

REVISTA ILHA DIGITAL

A REVISTA ILHA DIGITAL é uma publicação *on-line* do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), *Campus* Florianópolis, do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC).

O conteúdo dos artigos publicados é de total responsabilidade de seus autores. Todos os artigos podem ser apropriados para fins que não sejam comerciais, resguardada a citação da fonte.

Contribuições para publicação na próxima edição devem ser feitas *on-line* através da página da revista na Internet: <http://ilhadigital.florianopolis.ifsc.edu.br>

Conselho Editorial	Corpo de Revisores	
Jony Laureano Silveira	Anderson Alves	Hugo Marcondes
Leandro Schwarz	André Luís Dalcastagnê	Joabel Moia
Luiz Alberto de Azevedo	Carlos Gontarski Speranza	Luis Carlos Martinhago Schlichting
Marco Valério Miorim Villaça	Charles Borges de Lima	Maurício Gariba Junior
Paulo Ricardo Telles Rangel	Clóvis Antônio Petry	Muriel Bittencourt de Liz
	Daniel Lohmann	Pedro Giassi Junior
	Fernando Pedro Henriques de Miranda	Renan Augusto Starke
	Golberi de Salvador Ferreira	Samir Bonho

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA

Campus Florianópolis

Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN)

Avenida Mauro Ramos, 950 – Florianópolis/Santa Catarina

CEP: 88.020-300 – Telefones: (48) 3211-6065 e (48) 3211-6066

E-mail: ilhadigital@ifsc.edu.br

<http://ilhadigital.florianopolis.ifsc.edu.br/>



EDITORIAL

No transcorrer dos últimos anos a Revista Ilha Digital do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN) do *campus* Florianópolis, Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), esteve parcialmente inativa, em face do coletivo de seus profissionais estarem alinhando no grupo uma Visão de Futuro que apresentasse convergência com os objetivos estruturantes deste departamento, bem como a ocorrência de um novo transitório político-educacional promovido pelo Ministério da Educação (MEC).

Informa-se, por conseguinte, que no transcorrer da ocorrência de uma temporalidade de inatividade na publicação da Revista Ilha Digital, uma coletânea de textos foi submetida por autores e neste ano de 2023 se retoma seus processos, encaminhado esses para apreciação de avaliadores de seção, na perspectiva de se respeitar as submissões realizadas, bem como resguardar a credibilidade e integridade da revista.

Dentre os processos reestruturados, reafirma-se que a revista continua sendo uma revista eletrônica, todavia, com publicação na modalidade fluxo contínuo, na premissa de, como avaliado pela SciELO (*Scientific Electronic Library Online*), promover “rapidez no processo de comunicação de disponibilização das pesquisas com inúmeras vantagens para os usuários de informação científica: pesquisadores, estudantes, leitores, editores e agências de financiamento”.

A respeito desse novo transitório político-educacional promovido pelo MEC, que repercutiu de forma significativa no DAELN e, provavelmente, em instituições educacionais de nível superior, refere-se a Resolução número 7, de 18 de dezembro de 2018, de Conselheiros da Câmara de Educação Superior (CES) do Conselho Nacional de Educação (CNE), cuja norma legal “Estabelece as Diretrizes para a Extensão na Educação Superior Brasileira e regimenta o disposto na Meta 12.7 da Lei nº 13.005/2014, que aprova o Plano Nacional de Educação – PNE 2014-2024 e dá outras providências.”

Não é propósito deste editorial discutir essa norma legal, todavia, destaca-se que em seu *caput* do artigo segundo, Conselheiros definiram que “As Diretrizes para a Extensão na Educação Superior Brasileira regulamentam as atividades acadêmicas de extensão dos cursos de graduação, na forma de componentes curriculares para os cursos, considerando-os em seus aspectos que se vinculam à formação dos estudantes, [...]” e que no *caput* do seu artigo quinto estabeleceram que “As atividades de extensão devem compor, no mínimo, 10% (dez por cento) do total da carga horária curricular estudantil dos cursos de graduação, as quais deverão fazer parte da matriz curricular dos cursos.”

O DAELN, por conseguinte, ofertava na data da publicação da Resolução número 7/2018 dois cursos de nível superior: um curso Superior de Tecnologia em Eletrônica Industrial iniciado em 2001 e um curso de Engenharia Eletrônica iniciado em 2013, os quais apresentavam em suas matrizes curriculares a oferta de Projetos Integradores. Comunica-se que a oferta desses projetos integradores decorre de uma construção histórica realizada por um coletivo de professores do DAELN que foi se renovando no transcorrer de uma temporalidade, quando a instituição educacional ainda estava compreendida como Escola Técnica Federal de Santa Catarina (ETFSC) em 1995 e ofertava apenas

o curso Técnico Integrado de Eletrônica de segundo grau, o qual foi a fonte de origem do projeto integrador nesse departamento.

Um outro destaque histórico que se julga necessário fazer e que também contribuiu para se desenvolver a unidade curricular projeto integrador, refere-se ao fato desse coletivo de professores, naquela oportunidade, também ter percebido que havia a necessidade de se romper com uma multidisciplinaridade existente e insistente na matriz curricular do curso Técnico Integrado de Eletrônica, assim como com uma estratificação fronteiriça estabelecida, ou seja, uma composição de disciplinas destinadas a uma formação geral e uma outra composição de disciplinas dirigidas para a formação profissional, apartadas, na premissa de superar e viabilizar a construção de um trabalho docente interdisciplinar decorrente de uma dialogicidade entre atores, na premissa de convergir para se conquistar uma aprendizagem, o mais significativa possível.

Essas percepções e outras possibilitaram ao coletivo de professores do DAELN, a partir de 1987, construir uma maturidade pedagógica a respeito de uma matriz curricular em movimento, bem como conquistar a formação de um profissional mais consciente sobre as suas capacidades de desenvolvimento profissional e consciência social, em face da formação de uma percepção de que o processo educacional necessita estar percebido como um projeto em curso que se desenvolve e se realimenta; que não se trata apenas de entrar e sair de sala de aula para cumprir um calendário acadêmico; que o processo educacional não se reduz a fazer sucessivas transposições panfletárias de conhecimentos; que o trabalho docente deve estar comprometido com a aprendizagem que traz significância e projeção; que a(o) discente é um ser social em desenvolvimento e não um repositório.

Como se pode observar, trata-se de uma construção que foi se desenvolvendo a partir de uma imersão e realimentação nos cursos de Tecnologia em Eletrônica Industrial e de Engenharia Eletrônica, que a partir da publicação da Resolução CNE nº 7/2018 precisou ser reestruturado porque esse conselho definiu que a “curricularização da extensão” seria o “*modus operandi*” para assegurar a formação de um perfil profissional, em face de que, conforme comunicado no *caput* do artigo terceiro dessa norma, essa “promove a interação transformadora entre as instituições de ensino superior e os outros setores da sociedade, por meio da produção e da aplicação do conhecimento, em articulação permanente com o ensino e a pesquisa” (Destaque nosso).

Eis que surge a “curricularização da extensão” como sujeito e tábua de salvação, desorganizando o que estava organizado e funcionando, no caso dos dois cursos de nível superior do DAELN.

Para evidenciar fatos, constrói-se a seguinte reflexão a partir da compreensão ministerial estabelecida na sua norma legal, após praticamente cinco anos de sua publicação:

- 1) Estamos finalizando o ano de 2023 e em Santa Catarina há quatro instituições educacionais de nível superior federais: a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); a Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS); o Instituto Federal Catarinense (IFC); e o Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), e se desconhece qualquer tipo de acordo/parceria para fomentar a “curricularização da extensão” no estado, assim como no caso de outras institucionalidades da região metropolitana da grande Florianópolis; e
- 2) Esse desconhecimento também se estende para o caso de outros setores da sociedade, no caso de empresas privadas e instituições sem fins lucrativos, bem como para outras instituições da administração pública e independente da esfera de atuação.

Para aprofundar ainda mais evidências, informa-se que o DAELN e outros departamentos acadêmicos do *campus* Florianópolis, os quais também ofertam cursos de nível superior, estão situados na região Metropolitana da Grande Florianópolis, cuja região, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), está constituída pelos municípios de: Águas Mornas, Alfredo Wagner, Angelina, Anitápolis, Antônio Carlos, Biguaçu, Florianópolis, Canelinha, Governador Celso Ramos, Leoberto Leal, Major Gercino, Nova Trento, Palhoça, Paulo Lopez,

Rancho Queimado, Santo Amaro da Imperatriz, São Bonifácio, São João Batista, São José, São Pedro de Alcântara, e Tijucas.

A quem caberia desenvolver um processo de interlocução com esses atores municipais, assim como com outras institucionalidades, para oportunizar a estruturação de projetos interinstitucionais, ou mesmo institucionais de acordo com suas especificidades, na perspectiva de que seja possível realizar a “curricularização da extensão”, de acordo com o preconiza a norma legal do MEC?

Há de se considerar ainda o fato do MEC não ter previsto nenhuma previsibilidade de aporte de recurso orçamentário para custear a sua “curricularização da extensão”, ficando ao encargo das instituições educacionais providenciá-los.

Caso se faça uma regressão histórica, será que a “curricularização da extensão” do MEC não seria mais de um mesmo?

Conselho Editorial



RESSONÂNCIA: UMA REVISÃO CONTEXTUALIZADA – PRIMEIRA PARTE

Marco Valério Miorim Villaça¹

Resumo: É provável que o fenômeno da ressonância mecânica seja conhecido pela humanidade desde 4.500 a.C., sendo descrito claramente por Galileu apenas no início do século XVII. Na primeira metade do século XIX, as pesquisas inovadoras de Savary e Henry sobre a natureza oscilatória da descarga da garrafa de Leyden lançaram as bases para o estudo do fenômeno da ressonância elétrica. Atualmente, os circuitos ressonantes são elementos essenciais das tecnologias de uso cotidiano. Eles são usados para determinar a frequência de operação de transmissores e receptores, para permitir a seleção de estações de radiodifusão, na amplificação de tensão, em dispositivos biomédicos, no aquecimento indutivo, em circuitos osciladores, em filtros e para obter conversão de energia com alta eficiência, dentre outras não citadas e não menos importantes aplicações da eletrônica. A ressonância pode, entretanto, ser prejudicial ao funcionamento dos circuitos eletroeletrônicos ao originar oscilações indesejadas persistentes e transitórias causando ruídos, distorção de sinal e possíveis danos aos elementos do circuito. Nos cursos de circuitos elétricos, o estudo da ressonância é geralmente limitado aos circuitos RLC série e paralelo com componentes concentrados ideais. A primeira parte deste artigo iniciará com uma apresentação de uma seleção de acontecimentos históricos relacionados com o fenômeno da ressonância. Na sequência, apresentar-se-á o conceito físico de ressonância e será feita uma análise qualitativa da ressonância RLC e uma análise quantitativa da topologia clássica RLC série, que será estendida por dualidade, na segunda parte do artigo, para a configuração paralela clássica. A análise completa das estruturas clássicas vai, ainda, permitir uma comparação futura com os resultados da análise quantitativa dos circuitos RLC série e paralelo com componentes não ideais.

