

Desenvolvimento de um Medidor de Energia Elétrica Utilizando Plataformas Virtuais Colaborativas

Mariana Dantas Santos¹
Fernanda Souza Evangelista²
Alexandre Akira Kida³

RESUMO

No cenário atual, os *softwares* de prototipagem são grandes aliados da produção científica. Com isso, o desenvolvimento de pesquisas de âmbito educacional, que hoje encontram-se restringidas a algumas tarefas por conta da pandemia disseminada pelo novo Coronavírus, teve que prosseguir através de outras formas de operação, que principalmente respeitassem as orientações da Organização Mundial de Saúde. Dessa forma, o uso de ferramentas online de simulação, como Tinkercad, viabilizou o desenvolvimento de protótipos em Arduino, realizados de forma presencial até então. Com o auxílio desta e outras ferramentas *online* (Word, do Office 365, Trello e Whatsapp), foi possível dar continuidade ao projeto e conectar os colaboradores da pesquisa. Com adequações necessárias, foi possível implementar, sem custos e de forma remota, colaborativa e segura, a lógica de um medidor de energia elétrica baseado em um Arduino virtual.

Palavras-chave: Arduino, Tinkercad, Trabalho remoto.

INTRODUÇÃO

Durante o século XVII, com a chegada da energia elétrica no mundo, iniciou-se um período repleto de inovações. No entanto, foi em 1879 que essa descoberta foi instalada no Brasil, proporcionando as futuras especulações da sua vasta capacidade de fontes de energia renováveis e não renováveis (JANUZZI, 2007). Com o avanço da tecnologia no setor energético brasileiro e o potencial de geração do país, surgiu a necessidade de implantar um sistema elétrico compatível com as variadas formas de fornecimento de energia, implicando no surgimento da matriz energética brasileira.

O consumo de energia a partir de fontes renováveis no território brasileiro é responsável por cerca de 83% da matriz elétrica (GOV.BR, 2020). No país, as principais fontes são: biomassa, hidráulica, lenha e carvão vegetal. A rede hidrelétrica superintende

¹ Estudante do Curso Técnico em Eletromecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA, campus Jacobina – BA, mariana.dantas.s@hotmail.com;

² Estudante do Curso Técnico em Eletromecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA, campus Jacobina – BA, fsevangalista@outlook.com;

³ Professor orientador: Mestre em Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA, campus Jacobina – BA, alexandre.kida@ifba.edu.br.

65,9% da geração, exteriorizando o potencial brasileiro em uma das consideradas fontes mais limpas que se pode obter. Contudo, o território também desfruta de fontes não renováveis, atribuindo-o em torno de 15% dessa geração (ANEEL, 2020). No relatório do Programa Mensal de Operação em junho de 2020, a potência instalada total de geração registrada no Brasil foi de 164.388 MW. Sendo que destes, 65,9% são provenientes da geração hidráulica, 9,2% geração eólica e 8,6% termelétrica a gás e GNL (Gás Natural Liquefeito). O remanescente é gerado a partir da biomassa, termelétrica a óleo e diesel, termelétrica a carvão, geração solar, geração nuclear, entre outras.

A demanda do setor residencial aumenta a cada ano, devido ao crescente número de residências. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2019 o percentual de moradias com energia elétrica era de 99,2%. Entretanto, o setor que mais utiliza da matriz elétrica brasileira é o industrial. A demanda dessa categoria tende a crescer ainda mais, ao passo que o país se torna mais desenvolvido e industrializado. Em 2018, os setores com o maior consumo de eletricidade eram respectivamente: industrial (37,7%), residencial (25,5%) e comercial (17,1%), seguidos pelos setores público, energético, agropecuário e transportes. De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2018 (apud GOMES, 2020).

