

SISTEMA DE MEDIÇÃO E OTIMIZAÇÃO DO PADRÃO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE BAIXO CUSTO E ALTA CONFIABILIDADE

Vitor Rafael Zandarim e Antonio Newton Licciardi Junior

Apoio: PIBIC Mackenzie

RESUMO

A energia elétrica atualmente é a base produtiva da sociedade, sendo uma fonte de energia preciosa no mundo que precisa ser bem aproveitada, dentro dos critérios de sustentabilidade preconizados pela ONU. O presente trabalho visa desenvolver o protótipo eletrônico de medição de consumo com monitoramento e otimização a distância, em tempo real, do padrão de consumo dos estabelecimentos comerciais ou residenciais. Ele é concebido respeitando os princípios da internet das coisas, podendo ser operado pela Internet por aplicação a ser criada para utilização em celular, tablet ou computador. Inicialmente busca-se caracterizar os melhores componentes que vão compor o circuito a ser desenvolvido com aplicações de monitoramentos. O protótipo é instalado e testado em ambiente de laboratório para averiguação do funcionamento e desempenho com possíveis adequações. Os ensaios realizados são apresentados e embasados com referencial teórico do sistema e componentes utilizados. O custo do protótipo foi identificado, tomando por base o custo de componentes comprados para a sua montagem. Nas situações corriqueiras ou em cenários de consumo, foi evidenciado e calculado a capacidade de otimização do sistema elétrico monitorado. Para o cálculo do potencial de tempo de retorno do investimento, o protótipo foi considerado como um produto comercial. As análises e discussões sobre os resultados obtidos, bem como as reduções de custos, estão apresentados. Baseado nas análises das possíveis inovações e melhorias a serem identificadas.

Palavras-chave: Medição de consumo. Monitoramento em tempo real. Aplicação de uso pela Internet. Otimização de consumo. Análise de custos. Potencial de retorno de investimento. Internet das Coisas.

ABSTRACT

The Electricity is currently the productive base of society, being a source of precious energy in the world that needs to be used well, within the sustainability criteria recommended by the ONU. This work aims to develop the electronic prototype of consumption measurement with remote monitoring and optimization, in real time, of the consumption pattern of commercial or residential establishments. It is designed respecting the principles of the internet of things, can be operated over the internet by application to be created for use on mobile phones, tablets or computers. Initially, it seeks to characterize the best components that will compose the circuit to be developed with monitoring applications. The prototype is installed and tested in a laboratory environment to check the operation and performance with possible adjustments. The tests performed are presented and based on the theoretical framework of the system and components used. The cost of the prototype was identified based on the cost of components purchased for its assembly. In everyday situations or in consumption scenarios, was evidenced and calculated the optimization capacity of the electrical system of monitored. The time potential of return on investment, the prototype was considered as a commercial product. The analyzes and discussions on the results obtained, as well as the cost reductions, are presented. Based on the analysis of possible innovations and improvements to be identified.

Keywords: Consumption measurement. Real-time monitoring. Internet use application. Consumption optimization. Cost analysis. Potential return on investment. Internet of Things.

INTRODUÇÃO

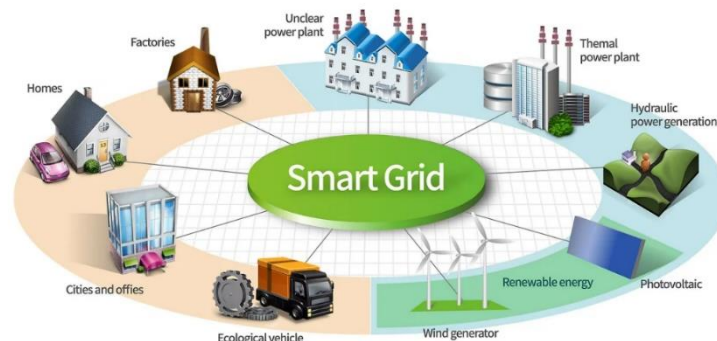
Em consideração ao sistema elétrico brasileiro, diversas alternativas de modernizações têm sido discutidas e planejadas, para viabilizar o suporte ao crescimento econômico a custos sustentáveis pelos seus usuários (ELETROPAULO, 2017).

Como exemplo, pode-se citar a diversificação da matriz energética com o aproveitamento da geração distribuída graças a sistemas como os eólicos e os fotovoltaicos, formas limpas e renováveis de energia (SCOOPVIDEOS, 2020).

Com as novas fontes de energias alternativas, os consumidores passarão a instalar geradores de fontes renováveis em suas propriedades. Dessa forma, em períodos longos em que a propriedade não estiver consumindo a energia gerada, passará a ser fornecedora de energia, devolvendo o excedente a distribuidora, realizando então ações de sustentabilidade, beneficiando também a rede de transmissão de energia (SOETHE et al., 2020). Este modelo é conhecido no Brasil como Redes Inteligentes e mundialmente como *Smart Grid* (ELETROPAULO, 2017).

A Figura 1 contém uma representação pictórica das potenciais áreas que podem ser endereçadas com a aplicação de Redes Inteligentes.

Figura 1. – Evolução das Redes Elétricas em Redes Sensoriadas/Controladas:



Fonte: (DEY ET AL., 2020)

Um dos principais problemas identificados para a implantação destas novas soluções de geração de energia, são os equipamentos de medição de consumo existentes nas instalações dos consumidores.

Atualmente, em sua grande maioria, os medidores são do tipo de indução, de concepção bastante antiga (GUNTURI, Sri Krishna Sankalp; REDDY, M. Sai Krishna., 2018). Estes equipamentos permitem a medição da entrada de energia elétrica somente em uma direção, não considerando a modernização do sistema para os de Redes Inteligentes, que permitem medir entrada e saída de energia, em que o usuário do sistema moderno poderá atuar como consumidor ou gerador (SCOOPVIDEOS, 2020). A Figura 2 contém a fotografia de um dos medidores de indução em operação.