Palavras-chave: Ressonância. História da tecnologia. Teoria de circuitos elétricos.

Abstract: *It is probable that the phenomenon of mechanical resonance has been known to mankind since 4.500 B.C., being clearly described by Galileo only at the beginning of the 17th century. In the first half of the 19th century, the groundbreaking research of Savary and Henry about the oscillatory nature of the discharge of the Leyden jar laid the foundation for the study of the phenomenon of electrical resonance. Today, resonant circuits are essential elements of everyday use technologies. They are used to set the operating frequency of transmitters and receivers, to pick up the frequencies of broadcasting stations, in voltage amplification, in biomedical devices, in inductive heating, in oscillator circuits, in filters, and to get energy conversion with high-efficiency, among other unmentioned and no less important applications of electronics. Resonance can, however, be detrimental to the operation of electrical and electronic circuits by causing unwanted persistent and transient oscillations, which can cause noise, signal distortion and possible damage to the circuit elements. In electrical circuit classical courses, the study of resonance is usually limited to the RLC series and parallel circuits with ideal components. The first part of this article will begin with a presentation of a selection of historical events related to the resonance phenomenon. Subsequently, the physical concept of resonance will be presented and a qualitative analysis of the RLC resonance and a quantitative analysis of the classic RLC series topology, which will be broadened by duality, in the second part of the article, to the classical parallel topology. The complete analysis of the classical structures will also allow a future comparison with the results of the quantitative analysis of the RLC series and parallel circuits with non-ideal components.*

Keywords: *Resonance. History of technology. Electrical circuits theory.*

¹ Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <mvillaca@ifsc.edu.br>.

1 INTRODUÇÃO

A ressonância é caracterizada como a amplificação seletiva de um estímulo externo com uma frequência que corresponde à frequência natural de vibração do sistema. Segundo Dimarogonas (1990, p. 181), Pitágoras (570 a.C. – 496 a.C.) provou experimentalmente que a frequência natural de sistemas vibratórios é uma propriedade do sistema e que não depende da magnitude da oscilação. Dimarogonas informa, ainda, que o pêndulo como um dispositivo de medição de vibração, e provavelmente tempo, era conhecido na antiguidade, esclarecendo que “essas referências não são conclusivas, no entanto, porque não há muitas referências ao pêndulo na antiguidade. Pode-se supor que o pêndulo era conhecido; na verdade, o balanço (que é um pêndulo composto) era conhecido em 4.500 a.C.” (DIMAROGONAS, 1990, p. 183, tradução nossa).

Segundo Baker (2011, p. 4) uma das primeiras manifestações científicas práticas conhecidas do pêndulo remonta à dinastia Han Oriental, na China (25 – 220 d.C.). No ano de 132, um brilhante polímata do governo, Zhang Heng (張衡) construiu um sismômetro, chamado “候風地動儀”¹ (YAN e HSIAO, 2007), para atender à necessidade de relatórios rápidos e direcionais dos terremotos. Embora o dispositivo original de Heng não exista mais², supõe-se que dentro de um recipiente havia um pêndulo invertido que era sensível ao movimento do terremoto, conforme é representado no modelo da Figura 1. Um terremoto abala o recipiente, causando um ligeiro deslocamento entre o pêndulo e o recipiente. Esse movimento é transmitido através de alavancas para empurrar uma bola em uma de oito direções possíveis. O instrumento deveria ser sensível ao sinal desejado e, ao mesmo tempo, indiferente aos indesejados. Para um pêndulo, o ponto ótimo está na frequência de ressonância:

“O tamanho do recipiente, cerca de 1,8 metro, foi uma escolha casual. Era do tamanho certo para ressoar e, portanto, detectar sinais de sub-áudio de um terremoto distante. Através de uma série de alavancas, o movimento do pêndulo faria com que uma bola saísse de uma das cabeças de dragão no recipiente e entrasse na boca de um dos oito sapos de metal que circunscravam o recipiente. Cada sapo foi posicionado em um dos oito pontos da bússola. A posição do sapo escolhido indicava a direção aproximada do terremoto. Heng receberia seus dados direcionais em tempo hábil e a ajuda às vítimas poderia ser enviada na direção geral do terremoto” (BAKER, 2011, p. 5, tradução nossa).

Figura 1 – Modelo do sismômetro de Heng, cortado para mostrar o mecanismo interno. As ondas de choque que chegam deslocam um pêndulo ligado a um mecanismo que abre as mandíbulas do dragão voltado para a direção do terremoto. Uma bola cai dos dentes do dragão na boca de um sapo para registrar o evento. (SCIENCE MUSEUM GROUP, 2023).



¹ Em pīnyīn (transliteração do Mandarim): *Hou Feng Di Dong Yi*, traduzido como “instrumento de movimento de vento e solo”.

² Esse tipo de máquina antiga que está documentada, mas cujo o artefato foi perdido, é classificada como “tecnologia antiga perdida”.

Os princípios mecânicos que possibilitariam uma alta sensibilidade ao instrumento de Heng são detalhados por Sleswyk e Sivin (1981).

Para Truesdell (1960 p. 34), a oscilação forçada e a ressonância tiveram suas primeiras aparições claras na literatura científica na obra de Galileu intitulada “*Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno à due nuove scienze*” publicada em 1638. Galileu enfatiza que o período de oscilação de um pêndulo era completamente definido pela sua configuração e não poderia ser modificado por qualquer influência externa:

“Antes de tudo, deve-se observar que cada pêndulo tem seu próprio tempo de vibração tão definido e determinado que não é possível fazê-lo mover-se com qualquer outro período que não aquele que a natureza lhe deu. Pois que alguém agarre o cordão ao qual o peso está preso e tente, o quanto quiser, aumentar ou diminuir a frequência de suas vibrações; será tempo perdido” (GALILEU, 1954, p. 97, tradução nossa).

Sob um aspecto, essa observação não está totalmente errada, conforme destaca Bleck-Neuhaus (2018, p. 13). De fato, um pêndulo mostra oscilações com sua frequência natural se for acionado por impulsos curtos separados por longas pausas. Porém, o período da oscilação forçada não é estritamente definido pela frequência natural do pêndulo, mas pela frequência de repetição dos impulsos. A outra afirmação de Galileu, porém, é incorreta; se for aplicado um estímulo periódico senoidal adequado, um pêndulo pode oscilar na frequência desejada, conforme mostrou Thomas Young (1807) quase duzentos anos após os primeiros relatos de Galileu sobre o dispositivo. O equívoco de Galileu, aparentemente, adequava-se à sua crença de que as marés são um fenômeno decorrente dos movimentos da Terra, não sendo impulsionadas pela força da Lua. Em sua obra de 1632, “*Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano*”, falando sobre o tema, Galileu critica respeitosamente Kepler:

“Mas de todos os grandes homens que filosofaram sobre esse efeito admirável da natureza, Kepler é o que me causa maior espanto, por ter ele, que é de engenho livre e agudo, e que tinha em mãos os movimentos atribuídos à Terra, dado ouvido e assentimento ao predomínio da Lua sobre a água, a propriedades ocultas e semelhantes infantilidades” (GALILEU, 2001, p. 536).

Galileu oferece, na mesma obra de 1638, uma descrição do que seria chamado hoje o fenômeno da ressonância:

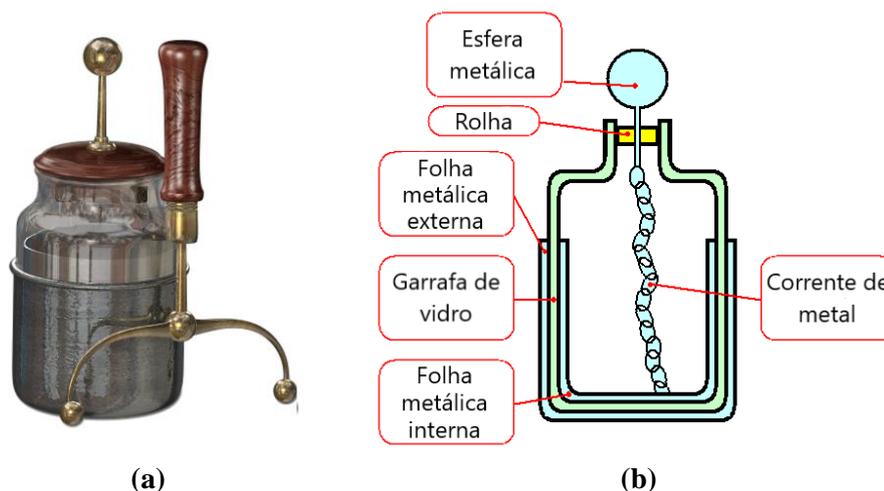
“Uma corda que foi tocada começa a vibrar e continua o movimento enquanto se ouve o som; essas vibrações fazem com que o ar imediatamente circundante vibre e estremeça; então essas ondulações no ar se expandem para o espaço e atingem não apenas todas as cordas do mesmo instrumento, mas mesmo aquelas de instrumentos vizinhos” (GALILEU, 1954, p. 98, tradução nossa).

A Garrafa de Leyden (Figura 2), criada por E. Georg von Kleist na Alemanha e Pieter van Musschenbroek na Holanda em 1745, é um dispositivo capaz de acumular uma grande quantidade de carga elétrica por meio do processo de indução e é a invenção precursora dos capacitores utilizados atualmente em circuitos elétricos. Quando a esfera metálica na haste da garrafa de Leyden é colocada próxima a uma fonte de energia estática, a folha metálica (placa) interna fica carregada e, devido às propriedades isolantes do vidro (dielétrico), uma carga igual e oposta se forma na folha externa. A garrafa pode armazenar essa carga até que seja descarregada, conectando-se a esfera metálica a um caminho condutor. O conhecimento do dispositivo rapidamente se espalhou pelos laboratórios em todo o mundo, permitindo a elaboração de diversos experimentos que foram essenciais para o desenvolvimento da ciência da eletricidade.