O consumo responsável de energia elétrica, está diretamente ligado aos programas de eficiência energética. Conscientizar os usuários, acerca da utilização de energia - como o gasto energético por aparelho ou irregularidades na instalação elétrica - é comprovadamente um dos fatores que podem reduzir a demanda energética de todos os setores (EHRHARDT-MARTINEZ et al., 2015). Uma estratégia para reduzir o consumo energético consiste na utilização de um sistema de monitoramento energético remoto. Este, dispõe de medidores de energia elétrica inteligentes instalados em locais estratégicos da instalação elétrica, como os quadros de distribuição, centros de comando de motores e circuitos de climatização. Esses medidores possuem capacidade de comunicação remota, normalmente a internet, possibilitando acompanhar o consumo energético em tempo real tanto pela concessionária como pelo cliente. Desta forma é possível que haja uma economia de energia, acarretando na redução da quantia a ser paga. As vantagens dessa sistemática são expressivas em um mundo onde a aplicabilidade da eletricidade abrange os mais variados âmbitos e está presente no cotidiano de grande parte da população.

A prototipagem é fundamental no desenvolvimento de novos produtos, assim como no aprimoramento dos já existentes. Compreendida na fase de testes do projeto, viabilizam, conseqüentemente, melhorias no resultado. (DA SILVA et al., 2016). Paralelo a isso, os protótipos são caminhos de aprendizagem bastante utilizados na educação tecnológica, visto que, alinham os conhecimentos expostos em teoria e os transpõe para a prática (DORN, 2015, p. 217). Esse tipo de abordagem educacional, geralmente é feito de maneira coletiva entre os educandos e educadores, a partir do convívio ativo em laboratórios. Entretanto, a crise sanitária atual impossibilita o contato social e o acesso aos laboratórios. Por esse motivo, as plataformas virtuais de simulação se tornaram a melhor alternativa para dar seguimento ao projeto do medidor de energia elétrica, por proporcionarem uma operação remota, colaborativa e segura (MENDES; FIALHO, 2005, p. 8).

Sendo assim, desafios surgiram quanto a desenvolver um ambiente que possibilitasse a reprodução da rede elétrica com valores ajustáveis de tensão e corrente. Como também, transpor o protótipo do medidor de energia elétrica feito em laboratório para o ambiente virtual, de maneira que fosse possível desenvolver e realizar a orientação do trabalho de maneira remota, colaborativa e atemporal. Visa, assim, atestar a viabilidade da produção científica coletiva, mesmo que em tempos de distanciamento social, com o auxílio de *softwares* colaborativos.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para realizar as relações entre consumo e faturamento, as concessionárias de energia elétrica implantam medidores de energia corporificando a leitura elétrica mensal do ambiente. Esses medidores funcionam a partir da leitura das tensões e correntes elétricas na entrada de serviço. Dessa forma, podem ser utilizados tanto os medidores mais antigos (analógicos), que são lidos por indivíduos que prestam serviços públicos, quanto os medidores digitais que são mais tecnológicos, que permitem a transmissão de dados de consumo energético remotamente pela internet ou via sinais de rádio.

No entanto, com o avanço da tecnologia e a busca por dispositivos mais eficientes para atender a sociedade, os medidores inteligentes tornam-se grandes aliados. Um exemplo desses dispositivos são os medidores que dispõem de um sistema mecânico para medição do fluxo elétrico possuindo um conversor analógico-digital para converter a

conferição em um sinal digital. Já os medidores que possuem sensores de corrente alternada conseguem constatar tanto a tensão quanto a corrente nos fios de entrada. Dessa forma, esse tipo de medidor é o mais indicado para quando se deseja captar a energia total do circuito, elevando sua precisão em relação a outros tipos de medidores (ELETRICISTA BRASIL, 2018; NICOLAU, 2013).

A medição de energia pode ser feita de duas maneiras: direta ou indiretamente. Na primeira, o medidor é conectado diretamente ao circuito e é recomendada para instalações que se utilizam de baixas correntes e tensões, ou seja, aquelas compreendidas pela norma NBR-5410 ⁴(LINHARES, 2015). Entretanto, algumas concessionárias limitam o uso deste equipamento até uma determinada demanda. Por exemplo, a COELBA limita o uso deste tipo de medição até a demanda de 54 kVA (COELBA, 2018). Já a medição indireta é normalmente realizada por meio de transformadores de corrente e/ou de potencial com relações de transformação conhecidas.