Figura 2. – Utilização dos medidores de indução em operação:



Fonte: (DISRUPTORDAILY, 2019)

No cenário apresentado, desenvolve-se um equipamento que irá auxiliar na medição eletrônica e controle de consumo, além de viabilizar uma melhor precisão e confiabilidade nas medições (MIYASAKA, 2020).

O novo medidor a ser prototipado pode ser instalado pelo proprietário do estabelecimento. Ele irá operar em conjunto com o atual medidor homologado da concessionária, permitindo validações cruzadas de leituras e médias mensais.

Um dos obstáculos encontrados para realizar a aferição das leituras do consumo de energia, nos parques de medidores das indústrias e residências, é o posicionamento físico dos medidores que impossibilita o seu fácil acesso para a leitura mensal por parte da concessionária de energia elétrica (GIARETTA, 2020).

A nova proposta para medição, facilitará a leitura por meio de um dispositivo móvel ou computador tanto pelos usuários como fornecedor, utilizando conexão de Internet segura, remotamente independente da localidade e do momento.

REFERENCIAL TEÓRICO

Segue inicialmente os diversos componentes escolhidos para atender os requisitos principais mencionados do protótipo:

- Leitura e otimização de consumo a distância, por meio de tablets, smartphones e PCs;
- Componentes de baixo custo e confiáveis;
- Fácil calibração;
- Simples instalação (não invasiva).

Arduino

Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de placa única como o ilustrado na Figura 3, projetada com um microcontrolador Atmel AVR com suporte de entrada/saída embutido.

A Placa em si não possui qualquer recurso de rede, porém é comum associar outros circuitos eletrônicos prontos a ela, usando extensões apropriadas chamadas de Shields (NIKOLAIDIS at al., 2020). A linguagem de programação padrão da placa, a qual tem origem em Wiring, é essencialmente C.

Figura 3. – Placa microcontroladora Arduino Mega 2560:



Fonte: (NIKOLAIDIS at al., 2020)

Para o projeto, o Arduino é o responsável por fazer a aquisição e processamento das informações sensoriadas (tensões e correntes) e viabilizar a atuação de corte de energia de circuitos para otimização.

Sensor de corrente não invasivo SCT-013

O sensor de corrente SCT-013-000 de braçadeira é um equipamento muito versátil, que permite instalação de novos sensores sem a necessidade de mudanças na instalação elétrica e também possibilita a medição de corrente, através do campo elétrico, no enrolamento primário variando de 0 para 100A (STUSEK, Martin et al., 2017).

Por estes requisitos foi escolhido esse sensor para o projeto, e não outros que precisariam ser invasivos, ou seja, dependem da abertura de cada circuito, para a aferição da corrente no local da instalação.

Figura 4. – Sensor de Corrente não invasivo 100A SCT-013:

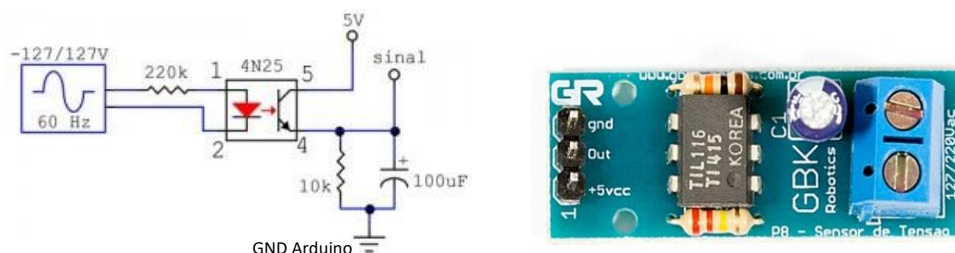


Fonte: (SAPUTRA ET AL., 2020)

Sensor de tensão

Nesse projeto, não foi utilizado placas “pré-fabricadas” do mercado, e sim as semelhantes existentes nos sensores de tensão da GBK como se observa na Figuras 5. A razão da escolha é a natureza “simples” do circuito, sendo mais coerente e confiável montar os componentes do sensor diretamente e integrar com o Arduino.

Figuras 5. – Esquema elétrico e placa pré-fabricada da GBK:



Fonte: (POTELDEVICES; MULTILOGICA SHOP, 2020)

Esse sensor tem a capacidade de fazer medições, tanto 110 (127V) quanto 220 (220V), atendendo a demanda e objetivo do protótipo.

Módulo WiFi ESP-8266

O Módulo ESP-8266 é um dispositivo IoT (Internet das Coisas) que consiste de um microprocessador ARM de 32 bits com suporte embutido à rede WiFi e memória flash integrada. Essa arquitetura permite que ele possa ser programado de forma independente, sem a necessidade de outras placas microcontroladoras como o Arduino, por exemplo (MEHTA, 2015).

O Módulo WiFi ESP-8266 é apresentado na Figura 6, juntamente com seu adaptador para conexão confiável com o Arduino (imagens à esquerda). O módulo tem suporte as redes WiFi 802.11 b/g/n e criptografia WPA e WPA2, os padrões de Internet mais comuns em locais comerciais e residenciais (JIANG, 2018).

Com o uso do ESP-8266, a plataforma embarcada é conectada à rede sem fio, e pode ser acessada de smartphones, tablets e PCs. Para garantir a alimentação da ESP-8266, é necessário adicionar uma fonte auxiliar 5V/3,3V, foto à direita na Figura 6, para manter a tensão e nível de corrente estável.

Figuras 6. – Módulo WiFi ESP-8266, Adaptador para ESP-8266 e Fonte Ajustável para Protoboard:



Fonte: (MEHTA, 2015)

Módulo de Relés para Arduino

Os Relés são componentes eletromecânicos capazes de controlar circuitos externos de grandes correntes a partir de pequenas correntes ou tensões, ou seja, acionando um Relé com uma pilha podemos controlar um motor que esteja ligado em 110 ou 220 volts, por exemplo. A Figura 7 contém a foto de um Módulo Relé 5V de 4 Canais. Ele permite que, a partir de uma plataforma microcontrolada, seja possível controlar cargas AC (alternada) de até 20A, de forma simples e prática. Comumente é utilizado em projetos de automação residencial para controle de lâmpadas, ventiladores e outras saídas que possam ser acionadas através de Relé (MESSERLY, 2019).

