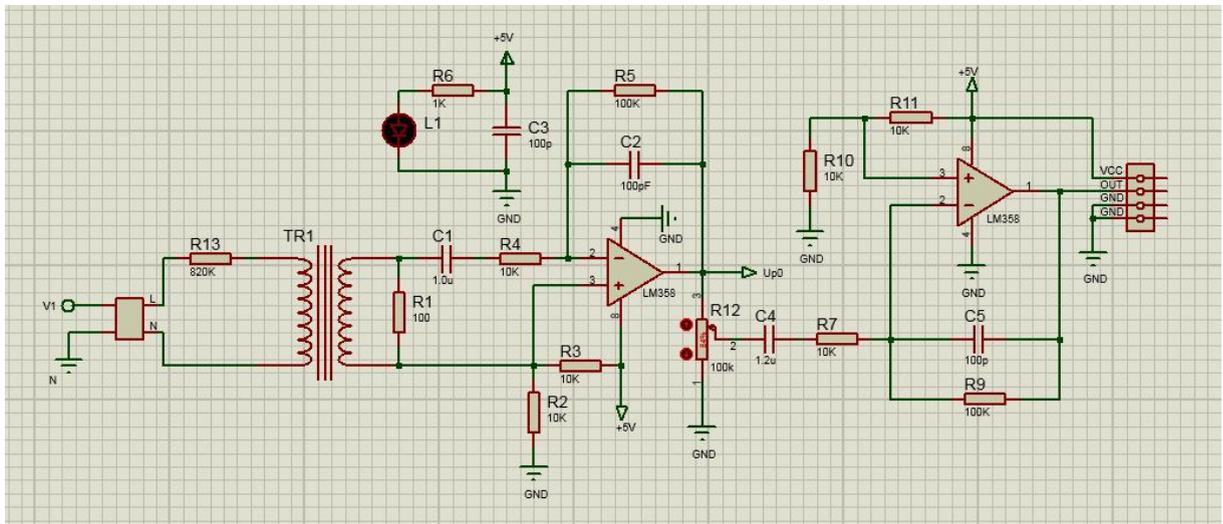
$$R_1 = \left(\frac{V_{in} \cdot R_2}{V_{out}} \right) - R_2$$

$$R_1 = \left(\frac{5 \cdot 2200}{3,3} \right) - 2200$$

$$R_1 = 1133,33 \Omega$$

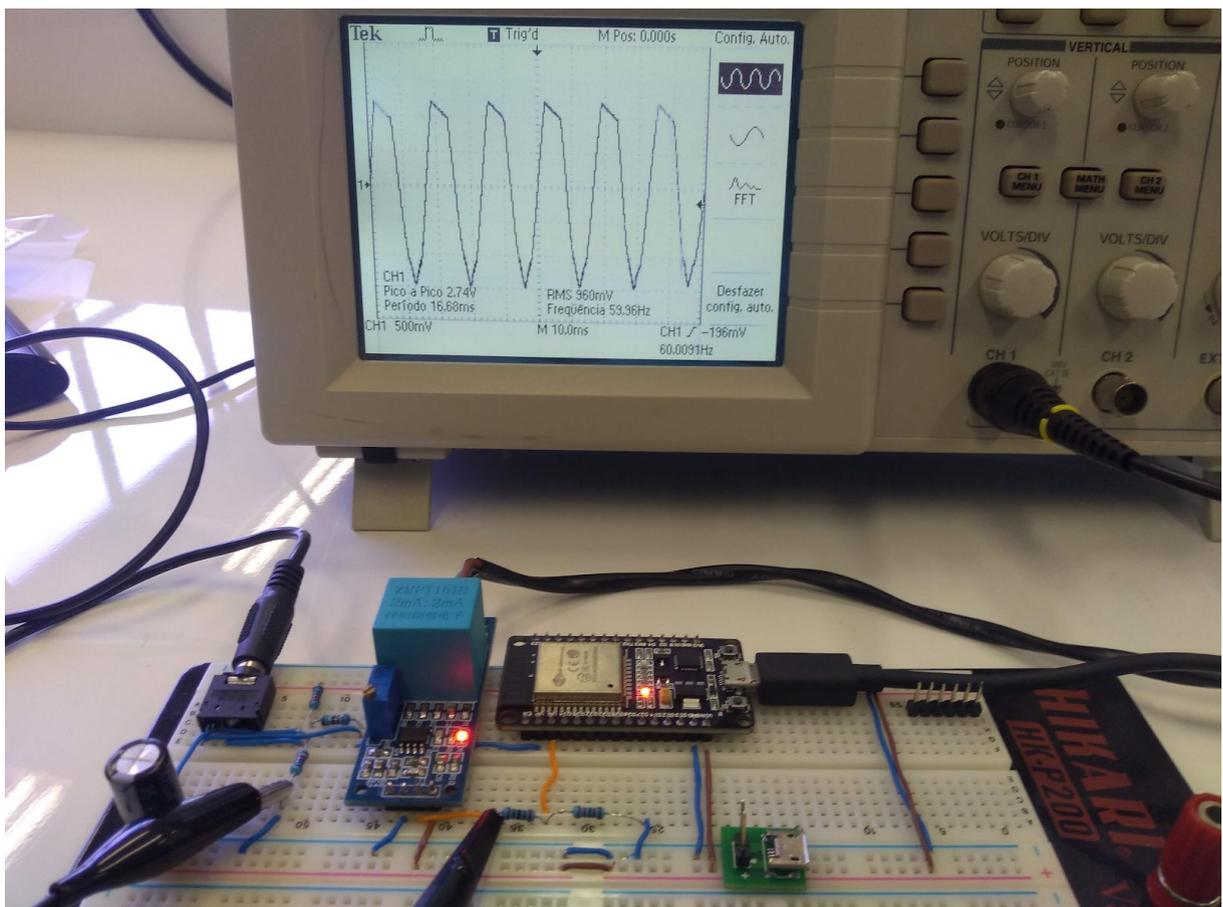
O valor comercial mais aproximado é 1 kΩ, assim garantimos que a tensão máxima suportada pela entrada analógica não estapole os 3,3 V.

Figura 13 - Circuito de medição de tensão.



Fonte: Autor.

Figura 14 - Resposta do sinal de tensão com auxílio de osciloscópio.



Fonte: Autor.

Verifica-se na figura 14 que a forma de onda ficou distorcida nas cristas dos semiciclos positivos e negativos, essa resposta caracteriza uma saturação magnética do núcleo do transformador, estado alcançado quando a indução magnética do primário não consegue aumentar mais a magnetização do núcleo.

3.3 Medição da corrente

Para a medição de corrente elétrica foi escolhido o transdutor SCT 013 não invasivo. O sensor tem seu princípio de funcionamento baseado no *efeito hall*, é fabricado pela chinesa YHDC. Sua faixa de medição de corrente é de 0 a 100 A para uma faixa de corrente de saída de 0 a 50 mA. Para captura do sinal é utilizado um resistor de carga a fim de obter uma queda de tensão sobre ele, a mesma é capturada na entrada analógica do microcontrolador ESP32. Esse sinal de tensão é calculado para um valor máximo de 3,3 V.

Considerando o circuito equivalente do transformador de corrente SCT 013 da figura 16, para a medição da corrente consumida pela rede elétrica calculamos o resistor do secundário do sensor, R_L a fim de obtermos uma queda de tensão sobre o mesmo. Para tal utilizamos a seguinte equação:

$$R_L = \frac{V_{PP}}{I_{SN} \cdot 2 \cdot \sqrt{2}} \quad [33]$$

Onde:

V_{pp} = Queda de tensão de pico a pico desejada, pois o sinal é excursionado entre os valores máximos da onda de tensão;

I_{SN} = Corrente de secundário nominal para o sensor SCT 013 (datasheet).

$$R_L = \frac{3,3}{0,050 \cdot 2 \cdot \sqrt{2}} = 23,33 \Omega$$

Calculando sua potência utilizando [12] temos (usando o valor comercial mais próximo para o resistor, 22 Ω):

$$P_{cc} = R \cdot I^2 = 22 \cdot (0,05)^2 = 0,055 \text{ W}$$

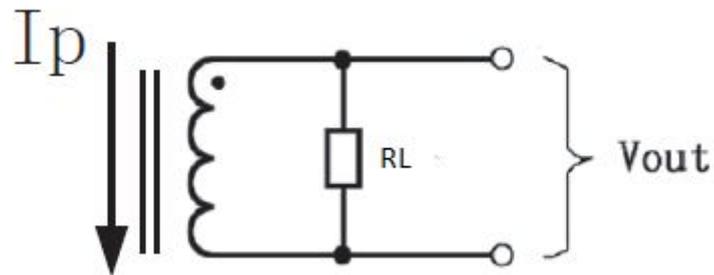
Portanto o resistor R_L definido é 22 Ω / $\frac{1}{4}$ W .

Figura 15 - Transformador de corrente SCT 013.