Felix Savary, em 1826, foi o primeiro a notar a descarga oscilatória de uma garrafa de Leyden conectada a um indutor. Savary observou que uma agulha de aço magnetizada pela corrente de descarga da garrafa de Leyden nem sempre tinha a mesma polaridade:

“Assim, numa série de experimentos em que as agulhas foram colocadas a distâncias do fio que aumentavam em intervalos iguais, no ponto de contato com o fio a agulha foi magnetizada positivamente, a uma pequena distância negativamente; um pouco mais longe, não adquiriu nenhum magnetismo; a uma distância um pouco maior que essa, exibiu magnetismo positivo; e esse efeito continuou por um certo intervalo, além do qual a magnetização foi novamente negativa. Quando ainda mais remoto, foi positivo, e continuou assim por todas as distâncias maiores que foram tentadas. Portanto, a ação parece ser periódica em relação à distância em que é exercida” (ROGET, 1831, p. 56).

Figura 2 – (a) Garrafa de Leyden (MAGNETIC ACADEMIC, 2023) e (b) seu diagrama (modificada de DUNN,2023).



A garrafa de Leyden foi carregada por uma fonte de corrente contínua e, naturalmente, esperava-se uma descarga de corrente contínua. Em uma apresentação à *French Academy of Sciences*, Savary sugeriu que o resultado fosse devido a descarga oscilatória da garrafa:

“É o movimento da eletricidade durante a descarga, composto, ao contrário, por um conjunto de oscilações, transmitido do fio para o meio circundante, e logo amortizado pelas resistências que aumentam rapidamente com a velocidade absoluta das partículas agitadas? Todos os fenômenos conduzem a essa hipótese, que na verdade depende não apenas da intensidade, mas do sentido do magnetismo seguindo as leis pelas quais pequenos movimentos são amortizados no fio, no meio que o envolve, [e] na substância que recebe e conserva a magnetização. [...] Um pêndulo oscilante em uma atmosfera [...] é um exemplo desse gênero de movimento [...]” (SAVARY, 1826, p. 31, tradução nossa).

Quinze anos mais tarde, Joseph Henry observou o mesmo efeito que Savary, investigando a corrente induzida em condutores adjacentes ao condutor de descarga da garrafa de Leyden. Para determinar a direção da corrente induzida ele observou a polaridade de uma pequena agulha de aço imantada pela corrente. Ao descrever seu experimento à *American Philosophical Society* em 1842, ele concluiu que “o fenômeno exige que admitamos a existência de uma descarga principal em uma direção, e então várias ações reflexas para frente e para trás, cada uma mais fraca do que a anterior, até que o equilíbrio seja obtido...” (HENRY, 1886, p. 201, tradução nossa).

Em 1847, Hermann von Helmholtz, em uma apresentação à *Physical Society of Berlin* sobre a conservação de energia, discutiu a descarga da garrafa de Leyden, afirmando que: “[...] a descarga de uma bateria não é um simples movimento da eletricidade em uma direção, mas um movimento para frente e para trás entre os revestimentos, em oscilações que se tornam continuamente menores até que a ‘força viva³’ seja destruída pela soma das resistências” (HELMHOLTZ, 1853, p. 43, tradução nossa).

Em 1853, Sir William Thomson, conhecido como Lord Kelvin, no artigo “*On transient electric currents*”, tratou matematicamente a descarga de um capacitor através de um condutor. No processo, Thomson (1853) reconheceu o efeito da indutância (para ele “capacidade eletrodinâmica”) e formulou uma equação diferencial de segunda ordem com coeficientes constantes, cuja solução confirmava o comportamento experimental do circuito. Ele descobriu que a solução depende da relação entre os valores de capacitância, indutância e resistência, sendo que sob certas condições não há oscilação (caso super-amortecido) e, em outras circunstâncias, a oscilação é amortecida.

Antes, em 1739, segundo Bistafa (2022, p. 207), Euler foi o primeiro a formular a equação diferencial (não amortecida) do oscilador harmônico simples sob excitação harmônica. No final do seu artigo “*De novo genere oscillationum*”, Euler cita o fenômeno da ressonância, estabelecendo que sob certas condições “a amplitude da oscilação eventualmente cresce até o infinito: esse efeito é mais notável, uma vez que é gerado por forças finitas” (EULER, 1750, p.148, tradução nossa).

³ No original – “vis viva”. Na ciência, *vis viva*, definida em latim como “força viva”, em contraste com *vis mortua*, ou seja, “força morta”, foi uma precursora da energia cinética.

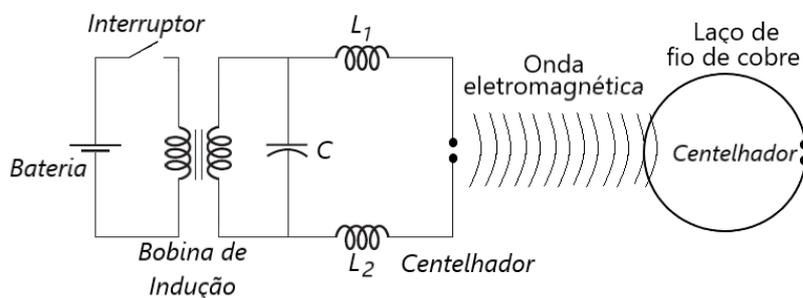
Segundo Bleck-Neuhaus (2018, p. 25), o primeiro autor a associar a palavra ressonância às oscilações eletromagnéticas foi o físico alemão Anton Oberbeck em seu artigo de 1885 *“Ueber eine der Resonanz ähnliche Erscheinung bei electricischen Schwingungen”*, onde ele afirmou que na ressonância elétrica encontram-se as mesmas equações e fenômenos presentes em qualquer outro tipo de ressonância. Oberbeck foi o primeiro a registrar a curva de ressonância, na forma de tabelas de dados da amplitude da corrente induzida em um circuito LC em diferentes frequências:

“A série de observações apresentadas confirma consistentemente as observações feitas no início. Em cada linha as deflexões apresentam um máximo bem caracterizado à medida que o número de oscilações aumenta. Sua localização depende da natureza do caminho da corrente e da capacitância do capacitor. Ao aumentar o tamanho desse último (linhas 7, 8, 9 em comparação com 4, 5, 6), o máximo é deslocado para o lado do menor número de oscilações. O mesmo deslocamento ocorre quando autoindução for aumentada pela introdução de rolos (de fio) enquanto o capacitor permanece o mesmo. O aumento da resistência não tem influência significativa” (OBERBECK, 1885, p.2 49, tradução nossa).

Encerrando o breve histórico acerca das primeiras observações e estudos sobre o fenômeno da ressonância, pode-se afirmar que o ápice de nossa resenha ocorreu em 1887, quando o físico alemão Heinrich Hertz (1893, p 29-53) demonstrou em uma série de experimentos, descritos no artigo *“On very rapid electric oscillations”*, que existem ondas eletromagnéticas que se comportam de maneira muito semelhante à luz, conforme proposto pelo físico escocês James Maxwell (1865).

A montagem experimental de Hertz, representada em sua versão atual na Figura 3, compreendia um transmissor e um receptor. O transmissor era composto por uma bobina de indução e duas esferas metálicas ou placas conectadas por fios de cobre a um mecanismo centelhador. A bobina de indução tinha como finalidade carregar o capacitor formado pelas esferas até que a tensão de ruptura do *gap* fosse alcançada. Quando o centelhador inicia a condução, as esferas juntamente com os fios de cobre formam um circuito ressonante paralelo, produzindo uma oscilação senoidal amortecida. Hertz argumentou que, se as previsões de Maxwell estivessem corretas, ondas eletromagnéticas seriam transmitidas durante cada série de centelhas. Para confirmar isso, Hertz fez um receptor simples usando um laço de fio de cobre e um mecanismo centelhador, colocando-o a alguns metros do receptor. Na Figura 4 são apresentados o transmissor e o receptor experimentais de Hertz.

Figura 3 – Esquemático de uma versão atual do experimento de Hertz.



Em um dos seus experimentos para gerar e detectar ondas eletromagnéticas, Hertz obteve os dados para, segundo Bleck-Neuhaus (2018, p. 25), plotar as primeiras curvas de ressonância publicadas:

“Nas experiências acima, a ressonância foi garantida alterando o coeficiente de autoindução e a capacidade de circuito primário, bem como a capacidade do circuito secundário. Os experimentos a seguir mostram que uma alteração do coeficiente de autoindução do circuito secundário também pode ser utilizado para esse fim. Foi preparada uma série de retângulos abcd nos quais os lados ab e cd foram mantidos com o mesmo comprimento, mas os lados ac e bd foram feitos de fios com comprimento variando de a 10 cm a 250 cm. Um máximo registrado para a distância da centelha era aparente quando o comprimento do retângulo era 1,8 m. Para se ter uma ideia das relações quantitativas, medi as faíscas mais longas que apareceram em vários comprimentos do circuito secundário. A [Figura 5] mostra os resultados. As abscissas representam o comprimento total do circuito induzido e as ordenadas o comprimento máximo da centelha. Os pontos indicam os valores observados” (HERTZ, 1893, p. 45).

Figura 4 – Dispositivos (a) transmissor e (b) receptor de Hertz. A bobina de indução não aparece na Figura (SPARK MUSEUM, 2023).

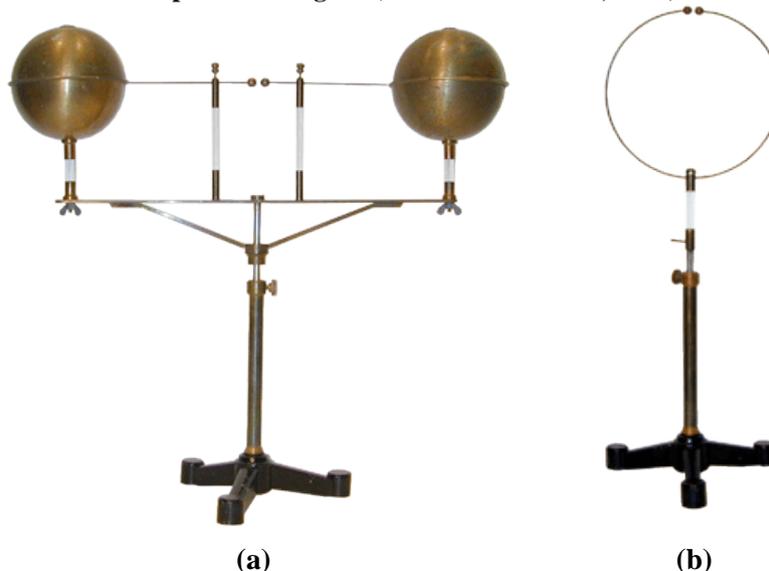
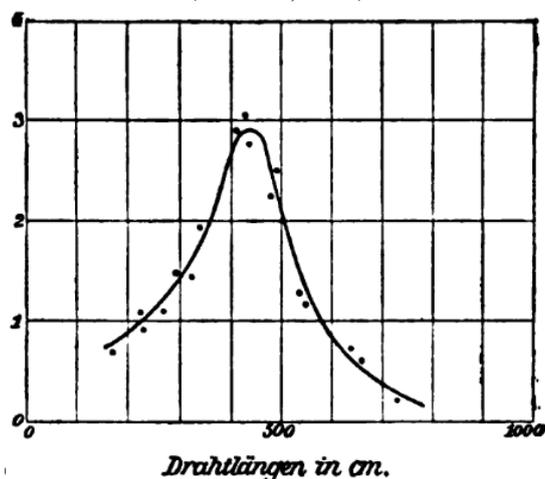


Figura 5 – Curva de ressonância de Hertz, as abcissas representam o comprimento do circuito secundário em cm e as ordenadas o comprimento máximo da centelha em mm (HERTZ, 1893).