Figuras 7. – Módulo Relé 5V 4 Canais:



Fonte: (SAPUTRA ET AL., 2020)

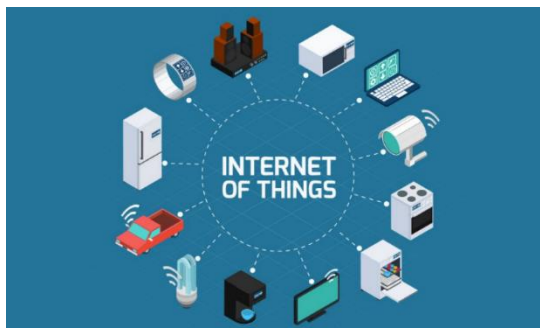
Internet das coisas (IdC) ou *Internet of Things* (IoT)

A Internet das Coisas *IoT*, também chamada de Internet de objetos como a Figura 8 descreve de forma visual, é uma nova tecnologia que facilita o conforto dos dados e acesso à informação entre quaisquer objetos ou dispositivos para tornar a vida mais fácil e inteligente em muitos aspectos (WASOONTARAJAROEN et al., 2017).

O dispositivo prototipado utiliza o conceito de *IoT*, e pode trazer mais conveniência para gerenciar o consumo de energia, porque seus dados coletados são armazenados em um servidor de nuvem, para que possam ser monitorados e recuperados em qualquer local em que a Internet esteja disponível (SEVERINO et al., 2020). A Figura 8 possui a representação

pictórica do que se entende como computação ubíqua, preconizada por Mark Weiser e viabilizada a partir das aplicações de conceitos de *IoT* (GOMES et al., 2020).

Figura 8. – Computação ubíqua preconizada por Mark Weiser:

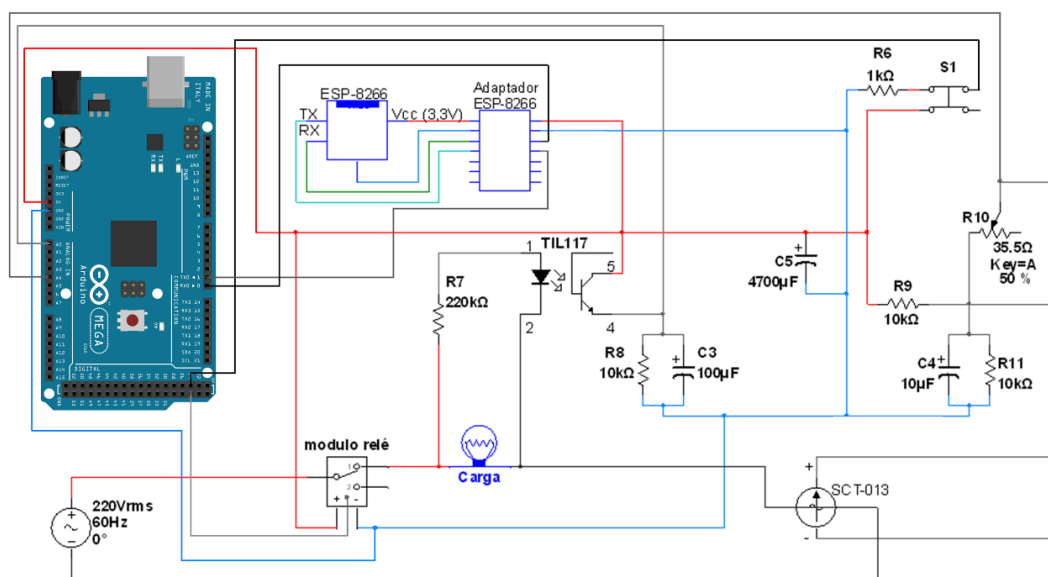


Fonte: (TURNKEY, 2020)

O protótipo desenvolvido

A Figura 9 contém o esquema elétrico completo do protótipo desenvolvido, que é interconectado ao controlador Arduino Mega.

Figura 9. – Esquema elétrico do circuito integrado e acoplado ao Arduino Mega:



Fonte: Autoria própria

Sobre o funcionamento do circuito:

Hardware

Os controladores ESP-8266 que implementam o WiFi são interconectados através do adaptador apresentado na saída da serial do Arduino (Pinos RX, TX). A inicialização do WiFi é feita por programa diretamente disponível no *middleware/cloud my cayenne devices* e transcrito para o IDE de programação do Arduino.

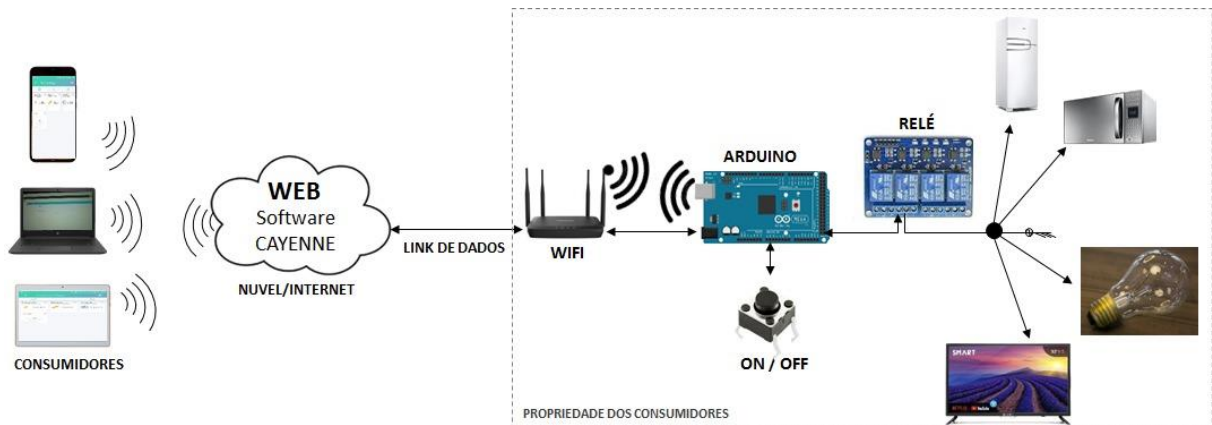
Os leitores de elo de corrente SCT são acoplados por uma ponte resistiva que é calibrada em bancada de laboratório de elétrica, realizando um ajuste fino dos resistores utilizados para interconexão com a porta A4 do Arduino Mega.