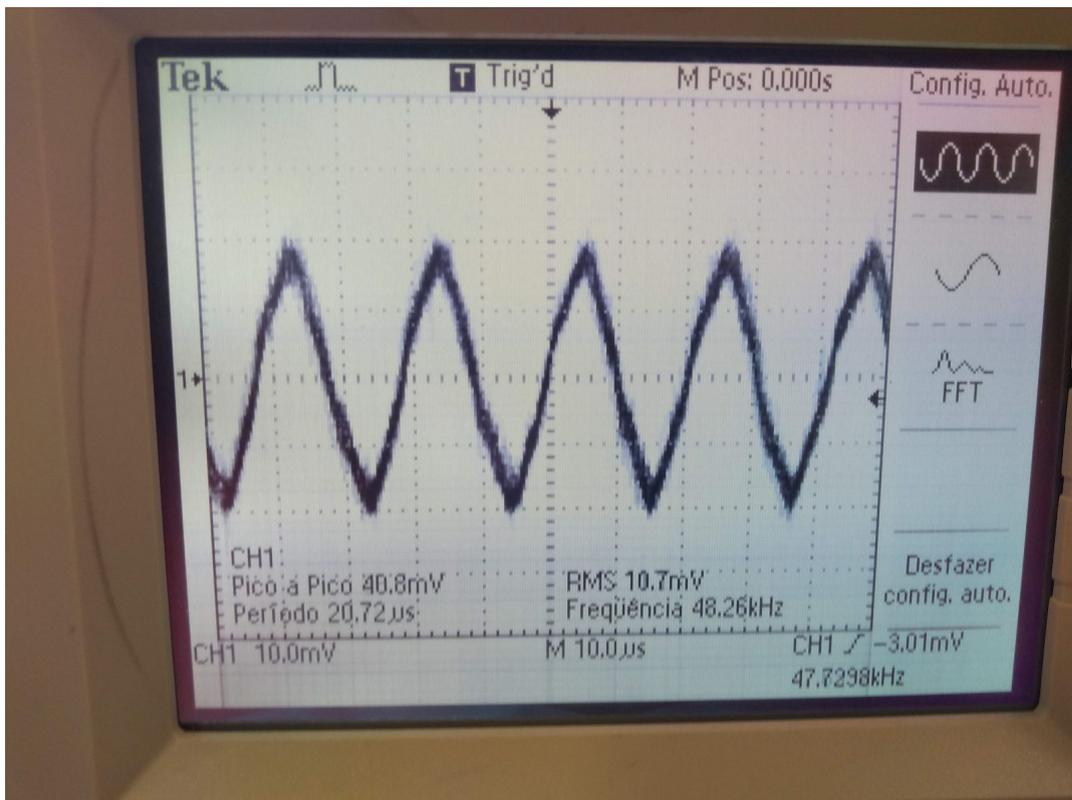
Fonte: Datasheet, YHDC - current transformer SCT 013.

Figura 16 - Circuito equivalente do transdutor de corrente SCT 013.



Fonte: Datasheet, YHDC - current transformer SCT 013, adaptado pelo autor.

Figura 17 - Resposta do sensor de corrente com o auxílio de osciloscópio.



Fonte: Autor.

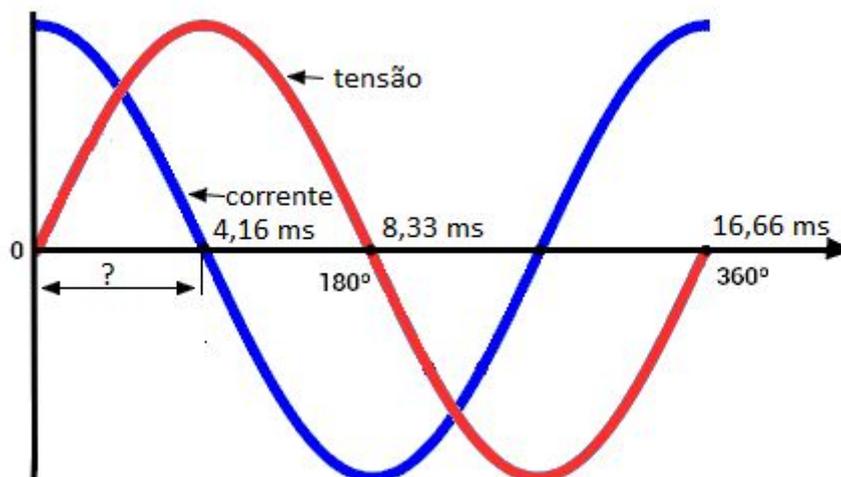
Na figura 17 observamos a forma de onda de tensão sobre o resistor R_L do secundário do TC SCT 013 ao monitorar a carga de um chuveiro elétrico de 7.500 W. Verifica-se uma frequência de 48,26 kHz na tela do osciloscópio apesar da tensão de alimentação no circuito ser 220 Vca por 60 Hz. Uma explicação plausível

para tal medida é a interferência harmônica do circuito tiristorizado do controle eletrônico do cruzeiro.

3.4 Medição do ângulo de defasagem

Após termos as medições de tensão e corrente precisamos realizar o cálculo do fator de potência para então obtermos a potência ativa da carga em questão. Sabemos que o fator de potência é a defasagem angular entre a tensão e corrente de um determinado circuito ou carga. Para isso realizamos as medições dos instantes em que os valores de tensão e corrente passam por zero no plano cartesiano e em seguida subtraímos os valores para saber a diferença temporal. Sabemos que para uma frequência de 60 Hz o período é 16,66 ms, pois $T = \frac{1}{F}$. Também sabemos que um período tem 360°, portanto podemos ter o ângulo de defasagem através da obtenção dos instantes de tempo dos sinais de tensão e corrente fazendo uma regra de três.

Figura 18 - Formas de onda de tensão e corrente.



Fonte: Adaptado pelo autor do site eletrônica PT <<https://www.eletronica-pt.com/corrente-alternada>>.

Para os sinais de tensão e corrente do gráfico da figura 18 considera-se o instante zero o momento em que a tensão passa pelo eixo horizontal, a partir desse

instante o cronômetro dispara até a onda de corrente também passar pelo eixo horizontal, instante 4,16 ms. Tendo em mãos a diferença de tempo em que os sinais de tensão e corrente atravessam o eixo horizontal, podemos realizar uma regra de três para descobrir o ângulo de defasagem ou fator de potência.

Para os sinais da figura 18 temos:

$$16,66 \text{ ms} - 360^\circ$$

$$4,16 \text{ ms} - X$$

$$X = \frac{4,16 \text{ ms} \cdot 360^\circ}{16,66 \text{ ms}}$$

$$X = 89,89^\circ$$

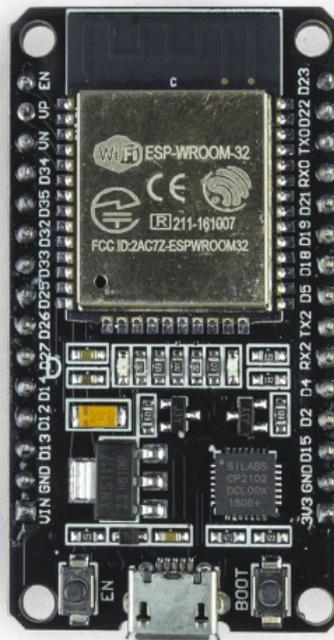
Assim podemos concluir que a corrente está adiantada em relação a tensão caracterizando uma carga capacitiva com fator de potência < 1 .

No algoritmo é implementada a técnica abordada acima para a obtenção do fator de potência usado no cálculo da potência ativa da carga.

3.5 O circuito eletrônico

O circuito eletrônico do sistema de monitoramento de energia elétrica é formado pelos circuitos sensores, de tensão e corrente e pelo microcontrolador ESP32 que realiza o tratamento das medidas realizadas e disponibiliza as informações na página *web*. Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizada a placa de desenvolvimento Devkit V1, no mercado encontramos algumas versões de placas de desenvolvimento equipadas com o microcontrolador ESP32.

Figura 19 - Placa de desenvolvimento Devkit V1 (30 pinos).



