



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação

Fábio Renato Bassan
Felipe Lima dos Reis Marques
Gabriel Legramanti Ramos
João Paulo Vicentini Fracarolli

Medidor de Consumo de Energia Elétrica IoT

Campinas
Junho de 2019

RESUMO

Este relatório aborda a implementação de um medidor de energia, utilizando IoT, visando a atuação em residências com o objetivo de informar o consumidor de energia o histórico de consumo e o consumo em tempo real. A motivação desse trabalho se baseia na necessidade da informação dada ao consumidor, visando o controle do consumo de energia elétrica e consequentemente o uso racional da mesma. O sistema proposto consiste na medição do nível de tensão e do nível de corrente, de uma residência, onde que através dessas duas grandezas será calculada a potência consumida e informada ao consumidor residencial, via aplicativo smartphone.

Palavras-chave: IoT 1. Medidor de Energia 2. Controle de Consumo de Energia 3.

SUMÁRIO

Introdução	3
Metodologia	5
Ciclo de Negócio	5
Ciclo de Especificação	6
Ciclo de Implementação	8
Desenvolvimento	11
Hardware	11
Firmware	13
Procedimento e montagem para a calibração da medição de energia	15
Aplicação	18
Conclusão	20

1 INTRODUÇÃO

O termo Internet das coisas ou Internet of Things, do inglês, foi utilizado pela primeira vez por Kevin Ashton, no ano de 1999, em um trabalho seu intitulado como "Imadeat Procter & Gamble". Resumidamente, a Internet das Coisas pode ser denominada como uma extensão da Internet que possibilita aos objetos terem uma capacidade computacional e de comunicação e se conectarem à Internet. No entanto, quando o termo surgiu, em 1999, o termo ainda não era foco de grande número de pesquisas [1].

No ano seguinte, após o nascimento do termo, em junho de 2000 surge o primeiro eletrodoméstico denominado como "inteligente"apresentado pela a LG, em que o presidente da empresa, na ocasião, anunciou que os consumidores poderiam usar a geladeira com internet como uma TV, rádio, para chamadas com vídeo, bulletin board, agenda e câmera digital[2].

Com o advento das tecnologias utilizadas e a importância que a IoT vem conquistando na sociedade, o Conselho Nacional de Inteligência dos EUA (NIC) a considera como uma das seis tecnologias civis mais promissoras, e que mais impactarão a nação em um futuro próximo, sendo previsto embalagens de alimento, documentos e móveis conectados à Internet [3].

De acordo com [4], existem algumas projeções, para o ano de 2020, que estimam um crescimento exponencial de 50 milhões de aparelhos conectados à Internet. Diante do contexto, em que a IoT pode ser utilizada em um universo de coisas, também vale destacar os meios visando a eficiência energética e consequentemente a economia de energia.

Em [5] uma rede sem fio de sensores e atuadores foi desenvolvida, com o objetivo de atualizar tecnologias em aparelhos de ar condicionado instalados em edifícios e residências. A solução proposta é capaz de agregar novas funcionalidades aos sistemas de climatização convencionais novos ou já instalado sem construções antigas.

Em [6] , um protótipo para o monitoramento do consumo de água, para uso residencial, é apresentado. O objetivo é que o consumo instantâneo seja mensurado e os dados gerados em tempo real, na internet, sejam disponibilizados para serem consultados para outras aplicações. O protótipo proposto em [6] utiliza uma meta-plataforma de código aberto, o visa facilitar o desenvolvimento de dispositivos que conectam coisas à internet.

Esse trabalho tem por objetivo fazer uma aplicação visando a eficiência energética, onde é apresentado um projeto que propõe uma solução aos usuários de energia elétrica, em nível residencial. Para isso, é proposto um hardware composto de um circuito integrado especializado para a medição de parâmetros de consumo de energia, o ADE7758 [7], um microprocessador ESP32 [8] especializado para aplicações IoT, e fabricado pela Espressif entre outros componentes eletrônicos diversos, como resistores, capacitores, reguladores de tensão e conectores, descritos na seção x. (seção de metodologia).

Como relação à programação será utilizada a linguagem C++, com o ambiente de desenvolvimento VisualStudio Code, da Microsoft. Usando o plugin PlatformIO IDE. A motivação para o uso dessa linguagem, juntamente com a referida IDE, é a interação simples com o aplicativo de smartphone Blynk, descrito na seção xx, que será utilizado para apresentar ao cliente a quantidade de energia consumida em tempo real e, respectivamente, o histórico de consumo.

Dessa forma, com todos os procedimentos mencionados anteriormente, basta que o dispositivo tenha uma conexão wi-fi que o consumo poderá ser medido e informado, possibilitando que o consumidor seja melhor informado e consiga ser um membro mais ativo do seu próprio consumo.

2 METODOLOGIA

A metodologia adotada sugere um modelo de desenvolvimento de uma solução IoT baseada em três ciclos, sendo eles: Negócio, Especificação e Implementação.

2.1 CICLO DE NEGÓCIO

Esse ciclo analisa de forma sistematizada o negócio, que compreende: o próprio negócio, as coisas, especialista e regras de negócio.

O Negócio deste trabalho é a economia de energia elétrica aplicada a consumidores residenciais. A motivação é a redução do consumo de energia, gerando economia ao consumidor.

A Coisa, é definida como o objeto que será monitorado e eventualmente controlado. Nesse projeto a coisa a ser monitorada pode ser entendida como o quadro de distribuição da residência, pode ser entendido também como a energia elétrica consumida pela residência. A Coisa aqui será apenas monitorada pelo sistema, o controle sobre a coisa (consumo de energia) será feito pelo usuário.

O Especialista identificado deve ser familiarizado com o sistema energia elétrica em uma residência, formas de medição de consumo de energia, tributação de energia e o perfil de consumo diário em uma residência.