Matematicamente, o consumo de energia elétrica (W), por fase, em um pequeno intervalo de tempo é calculado de acordo com (1) ou (2) dependendo da unidade desejada. Vale ressaltar que para uma maior exatidão no cálculo energético, o intervalo ΔT deve ser o menor possível.

$$W = V_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos(\theta) \cdot \Delta T \quad [J], \quad (1)$$

$$W = \frac{V_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos(\theta) \cdot \Delta T}{3600 \cdot 1000} \quad [kWh], \quad (2)$$

onde V_{ef} é a tensão eficaz em V, I_{ef} é a corrente eficaz em A, $\cos(\theta)$ é o fator de potência da carga e ΔT é o intervalo de tempo considerado, em s.

Os medidores inteligentes revolucionaram a forma como a energia é medida por alinhar a necessidade de controlar a demanda energética com a tecnologia avançada. Estes dispositivos possibilitam que quaisquer variáveis sejam medidas remotamente, em tempo real e com maior precisão. Esse tipo de sistema é bastante vantajoso devido a economia de tempo, o maior controle de consumo e consequentemente diminuição das contas (BRITO, 2016). Sua utilização no setor energético representa benefício não apenas para a concessionária - que conseguirá acessar os dados de consumação dos clientes de forma

⁴ A NBR-5410 classifica “baixa tensão” o circuito ao qual a tensão de trabalho não ultrapassa os 1000 V para correntes alternadas e 1500 V para correntes contínuas. (ABNT,2004)

mais eficiente - como também para o próprio usuário que poderá acessar seus dados de consumo e tarifa com facilidade. (FUGITA, 2014). Essa sistemática compreende o campo da eficiência energética por viabilizar o consumo consciente de energia em todos os setores. Uma vez que, estudos já comprovam que quando os consumidores estão bem-informados acerca desse assunto, há uma diminuição no desperdício de recursos energéticos. (EHRHARDT-MARTINEZ et al., 2015).

O projeto *Open Energy Monitor*⁵, de código aberto, disponibiliza gratuitamente à comunidade ferramentas que auxiliam os projetos que envolvam a medição energética e eficiência energética. A biblioteca EmonLib, produto concebido através desse projeto, opera com a atuação de sensores que possibilitam a leitura de medições, seguidas do envio desses dados para um processador central que irá executar a coletânea destas informações, e produzir um inventário geral do consumo de energia elétrica. (BRITO, 2016).

O Arduino é uma plataforma livre formada por *software* (programação) e *hardware* (parte física), desenvolvida por Massimo Banzi e um grupo de estudantes no início dos anos 2000. Esse sistema revolucionou a criação de aparelhos e projetos tecnológicos dos mais variados graus de complexidade pela sua expressiva aplicabilidade, facilidade de manuseio e baixo custo.

“Ao longo dos anos, o Arduino tem sido o cérebro de milhares de projetos, de objetos do cotidiano a complexos instrumentos científicos. Uma comunidade mundial de criadores - estudantes, entusiastas, artistas, programadores e profissionais - se reuniu em torno dessa plataforma de código aberto. Suas contribuições agregaram uma quantidade incrível de conhecimento acessível que pode ser de grande ajuda para iniciantes e especialistas.” (arduino.cc, 2020).

Classificado por sua competência em controlar e interpretar saídas e entradas, o Arduino é uma plataforma categórica para criação de sistemas automáticos após programação. Para desenvolver essa funcionalidade, cada placa deverá ter seu *software* (IDE - Ambiente Integrado de Desenvolvimento) utilizado, que, por sua vez poderá traduzir o código após sua escrita. (MOTA, 2015).

⁵ Medidores inteligentes, na tradução direta do inglês.