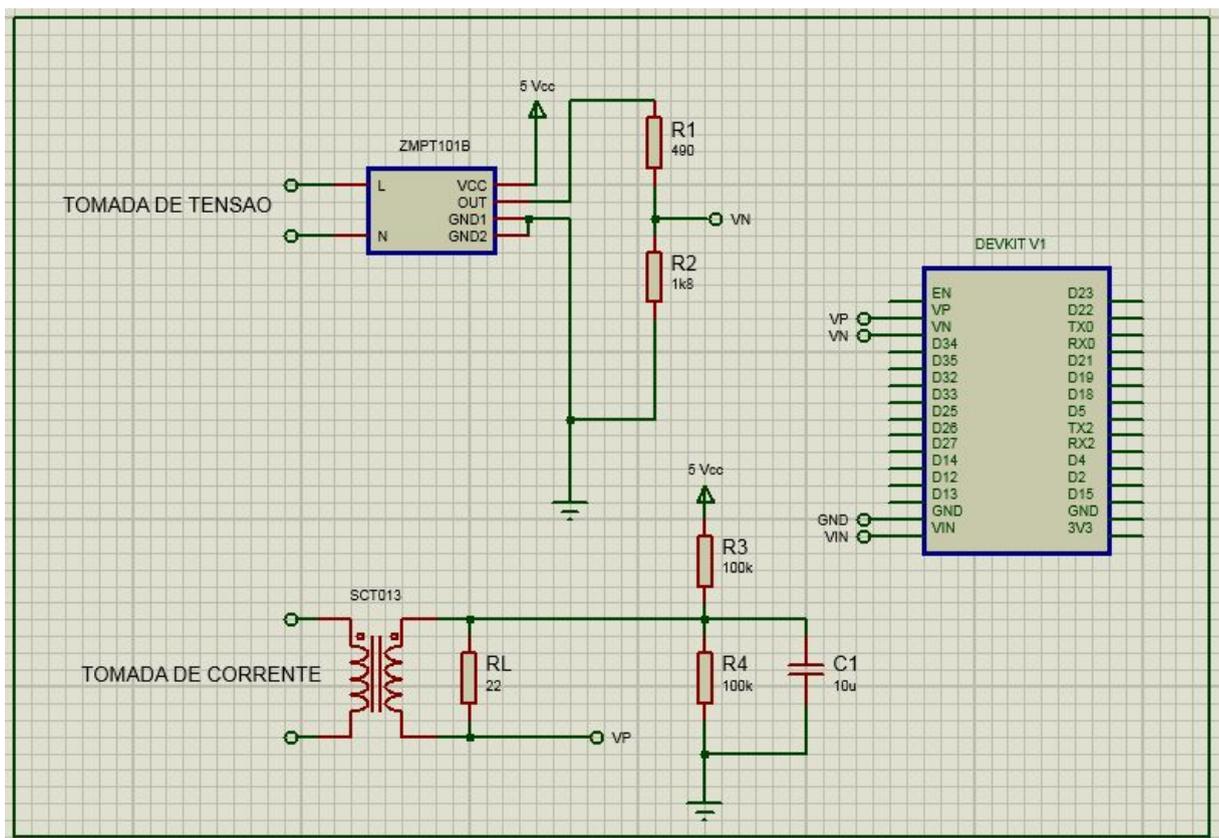
Fonte: Robocore.net.

A placa de desenvolvimento conta com componentes importantes para facilitar o desenvolvimento de projetos com esse microcontrolador. Na figura 19 podemos ver uma capa metálica com a descrição “ESP-WROOM 32”, ela é um módulo desenvolvido pela *Espressif* onde constam o *chip* do microcontrolador ESP32, o *chip* da memória *flash* de 4 MB que se comunica com o microcontrolador através de uma comunicação SPI, uma antena *Wi-Fi* e um cristal de *clock* de 40 MHz. A frequência de *clock* do ESP32 pode chegar a 240 MHz, essa é sintetizada a partir do *clock* principal. A placa de desenvolvimento conta com um regulador de tensão de 3,3 Vcc, o *chip* AMS1117 que suporta uma corrente máxima de 1 A. Com esse regulador a placa pode ser alimentada por 5 Vcc diretamente pelo seu conector USB. E para garantir a gravação do microcontrolador, essa placa conta com o *chip* CP2102, um conversor USB-UART, converte dados da USB 2.0 para *Universal Asynchronous Receiver Transmitter* (Receptor/Transmissor Universal Assíncrono). A

placa ainda tem dois botões, um com a função de *reset* e outro com a função de *boot*, para permitir a gravação do *firmware*.

Na figura 20, temos o circuito simplificado do projeto. Nele a placa de desenvolvimento Devkit V1 recebe os sinais dos circuitos de leitura de tensão e corrente, normalizados de forma que não ultrapassem o valor máximo de 3,3 V_{máx} nas entradas analógicas..

Figura 20 - Circuito eletrônico do sistema de monitoramento de energia elétrica.



Fonte: Autor.

3.6 A configuração do DDNS

O DDNS (*Dynamic Domain Name System*), ou serviço de domínio de nome dinâmico, é um método de atualização automática e contínua do endereço de IP (*Internet Protocol*). Cada equipamento conectado à internet tem um endereço de IP

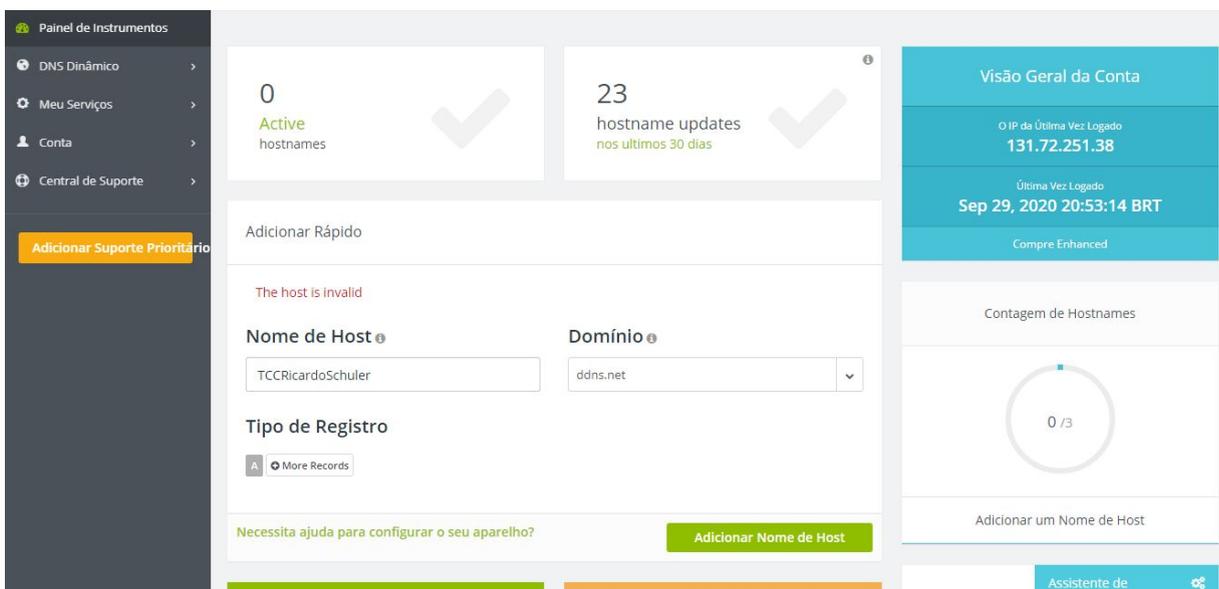
que normalmente é dinâmico, ou seja, muda a cada nova conexão a rede a cada período de tempo de conexão na rede. Por exemplo, em nossa casa utilizamos um roteador para acesso a *internet*, ele assume um endereço de IP, que pode ser por exemplo, 192.168.67.103, após um período ele muda e pode passar a ser 187.16.11.178. Já para os equipamentos da residência conectados ao roteador são endereçados pelo próprio roteador, ele cria uma rede fechada e determina qual o endereço de IP de cada dispositivo. Nesse caso, por exemplo, podemos ter o *notebook* com o endereço 10.0.0.2, a *smart TV* com 10.0.0.3, e *smartphone* com 10.0.0.4 e nosso dispositivo do projeto com o endereço 10.0.0.110. Visto esse cenário, se eu estiver conectado na rede de *internet* de minha casa, posso digitar o IP 10.0.0.110 para solicitar informações ao dispositivo de monitoramento de energia elétrica que está conectado a rede. Porém se estivermos fora de nossa casa, talvez no trabalho, não conseguiremos acessar as informações disponíveis do nosso dispositivo já que não ao digitar o endereço de IP dele em um navegador de internet o caminho não será encontrado. Um serviço de DDNS é capaz de relacionar o nome do site ao endereço de IP dinâmico de nossa residência .

Um serviço de DDNS se fez necessário para que seja possível acessar o servidor que é o próprio microcontrolador ESP32 do nosso sistema de monitoramento. Com esse serviço é possível acessar o *web site* de qualquer parte do mundo, pois ao digitar o nome no navegador, o DDNS procura o IP relacionado e solicita o acesso ao roteador interno da residência, e com a configuração correta o mesmo encaminha a solicitação ao ESP32 que responde enviando os dados no caminho inverso ao solicitado. Para que essa comunicação se estabeleça foram necessários os seguintes passos:

- Abrir uma conta em uma provedora de DDNS;
- Criar um nome de domínio;
- Configurar o roteador para redirecionar a porta para o IP do microcontrolador da rede residencial;
- Configurar o roteador para o serviço de DDNS.

O provedor de DDNS escolhido foi o “noip”, para obter o serviço, foi necessário criar uma conta no site e criar o nome de domínio, nome ao qual será digitado no navegador de *internet* para obter as informações do sistema de monitoramento de energia elétrica. Também foi necessário realizar o download e a instalação de um aplicativo do “noip” chamado de “DUC” que tem por objetivo realizar a sincronização do IP. Com a conta e o nome de domínio criados, foi necessário realizar as configurações de redirecionamento de porta e cadastramento do serviço de DDNS.

Figura 21 - Criação do nome de domínio do site noip, provedor de DDNS.



Fonte: Autor.