O sensor de tensão desenvolvido, dispõe de resistores para diminuir a tensão da rede elétrica, por meio de um acoplador óptico que realiza uma comparação da rede elétrica em um sinal DC equivalente, gerado pelo terminal de 5V do Arduino. Por meio de um circuito RC é realizada a calibração e remoção de ruído existente na comparação do sinal, para o envio da informação da comparação para o pino A0 do Arduino.

O sistema de chaveamento é composto de um Relé conectado ao circuito monitorado, interligado ao sistema de controle que utiliza um sistema de botoeiras (Push Button) que é conectado no pino 24, para entrada de sinal, e uma saída do sinal no Pino 25 para o Relé.

Os comandos podem ser realizados de duas formas: no local do painel do circuito (Push Button), e remotamente por meio do servidor em nuvem/ Smartphone, Tablets e PCs que utiliza como link de interconexão o *middleware/cloud my cayenne devices* instalado na WEB, a configuração do acionamento ao sistema é feito de acordo com cada usuário cadastrado, possibilitando ligar ou desligar o circuito monitorado.

Figura 10. – Apresentação ilustrativa da comunicação entre o servidor e o protótipo:

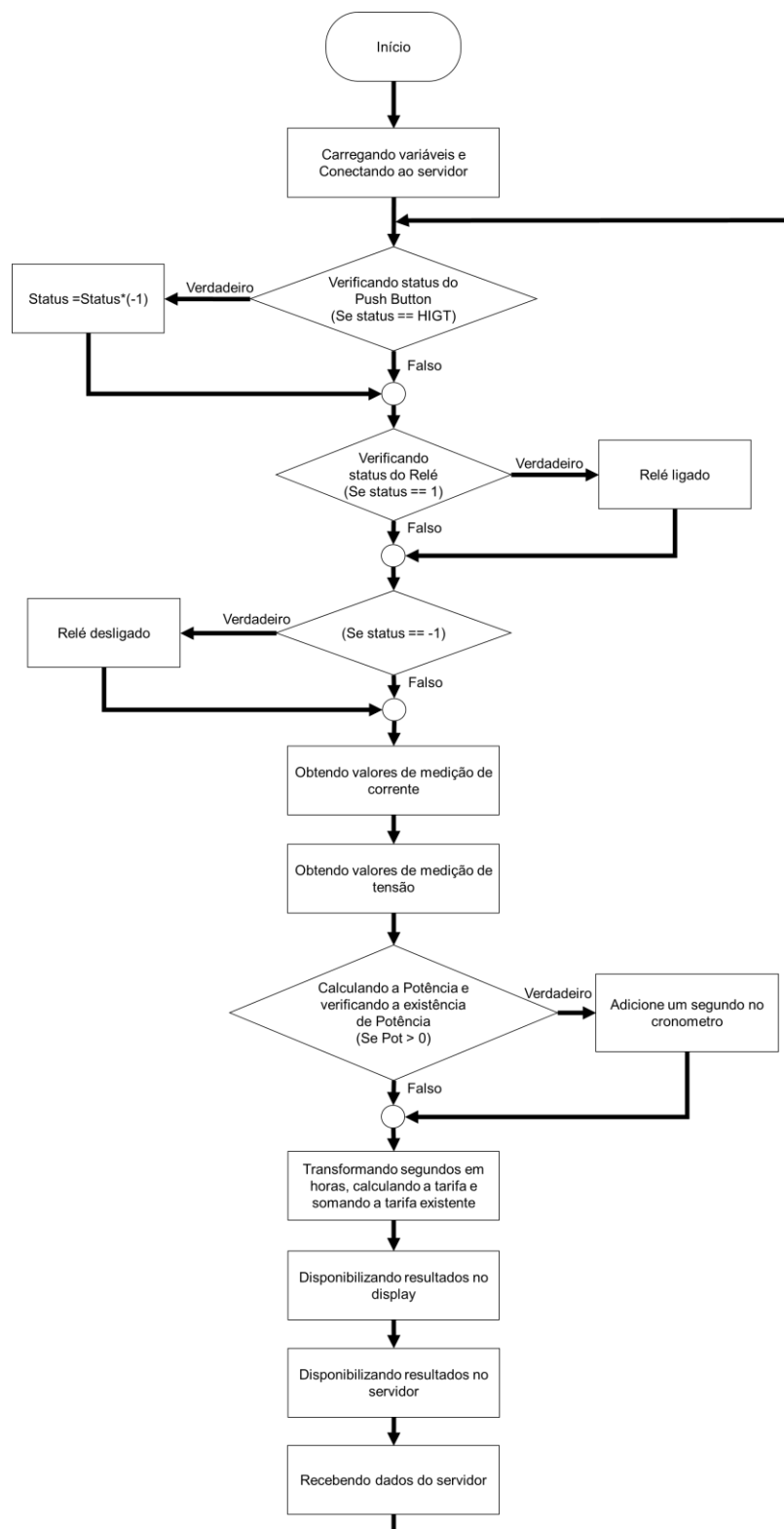


Fonte: Autoria própria

Software

O programa implementado no Arduino é apresentado no fluxograma da Figura 11. Ele é constituído de uma etapa de setup de periféricos ligados ao microcontrolador Arduino, e em seguida de um *loop* que realiza constantemente medições de corrente, tensão, cálculos de potência e a leitura de eventuais sinais de atuação vindos da aplicação em nuvem que comanda os relés de abertura dos circuitos para otimizações.

Figura 11. – Diagrama de Blocos do funcionamento do sistema do protótipo:



Fonte: Autoria própria

O código desenvolvido para o protótipo, que viabiliza o fluxograma descrito, pode ser encontrado no *GitHub* (CÓDIGO, 2020).