As Regras de Negócio são o que trazem valor a solução usando IoT [9]. A economia de energia elétrica (o Negócio) funcionaria sem um sistema IoT. A limitação nesse caso é que o consumidor é informado sobre seu consumo apenas uma vez ao mês pela fatura de energia elétrica. Usando um sistema IoT o consumidor deve ganhar comodidade no controle do consumo acessando esse valor de forma remota pelo smartphone, além disso, o consumidor será realimentado de forma rápida e poderá tomar ações que enquadrem seu consumo de energia em sua meta de consumo.

A Figura 1 apresenta o ciclo de negócio, mostrando as principais definições para essa fase de desenvolvimento.

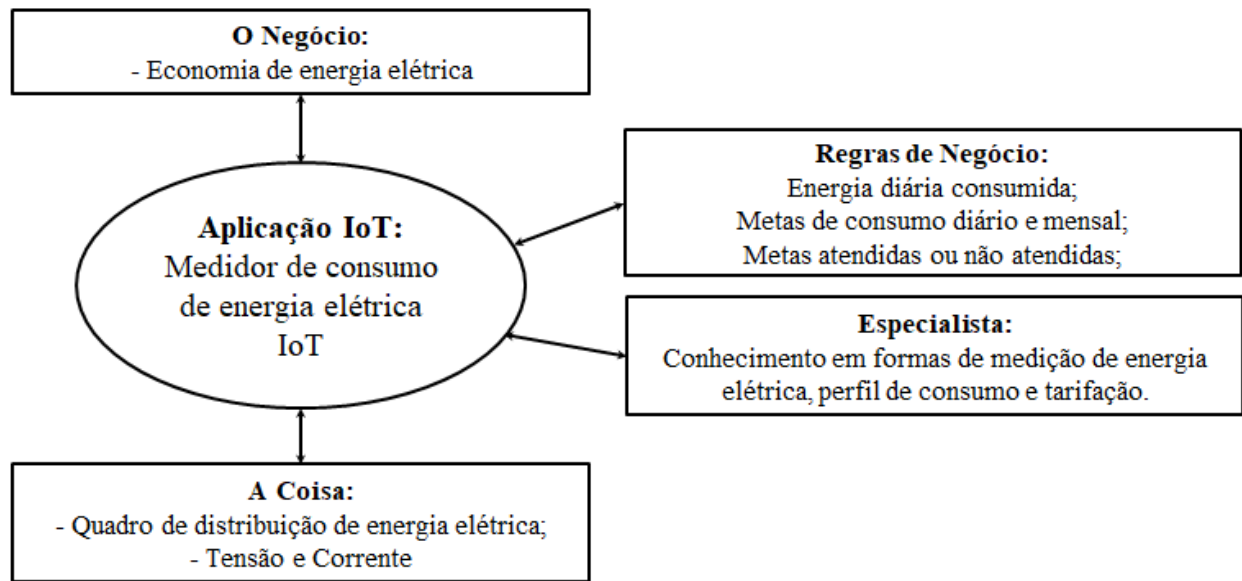


Figura 1: Ciclo de negócio

2.2 CICLO DE ESPECIFICAÇÃO

O Ciclo de especificação tem por objetivo caracterizar a aplicação IoT em níveis que conectam o negócio a coisa, em uma abordagem top-down [9]. Os níveis do ciclo de especificação adotados neste desenvolvimento foram: Exibição, Abstração, Armazenamento, Borda, Conectividade e Sensor. A seguir, esses itens serão descritos seguindo a abordagem top-down, ou seja, iniciando pelo nível Exibição e finalizando no nível Sensor. A Figura 2 mostra os níveis do ciclo de especificação.

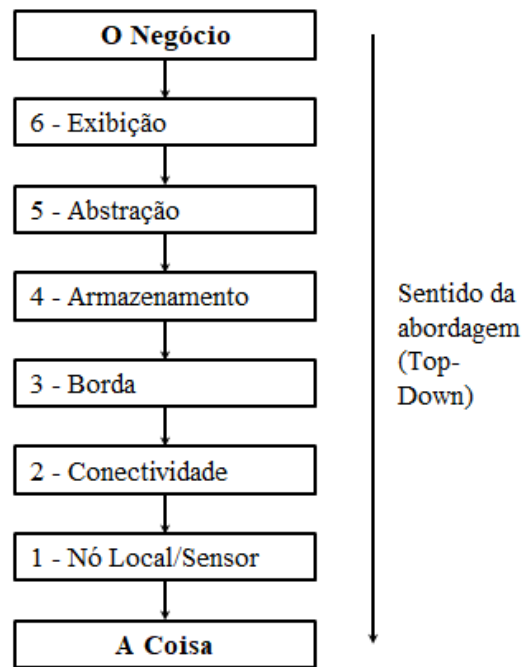


Figura 2: Níveis do ciclo de especificação

O nível de Exibição trata de como as informações serão exibidas ao usuário visando a tomada de decisão do negócio (economia de energia). Nesse desenvolvimento as informações serão disponibilizadas em forma de gráfico acumulativo de consumo de energia, também serão exibidos alertas de limite de consumo diário.

A camada de Abstração utiliza os dados armazenados para realizar a transformação de informação em conhecimento. Faz uso de, por exemplo, de inteligência artificial para reconhecer padrões de comportamento [9]. Para essa aplicação o sensor envia dados já formatados de consumo de energia acumulado que são usados diretamente na Exibição. Uma possível aplicação para essa camada seria a correlação entre consumo de energia e a previsão do tempo, o sistema aprenderia, por exemplo, que em dias frios o consumo é mais elevado. Dessa forma, notificaria o usuário a reduzir o consumo atual de energia, pois na semana seguinte a previsão do tempo indica que a temperatura irá baixar.