Antes dos experimentos de Hertz, vários cientistas (DARRIGOL, 2000) fizeram contribuições significativas para a compreensão da ressonância eletromagnética. Em abril de 1820, o físico dinamarquês Hans Christian Ørsted constatou a conexão entre eletricidade e magnetismo ao demonstrar que uma corrente elétrica poderia mover a agulha de uma bússola. Pouco depois, em setembro de 1820, o francês André-Marie Ampère formulou sua lei ligando a corrente ao campo magnético gerado. Os experimentos envolvendo eletricidade e magnetismo feitos por Ørsted e Ampère, continuaram com os cientistas ingleses Joseph Henry e Michael Faraday. Em 1831, Faraday demonstrou que um campo magnético variável no tempo poderia induzir uma corrente elétrica em um condutor próximo. Henry havia descoberto a indução eletromagnética de forma independente em 1830, mas seus resultados não foram publicados até ele receber notícias do trabalho de Faraday.

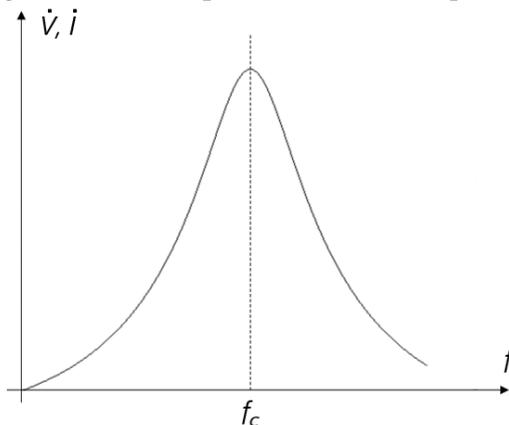
2 ANÁLISE QUALITATIVA DA RESSONÂNCIA

A descoberta das ondas eletromagnéticas por Heinrich Hertz, bem como seu uso na telegrafia sem fio por Guglielmo Marconi a partir de 1895, deram à ressonância eletromagnética grande importância na ciência e na tecnologia. Os circuitos ressonantes são essenciais na operação de uma vasta variedade de sistemas eletroeletrônicos usados diariamente. Eles são uma combinação dos elementos resistor (R), indutor (L) e capacitor (C) e podem ser encontrados em filtros para selecionar uma faixa específica de frequências, em geradores de formas de onda, em sistemas de comunicação para filtrar frequências indesejadas e extrair o sinal

desejado para processamento posterior, em dispositivos de transferência de energia sem fio⁴ para aparelhos eletrônicos de consumo e veículos elétricos, em equipamentos de aquecimento indutivo, em conversores de energia de alta frequência, em equipamentos biomédicos etc.

Os circuitos ressonantes RLC apresentam uma curva de resposta em frequência semelhante à mostrada na Figura 6, onde é possível observar a variação do seu comportamento em função da frequência. Observe na figura que a resposta v ou i , conforme o caso, será máxima na frequência igual a f_c , diminuindo progressivamente à medida que se afasta dessa frequência, tanto à direita quanto pela esquerda. Quando a resposta do circuito é máxima ou muito próxima da máxima, diz-se que ele está em ressonância.

Figura 6 – Resposta em frequência típica de um circuito RLC, ou seja, a representação gráfica de sua resposta a diferentes frequências de um sinal.



Um receptor de radiodifusão apresenta uma curva de resposta para cada emissora similar a apresentada na Figura 6. Quando o receptor está sintonizado em uma determinada estação, ele está ajustado na frequência f_c ou suficientemente próximo a ela. O sinal das emissoras que transmitem em frequências muito à direita ou à esquerda dessa frequência não entra com uma amplitude suficiente para interferir na emissora de interesse. O comportamento detalhado acima é o motivo para os circuitos ressonantes serem conhecidos também como circuitos sintonizados.

Portanto, a ressonância é caracterizada como a amplificação seletiva de uma fonte externa, denominada fonte de excitação, cuja frequência ou frequências correspondem às características oscilatórias naturais do sistema ressonante.

A ressonância, conforme foi exposto anteriormente, não é um fenômeno exclusivo dos sistemas eletroeletrônicos. Em geral, a ressonância ocorre sempre que há algum tipo de vibração ou onda presente. Portanto, existem vários tipos de ressonância, incluindo as ressonâncias mecânica, acústica, óptica, orbital e atômica. O exemplo mais familiar de dispositivo mecânico ressonante é o pêndulo simples. Ele consiste em uma massa presa a um fio flexível e inextensível em uma de suas extremidades e livre na outra. Quando a massa é afastada da posição equilíbrio, o pêndulo, após ser solto, realiza oscilações. Nesse movimento oscilatório existirá sempre uma transformação entre a energia cinética e a energia potencial gravitacional do sistema. A amplitude do movimento será a distância entre a posição de equilíbrio e a posição extrema ocupada pela massa que oscila. A única energia necessária para manter um pêndulo em movimento é a degradada no atrito com o ar.

Se uma estrutura mecânica for submetida a uma força externa periódica cuja frequência coincida com uma das frequências naturais, a amplitude da oscilação atingirá valores elevados que podem levar ao colapso da estrutura. A ponte de Tacoma Narrows foi uma ponte pênsil, ou seja, sustentada por cabos, construída em Washington, EUA, que entrou em colapso em 7 de novembro de 1940, apenas quatro meses após a sua

⁴ O carregamento sem fio ressonante, apesar de ser menos eficiente que o carregamento indutivo, não requer que o transmissor e o receptor estejam se tocando fisicamente, permitindo a transferência de energia a partir de uma distância proximal flexível do transmissor. O carregamento ressonante permite, também, o carregamento simultâneo de dispositivos de diferentes tamanhos e requisitos de energia. A ideia em si existe há mais de um século: em 1891, o famoso inventor sérvio Nikola Tesla realizou a transmissão sem fio de energia usando indução eletrostática a partir de uma bobina de indução de alta tensão (MILLER, 2014).

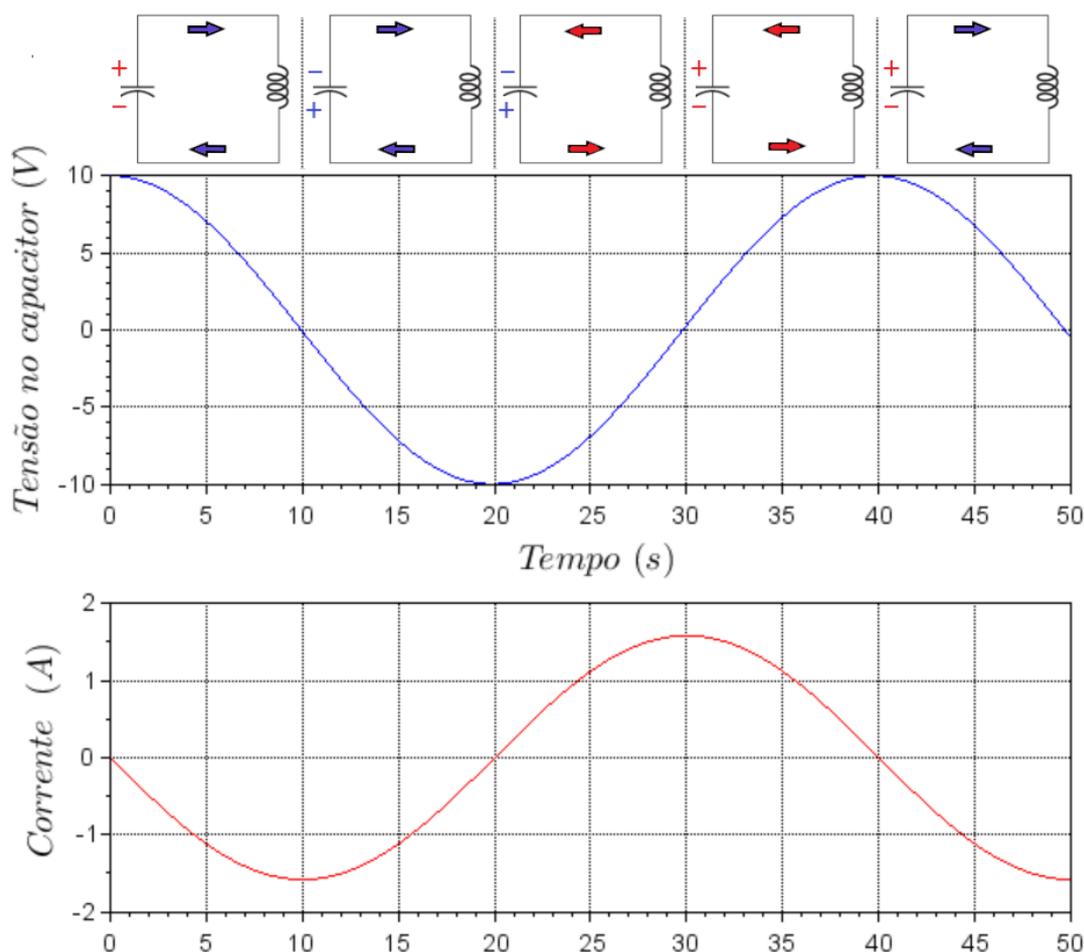
inauguração. Alguns físicos atribuem a queda à capacidade destrutiva do fenômeno de ressonância⁵, ocasionado por fortes rajadas de vento que provocaram oscilações na estrutura.