METODOLOGIA

A execução do Projeto, sua Instalação e aferições quantitativas contemplam os seguintes aspectos metodológicos:

Levantamentos em Artigos e Periódicos da área para compreensão e identificação dos padrões de consumo de energia elétrica em lares brasileiros

Tal etapa contemplou o estudo de materiais sobre o consumo de energia elétrica nos lares brasileiros, oportunidades de melhoria, medição de energia elétrica e atuadores de circuitos, respeitando os princípios de *IoT* e otimizações sustentáveis de consumo. Os principais artigos foram organizados de forma lógica no texto, particularmente fundamentando o problema de pesquisa e o referencial teórico.

Estudo e entendimento dos sistemas Arduino

O ambiente Arduino para modelagem da solução *IoT* desejada no protótipo, atendendo aos requisitos identificados como necessidade do projeto. Basicamente esta etapa da metodologia viabilizou a identificação dos elementos componentes do protótipo e a sua construção, programação e testes realizados. Os principais elementos utilizados encontram-se descritos na Seção de Referencial Teórico. Já os relativos ao circuito implementado e instalado, são abordados nas Seções consequentes do artigo.

Estudos de Processos de Medição de Consumo de Energia

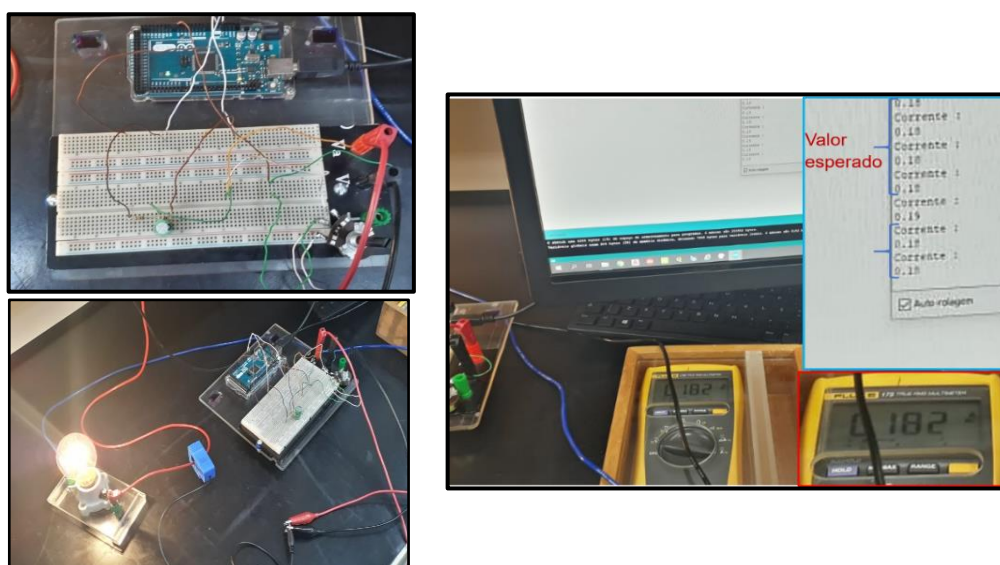
Nesta etapa, foram pesquisadas as referências, especificações técnicas dos sensores não invasivos de medição de tensão e corrente. Este aspecto visa atingir o objetivo de fácil instalação do protótipo. Atenção especial foi dada no ensaio experimental para calibração dos sensores de medição.

Depois de construído, o protótipo foi calibrado em bancada do laboratório de eletrônica da Engenharia Elétrica do Mackenzie. Para a calibração do sensor de corrente e sua leitura pelo Arduino, correntes de diversas intensidades foram passadas por um fio em que o sensor

de elo estava conectado. Para a calibração utilizou-se como referência as medições de corrente obtidas em um multímetro Fluke, disponível no laboratório. Da mesma forma procedeu-se para a leitura de tensões. Apenas, para a leitura de tensão, além do voltímetro da Fluke, utilizou-se também o osciloscópio Tektronix de Bancada (fundo de escala em 100 Mhz).

A Figura 12, contém fotos da montagem do calibrador do leitor de elo, de leituras realizadas e de uma medição experimental com o circuito calibrado envolvendo uma lâmpada (e o controle do circuito de seu acionamento).

Figura 12. – Fotos e Resultados do experimento de leitura de corrente:



Fonte: Autoria própria

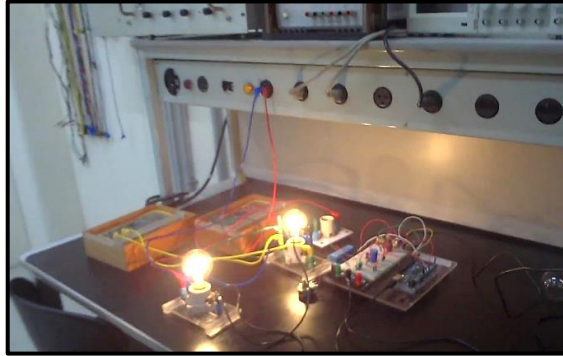
Aprendizagem de programação e estudo de ambientes em Nuvem

Os ambientes de *IoT* em que os controladores utilizados como o Arduino possuem capacidade finita de memória e podem ser alocados ou instalados em locais dos mais diversos, carecem de um ambiente de computação em nuvem para o armazenamento de dados e visualizações em dispositivos móveis. Tais aspectos são bem elaborados por GIRS et al. (2020) em seu artigo. No ambiente mencionado, que objetiva a medição e otimização do consumo de energia elétrica em instalações do padrão residencial, optou-se pelo modelo de 3 camadas de *IoT*, descrito no artigo. O modelo contempla as camadas: de aplicação, do dispositivo *IoT* e do *middleware*, que possui a capacidade de gerenciar e memorizar as leituras do dispositivo de *IoT*, ou o protótipo construído, e a aplicação móvel desenhada (SANTOS et al., 2020). Baseado neste enfoque e considerando as alternativas sem custos para implementação da camada de *middleware* da solução, optou-se pela nuvem *my devices cayenne* um best-seller de uso em soluções *IoT* para pesquisa e *start-ups* (ALI et al., 2020).