O nível de Armazenamento é onde os dados serão guardados, podendo ser, por exemplo, na nuvem ou no cliente [9]. Nesse projeto, os dados serão armazenados no servidor (nuvem),

como contingência os dados de consumo diário dos últimos dez dias serão armazenados no Sensor (cliente).

O Elemento de borda está conectado à Internet e deve ser capaz de garantir o bom funcionamento do sistema, realizando as funções exigidas pelos outros níveis, também parametriza o nó local, que está ligado com as coisas, além disso, possui capacidade de armazenar dados para quando cair a Internet [9]. Nesse projeto o Elemento de Borda e o Sensor ficam fisicamente no mesmo ponto e serão descritos a seguir.

No nível Conectividade estão as soluções sem fio, que criam rede de sensores sem fio. Este é um nível muito crítico para obter o êxito de uma aplicação IoT. O uso adequado das tecnologias, considerando as necessidades de cada local, é fundamental [9]. Nesse projeto o local de instalação do Sensor será um quadro de energia elétrica, geralmente esse equipamento fica dentro da residência. O volume de dados transmitido será muito baixo, cerca de uma medida a cada 15 minutos. Por esses motivos, a conectividade será feita através da rede wi-fi residencial.

O nível Sensor é responsável pela aquisição dos dados, o tratamento local para retirar outliers, implementa algoritmos para análise básica das grandezas e deve ser pensado como autônomo quanto a operação, não dependendo de decisões de outros níveis, além disso, deve ser parametrizável e armazenar dados [9]. Nesse projeto o Sensor/Borda irá medir a energia elétrica consumida a cada cinco minutos (retirando os outliers da medição), irá acumular três valores e transmitir o valor acumulado para o nível de Armazenamento, ou seja, será transmitido um valor a cada 15 minutos.

2.3 CICLO DE IMPLEMENTAÇÃO

O Ciclo de implementação tem por objetivo implementar a solução IoT, tornando as especificações em algo que possa ser implementado/criado. Esse ciclo é dividido em níveis, os mesmos níveis do ciclo de implementação, porém nessa fase a abordagem de implementação dos itens é bottom-up, iniciando pelo nível mais próximo a coisa (Sensor/Atuador Local) e

finalizando no nível mais próximo ao negócio (Exibição). A Figura 3 mostra os níveis do ciclo de especificação.

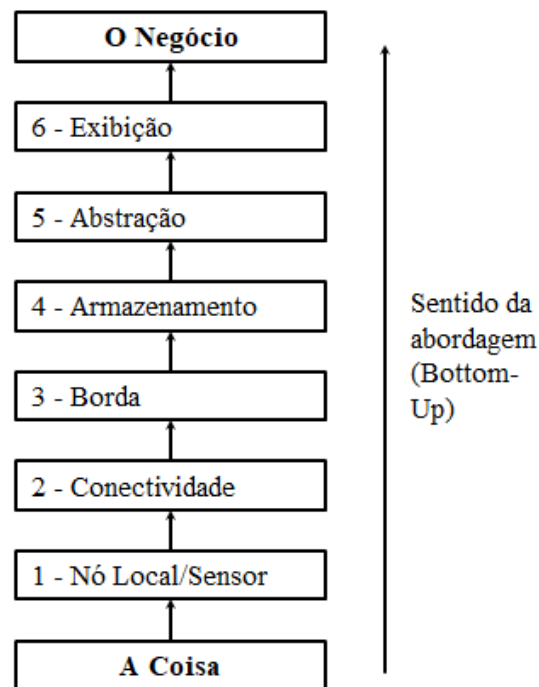


Figura 3: Ciclo de implementação

Nesse projeto, o nível Sensor/Borda, foi implementado usando transformadores de corrente e divisores resistivos para a medição de corrente e tensão respectivamente. Esses sinais são amostrados e processados usando um circuito integrado dedicado para a medição de energia, optamos pelo CI ADE7758 da empresa Analog Devices, pois com ele é possível implementar desde uma solução monofásica até trifásica, cobrindo vários tipos de consumidores. O microcontrolador usado foi o ESP32, esse componente possui bastante suporte ao desenvolvimento, facilitando a implementação, além de ter conectividade integrada e um custo acessível.

O nível Conectividade foi feito usando a rede wifi devido ao local da instalação do sensor e facilidade de desenvolvimento.

O nível de Abstração foi implementado fisicamente no Sensor de uma forma bastante simples, apenas convertendo os valores lidos de energia (hexadecimal) em valores amigáveis ao usuário.

A implementação do nível de Armazenamento foi realizada usando o servidor Blynk, esse serviço também foi usado no nível de Exibição para a geração de gráficos de consumo e alarmes. Esse serviço (Blynk) mostrou-se adequado ao desenvolvimento devido, mais uma vez, a facilidade de implementação e custo bastante atraente.

Como pode ser notado o ciclo de implementação não seguiu uma lógica sequencial bottom-up, isto ocorreu devido a complexidade do projeto, onde alguns níveis puderam ser implementados fisicamente em um mesmo dispositivo. A Figura 4 apresenta de forma gráfica os três ciclos de desenvolvimento tratados nessa seção.

Níveis		
7 – O Negócio: Economia de Energia elétrica.	Ciclo de Especificação	Ciclo de Implementação
6 – Exibição	<ul style="list-style-type: none"> - Gráficos de consumo instantâneo, diário, mensal; - Semáforo de consumo de acordo com a meta de consumo. 	Servidor e Aplicativo Blynk
5 – Abstração	<ul style="list-style-type: none"> - Conversão das unidades medidas para kWh. 	Foi implementado no nível do Nó local / Sensor
4 – Armazenamento	<ul style="list-style-type: none"> - Armazenar dados enviados para o aplicativo (nuvem) a cada 15 minutos; - Armazenamento local das últimas 30 medidas. 	Servidor Blynk, Nó local
3 – Borda	<ul style="list-style-type: none"> - Medição e envio de consumo de energia a cada 15 minutos. - Retirada de outliers. 	Foi implementado no nível do Nó local / Sensor
2 – Conectividade	<ul style="list-style-type: none"> - Rede de comunicação mais adequada a aplicação. 	WI-FI local
1 – Nó Local/Sensor	<ul style="list-style-type: none"> - Medição de Tensão e Corrente. - Cálculo de energia consumida. 	-TC -Divisor Resistivo -ADE7758 -ESP32
0 – Coisa: Quadro de distribuição de energia elétrica.		