Figura 1 - Arduino UNO



Fonte: Arduino, 2020.

A Figura 1 apresenta a placa Arduino UNO que foi a primeira placa USB criada pela plataforma. Dispõe de 14 pinos de entrada e/ou saída digitais, os quais vão do 0 ao 13; seis entradas analógicas (A0 a A5); pinos de alimentação; conexão USB (realiza a interação computador-placa) e pode ser usada como fonte de alimentação; microcontrolador (ATmega328P); tensão operacional de 5 V; entre outros. (ARDUINO, 2020).

METODOLOGIA

A respeito das fontes de pesquisa, foram consultados de artigos científicos publicados e dados oficiais disponibilizados por órgãos/entidades governamentais ou associadas. Este trabalho foi desenvolvido na sua totalidade de forma remota, online e colaborativa, utilizando principalmente as seguintes ferramentas: Trello, Whatsapp, Word (Office 365) e Tinkercad.

No âmbito organizacional, as tarefas foram organizadas utilizando o Trello. Este, possui um ambiente virtual de trabalho e pode ser utilizado para reunir todas as informações (imagens, vídeos, documentos, links etc.) em um único lugar. A sistematização das etapas do processo facilitou a realização dos trabalhos (TRELLO, 2020).

Para uma comunicação mais rápida da equipe, foi criado um grupo no Whatsapp destinado à troca de informações urgentes. Tal programa pode ser encontrado nas mais diversas plataformas móveis (Android e IOS) e *web/desktop* (Windows, macOS e Linux). Uma vantagem é que a sua conta está vinculada com seu número de celular, ou seja, para

utilizar o programa basta ter um celular compatível com conexão de rede telefônica e acesso à internet.

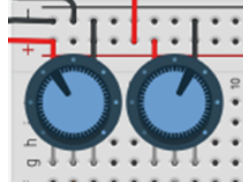
A escrita deste trabalho foi realizada remotamente e simultaneamente utilizando o Word do pacote Office 365, na versão web (MICROSOFT, 2020). Esta ferramenta é adequada para trabalho em grupo remoto, pois permite sugestões de edição no documento, inserção de comentários e conta com diversas ferramentas de formatação .

O abandono de outras conduções do estudo, como na realização das funções práticas do projeto – como a leitura dos valores de corrente, tensão, energia e potência da rede elétrica em tempo real – foi preciso. Tendo em vista a pandemia e as dificuldades em desenvolver projetos prototípicos de forma remota, a virtualização de todos os componentes e, em especial, da rede elétrica foi necessária para dar continuidade as atividades. Sendo assim, o protótipo do medidor de energia elétrica foi desenvolvido virtualmente utilizando o Tinkercad (AUTODESK, 2020). Este, conta com sensores, atuadores, placas *protoboard* e demais componentes necessários para a simular o Arduino e seus periféricos de maneira conjunta, sem comprometer o andamento do projeto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