A palavra ressonância deriva diretamente do termo latino *resonantia*, significando “um eco”, sendo a sua raiz latina *resonare*, significando “soar novamente”, “soar de volta”. Sua etimologia, portanto, remete à ressonância acústica, um subconjunto da ressonância mecânica, onde os sistemas ressonantes podem ser cordas, tubos, cavidades, corpos de instrumentos de madeira etc. A maioria desses corpos ressonantes apresentará múltiplas frequências naturais, muitas vezes relacionadas harmonicamente, que eles amplificam, embora algumas frequências possam ser amplificadas em maior grau do que outras. Se uma fonte de excitação produz frequências fora das frequências de ressonância do sistema, nenhuma amplificação ocorre, essencialmente atenuando essas frequências em comparação com aquelas que são amplificadas. Na realidade, muitos instrumentos de corda apresentam uma ressonância acústica, baseada no ar, e uma mecânica, nas cordas e madeira, que se combinam para conferir ao instrumento seu som peculiar, já que a madeira e o ar podem produzir um conjunto diferente de frequências ressonantes.

Uma troca contínua de energia similar à descrita para o pêndulo simples ocorre no circuito ressonante LC. Os capacitores armazenam energia na forma de um campo elétrico e manifestam essa energia armazenada como um potencial, ou seja, uma diferença de potencial. Os indutores armazenam energia na forma de campo magnético e manifestam essa energia armazenada como um movimento cinético de elétrons, ou seja, uma corrente elétrica. Se o capacitor ou o indutor começarem carregados, os dois componentes trocarão energia entre si, indo e voltando como um pêndulo, criando seus próprios ciclos de tensão e corrente alternadas.

Imagine um indutor que seja conectado a um capacitor pré-carregado. A Figura 7 apresenta o comportamento da tensão no capacitor e da corrente no indutor a partir do instante da conexão.

Figura 7 – Evolução da tensão no capacitor e corrente no circuito após a conexão de um capacitor previamente carregado com um indutor.



⁵ Atualmente, acredita-se que a queda foi ocasionada pelo fenômeno de *flutter* aero elástico, que, simplificada, trata-se de uma auto excitação aerodinâmica sendo resultante de uma combinação de efeitos elásticos, inerciais e aerodinâmicos (BILLAH e SCANLAN, 1991).

A energia armazenada no campo eletrostático do capacitor começa a ser transferida para o campo magnético gerado pelo fluxo de corrente no indutor. A tensão no capacitor começa a decrescer, enquanto a corrente no indutor aumenta. Quando a tensão no capacitor se anula em $t = 10$ s, a corrente atinge o valor máximo e passa a diminuir. Apesar do capacitor estar descarregado, a corrente continua a fluir porque o indutor não permite que ela mude repentinamente para zero. De fato, o indutor começa a gastar sua reserva de energia para manter a corrente na mesma direção. A energia armazenada no campo magnético do indutor passa a carregar o capacitor com polaridade oposta até que, em $t = 20$ s, quando o indutor tem a sua energia esgotada, a tensão no capacitor atinge o seu máximo valor negativo, momento a partir do qual ela passará a diminuir em valor absoluto. Agora, o circuito se encontra em uma condição muito semelhante à inicial: o capacitor com carga máxima, porém com polaridade contrária, e corrente nula no circuito. O capacitor começa a transferir a energia armazenada em seu campo elétrico para o indutor e a corrente passa a circular na direção oposta durante meio ciclo. Próximo a $t = 30$ s, a tensão no capacitor atinge zero volt, deixando o indutor totalmente carregado. O indutor mantém a corrente na mesma direção, porém uma corrente decrescente, pois a sua reserva de energia está sendo transferida para o capacitor. Próximo a $t = 40$ s, o capacitor estará novamente totalmente carregado; a tensão estará novamente em seu pico positivo e a corrente em zero. Isso completa um ciclo da troca de energia entre o capacitor e o indutor. Se o circuito LC for ideal, a oscilação será mantida indefinidamente. A frequência dessa oscilação depende apenas dos valores de capacitância e indutância, não interessando a tensão (ou corrente) inicial a que foram submetidos. Essa propriedade de manter uma frequência única e natural, independentemente da energia armazenada, confere aos circuitos LC um significado especial. Se o circuito LC não for ideal, essa oscilação continuará com diminuição de amplitude a cada ciclo devido às perdas de energia nas resistências inerentes ao circuito, até cessar completamente. Esse sistema com uma resistência elétrica incorporada é chamado de amortecido e oscila até parar com uma frequência menor que a sua frequência natural, que será tanto menor, quanto maior for o amortecimento. Tal como acontece com o pêndulo, a única energia exigida pelo circuito ressonante para manter a oscilação é aquela quantidade desperdiçada pelo equivalente elétrico do atrito, que é a resistência.

Em física, esse tipo de oscilação periódica de um sistema mecânico é chamado de Movimento Harmônico Simples (MHS). Os mesmos princípios subjacentes governam tanto a oscilação de um circuito LC quanto a ação de um pêndulo, por isso a semelhança do comportamento. É uma propriedade interessante de qualquer pêndulo que seu período de oscilação é governado pelo comprimento da corda, não dependendo do peso da massa. É por isso que um pêndulo mantém a sua frequência de oscilação à medida que as oscilações diminuem de amplitude; a taxa de oscilação é independente da quantidade de energia armazenada no sistema. O mesmo vale para o circuito LC; a taxa de oscilação é estritamente dependente dos valores de capacitância e indutância, não sendo afetada pela amplitude da tensão (ou corrente) a cada ciclo.

Qualquer circuito elétrico com uma combinação de resistores, capacitores e indutores tenderá a apresentar um determinado comportamento quando a frequência da fonte de alimentação CA se aproximar da sua frequência natural. Se a frequência da fonte de alimentação para um circuito corresponder exatamente à frequência natural resultante da configuração do circuito, o circuito estará na condição de ressonância. Nessa condição, os elementos reativos trocam energia apenas entre si, ou seja, exceto pelas perdas resistivas no sistema, a fonte não precisa fornecer energia para nenhum deles. Assim, a ressonância é precisamente definida como a condição em um circuito RLC na qual a corrente resultante está em fase com a tensão aplicada, ou seja, o circuito se apresenta para a fonte como uma impedância puramente resistiva.

3 RESSONÂNCIA SÉRIE IDEAL

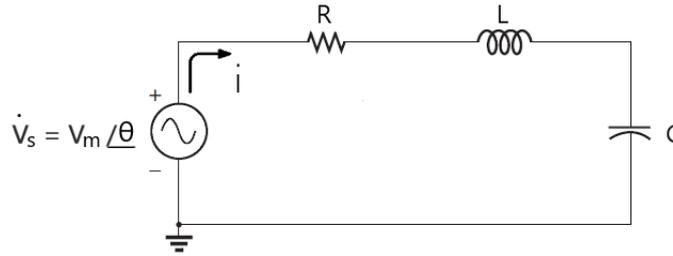
Considere o circuito da Figura 8, no qual um resistor R , um indutor L e um capacitor C estão conectados em série com uma fonte de tensão senoidal de amplitude V_m . Sua impedância de entrada é

$$\dot{Z}(j\omega) = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (1)$$

A representação da Equação 1 na forma polar é

$$\dot{Z}(j\omega) = Z \left| \underline{\varphi} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \right| \underline{\text{arc tg}} \left[\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)/R \right] \quad (2)$$

Figura 8 – Circuito RLC série ideal.



A ressonância ocorre quando a reatância vale zero, ou seja, quando na Equação 1

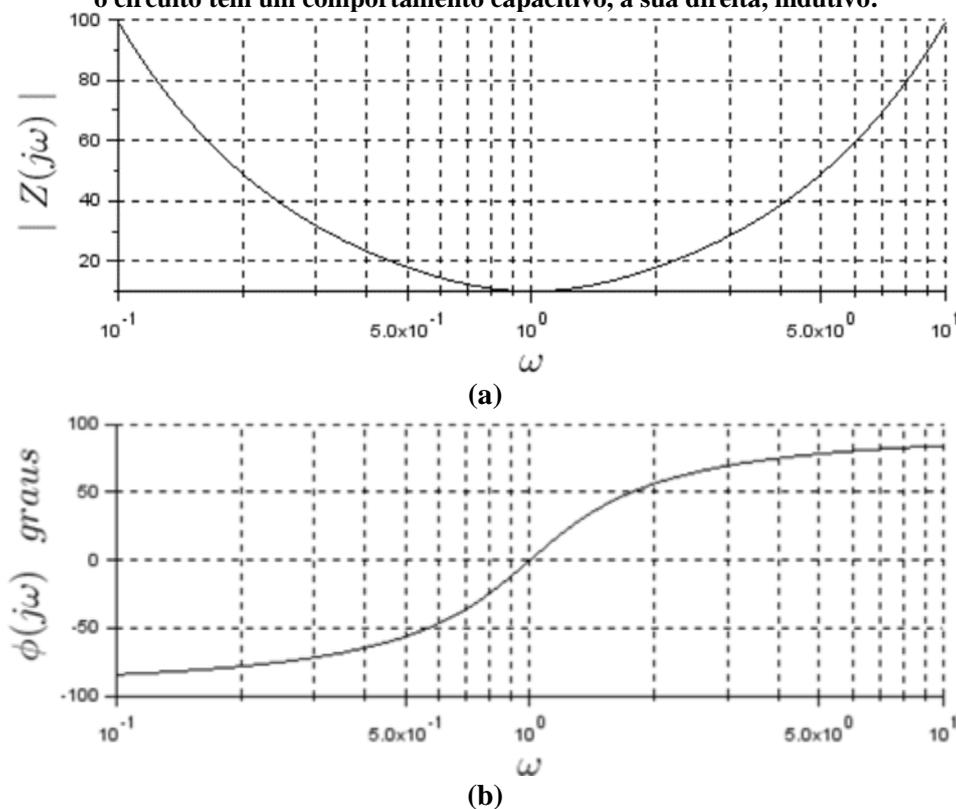
$$\omega L - 1/\omega C = 0 \quad (3)$$

A frequência ω que satisfaz a equação acima é denominada frequência de ressonância ω_0 . Resolvendo a Equação 3 para $\omega = \omega_0$, resulta

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC} \text{ (rad/s)} \quad (4)$$

A Figura 9 ilustra o comportamento da impedância do circuito RLC série em função da frequência ω em escala logarítmica, com $R = 10 \Omega$, $L = 10 H$ e $C = 0,1 F$. Em $\omega = \omega_0$, a magnitude da impedância apresenta o seu valor mínimo $Z = R$. Ou seja, a impedância é puramente resistiva e, dessa forma, a associação série LC se comporta como um curto-circuito na ressonância. Perceba que as tensões sobre o indutor e o capacitor não são nulas, elas são iguais em magnitude, porém estão defasadas em 180° , gerando uma tensão nula nos terminais da associação. A magnitude de \dot{Z} aumenta quando ω aumenta ou diminui a partir de ω_0 . Como $X_L > X_C$ quando $\omega > \omega_0$ e $X_L < X_C$ quando $\omega < \omega_0$, a fase de \dot{Z} é positiva quando $\omega > \omega_0$ e negativa quando $\omega < \omega_0$.