Figura 22 - Configuração no Intelbras IWR 3000N para o redirecionamento.

Redirecionar portas

O redirecionamento de portas é utilizado para liberar o acesso, via internet, a portas específicas dos dispositivos da sua rede local (LAN).
Para que os dispositivos da sua rede liberem portas no roteador automaticamente, mantenha o UPnP habilitado.

Habilitar UPnP:

Adicionar nova regra

Nome da regra:

Protocolo: ▼

Endereço IP:

Porta(s) externa(s): até

Porta(s) interna(s): até

Nome da regra	Endereço IP	Porta(s) externa(s)	Porta(s) interna(s)	Protocolo	Editar	Excluir
---------------	-------------	---------------------	---------------------	-----------	--------	---------

Fonte: Autor.

Figura 23 - Configuração no Intelbras IWR 3000N para o serviço de DDNS.

Internet (WAN) > DDNS

Aqui você pode configurar seus hosts dinâmicos para acesso remoto.

Adicionar novo host

Hostname:

Provedor: ▼

Usuário:

Senha:

Hostname	Provedor	Usuário	Senha	Editar	Excluir
----------	----------	---------	-------	--------	---------

Fonte: Autor.

Foi preciso solicitar à operadora de internet, no caso a Brasrede, para liberar as portas, pois estavam bloqueadas, e dessa forma impossibilitando a comunicação. Podemos ver na figura que a mesma se dá através da porta 80.

Abaixo temos o trecho de código do microcontrolador ao qual podemos observar a configuração de acesso a rede *Wi-Fi* através da porta 80.

Figura 24 - Programação de acesso ao *Wi-Fi* pela porta 80.

```
#include <WiFi.h> //funcionalidades de conexão wifi, como AP e WebServer
//Credenciais do ponto de acesso
#define SSID "AP201"
#define PASSWORD " "
//Endereço e caminho que o esp deve assumir na rede interna
#define IP "10.0.0.110"
#define GATEWAY "10.0.0.1"
#define SUBNET "255.255.255.0"
WiFiServer server(80); //Cria objeto servidor através da biblioteca WiFi.h através da padrão 80
WiFiClient client; //Cria objeto client para receber as solicitações de clientes(acesso ao site)
```

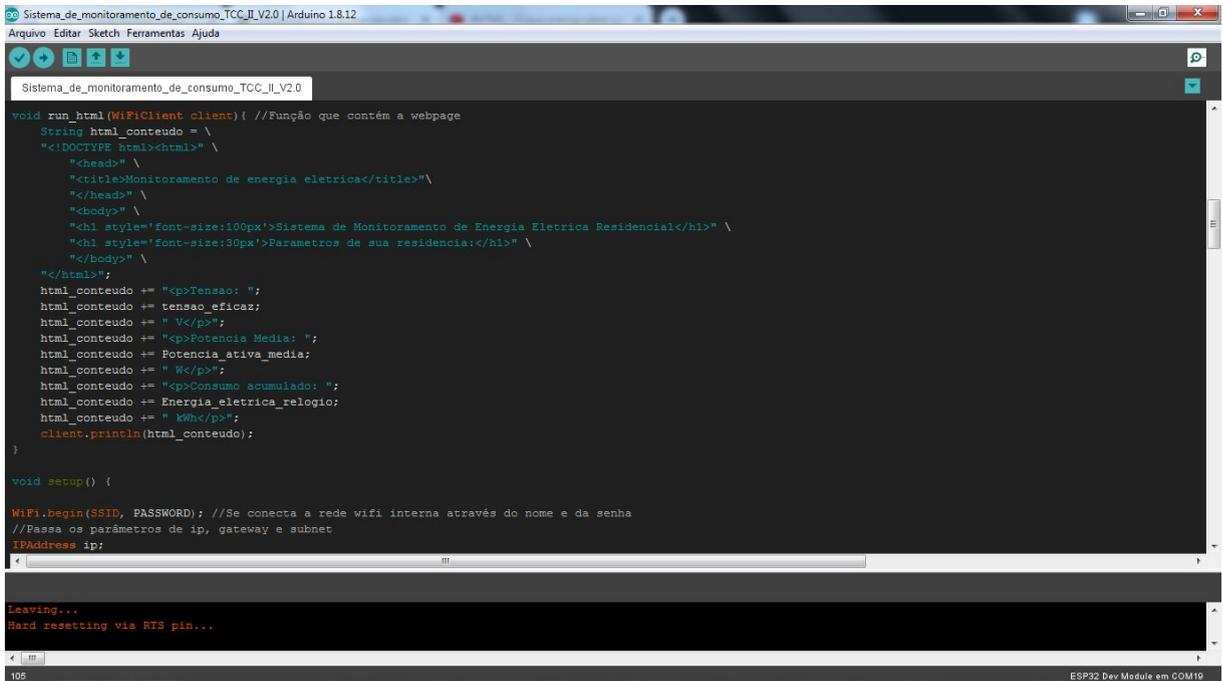
Fonte: Autor.

3.7 A construção da página web

A página *web* foi construída utilizando a linguagem de programação HTML, uma abreviatura de *Hypertext Markup Language* (Linguagem de Marcação de Hipertexto). O código fica armazenado na memória do microcontrolador ESP32, dessa forma ele funciona como servidor do *website* que disponibiliza as informações de consumo de energia elétrica. O *website* pode ser acessado a partir de um navegador de *internet*, assim as informações estarão disponíveis a partir de qualquer dispositivo já que os navegadores além de seu trabalho principal, que é fornecer funções de busca de páginas da *web*, também atua como um formatador de HTML. Isso quer dizer que se a página for acessada de um *smartphone*, o navegador formata a página conforme as configurações da tela do dispositivo, de mesmo modo acessando por um computador de mesa, a tela que aparece no navegador estará formatada de acordo.

Na figura 25 temos as linhas de código do HTML desenvolvidos juntamente com a lógica de funcionamento do microcontrolador na IDE Arduino.

Figura 25 - Trecho de código HTML da criação da página web.



```
Sistema_de_monitoramento_de_consumo_TCC_II_V2.0 | Arduino 1.8.12
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

Sistema_de_monitoramento_de_consumo_TCC_II_V2.0

void run_html(WiFiClient client) { //Função que contém a webpage
  String html_conteudo = \
  "<DOCTYPE html><html>" \
  "  <head>" \
  "    <title>Monitoramento de energia elétrica</title>" \
  "  </head>" \
  "  <body>" \
  "    <h1 style='font-size:100px'>Sistema de Monitoramento de Energia Elétrica Residencial</h1>" \
  "    <h1 style='font-size:30px'>Parametros de sua residencia:</h1>" \
  "  </body>" \
  "</html>";
  html_conteudo += "<p>Tensao: ";
  html_conteudo += tensao_eficaz;
  html_conteudo += " V</p>";
  html_conteudo += "<p>Potencia Media: ";
  html_conteudo += Potencia_ativa_media;
  html_conteudo += " W</p>";
  html_conteudo += "<p>Consumo acumulado: ";
  html_conteudo += Energia_eletrica_relogio;
  html_conteudo += " kWh</p>";
  client.println(html_conteudo);
}

void setup() {
  WiFi.begin(SSID, PASSWORD); //Se conecta a rede wifi interna através do nome e da senha
  //Passa os parâmetros de ip, gateway e subnet
  IPAddress ip;
  Leaving...
  Hard resetting via RTS pin...
105 ESP32 Dev Module em COM19
```

Fonte: Autor.

Figura 26 - Página web acessada de um notebook.



Fonte: Autor.

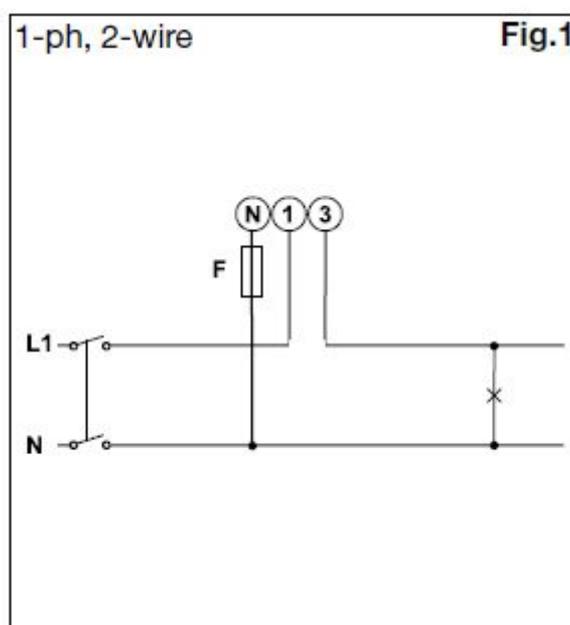
Figura 27 - Página *web* acessada de um smartphone.



4 RESULTADOS

Para a validação dos resultados obtidos foi utilizado um wattímetro eletrônico para comparação. O instrumento é da marca Carlos Gavazzi, modelo EM12-DIN, é um medidor de energia elétrica monofásico, vem munido de um *display* LCD e tem capacidade de medir cargas de até 100A. O que o torna compatível com o projeto. Esse instrumento foi instalado no mesmo circuito que o sistema de monitoramento de energia elétrica, conforme o diagrama da figura 28.