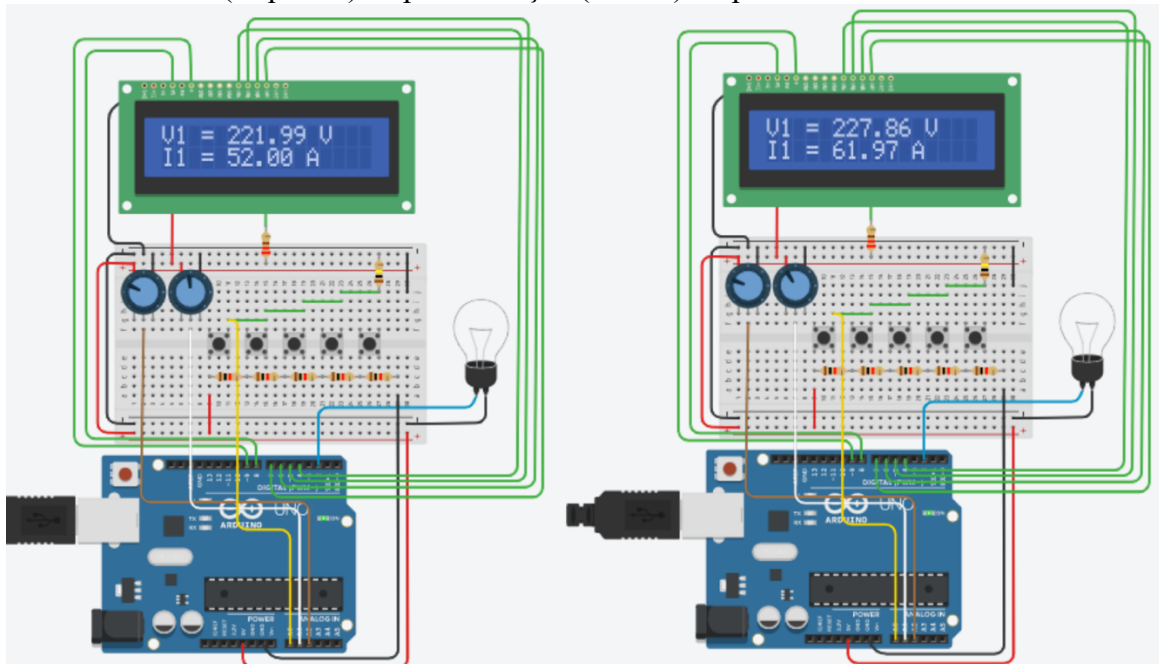
Embora o Tinkercad seja versátil para elaboração de projetos, existem limitações quanto a diversidade de componentes e bibliotecas disponíveis. Alguns dispositivos utilizados no protótipo precisaram ser substituídos ou excluídos (caso dos sensores de tensão e corrente) devidos as restrições da plataforma, sem perder o alinhamento com os objetivos do trabalho. Por esta razão, a rede elétrica foi substituída por dois potenciômetros (P1 e P2) conectados nas entradas analógicas A1 e A2 do Arduino, conforme é apresentado na Figura 2. Estas entradas recebem os sinais de 0 a 5 V provenientes do divisor de tensão formado por cada potenciômetro. Assim, durante a simulação é possível alterar os valores de P1 e P2 para simular variações na tensão e na corrente de carga lidas. Vale ressaltar que os autores deste trabalho utilizaram esta abordagem pois obtiveram êxito ao realizar as medições das grandezas elétricas em laboratório (antes da pandemia), utilizando as bibliotecas Emon.lib, fornecidas pela *Open Energy Monitor*. A Figura 3 apresenta nos LCDs os valores de tensão e corrente elétrica lidos pelo Arduino, para dois ajustes distintos de P1 e P2.

Figura 2 - Potenciômetros P1 (à esquerda) e P2 (à direita).



Fonte: Arquivo pessoal, 2021.

Figura 3 - Simulação dos valores de corrente (I1) e tensão (V1) iniciais (esquerdo) e após alteração (direito) do potenciômetro.



Fonte: Arquivo pessoal, 2021.

Os cálculos da potência e a energia medidas foram realizadas utilizando a equação (2), considerando uma carga puramente resistiva, cujo fator de potência é unitário. O trecho do código é apresentado na Figura 4. A variável Energia_Print apresenta o valor da energia medida em kWh que é mostrado no LCD da Figura 5.

Figura 4 - Trecho do código correspondente aos cálculos da potência instantânea e energia elétrica.