Figura 4: Visão geral dos ciclos IoT

3 DESENVOLVIMENTO

Após os três ciclos IoT, o desenvolvimento da solução foi realizada, dividida em três frentes, sendo elas, Hardware, Firmware e Aplicação. Cada uma dessas frentes será detalhada a seguir.

3.1 HARDWARE

Essa frente de desenvolvimento compreende a realização do hardware eletrônico e mecânico do projeto. O diagrama de blocos do hardware eletrônico pode ser visto na Figura 5.

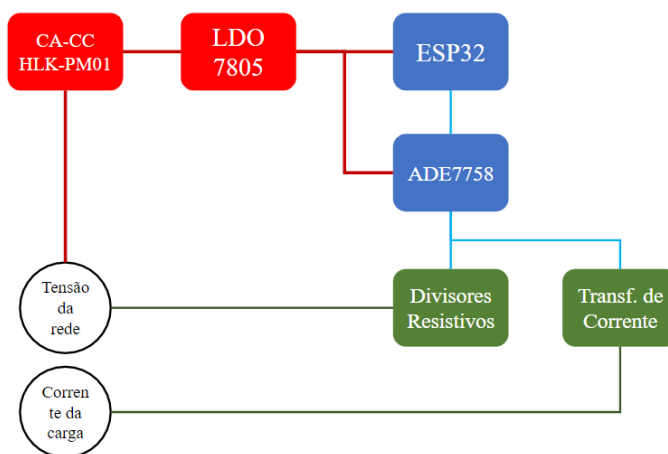


Figura 5: Diagrama de blocos do Hardware Eletrônico

O conversor AC/DC tem a função de adequar o nível de tensão para a correta alimentação do circuito, convertendo a tensão de 127-220Vac para 9Vdc. Ainda no circuito de alimentação,

foi usado um regulador de tensão linear, baixando a tensão de 9Vdc para 5Vdc, foi usado um regulador 7805 para essa função.

A medição de corrente foi realizada usando um transformador de corrente (TC) com razão de medição de 30A/1Vpp, ou seja, para 30A de corrente o sinal de saída do TC é de 1Vpp. Para a medição de tensão foram usados divisores resistivos, a fim de adequar a tensão de entrada ao circuito de medição ($V_{max} = 1V_{pp}$) [7].

O componente ADE7758 foi usado para realizar a medição da energia consumida, trata-se de um componente dedicado a essa função. De forma resumida e após a correta configuração e calibração, o ADE7758 disponibiliza em um registrador a energia consumida durante um determinado período.

A função do microcontrolador é realizar a leitura dos registradores do chip medidor de energia (ADE7758), formatar os dados lidos, retirar outliers e disponibilizar os dados lidos ao servidor. Também é função desse elemento a configuração do ADE7758 e conectividade com a rede Wifi do usuário da solução. O microcontrolador usado foi o ESP32, devido a sua facilidade de uso, rápida prototipagem e custo acessível.

A Figura 6 mostra o projeto do hardware eletrônico, indicando os principais componentes do circuito.

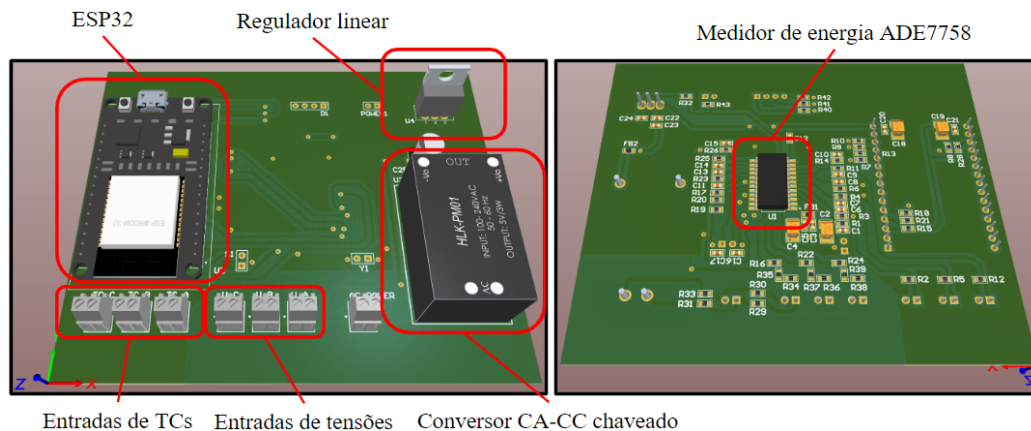


Figura 6: Hardware Eletrônico e principais componentes

Para o Hardware mecânico (encapsulamento do equipamento), foi escolhida uma solução de mercado. Foi buscado um encapsulamento que pudesse ser fixado em um trilho DIN (padrão

de quadros elétricos de distribuição) e que tivesse um bom espaço interno para comportar o hardware eletrônico. De acordo com esses critérios o encapsulamento DIN FUNDO 110 fabricado pela empresa Patola, foi escolhido. Uma imagem do hardware mecânico é mostrada na Figura 7.



Figura 7: Hardware mecânico

3.2 FIRMWARE

O firmware foi desenvolvido para o microcontrolador ESP32 da Espressif, tendo como objetivo a comunicação com o dispositivo ADE7758 para a leitura dos valores de consumo de energia e o envio destas informações para a plataforma Blynk. A Figura 8 mostra o diagrama de blocos inicialmente planejado para o firmware.