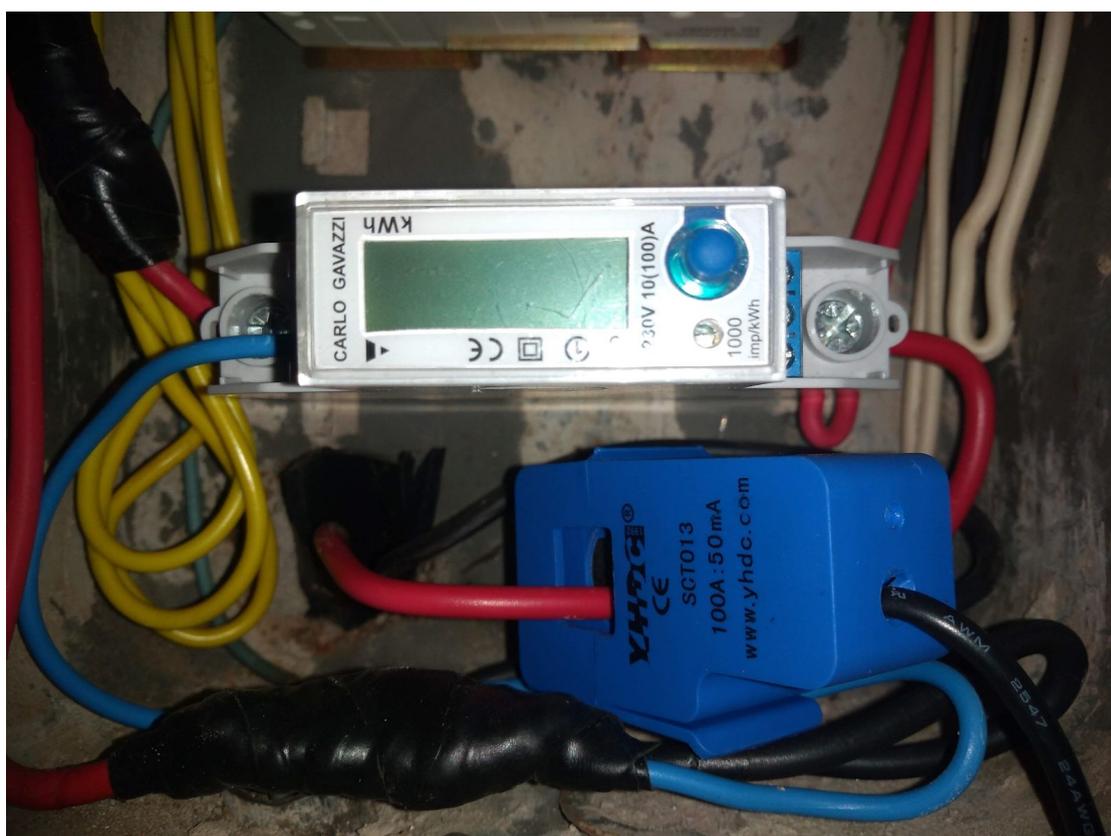
Figura 28 - Diagrama de montagem do EM12 - DIN.



Fonte: Datasheet EM12 - Energy meter - Carlos Gavazzi.

Na figura 29 temos o wattímetro instalado de forma que o condutor fase principal da instalação é ligado em série com o instrumento a fim de obter a corrente do circuito, já o condutor neutro é ligado em paralelo para disponibilizar uma referência para que o instrumento realize a medida de tensão. Na mesma figura vemos o sensor SCT 013 inserido no condutor fase para obter a leitura para o circuito eletrônico montado em *protoboard*.

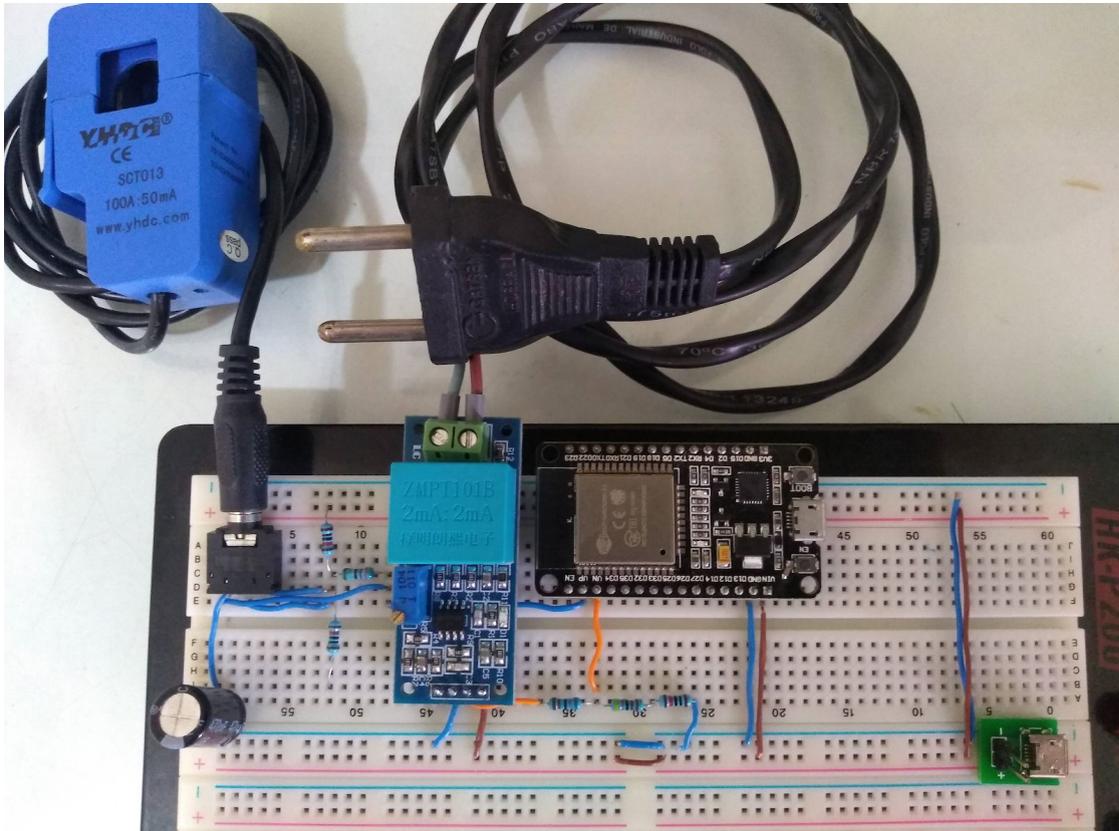
Figura 29 - Instalação do wattímetro EM12.



Fonte: Autor.

Na figura 30, temos a montagem do circuito em *protoboard*, montagem ao qual foram realizados o desenvolvimento e testes de funcionamento.

Figura 30 - Montagem do circuito em *protoboard*.

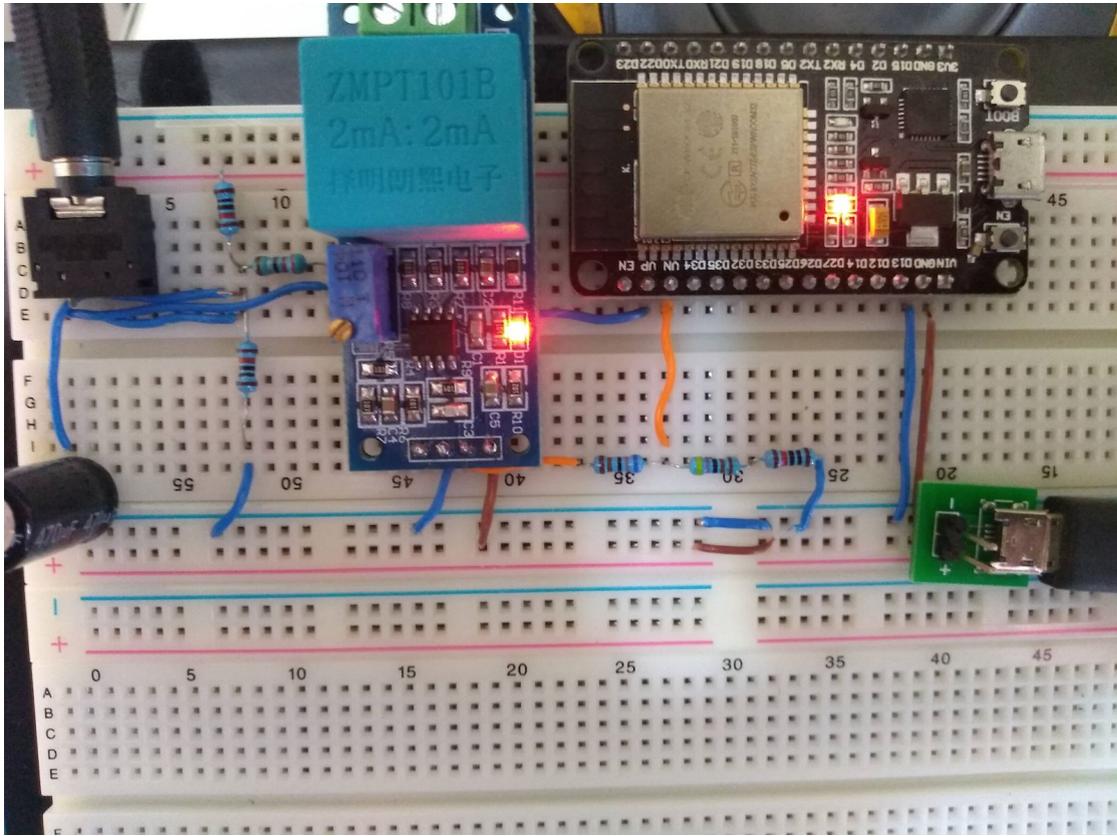


Fonte: Autor.