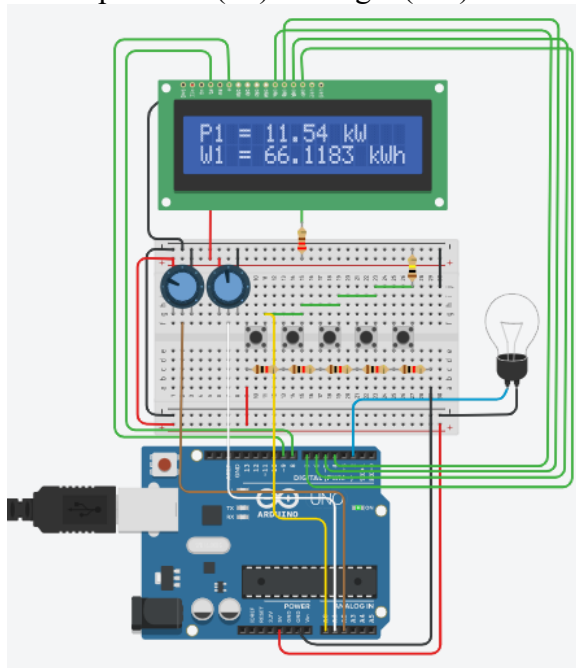
```

77 // MEDIDOR DE ENERGIA - Cálculo da potência e energia
78 Pot = Vrms * Irms /1000.0; // Cálculo da potência instantânea, em kW
79 t1 = millis (); //Obtém o tempo atual
80 Energia = Energia + Pot * (t1 - t0); // atualiza o valor da energia medida
81 Energia_Print = Energia / 3600.0; // Conversão kW para kWh

```

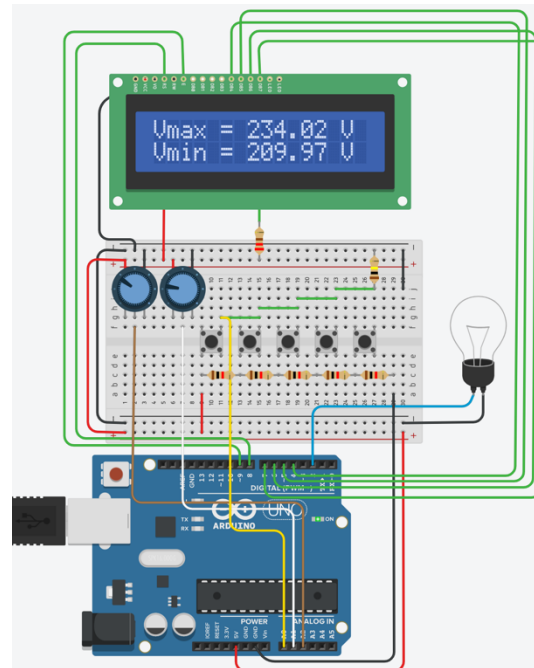
Fonte: Arquivo pessoal, 2021.

Figura 5 - Simulação dos valores de potência (P1) e energia (W1).



Fonte: Arquivo pessoal, 2021.

Figura 6 - Registro valores máximos e mínimos de tensão.



Fonte: Arquivo pessoal, 2021.

Para fins de avaliação de qualidade de energia, o protótipo armazena os valores máximos e mínimos de tensão (V_{max} e V_{min} , respectivamente) medidas durante seu funcionamento, conforme pode ser avaliado na Figura 6.

Não foi possível implementar a transmissão sem fio (internet e *bluetooth*) dos dados obtidos pelo medidor devido as limitações do Tinkercad. Desta forma, a integração com a rede de internet, e as funcionalidades inerentes a essa, foi outro aspecto inviabilizado pelas atividades remotas, exteriores aos laboratórios. Assim, a parte passível de simulação ficou a cargo, apenas, da lógica do medidor de energia.

CONCLUSÕES

Conclui-se que, a vivência da pandemia causada pelo novo Coronavírus mudou as perspectivas de trabalhos acadêmicos, sobretudo as pesquisas científicas. A utilização de softwares colaborativos foi de extrema importância para a concretização do trabalho. Tais plataformas possibilitaram a realização das simulações em ambiente virtual, bem como a escrita. Sendo assim, é possível atestar a viabilidade da produção científica coletiva, mesmo em tempos de distanciamento social e impedimento de atividades em

laboratórios. Em suma, com o amparo destes programas o trabalho foi concluído com êxito, elucidando a operação de um medidor de energia elétrica baseado em Arduino no Tinkercad, e promovendo a desenvoltura científica através de softwares colaborativos conservando a coletivização entre membros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (Brasil). NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão I. [S. l.]: ABNT, 2004. Acesso em: 10 jul. 2020.