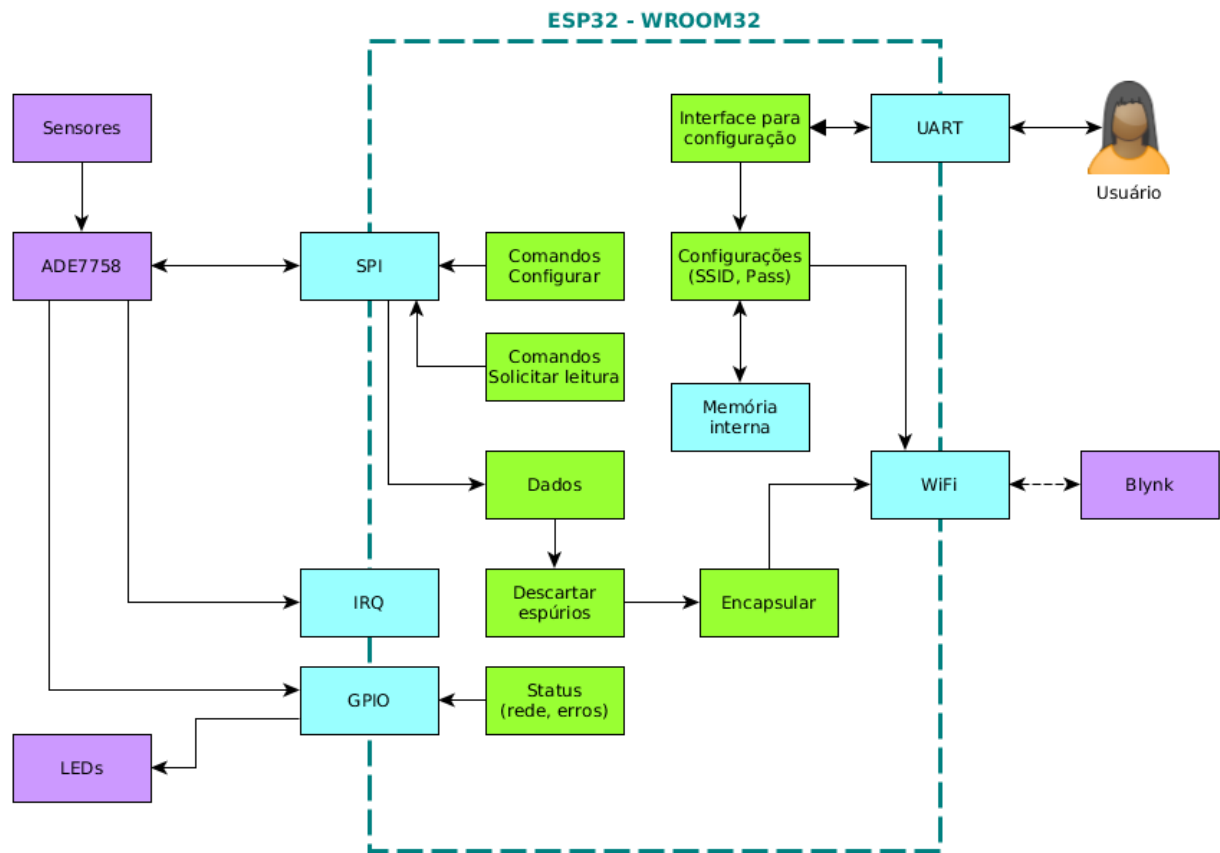


Figura 8: Diagrama de blocos da versão inicialmente planejada do firmware

Neste diagrama, a comunicação com os sensores está representada pela interface SPI (Serial Peripheral Interface) com o ADE7758. O dispositivo recebe comandos de configuração e solicitações periódicas para a leitura dos registradores de consumo de energia. Os dados são lidos pela SPI sempre que o ADE7758 sinalizar que os registradores estão prontos para serem lidos, através de um sinal de interrupção IRQ (Interrupt Request). Os dados lidos passam primeiramente por um filtro para descartar valores espúrios (erros de medição) e depois são enviados via WiFi para o servidor da plataforma Blynk.

As configurações da rede WiFi, como o seu SSID e senha seriam configurados via porta serial (UART) e armazenados na memória interna do ESP32. Esta parte ainda não foi completamente implementada pois o processo de calibração do ADE7758 demandou mais tempo do que previmos inicialmente. Devido ao prazo de entrega do projeto, decidimos não implementar esta funcionalidade no momento. O status do firmware é externado para um LED RGB conectado nas portas digitais (GPIO) do ESP32, sendo que cada cor simboliza um estado (verde = OK; amarelo = desconectado; vermelho = erro crítico).

A Figura 9 mostra o diagrama de blocos da versão final do firmware, sem a funcionalidade de armazenamento de configurações.