Na figura 31 podemos ver o circuito ligado através de um cabo USB que alimenta o circuito com 5 Vcc, providos de uma fonte chaveada. Ao ligar o circuito observamos dois *LEDs* que indicam a energização do circuito sensor de tensão e da placa de desenvolvimento *Devkit V1*.

Outra observação importante da montagem são as conexões de tomada de tensão e corrente. A conexão entre o sensor de corrente e o circuito se dá por um pino de 3,5 mm que é parte do sensor SCT 013 e um conector *jack* de 3,5 mm anexado a *protoboard*. A conexão da tomada de tensão é realizada por uma extensão de cabo PP 2 x 0,75 mm² de 1 m de comprimento com uma flecha macho para conexão a tomada de energia elétrica. Na extremidade de interface ao circuito os condutores são ligados nos conectores KRE da placa do circuito sensor de tensão elétrica.

Figura 31 - Montagem em *protoboard* com o circuito ligado.



Fonte: Autor.

O sistema ficou em funcionamento por um período de sete dias, ligado junto com o wattímetro digital para comparação dos resultados. As potências totais não foram tão expressivas pois o sistema foi instalado na CD (caixa de distribuição) de um quiosque. Devido a dificuldade em instalar o wattímetro digital na CD principal da residência, já que foi necessário interromper o condutor principal para colocá-lo em série com o circuito. Na figura 32 podemos ver a potência atual do instrumento de comparação. Na figura 33 temos a potência acumulada registrada pelo instrumento digital da Carlos Gavazzi.

Figura 32 - Medição de potência atual do wattímetro EM12 da Carlos Gavazzi.



Fonte: Autor.

Figura 33 - Medição de potência acumulada do wattímetro EM12 da Carlos Gavazzi.



Fonte: Autor.

Na figura 34 podemos observar os valores medidos pelo sistema de monitoramento de energia elétrica pela página *web* gerada quando solicitada pelo usuário. Se eu estiver realizando uma solicitação conectado na mesma rede do sistema de monitoramento posso abrir o navegador de *internet* e digitar o seu IP, que no caso está configurado para 10.0.0.110, ou posso digitar direto o nome de domínio que cadastrei no meu provedor de DDNS, tccricardoschuler.ddns.net. Caso eu esteja em qualquer outra rede, não importa o local, desde que esteja conectado a *internet*, preciso digitar o nome de domínio, tccricardoschuler.ddns.net para ter acesso às informações de meu sistema de monitoramento de energia.

Figura 34 - Página *web* gerada pelo sistema de monitoramento de energia elétrica.



Fonte: Autor.

Observou-se uma boa fidelidade nos resultados obtidos pela comparação entre o sistema de monitoramento e o wattímetro digital. As potências em kWh acumuladas ao longo da semana de medição bateram em 17 kWh em ambas as medições, tanto no medidor wattímetro digital quanto no sistema de monitoramento. As medidas de tensão e corrente do sistema foram calibradas em comparação com o wattímetro EM12 que também realiza as medidas e mostra em seu display.

Existem alguns pontos de melhorias no projeto que podem ser chamadas de limitações. Por exemplo, a potência acumulada em kWh está limitada a capacidade de armazenamento da variável que recebe esse valor. No caso ela é uma variável float em um microcontrolador de 32 *bits*, isso quer dizer que pode armazenar valores na faixa entre $3,4E-38$ a $3,4E+38$. É um valor bem alto, porém teríamos que definir uma tratativa para a chegada no fundo de escala da variável. Outro ponto de melhoria é a questão do armazenamento de dados em caso de perda de energia da alimentação do sistema. No atual projeto as variáveis não mantêm seus valores. Como melhoria, algumas variáveis devem ser armazenadas em memória ROM.

Figura 35 - Página web do sistema de monitoramento.



Na figura 35 acima, temos a página do sistema de monitoramento na versão final. Nela são disponibilizados os dados mais importantes que podem ser utilizados no controle da fatura de energia elétrica e ainda para a verificação da qualidade de energia que é entregue em sua residência pela concessionária através da tensão elétrica medida. Os parâmetros mostrados são a tensão elétrica atual em volts, a potência média atual em watts, o consumo acumulado em kWh, que é a mesma leitura que temos no medidor de energia popularmente chamado de relógio, é a partir dela que somos faturados. No parâmetro chamado de “previsão de gastos”, temos o resultado do que seria a fatura de energia elétrica até o consumido no momento. Ele é calculado sobre as tarifas do kWh TUSD e TE e sobre todos os impostos incididos conforme vimos no capítulo 2.7.3, o qual foi explicado passo a passo o cálculo da fatura de energia elétrica residencial. Nos parâmetros mostrados logo abaixo temos os valores atuais das tarifas de TUSD e TE e o percentual dos impostos incididos na fatura, ICMS, PIS e COFINS e ainda o Percentual cobrado pela contribuição da iluminação pública, mais conhecido como CIP. Com tais indicadores em mãos o usuário está apto a fazer um ótimo controle de gastos com energia elétrica.

5 CONCLUSÃO

O projeto do sistema de monitoramento de energia elétrica para consumidores residenciais foi realizado com o desenvolvimento de um dispositivo eletrônico baseado em três principais partes que são a tomada de leitura de corrente através do sensor SCT 013 do tipo TC não invasivo, do circuito sensor de tensão ZMPT101B e da placa de desenvolvimento Devkit V1 que comporta o microcontrolador ESP32, o qual tem como principal característica sua função de comunicação *Wi-Fi*. Também foi desenvolvida uma página *web* em HTML que fica armazenada na memória do microcontrolador que dessa forma faz uma função de servidor. O sistema realiza o cálculo da potência média atual, potência média acumulada e gastos em reais e disponibiliza as informações para o usuário pela página *web*.

O projeto exigiu trabalhar com alguns recursos que não foram desenvolvidos ao longo da graduação, como a programação do microcontrolador ESP32, que se mostrou com um potencial incrível para futuros projetos, tanto pela sua capacidade de processamento quanto por seu recurso de *Wi-Fi* incorporado. Outro ponto que exigiu horas de estudo foi o desenvolvimento da página *web* em HTML, ela ficou com um visual simples, mas foram aplicadas as funções necessárias para atender as demandas do projeto. A escolha do recurso da página *web* em navegador de *internet* se mostrou bem interessante e funcional. Ela traz a vantagem de poder acessar os dados sem a necessidade de instalar um aplicativo, por exemplo, tal recurso não seria compatível com todos dispositivos eletrônicos tal qual um navegador de *internet*. O sistema se mostrou confiável em relação aos dados

apresentados e para o usuário tem potencial de bons benefícios no controle de gastos com a fatura de energia elétrica.

Como trabalho futuro é interessante o aperfeiçoamento da página web tanto no sentido do *designer* quanto em algumas funcionalidades que podem ser incrementadas como avisos de ultrapassagem de demanda e níveis de tensão adequados com base nos indicadores DRP (duração relativa da transgressão de tensão precária) e DRC (duração relativa da transgressão de tensão crítica). No presente trabalho foi explorado mais a questão funcional da comunicação e exportação de dados. A página pode evoluir para que o usuário possa inserir dados, por exemplo, a possibilidade de atualizar via *website* os valores de custo de kWh e impostos. Como trabalhos subsequentes é interessante a atualização do circuito para a medição de circuitos trifásicos, para tal é necessário mais dois sensores de corrente para a medição das três fases e mais uma etapa de medição de tensão para que o sistema seja capaz de realizar as medidas de tensão de fase e linha. Com essas melhorias o sistema será capaz de ser implementado em instalações trifásicas e indústrias, podendo evoluir para um controlador de demanda com acesso remoto via *web*. O microcontrolador ESP32 é capaz de suportar com segurança tais atualizações.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRACEEL. Disponível em:

<<https://abraceel.com.br/blog/2020/01/quando-surgiu-o-mercado-livre-de-energia-no-brasil/>>
. Acesso em: 25 abr. 2020.

CEMIG. Disponível em:

<https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Clientes/Paginas/cartilhas_de_tarifas.aspx>.
Acesso em: 12 abr. 2020.

CEMIG. **MANUAL DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA.** 2011. Disponível em:

<https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Clientes/Documents/CEMIGD1011-0718%20Manual%20de%20Gerenciamento%20de%20Energia%202011%2021x28cm%20BAIXA%2029-05_AFS.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2020.