ANEEL (Brasil). ONS. O Sistema em Números: Capacidade Instalada do SIN. [S. l.]: ONS, 2020. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>. Acesso em: 18 jun. 2020

ARDUINO. Arduino Uno. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3?queryID=undefined>. Acesso em: 11 jul. 2020.

ARDUINO. Introdução. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Acesso em: 11 jul. 2020.

AUTODESK. Tinkercad. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.tinkercad.com/>. Acesso em: 9 jul. 2020.

BRITO, J. L. G. Sistema para monitoramento de consumo de energia elétrica particular, em tempo real e não invasivo utilizando a tecnologia Arduino. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica.) - Universidade Estadual de Londrina, [S. l.], 2016.

COELBA. Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária de Distribuição a Edificações Individuais. Bahia, 20 set. 2018. Acesso em: 13 jul. 2020.

DA SILVA, G. C., KAMINSKI P. C. Selection of virtual and physical prototypes in the product development process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. v. 84, n. 5-8, p. 1513–1530, set. 2016.

DORN, R. C. Ensino técnico baseado em problemas: um relato de caso no SENAI de Feira de Santana. *Contexto e Educação*, v. 29, n. 92, p. 215–230, 2015.

EHRHARDT-MARTINEZ, K.; DONNELLY, K. A.; LAITNER, J. A. In: *Advanced Metering Initiatives and Residential Feedback Programs: A Meta-Review for Household Electricity-Saving Opportunities*. Washington, D.C.: ACEEE, 2010. Acesso em: 8 jul. 2020.

FUGITA, S. D. Smart Meter Integrado a Analisador de Qualidade de Energia para Propósitos de Identificação de Cargas Residenciais. Repositório USP. Universidade de São Paulo. 126 p. Acesso em: 16 jul. 2020

GOMES, V. J. Panorama geral do setor elétrico e governança setorial. [S. l.]: Grupo de Estudos do Setor Elétrico - UFRJ, [2020?]. Acesso em: 26 maio 2020.

GOVERNO DO BRASIL. Fontes de energia renováveis representam 83% da matriz elétrica brasileira. Gov.BR, 21 de jan. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/ptbr/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/01/fontes-de-energia-renovaveisrepresentam-83-da-matriz-eletrica-brasileira>. Acesso em: 25 jun. 2020.

JANUZZI, A. C.; Regulação da Qualidade de Energia Elétrica sob o Foco do Consumidor: Dissertação de Mestrado de Engenharia Elétrica. Repositório UNB. Distrito Federal, 2007, p. 22-36. Acesso em: 8 jul. 2020.

LINHARES, M. S. Desenvolvimento de Multimedidor Eletrônico de Energia Elétrica. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Universidade de Caxias do Sul, [S. l.], 2015.

MENDES, M. A.; FIALHO, F. A. P. Experimentação Tecnológica Prática a Distância. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA, 12., 2005, Florianópolis. Atas do XII Congresso Internacional de Educação a Distância. Florianópolis: ABED, 2005. p. 1–10.

MICROSOFT. Office 365. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.office.com/>. Acesso em: 9 jul. 2020.

MOTA, A. D. Apostila Arduino Básico: Vol. 1. Serra – ES: Vida de Silício, 2015. 40p. Apostila. Acesso em: 11 jul. 2020.

NICOLAU, Carolina. Medição de Energia Elétrica: impactos da mudança tecnológica no setor jurídico de uma concessionária distribuidora de energia elétrica. Maxwell, 15 de abr. 2013. Acesso em: 10 jul. 2020

TRELLO. Sobre o Trello. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://trello.com/about>. Acesso em: 9 jul. 2020.