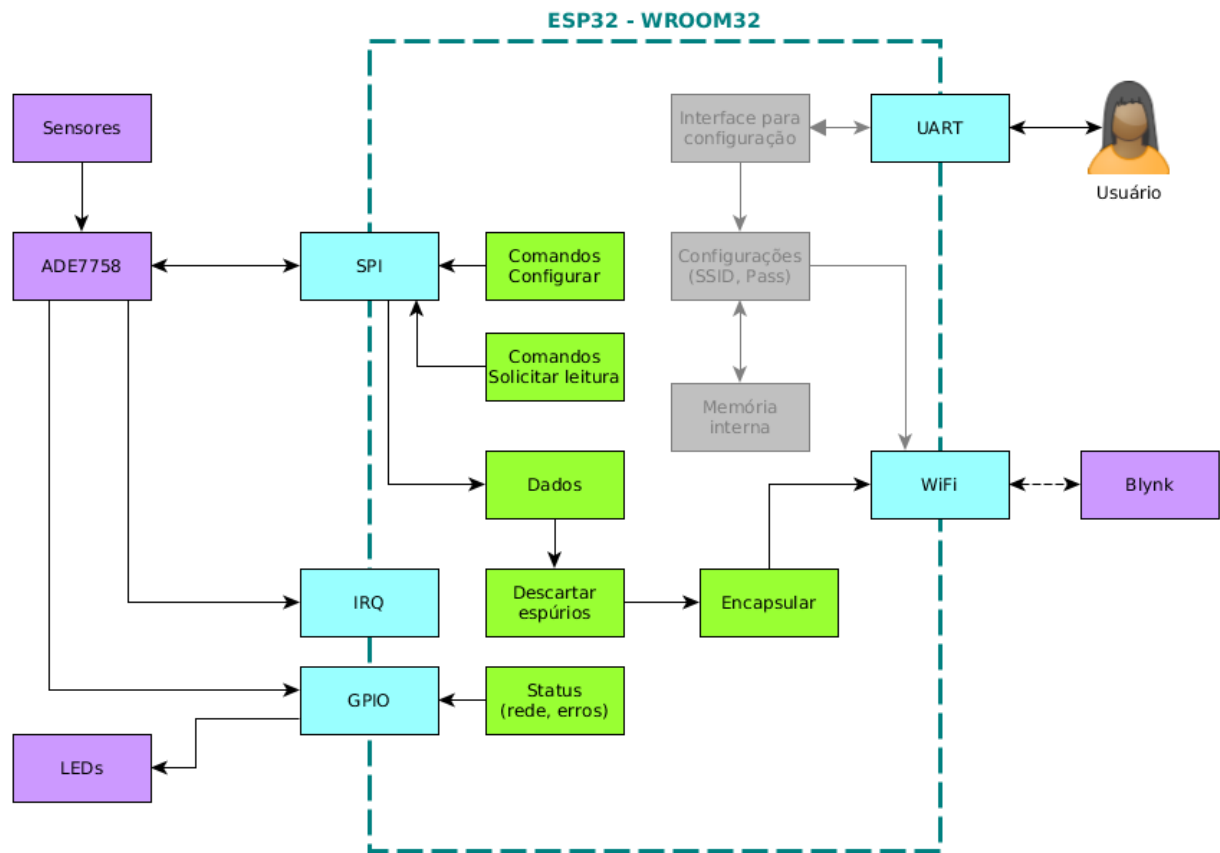


Figura 9: Diagrama de blocos da versão final do firmware

O desenvolvimento foi feito usando a linguagem C++, com o ambiente de desenvolvimento Visual Studio Code, da Microsoft. Usamos um plugin para o VSCode chamado PlatformIO IDE, que estrutura o ambiente do editor de forma apropriada para um sistema embarcado. Este plugin adiciona as funcionalidades de compilar, gravar e debugar o firmware, um monitor serial e controle de dependências. Foi usado o framework do Arduino, que inclui as bibliotecas compatíveis com o ESP32 e várias funcionalidades prontas, o que agilizou o processo de desenvolvimento.

O código-fonte do firmware pode ser baixado através da página do GitHub em que está armazenado (<https://github.com/jpaulovf/IE309X>). Cada função está comentada em maiores detalhes no próprio código.

3.2.1 Procedimento e montagem para a calibração da medição de energia

Aqui descreve-se a etapa de calibração do sistema de medição de energia. A metodologia utilizada baseia-se na simplificação do método que a Analog Devices sugere realizar.

Primeiramente, configurou-se os registradores envolvidos para valores nulos. Portanto, neste caso, os registradores de ganho, referência e outros tiveram seus valores padrões sobrescritos com zeros. Desta forma, os sinais medidos não recebem nenhum tratamento por parte do ADE7758, tais como prescaler, ganho e demais tratamento. A Tabela 1 apresenta esses registradores.

Tabela 1: Registradores envolvidos para valores nulos

Registrador ADE7758	Endereço do Registrador	Valores escritos
APCFNUM	0x45	0x0000
APCFDEN	0x46	0x0000
AWG	0x2A	0x00
BWG	0x2B	0x00
CWG	0x2C	0x00

Com a finalidade de criar e testar a metodologia simplificada de calibração, selecionou-se a fase A. A partir do momento que a calibração estivesse ajustada e testada para a fase A, poderia-se replicar para as demais fases. Portanto, o registro MMODE (0x14) recebeu o valor 0xFC.

Em seguida, configurou-se o modo de Line Accumulation para a W.h na fase A, através do registro LCYCMODE (0x17) e do valor 0x09. Neste procedimento de calibração simplificada a acumulação configurada foi de 500 meio-ciclos. Para tal, é necessário configurar o registro LINECYC (0x1C) com o valor de 0x01F4.

O registrador de máscara de interrupções foi configurado para disparar a interrupção quando a acumulação terminar, ou seja, o registro MASK (0x18) teve o valor 0x001000 atribuído.

Na montagem para realizar a calibração, usando um gerador de funções, aplicou-se nas entradas de corrente e tensão o mesmo sinal. Este sinal possuía as seguintes propriedades: sinal senoidal de 60 Hz e 100 mV pico-a-pico, sem nível CC. Com essas características, e baseando-se nas características dos sensores de corrente e tensão, esses sinais correspondem a leitura nos sensores de 110 Vrms para o sensor de tensão e 3 Arms para o sensor de corrente, ou seja, isso corresponderia a potência de uma carga equivalente de 330 W, que em uma hora, consumiria 330 W.h.