Integração e Testes do sistema IoT

Preocupou-se com a montagem do ambiente IoT, a configuração do middleware escolhido, a aplicação e os testes de laboratório que foram possíveis de serem realizados, garantem a funcionabilidade e precisão do protótipo. A Figura 13 contém fotografia do protótipo em funcionamento, controlando o consumo e dois circuitos independentes de lâmpadas.

Figura 13. – Foto do protótipo operacional em Bancada:



Fonte: Autoria própria

As devidas leituras do consumo entregue pelo protótipo são apresentadas pela aplicação customizada no *middleware* do IoT. Na Figura 14 pode-se observar as telas do aplicativo customizadas, apresentando o total de Horas em funcionamento do protótipo, o consumo em tempo real em Watts dos dois circuitos e o custo da energia acumulado em Reais. As visualizações apresentadas podem ser totais ou por circuito e também sendo possível comandar o acionamento e desligamento dos circuitos a distância. Este recurso ainda pode ser automatizado, para ocorrer sempre em um determinado horário por exemplo.

No corrente trabalho, considera-se os circuitos residenciais que contem cargas reativas e que são compensadas pela rede elétrica em instalações dedicadas. Por simplicidade, considerou-se que o fator de potência é igual ou muito próximo a 1 (um).

Este recurso poderá ser aprimorado para monitoramento do fator de potência, calculado a potência aparente (VA) e a potência real (W) em melhoria futura do software embarcado na solução.

Figura 14. – Resultados das leituras do consumo na nuvem – tela do aplicativo desenvolvido:



Fonte: Autoria própria

Mais detalhes sobre o desenvolvimento e customização da aplicação IoT podem ser encontradas no *GitHub* do projeto (CÓDIGO, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Seção anterior, entre outros aspectos, deu-se destaque a metodologia de construção, testes e calibração do protótipo de campo, além do software desenvolvido para o controlador funcionar e a interface para o usuário interagir com o *IoT* criado. Nesta Seção, são apresentados os custos gastos de materiais para produção do protótipo e discutidos cenários potenciais em que o *IoT* pode ser utilizado, apresentando cálculos embasados de consumo e otimizações possíveis e interessantes. Os pontos relevantes são então evidenciados e discutidos.

Custo do protótipo

O Custo do protótipo é apresentado em partes e peças na Tabela 1. Os custos são aqueles de aquisição de componentes no mercado de varejo. O mesmo custo será considerado, embora não seja o custo de produção do equipamento, para comparar algumas situações de otimização em que ele pode ser utilizado, para que sejam evidenciados os benefícios, ainda que com alguma imprecisão (relativa ao custo de um produto em linha de produção). O interesse é somente verificar, além das vantagens explicadas nas Seções anteriores, eventuais benefícios numéricos/quantitativos em relação a utilização do recurso de otimização do protótipo.

Tabela 1. Tabela dos componentes utilizados no projeto e seus valores comerciais:

Nº	COMPONENTES	QUANT.	VALOR MERCADO	VALOR DO PROJETO
1	Placa Arduino Mega 2560	1	R\$99,90	R\$99,90
2	Adaptador ESP-8266	1	R\$6,90	R\$6,90
3	Módulo WiFi ESP-8266 ESP-01	1	R\$15,60	R\$15,60
4	SCT-013 AC 100A	1	R\$69,80	R\$69,80
5	Módulo Shield Relé 4 Canais - Optoacoplado P/ Automação	1	R\$20,98	R\$20,98
6	TIL117 - Acoplador Óptico	1	R\$1,73	R\$1,73
7	Resistor 10k Ω	3	R\$0,15	R\$0,44
8	Resistor 1k Ω	1	R\$0,15	R\$0,15
9	Resistor 220k Ω	1	R\$0,15	R\$0,15
10	Potenciômetro 47 Ω	1	R\$14,85	R\$14,85
11	Capacitor Eletrolítico 10 μ F	1	R\$0,18	R\$0,18
12	Capacitor Eletrolítico 100 μ F	1	R\$1,62	R\$1,62
13	Capacitor Eletrolítico 4700 μ F	1	R\$4,13	R\$4,13
14	Push button	1	R\$0,48	R\$0,48
			VALOR TOTAL DO PROJETO	R\$236,91

Fonte: Os autores

Cenários de análise considerados

Para a montagem de cenários de análise, as seguintes informações foram levantadas e serão assumidas como hipóteses de bases nos cálculos:

- O consumo típico mensal de um lar brasileiro é de 167 kWh/mês (valor sem desvio padrão) (BARBOSA E DOS SANTOS, 2020).
- O custo médio atual do kWh da tarifa residencial no país é de R\$ 0,85/h (CPFLSOLUÇÕES, 2020).
- Equipamentos eletrônicos em *standby* (para rápida inicialização/funcionamento quando forem ligados) consomem 12% da energia gasta em um mês em média (JAIN E KRISHNASWAMI, 2020). Novamente um dado de pesquisa disponível, porém sem caracterização mais precisa, como o seu desvio padrão por exemplo. Bem, este aspecto considerado, significa 20,0 kWh/mês ou um custo de R\$ 17,00/mês, apenas para manter os equipamentos eletrônicos em *standby* para rápida inicialização, caso solicitados pelos usuários. Este é um aspecto que será explorado nos cenários, pois evitar o *standby* de equipamentos por algumas horas, em nada interfere na usabilidade de uma residência (ex. casa vazia, ou pessoas no lar dormindo). Para efeitos de modelagem do cenário, vamos premissar um período de 8h em que o *standby* não é necessário e poderia ser desligado via o protótipo construído.