Figura 9 – (a) Magnitude e (b) fase da impedância $Z(j\omega)$ em função da frequência ω em escala logarítmica para o circuito série da Figura 8, com $R = 10 \Omega$, $L = 10 H$ e $C = 0,1 F$. À esquerda da frequência da ressonância, o ponto de mínima impedância, o circuito tem um comportamento capacitivo, à sua direita, indutivo.

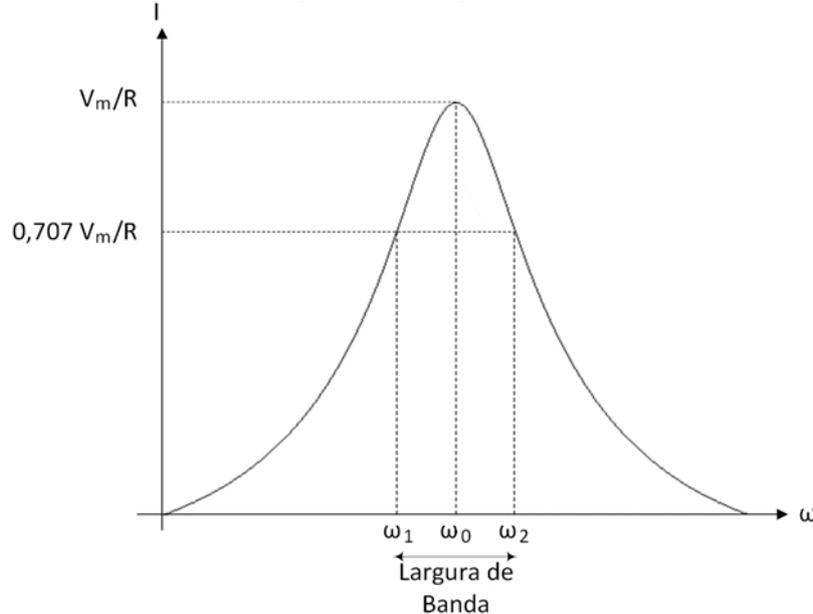


A resposta em frequência da magnitude da corrente do circuito ressonante série

$$I = |I(j\omega)| = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (5)$$

é mostrada na Figura 10. Nela se representa a largura de banda B , definida como a diferença entre as frequências ω_1 e ω_2 , onde a potência dissipada pelo circuito cai para a metade da potência máxima dissipada no circuito. Essas frequências são chamadas de frequências de meia potência, frequências de corte ou frequências de banda.

Figura 10 – A resposta em frequência da amplitude da corrente do circuito série.



Para o circuito RLC série na ressonância, as reatâncias se cancelam, submetendo o resistor a tensão máxima V_m . Então, a corrente na ressonância

$$I_0 = V_m/R \quad (6)$$

é a máxima corrente que circula pelo circuito.

Os indutores e os capacitores são frequentemente descritos com uma figura de mérito chamada fator de qualidade Q , definido como

$$Q = \omega \frac{\text{energia armazenada}}{\text{potência média dissipada}} \quad (7)$$

, isto é, o fator de qualidade é uma medida da razão entre as energias armazenada e perdida por unidade de tempo. Assim, na ressonância

$$Q = \omega_o \frac{L I_0^2/2}{I_0^2 R/2} \quad (8)$$

Simplificando a Equação 8, resulta:

$$Q = \omega_o L/R \quad (9)$$

ou

$$Q = 1/\omega_o RC \quad (10)$$

Substituindo (4) em (9), obtém-se o fator de qualidade em função dos parâmetros do circuito

$$Q = Z_o/R \quad (11)$$

onde

$$Z_o = \sqrt{L/C} \quad (12)$$

é a impedância característica do circuito.

É possível expressar a impedância em termos do fator de qualidade e da frequência de ressonância. Com esse fim, multiplica-se a parte imaginária de (1) por $\omega_o R / \omega_o R$, resultando, após algumas manipulações algébricas em

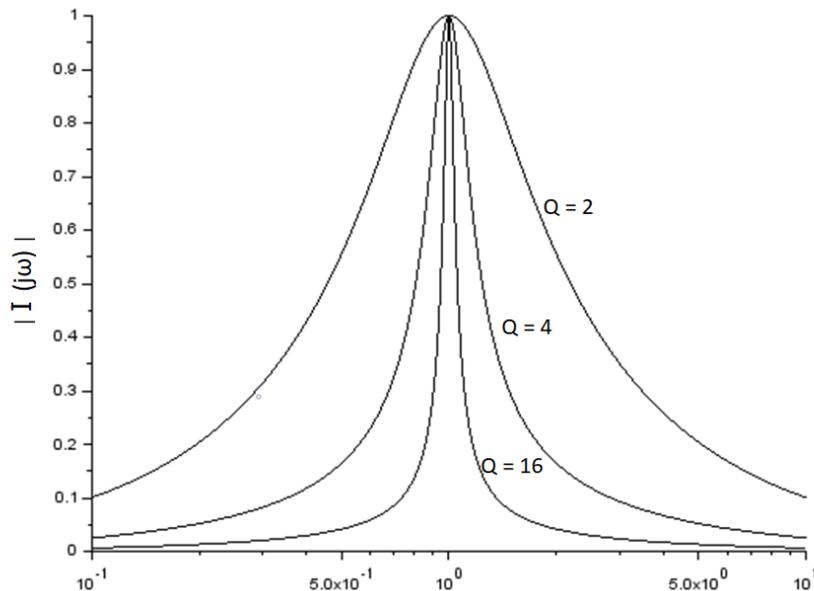
$$\dot{Z}(j\omega) = R \left[1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega} \right) \right] \quad (13)$$

Substituindo o módulo da Equação 13 no denominador da Equação 5, obtém-se a resposta em frequência da magnitude da corrente do circuito ressonante em função de Q e ω_o :

$$I = |\dot{I}(j\omega)| = \frac{V_m}{R \sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega} \right)^2}} \quad (14)$$

a qual é apresentada na Figura 11 para três valores do fator Q com ω_o e R iguais a 1. A Figura 11 mostra que quanto maior o valor de Q , mais aguda é a curva de ressonância. Em outras palavras mais seletivo é o circuito. A seletividade é a propriedade de um circuito RLC de responder a uma determinada frequência e rejeitar as demais.

Figura 11 – A resposta em frequência da magnitude da corrente do circuito ressonante série para $Q = 2$, $Q = 4$ e $Q = 16$, com ω_o e R iguais a 1.



Na ressonância, a tensão de pico sobre o capacitor é igual à tensão de pico no indutor, ambas iguais ao produto valor de pico da tensão aplicada V_m pelo fator de qualidade Q , pois

$$V_C = V_L = I_o X_L = I_o \omega_o L \quad (15)$$

Substituindo primeiro a Equação 6 na Equação 15, obtém-se

$$V_C = V_L = \frac{V_m \omega_o L}{R} \quad (16)$$

e depois a Equação 9 na Equação 16, resulta

$$V_C = V_L = V_m Q \quad (17)$$

Assim, uma vez que Q usualmente é maior do que um, em um circuito RLC série em ressonância as tensões sobre os elementos reativos podem ser bem maiores que a tensão aplicada pela fonte de alimentação.

Esse efeito, onde as tensões reativas dos componentes internos são maiores que a tensão de alimentação, pode trazer risco aos componentes do circuito, bem como há vários benefícios associados a ele. Quando se

trata de sinais CA, a amplificação da tensão pode ser feita passivamente, o que significa que a amplitude do sinal pode ser aumentada sem um aumento proporcional do consumo de energia. A amplificação de tensão é usada, por exemplo, em antenas de rádio. Os receptores de rádio aumentam a amplitude da tensão do sinal que está sendo recebido antes dele chegar aos amplificadores de estado sólido do circuito.

A potência média dissipada pelo circuito série RLC é

$$P(\omega) = \frac{1}{2} I^2 R \quad (18)$$

Na ressonância, a potência média é máxima e é expressa por

$$P(\omega_0) = \frac{1}{2} I_o^2 R \quad (19)$$

Nas frequências de meia potência $\omega = \omega_1$ e $\omega = \omega_2$ a potência dissipada vale

$$P(\omega_1) = P(\omega_2) = \frac{1}{2} P(\omega_0) = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} I_o^2 R \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{I_o}{\sqrt{2}} \right)^2 R \quad (20)$$

Assim, a magnitude das correntes de meia potência é expressa por

$$I_1 = I_2 = \frac{I_o}{\sqrt{2}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}R} \quad (21)$$

Logo, as frequências de meia potência $\omega = \omega_1$ e $\omega = \omega_2$ podem ser encontradas usando o fato de que uma diminuição da corrente para $1/\sqrt{2}$ do seu valor na ressonância corresponde a um aumento na impedância igual $\sqrt{2}$ vezes o valor na ressonância, que é igual a R . Assim, nas frequências de meia potência

$$Z = |\dot{Z}(j\omega)| = \sqrt{2}R \quad (22)$$

Substituindo a Equação 13 na Equação 22, obtém-se

$$\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega} \right)^2} = \sqrt{2} \quad (23)$$

Após algumas manipulações algébricas da Equação 23 obtém-se a equação quadrática

$$\omega^2 \pm \frac{\omega_o}{Q} \omega - \omega_o^2 = 0 \quad (24)$$

com solução expressa por

$$\omega = \pm \frac{\omega_o}{2Q} \pm \sqrt{\left(\frac{\omega_o}{2Q} \right)^2 + \omega_o^2} \quad (25)$$

Desconsiderando as soluções negativas, encontram-se as frequências de meia potência inferior

$$\omega_1 = -\frac{\omega_o}{2Q} + \sqrt{\left(\frac{\omega_o}{2Q} \right)^2 + \omega_o^2} \quad (26)$$

e superior

$$\omega_2 = \frac{\omega_o}{2Q} + \sqrt{\left(\frac{\omega_o}{2Q} \right)^2 + \omega_o^2} \quad (27)$$

Da trigonometria sabe-se que a fase da impedância complexa pode ser expressa por

$$\varphi = \text{arc cos}(R/Z) \quad (28)$$

Substituindo-se a Equação 22, que representa o módulo da impedância nas frequências de meia potência, na Equação 28, obtém se

$$\varphi = \text{arc cos}(1/\sqrt{2}) \quad (29)$$

Assim, a fase da corrente em ω_1 é 45° (circuito capacitivo) e em ω_2 é -45° (circuito indutivo).