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas.** 15 ed. Editora LTC, 2013.

DINIZ B. R. J., Correa A., **Infraestrutura de Hardware.** Volume 2. Recife, 2009.

EMBARCADOS. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/modulo-esp8266/>>.

Acesso em 2 de mai. 2020.

FILHO, Solon de Medeiros. **Medição de Energia Elétrica.** 3. ed. vol. 1. Recife, Guanabara Koogan S.A, 1976.

GIMENEZ, P. Salvador. **Microcontroladores 8051.** 1 ed. Editora Pearson Makron Books, 2002.

ILUMINA. Disponível em:

<<https://www.ilumina.org.br/tributos-e-encargos-pesam-mais-e-ja-sao-50-da-conta-de-luz-valor/>>. Acesso em: 13 abr. 2020.

INMETRO. Ensaios de Apreciação Técnica de Modelo Medidores Eletrônicos de Energia Elétrica. NIE-DIMEL- 036. Maio de 2007.

INFOWESTER. Disponível em: <www.infowester.com>. Acesso em 5 mai. 2020.

INTEL. Disponível em: <<http://www.intel.com>>. Acesso em: 20 abr. 2020.

LEMAY, Laura. **Aprenda a Criar Páginas Web com HTML e XHTML.** 3° ed. Editora Pearson Makron Books, 2002.

LIMA, Eduardo Santos. **Protótipo de Tarifador Digital de Energia Elétrica.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Católica de Goiás, Goiás, 2007.

MERCADO LIVRE DE ENERGIA. Disponível em:

<<https://www.mercadolivredeenergia.com.br/agentes-associados/>>. Acesso em: 21 de mar. 2020.

MICROCHIP TECHNOLOGY INC. Disponível em: <<http://www.microchip.com>>. Acesso em: 20 abr. 2020.

MIZRAHI, V. Viviane. **Treinamento em Linguagem C.** 2 ed. Editora Pearson, 2013;

ONS. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons>>. Acesso em: 13 abr. 2020.

RGE. **Entenda sua conta.** CPFL energia, 2017. Disponível em:

<<https://www.rge-rs.com.br/atendimento-a-consumidores/entenda-sua-conta/paginas/conta-rge-sul.aspx>>. Acesso em: 10 abr. 2020.

SADIKU, Matthew N. O; ALEXANDER, Charles. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. 3 ed. Editora Bookman, 2011.

Wi-Fi Alliance. Disponível em: <www.wi-fi.org>. Acesso em 5 mai. 2020.

ZELENOVSKY, Ricardo; MENDONÇA, Alexandre. **COMPUTADOR: Um Guia Prático de Hardware e Interfaceamento**. 4. ed. Rio de Janeiro, 2006.

7 ANEXO

Anexo 1: Características do padrão IEEE 802.11.

Protocolo	Publicação	Frequência (GHz)	Largura de banda (MHz)	Velocidades de transferência (Mbit/s ou MB/s)	Alcance (m)	
					<i>Indoor</i>	<i>Outdoor</i>
802.11	Jun 1997	2.4	22	1 Mbit/s ~ 0.12 MB/s 2 Mbit/s ~ 0.24 MB/s	20	100
802.11a	Set 1999	5	20	6 Mbit/s ~ 0.72 MB/s 9 Mbit/s ~ 1.07 MB/s 12 Mbit/s ~ 1.43 MB/s 18 Mbit/s ~ 2.15 MB/s	35	120
		3.7		24 Mbit/s ~ 2.86 MB/s 36 Mbit/s ~ 4.29 MB/s 48 Mbit/s ~ 5.72 MB/s 54 Mbit/s ~ 6.44 MB/s	–	5000
802.11b	Set 1999	2.4	22	1 Mbit/s ~ 0.12 MB/s 2 Mbit/s ~ 0.24 MB/s 5.5 Mbit/s ~ 0.66 MB/s 11 Mbit/s ~ 1.31 MB/s	35	140

802.11g	Jun 2003	2.4	20	6 Mbit/s ~ 0.72 MB/s 9 Mbit/s ~ 1.07 MB/s 12 Mbit/s ~ 1.43 MB/s 18 Mbit/s ~ 2.15 MB/s 24 Mbit/s ~ 2.86 MB/s 36 Mbit/s ~ 4.29 MB/s 48 Mbit/s ~ 5.72 MB/s 54 Mbit/s ~ 6.44 MB/s	38	140
802.11n	Out 2009	2.4/5	20	7.2 Mbit/s ~ 0.86 MB/s 14.4 Mbit/s ~ 1.72 MB/s 21.7 Mbit/s ~ 2.59 MB/s 28.9 Mbit/s ~ 3.45 MB/s 43.3 Mbit/s ~ 5.16 MB/s 57.8 Mbit/s ~ 6.89 MB/s 65 Mbit/s ~ 7.75 MB/s 72.2 Mbit/s ~ 8.61 MB/s	70	250
			40	15 Mbit/s ~ 1.79 MB/s 30 Mbit/s ~ 3.58 MB/s 45 Mbit/s ~ 5.36 MB/s 60 Mbit/s ~ 7.15 MB/s 90 Mbit/s ~ 10.73 MB/s 120 Mbit/s ~ 14.31 MB/s 135 Mbit/s ~ 16.09 MB/s 150 Mbit/s ~ 17.88 MB/s		
802.11ac	Dez 2013	5	20	até 87.6 Mbit/s ~ 10.44 MB/s	-	-

			40	até 200 Mbit/s ~ 23.84 MB/s	–	–
			80	até 433.3 Mbit/s ~ 51.65 MB/s	–	–
			160	até 866.7 Mbit/s ~ 103.32 MB/s	–	–
802.11ad	Dez 2012	60	2160	até 6912 Mbit/s ~ 823.97 MB/s (6.75 Gbit/s)	–	–

Fonte: Wikipédia. <https://pt.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11> (2020).

Anexo 2: Datasheet do TC, sensor de corrente SCT 013.

Split core current transformer

Model: SCT-013

Rated input current: 5A/100A

Characteristics: Opening size: 13mm*13mm,
 Non-linearity: ±3% (10%—120% of rated input current)
 1m leading wire, standard $\Phi 3.5$ three core plug output.
 Current output type and voltage output type (voltage output type built-in sampling resistor)

Purpose: Used for current measurement, monitor and protection for AC motor, lighting equipment, air compressor etc

Core material: ferrite

Mechanical strength: the number of switching is not less than 1000 times(test at 25°C)

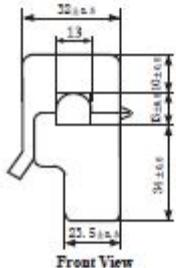
Safety index: Dielectric strength(between shell and output)1000V AC/1min

Fire resistance property: In accordance with UL94-Vo

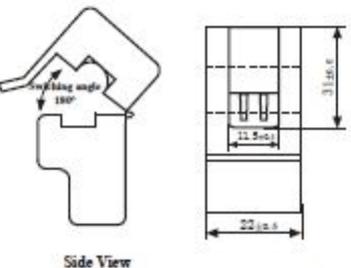
Work temperature: -25°C ~ +70°C

Outline size diagram: (in mm)





Front View



Side View

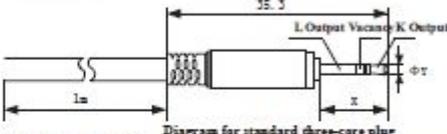
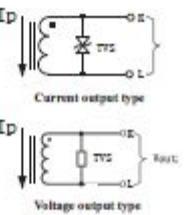


Diagram for standard three-core plug



Schematic diagram

Three-core plug size

	X	Y	
2.5mm Audio Plug	11.9	2.5	Optional
3.5mm Audio Plug	15.0	3.5	standard

Table of technical parameter:

Model	SCT-013-000	SCT-013-005	SCT-013-010	SCT-013-015	SCT-013-020
Input current	0-100A	0-5A	0-10A	0-15A	0-20A
Output type	0-50mA	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V

Model	SCT-013-025	SCT-013-030	SCT-013-050	SCT-013-060	SCT-013-000V
Input current	0-25A	0-30A	0-50A	0-60A	0-100A
Output type	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V

※ Output type: voltage output type built-in sampling resistor, current output type built-in protective diode.

Tel: 86-13933609279 Fax: 86-7929499-804 skype:macymeng1
 Web (China): www.yhdc.com Web (Latvia): www.yhdc.lv

Fonte: Datasheet YHDC SCT 013.

Anexo 3: *Datasheet* do sensor de tensão ZMPT101B.