- Outro equipamento que contribui significativamente para o consumo em uma residência é a geladeira. O consumo médio mensal de um equipamento novo é de 60 kWh/mês, de acordo com a PROCEL (2020) e ANEEL (2020). Em relação a geladeira, vale ainda comentar que em períodos como o noturno, em um equipamento com boa estanqueidade (vedação), a perda térmica da mesma em períodos de até 4h sem energia é pouco relevante (LINS, 2020), (GÜREL, 2020). Em um cenário de interesse, em que a geladeira permanece fechada (membros da residência fora de casa ou senão dormindo a noite), pode-se considerar um intervalo de tempo em que a mesma seja desligada, por 2 ou até 4h.

Cenário 1 - Otimização de consumo de Geladeira e de equipamentos em *standby*

Para o cenário em questão, aplicaremos as hipóteses cabíveis consideradas no início da Seção. O Resultado é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados da Simulação de otimização considerando o uso estanco da geladeira e *standby* de equipamentos:

Estudo de Caso 1		Standby de Equipamentos e Geladeira - OTIMIZAÇÃO	
Geladeira de 2 portas	60,0	KWh	
Hipótese	4,0	h desligada a noite	
Economia	10,0	KWh	
Custo	8,5	R\$/mês	
Standby Equipamentos			
Consumo standby	12,0	% to total ao mês	
	20,0	KWh mês	
Economia	17,0	R\$/mês	
Período de não utilização	8,0	h/dia	
Custo	5,7	R\$/mês	
Total	14,2	R\$/mês	
ROI	16,7	meses	

Fonte: Os autores

De acordo com a Tabela 2, o custo do protótipo seria pago em 1,5 ano. A partir de então, a economia observada reverteria para o consumidor de aprox. 160 R\$/ano, o que dado o consumo típico de lares brasileiros apresentados, significa 1 mês de economia a cada 12.

Cenário 2 - Otimização de consumo de Geladeira

Para o cenário em questão, aplicaremos as hipóteses cabíveis consideradas no início da Seção. O Resultado é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados da Simulação de otimização considerando o uso estanke da geladeira:

Estudo de Caso		Geladeira - OTIMIZAÇÃO	
Geladeira de 2 portas	60,0	KWh	
Hipotese	4,0	h desligada a noite	
Economia	10,0	KWh	
Custo	8,5	R\$/mês	
ROI	27,9	meses	

Fonte: Os autores

De acordo com a Tabela 3, apenas considerando a potencial otimização pela economia gerada (considerando o tempo estanke da geladeira), o projeto levaria 28 meses para ser pago, cerca de 2,5 anos. Vale lembrar que está se considerando os dados fornecidos pela (PROCEL, 2020). O que significa que as geladeiras são novas e seus sistemas compressores de gás de baixo consumo. Porém, vale lembrar, que em muitas geladeiras seguem em operação por anos a fio, e o consumo de geladeiras antigas por chegar a mais de 100 kWh/mês (ANEEL, 2020).

Cenário 3 - Otimização de consumo de Equipamentos em Standby

Para o cenário em questão, aplicaremos as hipóteses cabíveis consideradas no início da Seção. O Resultado é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados da Simulação de otimização considerando a redução de tempo de *standby*:

Estudo de Caso		Standby de Equipamentos	
Standby Equipamentos			
Consumo standby	12,0	% to total ao mês	
	20,0	KWh mês	
Economia	17,0	R\$/mês	
Período de não utilização	8,0	h/dia	
Total	5,7	R\$/mês	
ROI	41,7	meses	

Fonte: Os autores

Para o caso apresentado, continua a existir a economia proporcionada pela capacidade de otimização do circuito, porém quando aplicada a cargas em *standby* desnecessário, obtém-se um ROI de 42 meses, cerca de 3,5 anos.

Cabe realçar que inúmeros outros casos de otimização poderiam ser aqui discutidos: iluminação, aparelhos que são “esquecidos” ligados, etc. Porém o objetivo desta discussão foi apresentar o potencial de retorno econômico de um protótipo relativamente simples, confiável de ser implementado e cuja aplicação pode ser usada de qualquer Celular, tablet, PC em conexões seguros e de qualquer local.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Agradecimentos

Como a pesquisa se iniciou no período das aulas de microprocessadores e também na realização do projeto integrador Arduino, houve o auxílio dos colegas Cedrick Kato Telles e Sousa e Michel Agenor Betto Fontes para o estudo, elaboração e testes do protótipo.

Operacionalização do protótipo

Para dar continuidade ao trabalho sugere-se a certificação do equipamento pelo INMETRO e seu processo de calibração e o uso possível junto as concessionárias, a partir de desenvolvimento de módulo de comunicação que viabilize que o mesmo seja interconectado a rede de medidores do mesmo, e passe a operar como o medidor de energia de uma certa residência (PEREIRA, 2020). Adicionalmente o cálculo do fator de potência, potência reativa e potência real podem ser calculados por melhorias no software embarcado na solução.

REFERÊNCIAS

ALI, Methaq Abdulameer; MIRY, Abbas; SALMAN, Tariq. Implementation of Intelligent Industrial Controller Based On Fuzzy Logic and PLC. **Al-Qadisiyah Journal for Engineering Sciences**, v. 13, n. 1, p. 55-60, 2020.

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica. Aprenda a calcular o consumo de seu aparelho e economize energia.** Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/17-05_materia1_3.pdf. Acesso em 16 set. 2020.

ARDUINO. NIKOLAIDIS et al.. A microcontroller-based software framework for controlling a mechatronic system. In: **MATEC Web of Conferences**. EDP Sciences, 2020. p. 01052.

ARDUOELETRO. SAPUTRA, Bagas Aji; HIDAYAT, Edy Prasetyo; ARFIANTO, Afif Zuhri. Internet of Things-Based Steam Pump Motor Protection Due to Voltage Unbalance. **Journal of Robotics and Control (JRC)**, v. 1, n. 2, p. 64-69, 2020.

CÓDIGO. Programa utilizado no protótipo em linguagem C. Disponível em <https://github.com/users/VitorRZ/projects/1>. Acesso em 16 set. 2020.

DISRUPTORDAILY. **Blockchain In Energy Use Case #9: Robotina.** Disponível em: <https://www.disruptordaily.com/blockchain-in-energy-use-case-robotina/>. Acesso em 16 set. 2020.