A largura de banda B , por sua vez, é definida como a diferença entre as duas frequências de meia potência, ou seja,

$$B = \omega_2 - \omega_1 \quad (30)$$

A relação entre a largura de banda e o fator de qualidade é obtida subtraindo Equação 27 da Equação 26, resultando em

$$B = \omega_o / Q \quad (31)$$

que é uma expressão muito conveniente, pois relaciona a largura de banda com o fator de qualidade do circuito. A Equação 31 confirma o fato mencionado anteriormente que quanto maior o valor de Q , menor a largura de banda B , e vice-versa.

Substituindo a Equação 9 na Equação 31, obtém-se B em função dos parâmetros do circuito, ou seja,

$$B = R/L \quad (rad/s) \quad (32)$$

Para se obter uma expressão que permita calcular as frequências de meia potência em função dos parâmetros do circuito, substitui-se, nessa ordem, as Equações 31, 32 e 4 nas Equações 26 e 27, resultando em

$$\omega_1 = -\frac{R}{2L} + \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 + \frac{1}{LC}} \quad (33)$$

e

$$\omega_2 = \frac{R}{2L} + \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 + \frac{1}{LC}} \quad (34)$$

Para obter uma expressão que relacione as frequências de meia potência com a frequência de ressonância, se adicionam as Equações 26 e 27, obtendo-se

$$\omega_1 + \omega_2 = 2 \sqrt{\left(\frac{\omega_o}{2Q}\right)^2 + \omega_o^2} \quad (35)$$

que, após algumas manipulações algébricas, resulta em

$$\omega_o = \sqrt{\omega_1 \omega_2} \quad (36)$$

, expressão que indica que a frequência de ressonância é a média geométrica das frequências de meia potência. Assim, ω_1 e ω_2 não são simétricas em relação a frequência de ressonância. Entretanto, quando o fator de qualidade for elevado (por convenção, $Q \geq 10$), a Equação 36 torna-se

$$\omega_1 + \omega_2 \cong 2\omega_o \quad (37)$$

ou

$$\omega_o \cong \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \quad (38)$$

indicando que, quando Q for elevado, a frequência de ressonância é a média aritmética das frequências de meia potência. Assim, as frequências de meia potência podem ser aproximadas por

$$\omega_1 \cong \omega_o - \frac{B}{2} \quad (39)$$

e

$$\omega_2 \cong \omega_o + \frac{B}{2} \quad (40)$$

Nas Equações 13, 14, 26, 27, 31, 36, 38, 39 e 40 a frequência angular ω pode ser substituída pela frequência cíclica f (Hz). A frequência angular corresponde a taxa de deslocamento ou rotação angular, ou

seja, mede a variação de um ângulo no tempo. A frequência cíclica, por sua vez, mede o número de eventos por unidade de tempo. Por eventos se entende rotações, ciclos etc.

4 EXPERIMENTAÇÃO DE UM CIRCUITO RESSONANTE SÉRIE

Será testado em laboratório um circuito ressonante série com frequência de ressonância igual a 40 kHz e fator de qualidade próximo a dois.

Com essas especificações, a partir da Equação 31, obtém-se uma largura de banda

$$B = f_o/Q = 40 \cdot 10^3 / 2 = 20 \text{ kHz}$$

A partir das Equações 26 e 27, obtém as frequências de meia potência, ou seja,

$$f_1 = -\frac{f_o}{2Q} + \sqrt{\left(\frac{f_o}{2Q}\right)^2 + \omega f_o^2} = -\frac{40 \cdot 10^3}{2Q} + \sqrt{\left(\frac{40 \cdot 10^3}{2Q}\right)^2 + (40 \cdot 10^3)^2} \cong 31,2 \text{ kHz}$$

e

$$f_2 = \frac{f_o}{2Q} + \sqrt{\left(\frac{f_o}{2Q}\right)^2 + \omega f_o^2} = \frac{20 \cdot 10^3}{2Q} + \sqrt{\left(\frac{20 \cdot 10^3}{2Q}\right)^2 + (20 \cdot 10^3)^2} \cong 51,2 \text{ kHz}$$

Utilizando-se um indutor com $L = 10 \text{ mH}$, o valor da resistência efetiva do circuito é obtido manipulando a Equação 32, ou seja

$$B = R/L \rightarrow R = B \cdot L = 2\pi \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cong 1.257 \Omega$$

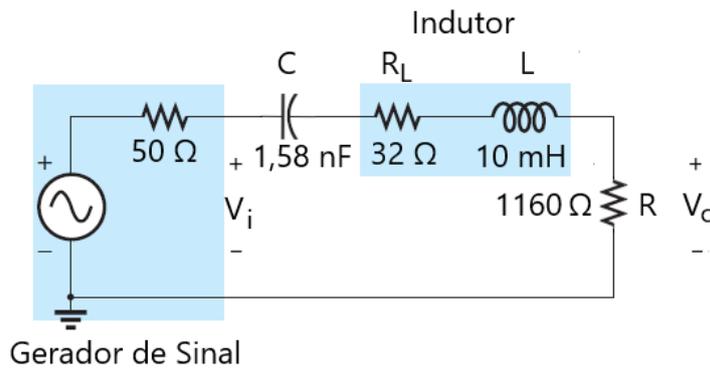
Como o gerador de função utilizado no teste possui impedância interna de 50Ω e o indutor utilizado possui uma resistência própria R_L em corrente contínua de 32Ω , serão utilizados no circuito um resistor de $1 \text{ k}\Omega$ em série com um resistor de 180Ω . O valor do capacitor é obtido a partir da Equação 4 como segue:

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}} \rightarrow C = \frac{1}{(2\pi f_o)^2 L} = \frac{1}{(2\pi \cdot 40 \cdot 10^3)^2 10 \cdot 10^{-3}} \cong 1,58 \text{ nF}$$

Portanto, será utilizado um capacitor de poliéster metalizado com valor comercial igual a $1,5 \text{ nF}$.

O circuito da Figura 12 foi montado em uma matriz de contatos, onde os valores indicados de R , R_L , L e C são os medidos em laboratório. Com a amplitude do sinal senoidal do gerador de sinal ajustado para 5 V de pico a pico, uma ponteira do osciloscópio (canal 1) disposta para medir o sinal v_i e outra (canal 2) para medir o sinal v_o , a frequência do sinal foi variada de 5 kHz a 150 kHz , resultando na Tabela 1, onde φ representa a defasagem entre os sinais v_o e v_i . Observe que, onde a defasagem entre os sinais vale 45° , 0° e -45° , tem-se, respectivamente, as frequências de meia potência inferior, de ressonância e de meia potência superior.

Figura 12 – Circuito RLC série experimental.



Na Figura 13 são apresentadas as telas do osciloscópio representando as medidas realizadas nas frequências de meia potência e na frequência de ressonância. Utilizando o *script* Scilab⁶ apresentado no Quadro 1, foram traçadas na Figura 14 as respostas em frequência teórica e experimental (ganho e fase em graus *versus* frequência).

⁶ Criado por pesquisadores do INRIA (*Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique*) e do ENPC (*École Nationale des Ponts et Chaussées*) e disponível como software gratuito e de código aberto desde 1994, o Scilab é destinado a engenheiros e cientistas. Atualmente, é desenvolvido pela *Dassault Systèmes*.

Tabela 1 – Resultados experimentais.

f (kHz)	v _i (V _{p-p})	v ₀ (V _{p-p})	G = v ₀ / v _i	φ (°)
5	5,16	0,30	0,06	86,0
10	5,16	0,62	0,12	82,1
20	5,16	1,45	0,28	71,8
30	5,08	2,82	0,56	52,3
31,9	5,04	3,16	0,63	45,4
35	5,00	3,84	0,77	31,8
40	4,96	4,40	0,89	6,34
41	4,96	4,48	0,90	0,00
45	4,96	4,24	0,86	-18,8
50	5,04	3,68	0,73	-36,7
53,3	5,04	3,20	0,64	-44,9
60	5,08	2,56	0,50	-55,7
70	5,08	1,96	0,39	-65,0
80	5,12	1,56	0,31	-69,7
90	5,12	1,3	0,25	-71,9
100	5,12	1,12	0,22	-76,0
150	5,12	0,65	0,13	-81,0

Quadro 1 – Script Scilab elaborado para traçar as respostas em frequência teórica e experimental do circuito da Figura 12.*//TEÓRICO*

f = 5000:100:150000; w=2*%pi*f; R= 1160; RL=32;L = 10d-3; C=1.58d-9;

H = R ./ (R+RL+%i*w*L-%i*(1./(w*C)))

subplot(211);

plot2d(f,abs(H),logflag='ln'); xgrid;

xlabel("\$\scalebox{1.8}{f}\$"); ylabel("\$\scalebox{1.8}{| H(f) |}\$")

//PRÁTICO

ft=[5 10 20 30 31.9 35 40 41 45 50 53.3 60 70 80 90 100 150]*1000

vi=[5.16 5.16 5.16 5.08 5.04 5.00 4.96 4.96 4.96 5.04 5.04 5.08 5.08 5.12 5.12 5.12 5.12]

vo=[0.30 0.62 1.45 2.82 3.16 3.84 4.40 4.48 4.24 3.68 3.20 2.56 1.96 1.56 1.30 1.12 0.65]

Ht = vo./vi

a=get("current_axes"); a.font_size = 3;

plot2d(ft,Ht,-3)

legend(['\$teórica\$'; '\$experimental\$'],pos=-5,boxed=%f);

gce().font_size = 4;

subplot(212)

xlabel("\$\scalebox{1.8}{f}\$"); ylabel("\$\scalebox{1.8}{\phi(f) (^\circ)}\$")

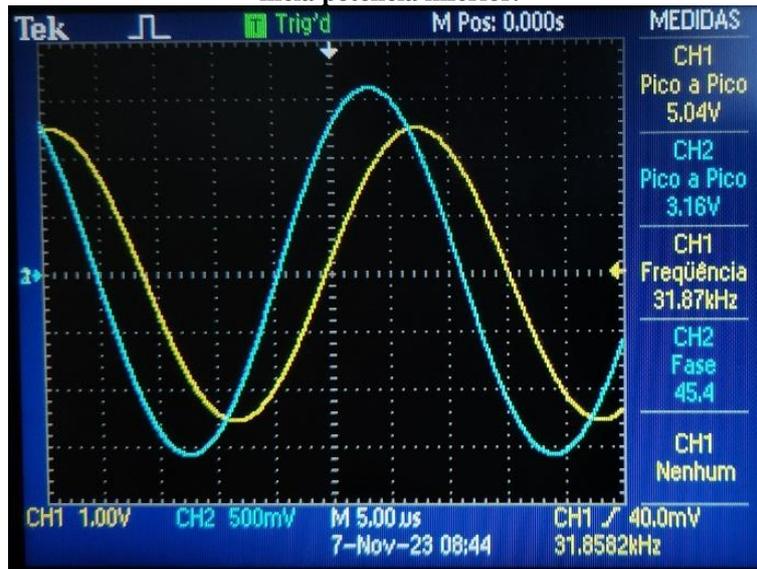
plot2d(f,atand(imag(H),real(H)),logflag='ln')

phit=[86 82.1 71.8 52.3 45.4 31.8 6.34 0 -18.8 -36.7 -44.9 -55.7 -65.0 -69.7 -71.9 -76 -81]