Qinxiang Zeming Lanqixi Electronic

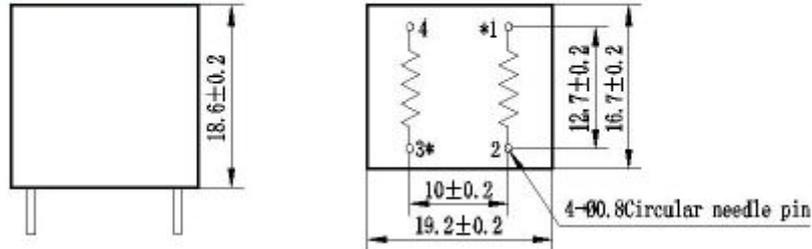
www.micro-transformer.com

ZMPT101B

Current-type Voltage Transformer

Small size, high accuracy, good consistency, for voltage and power measurement

Structural parameters:



Remarks: primary input: 1, 2 pins secondary output: 3, 4pins
Or
primary input: 3, 4 pins secondary output: 1, 2pins
*** Same polarity

Front view

Bottom view

The main technical parameters:

Model	ZMPT101B
Rated input current	2mA
Rated output current	2mA
turns ratio	1000:1000
phase angle error	±20' (Input 2mA, sampling resistor 100Ω)
operating range	0~1000V 0~10mA (sampling resistor 100Ω)
linearity	±0.2%(20%dot~120%dot)
Permissible error	-0.3%±f ±0.2% (Input 2mA, sampling resistor 100Ω)
isolation voltage	4000V
application	voltage and power measurement
Encapsulation	Epoxy
Installation	PCB mounting (Pin Length>3mm)
Operating temperature	-40℃~+60℃
Case Material	ABS (Note: ABS CASE IS NOT available for wave-soldering)

Tel: 86-25-52601870

E-mail: zm@zeming-e.com

Direction for use:

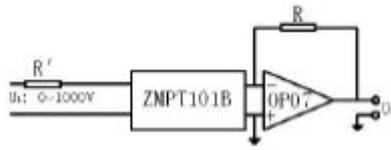


Figure 1

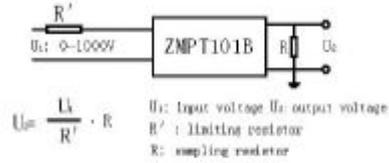


Figure 2

1. The typical usage of the product is for the active output (Figure 1). R' is a limiting resistor, R is a sampling resistor.
2. The product can be directly through the resistance sampling, easy to use (Figure 2).

Anexo 4: Datasheet do wattímetro digital EM12.

Energy Management Energy Meter Type EM12 DIN

CARLO GAVAZZI



- Single phase energy meter
- Class 1 (kWh) according to EN62052-11 and EN62053-21
- 2-tariff management (by serial communication)
- Energy read out on display: 6+0 digit
- Variables read out on display: 4 DGT
- Measurements on display: kWh, V, A, kW, kvar, kVA, PF, kvarh
- Measurements via serial communication: same on the display
- Direct current measurement up to 100AAC
- Self power supply
- Dimensions: 18mm wide
- Protection degree (front): IP51
- RS-485 Modbus RTU port
- Backlight display
- Easy-connection management

Product description

Single-phase energy meter with LCD data displaying; particularly indicated for active energy metering and for cost allocation in applications up to 100 A (direct con-

nection). Housing for DIN-rail mounting; Modbus RS485 port. Dual tariff meters, instantaneous values of current, voltage, power and active/reactive energy.

How to order **EM12-DIN AVO 1 X S1 X**

Model	EM12-DIN
Range code	AVO
System	1
Power supply	X
Output	S1
Option	X

Type Selection

Range code	System	Power supply	Output
AVO: 230VLN AC 10(100)A (Direct connection)	1: 1-phase, 2-wire	X: self power supply, -20% +20% of the rated measuring input voltage, 50 to 60Hz ± 2%	S1: RS485 port
Option			
X: none			

Input specification

Rated input	Current type	Phase-neutral voltage	In the range U _{rc} ±(0,5% RDG)
Current range	1-phase loads, direct 10(100)A	Frequency	Range: 50 to 60Hz ± 2%
Nominal voltage	230VLN AC ±20%	Active power	From 0.04 In to 0.2Ib, within Un range, PF=1: ±(2% RDG +1DGT)
Accuracy (@25°C 5°C, R.H. <75%, 50 to 60Hz ± 2%) AVO	I _{rc} : 10A, I _{max} : 100A; U _{rc} : 230VLN -20% +20% From 0.04Ib to 0.2Ib: ±(1% RDG)	Reactive power	From 0.2 In to I _{max} , within Un range, PF=0.5L or 0.8C: ±(1% RDG +1DGT)
Current	From 0.2Ib to I _{max} : ±(0,5% RDG)		From 0.05 In to 0.2Ib, within Un range, PF=1:

Specifications are subject to change without notice EM12 DIN DS 240713

1

Input specification

Active energy	$\pm(3\% \text{ RDG} + 1\text{DGT})$. From 0.2 In to I _{max} , within U _n range, PF=0.5L or 0.9C; $\pm(2\% \text{ RDG} + 1\text{DGT})$ Class 1 according to EN62052-11 and EN62053-21	Energies read-out	Total: 8+0 digit Energy is always integrated (Independently on the current direction)
Reactive energy	Class 2 according to EN62053-23	Instantaneous variables readout Backlight	4 DGT, automatic scroll ON by pressing the key button
Start up current	40mA Self consumption not to be measured	Max. and Min. Indication Energies	Max. 999 999 Min. 0
Resolution (display and via serial port)		Instantaneous variables (optional)	Max. 999.9 or 99.99 Min. 0.0 or 0.00
Current	0.1A	LEDs	red LED (Energy consumption), 1000 imp./kWh (min. period: 90ms) according to EN62053-21.
Voltage	0.1V	Current Overloads	
Power	0.01kW, kvar, kVA	Continuous	100A, @ 50Hz
Energies	1kWh/1kvarh 0.01kWh/0.01kvarh (serial communication)	For 10ms	3000 A
Energy additional errors influence quantities	According to EN62053-21	Voltage Overloads	
Temperature drift	$<200 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$	Continuous	1.2 U _n
Sampling rate	4096 samples/s @ 50Hz 4096 samples/s @ 60Hz	For 500ms	2 U _n
Display	1 line: 8 DGT	Input impedance	
Type	Backlight LCD, h 7 mm	230V-L 10(100) A	$>720 \text{ Kohm}$ $<3 \text{ VA}$

Output specifications

RS485 serial port	RS 485 by screw connection.	Baud rate	1.2, 2.4, 4.8, 9.6 kbaud,
Function	For communication of measured data and tariff/ time programming	Default baud rate	9.6 Mb
Protocol	ModBus RTU (slave function)	Data	(8 data bit, 1 stop bit, no parity)
		Address	1 to 247
		Default address	Last 2 digits of the serial number

General specifications

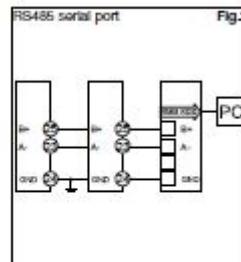
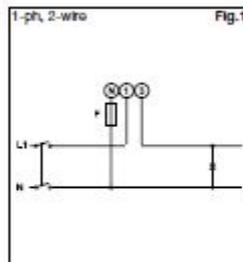
Operating temperature	-20 to +65 °C, Indoor, (R.H. from 0 to 90% non-condensing @ 40°C)	EMC	According to EN62052-11
Storage temperature	-30°C to +70°C (R.H. <90% noncondensing @ 40°C)	Electrostatic discharges	15kV air discharge;
Installation category	Cat. III (IEC 60664, EN60664)	Immunity to irradiated electromagnetic fields	Test with current: 10W/m from 80 to 2000MHz; Test without any current: 30W/m from 80 to 2000MHz;
Insulation (for 1 minute)	4000 VAC RMS between measuring inputs and digital/serial output 4000 VAC RMS	Burst	On current and voltage measuring inputs circuit: 2500VAC
Dielectric strength	4000VAC RMS for 1 minute	Immunity to conducted disturbances	10W/m from 150kHz to 80MHz

General specifications (cont.)

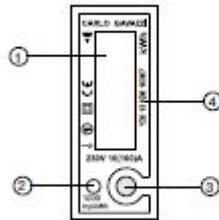
Surge	On current and voltage measuring circuit: 4kV; According to CISPR 22	Other terminals	Max. screw tightening torque: 2.2 Nm 1.5 mm ²
Radio frequency		Housing	
Standard compliance		Dimensions (WxHxD)	18 x 90 x 72 mm
Safety	IEC60064, IEC61010-1 EN60064, EN61010-1 EN62062-11	Material	ABS, self-extinguishing
		Sealing covers	Included
Metrology	EN62063-21	Protection degree	
Approvals	CE	Front	IP51
Connections		Weight	Approx. 130g (packing included)
Cable cross-section area	Measuring inputs: max. 10mm ² , min. 5mm ² with metallic cable lug;	RTC accuracy (for tariff management)	<0.5 s/day

Power supply specifications

Self supplied version	230VAC VL-N, -20% +20% 50/60Hz	Power consumption	<0.4W, <8VA
-----------------------	-----------------------------------	-------------------	-------------

Wiring diagrams

Frontal panel



1. **Displays**
LCD-type with alphanumeric indications and blue backlight
2. **LED**
LED is blinking proportional to kWh reading (1000imp/kWh width 90ms)
3. **Push button**
Push button: to scroll among the display page in measurement mode
4. **Serial number + production year**
Last 2 digits of the serial number indicate the serial communication address (default).

Dimensions