A cada interrupção, lia-se o registrador AWATTHR (0x01) responsável pelo armazenamento da quantidade de W.h acumulada durante o período dado por LINECYC (0x1C), que foi de 500 semi-ciclos. Para os sinais inseridos pelo gerador de funções, o valor lido foi de 0x8B2 ou 2226 em decimal. O tempo de acumulação desse é calculado segundo o seguinte raciocínio:

- $500 / 2 \text{ ciclos} = 250 \text{ ciclos}$;
- Cada ciclo tem frequência de 60 Hz, que resulta num período de $1 / 60 \text{ s}$;
- Portanto, o tempo de acumulação foi de $250 * (1 / 60) = 4,166667 \text{ s}$.

Como deseja-se medir em W.h, é necessário encontrar sua equivalência. Logo, esse tempo equivale, em horas a:

- $4,166667 / 3600 = 0,001157 \text{ hora}$

Sabendo que para os sinais de tensão e corrente inseridos, a potência equivalente é de 330 W. Portanto, durante o tempo de acumulação de 0,001157 hora, temos a potência equivalente de 0,381944 W.

Realizando a analogia com o valor 2226 (0x8B2) acumulado, ele equivale a 0,381944 W.h ($330 \text{ W} * 0,001157 \text{ h}$). Portanto, a constante W.h/LSB requerida pelo sistema para efetuar a calibração corresponde a:

- $0,381944 / 2226 = 0,000172 \text{ W.h/LSB}$

Por fim, a conversão do valor no registrador para W.h é realizada a partir da Equação (1), apresentada a seguir.

$$\text{CONSUMO [W.h]} = \text{xWATTHR} * 0,000172 \quad (1)$$

Sendo que xWATTHR corresponde a registros da fase A, B ou C, conforme a leitura. Para obter o valor após certo período, acumula-se o valor lido nos registradores xWATTHR e somase-se durante todo o mês. O mesmo vale para as demais fases, B e C.

3.3 APLICAÇÃO

A aplicação que se comunica com o firmware foi desenvolvida usando a plataforma Blynk. A interface gráfica é construída no próprio aplicativo, que pode ser baixado para Android ou iPhone. A Figura 10 mostra a tela da aplicação.

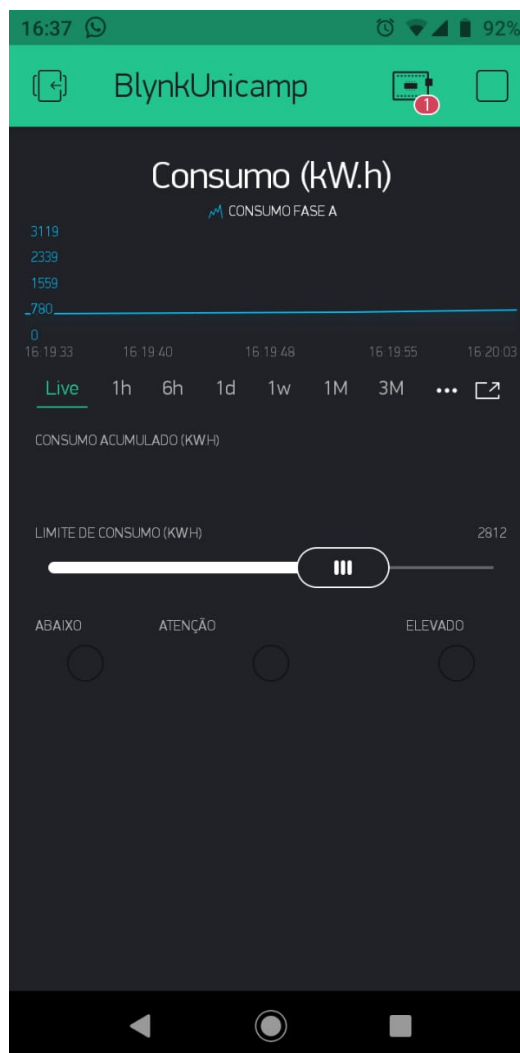


Figura 10: Tela da aplicação

Para a construção da aplicação, foram usados 6 componentes: o gráfico no topo é um SuperChart, que mostra a evolução do consumo, em kW.h; abaixo, temos um ValueDisplay, que mostra o valor de consumo acumulado até o momento; em seguida, temos um Slider que determina qual o limite estabelecido para os alarmes de consumo; por fim, temos três LEDs na

parte inferior da tela, que sinalizam a categoria do consumo medido. Caso esteja 50 kW.h abaixo do limite estabelecido, o LED da esquerda irá acender na cor verde, indicando que o consumo está abaixo do estabelecido. Se o consumo estiver a menos de 50 kW.h do limite, o LED do meio irá acender na cor amarela, indicando um estado de atenção. Caso o consumo esteja acima do valor estabelecido, o LED da direita irá acender na cor vermelha, alertando o usuário. Estes três estados podem ser vistos na Figura 11, onde foi estabelecido um limite de 272 kW.h.