ELETROPAULO, **Redes Inteligentes**. In: Seminário Internacional de Redes Elétricas Inteligentes, 8., 2017. São Paulo, tópicos temáticos.

DEY, Ashutosh Nayan; PANIGRAHI, Basanta K.; KAR, Sanjeeb Kumar. Smartgrids/microgrids in India: a review on relevance, initiatives, policies, projects and

challenges. **Innovation in Electrical Power Engineering, Communication, and Computing Technology**, p. 465-474, 2020.

GIARETTA, Erick Facure et al. **Controle direto de aparelhos de ar condicionado de frequência variável em redes inteligentes de distribuição de energia elétrica com sistemas fotovoltaicos e baterias residenciais**. 2020.

GIRS, Svetlana et al. A Systematic Literature Study on Definition and Modeling of Service-Level Agreements for Cloud Services in IoT. **IEEE Access**, v. 8, p. 134498-134513, 2020.

GOMES, Fabio Fonseca Barbosa; DOS SANTOS SOUZA, Uíalo Renan. Control House: Uma Plataforma para a Utilização de um Controle Universal para Ambientes Residenciais. **RCT-Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 6, 2020.

GUNTURI, Sri Krishna Sankalp; REDDY, M. Sai Krishna. Dispositivo de monitoramento de energia doméstica baseado em IoT. In: **2018 3ª Conferência Internacional para Convergência em Tecnologia (I2CT)**. IEEE, 2018. p. 1-4.

GÜREL, Ali Etem et al. Environmental and economic assessment of a low energy consumption household refrigerator. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, v. 23, n. 2, p. 365-372, 2020.

JIANG, Hongbo et al. **Smart home based on WiFi sensing: A survey**. IEEE Access, v. 6, p. 13317-13325, 2018.

LINS, Eduardo Antonio Maia et al. Redução de emissões atmosféricas: Um estudo de caso à partir da troca de geladeiras. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 57450-57461, 2020.

MIYASAKA, Gabriel et al. **Análise do desempenho de medidores de energia elétrica ativa em condições distorcidas e desequilibradas**. 2020.

MESSERLY, Jeffrey D. et al. **Systems and methods for controlling control circuits for independent energy delivery over segmented sections**. U.S. Patent Application n. 15/636,116, 3 jan. 2019.

MULTILOGICA SHOP. **Módulo Sensor de Tensão (descontinuado)**. Disponível em: <https://multilogica-shop.com/modulo-sensor-de-tensao>. Acesso em 16 set. 2020.

CPFLSOLUÇÕES. **O que é tarifa de energia e como é calculada**. Disponível em: <https://cpflsolucoes.com.br/o-que-e-tarifa-de-energia-e-como-ela-e-calculada-na-conta-de-luz/>. Acesso em 16 set. 2020.

BARBOSA, Paulo André Manhães; DOS SANTOS, Vladimir Faria. COINTEGRAÇÃO E CAUSALIDADE ENTRE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E PIB NA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL. **Revista Estudo & Debate**, v. 27, n. 3, 2020.

PEREIRA, Wellington Oliveira et al. Estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação do sistema híbrido de geração de energia elétrica fotovoltaico e bateria. **Engenharia Elétrica-Tubarão**, 2020.

POTELDEVICES. **Sensor de Tensão**. Disponível em: <http://poteldevices.blogspot.com/2015/07/sensor-de-tensao.html>. Acesso em 16 set. 2020.

PROCEL. **Informações sobre consumo de aparelhos elétricos e eletrônicos.** Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7D>. Acesso em 17 set. 2020.

ROBOCORE. **Fonte Ajustável para Protoboard.** Disponível em: https://www.robocore.net/loja/itens-eletronicos/fonte-ajustavel-para-protoboard?gclid=EAlaIQobChMIptCB_Nju6wIVkoKRCh1rfwQ_EAYYASABEql_D_D_BwE. Acesso em 16 set. 2020.

MEHTA, Manan. ESP 8266: a breakthrough in wireless sensor networks and internet of things. **International Journal of Electronics and Communication Engineering & Technology**, v. 6, n. 8, p. 7-11, 2015.

SANTOS, Marcela G. dos et al. Internet of Things Architectures: A Comparative Study. **arXiv preprint arXiv:2004.12936**, 2020.

SCOOPVIDEOS. **O Mundo do Futuro - Casas do Futuro – Documentário.** Disponível em: <https://youtu.be/Aqz7SFb7Aik>. Acesso em 16 set. 2020.

SEVERINO, Valdenir; VASCONCELOS, Danilo; ANDRADE, Rossana. Monitoramento Inteligente de Consumo Energético em Ambiente Residencial utilizando IoT. In: **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva. SBC**, 2020. p. 31-40.

SOETHE, Ghabriel Campigotto; BLANCHET, Luiz Alberto. Geração distribuída e desenvolvimento sustentável. **A&C-Revista de Direito Administrativo & Constitucional**, v. 20, n. 79, p. 233-257, 2020.

STUSEK, Martin et al. Uma medição de eletricidade não invasiva no cenário da rede inteligente: plataforma de visualização baseada em Arduino para IoT. In: **2017 9º Congresso Internacional de Telecomunicações e Sistemas de Controle Ultra Modernos e Workshops (ICUMT)** . IEEE, 2017. p. 423-429.

TURNKEY. **iot**. Disponível em: <https://turnkey.com.mx/iot/>. Acesso em 16 set. 2020.

JAIN, Sachin; KRISHNASWAMI, Jayan. **Techniques for improved power consumption in user equipments**. U.S. Patent n. 10,708,858, 7 jul. 2020.

WASOONTARAJAROEN, Siriwat; PAWASAN, Khwanchai; CHAMNANPHRAI, Vithaya. Desenvolvimento de um dispositivo IoT para monitoramento do consumo de energia elétrica. In: **2017 9º Congresso Internacional de Tecnologia da Informação e Engenharia Elétrica (ICITEE)** . IEEE, 2017. p. 1-4.

Contatos: vitorzandarim@hotmail.com e newton.licciardijr@gmail.com