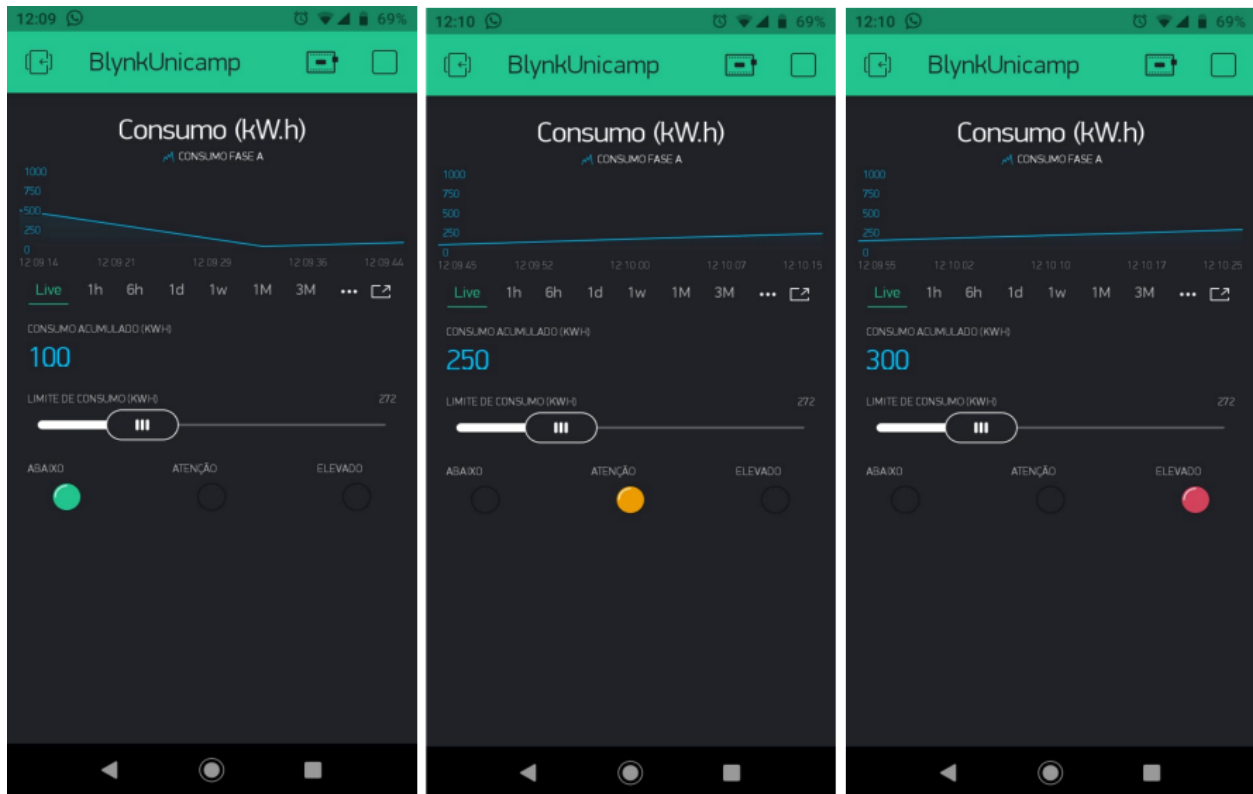


Figura 11: três diferentes estados de alarme para um limite de consumo estabelecido em 272 kW.h

A comunicação do Blynk com o firmware é feita através dos chamados pinos virtuais, que são atribuídos a cada elemento da interface. No lado do firmware, basta incluir a biblioteca do Blynk e escrever um valor no pino virtual correspondente a um elemento através de uma função chamada `virtualWrite`. A Tabela 2 mostra os pinos virtuais usados e suas respectivas atribuições.

Tabela 2: Pinos virtuais e suas atribuições

Pino virtual	Elemento
V0	Gráfico de evolução de consumo
V9	Mostrador do consumo acumulado
V10	Ajuste de limiar
V14	LED verde
V15	LED amarelo
V16	LED vermelho

4 CONCLUSÃO

Nesse projeto foi desenvolvido o protótipo de uma solução IoT voltada a economia de energia elétrica residencial, esta aplicação de IoT buscou implementar a economia de energia elétrica através do acompanhamento do consumo energético em tempo real. Foram mostradas as frentes de desenvolvimento do medidor de energia, apresentando as estruturas do hardware eletrônico e mecânico, firmware e aplicação, assim como a implementação de todas essas frentes de desenvolvimento. Além disso, foi detalhado o procedimento de calibração do medidor de energia.

A solução foi desenvolvida através do modelo de referência para desenvolvimento de soluções IoT, o modelo de três ciclos, sendo eles o ciclo de negócio, especificação e implementação. Esse modelo mostrou-se importante no projeto, pois serviu como norteador de desenvolvimento e levou a uma abordagem completa da solução, não apenas restrito aos desenvolvimentos de sistemas embarcados (eletrônico, mecânico, firmware, aplicação), mas também levou a pensar em um negócio onde a solução seria aplicada.

REFERÊNCIAS

- [1] B. P. Santos, L. Silva, C. Celes, J. B. Borges, B. S. P. Neto, M. A. M. Vieira, L. F. M. Vieira, O. N. Goussevskaia, and A. Loureiro, “Internet das coisas: da teoria à prática,” Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 2016.
- [2] T. SINGER, “Tudo conectado: conceitos e representações da internet das coisas,” Simpósio em tecnologias digitais e sociabilidade, vol. 2, pp. 1–15, 2012.
- [3] C. R. M. Pessoa, T. Silva, M. Rosa, and G. Jamil, “A internet das coisas: Conceitos aplicações, desafios e tendências,” in 13th International Conference on Information Systems and Technology Management—Contecsi, June, 2016.
- [4] A. L. Albertin and R. M. de Moura Albertin, “A internet das coisas irá muito além as coisas,” GV-executivo, vol. 16, no. 2, pp. 12–17, 2017.
- [5] B. E. Medina et al., “Internet das coisas em edifícios inteligentes= desenvolvimento de uma rede de sensores e atuadores sem fio para o controle de sistemas de climatização= internet of things in smart buildings: development of a wireless sensor and actuator network aimed to control climatization systems,” 2017.
- [6] E. Dornelas and S. Campello, “Monitoramento de consumo doméstico de água utilizando uma meta-plataforma de iot,” Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, vol. 2, no. 2, 2017.
- [7] ANALOG DEVICES, “Poy Phase Multifunction Energy Metering IC with Per Phase Information,” acessado em 17 de Março de 2019 - <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ade7758.pdf>.
- [8] Espressif, “Datasheet ESP32 Series,” acessado em 10 de Março de 2019 - <https://www.espressif.com>.
- [9] “Internet das Coisas Treinamento com três ciclos”, material da disciplina IE309X - Tópicos em Comunicações VI, 2019