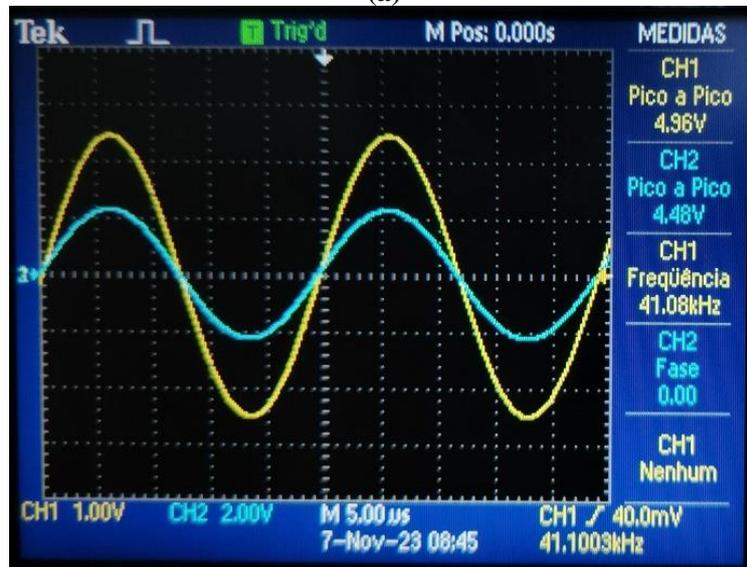
plot2d(ft,phit,-3); xgrid

a=get("current_axes"); a.font_size = 3;

Figura 13 – Tensão de saída v_o (em azul) e tensão de entrada v_i (em amarelo) na (a) frequência de meia potência inferior, (b) frequência ressonância e (c) frequência de meia potência superior.



(a)

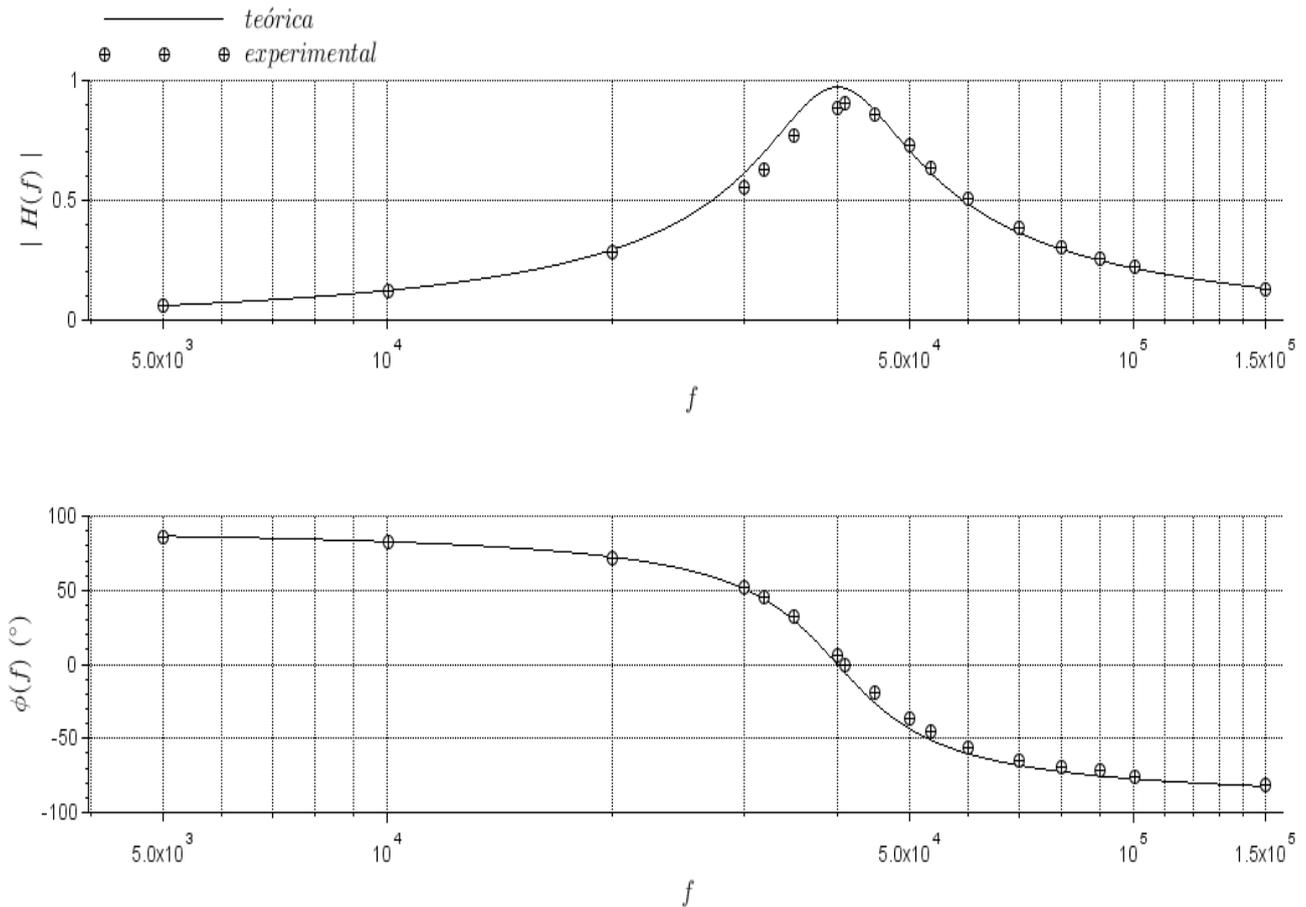


(b)



(c)

Figura 14 – Respostas em frequência teórica e experimental do circuito da Figura 12.



Analisando a Figura 14, verifica-se que a resposta em frequência experimental acompanha a resposta teórica. Na Tabela 2, apresenta-se a variação percentual entre os valores teóricos e experimentais nas frequências de interesse.

Tabela 2 – Variação percentual entre valor previsto e valor experimental de grandezas de interesse.

Grandeza	Valor teórico	Valor experimental	Erro relativo percentual
f_0 (kHz)	40	41,08	+2,7
B (kHz)	20	21,43	+7,15
Ganho em f_0	0,973	0,903	-7,20

As diferenças observadas entre os valores podem ser atribuídas a dificuldade de realizar uma medida precisa do indutor e pelo modelo teórico utilizado para o indutor que não prevê as perdas no núcleo (por histerese e correntes parasitas) e a variação das perdas no cobre com a frequência. Um modelo teórico mais elaborado do indutor será discutido na segunda parte desse artigo.

Por sua vez, a principal dificuldade com as medidas do indutor reside no fato de que a sua indutância é bastante dependente da frequência, conforme mostra a Figura 15, extraída da folha de dados de um fabricante. Para o presente trabalho, a medida da indutância foi realizada com um instrumento que utiliza uma frequência de 200 Hz, uma frequência muito aquém a frequência de ressonância do circuito testado.

Pontua-se que capacitores e resistores também apresentam características não ideais, que entretanto, não contribuem significativamente para as discrepâncias verificadas entre teoria e prática. Para ilustrar, apresenta-se na Figura 16 a variação típica da capacitância de um capacitor com dielétrico de poliéster metalizado em função da frequência, onde se verifica uma variação percentual da capacitância inferior a -2% na faixa de frequências onde se observou as maiores discrepâncias entre teoria e prática.

Figura 15 – Curva característica típica da indutância (mH) versus a frequência (kHz) de um indutor com núcleo de ferrite (WÜRTH ELEKTRONIK, 2023).

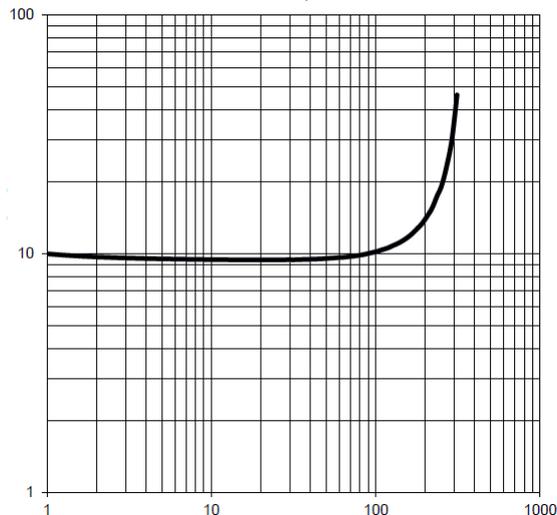
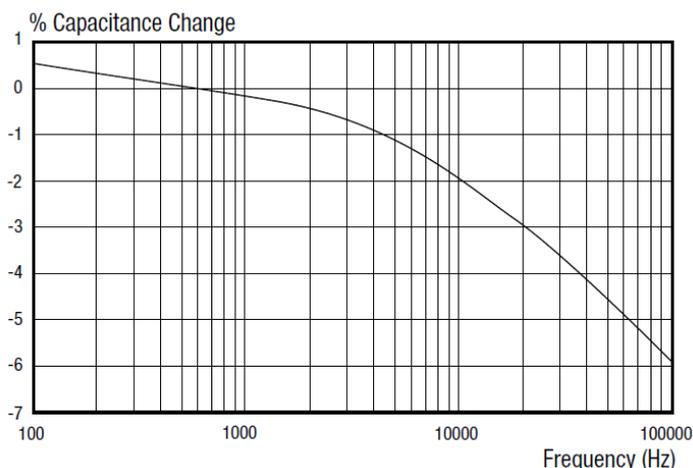


Figura 16 – Variação percentual da capacitância versus a frequência (Hz) para um capacitor de poliéster metalizado (DEARBORN ELECTRONICS, 2023).



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ressonância é um dos fenômenos mais importantes da natureza, tanto do cotidiano, onde desempenha um papel em muitos aspectos na tecnologia e na música, quanto nos processos básicos do mundo físico. A manifestação mais familiar do fenômeno da ressonância ocorre em um pêndulo de qualquer tamanho ou forma, incluindo o balanço. Quando uma criança encolhe e estica as pernas na frequência natural do pêndulo constituído por ela e o balanço, a amplitude das oscilações do balanço aumenta gradativamente. O que torna isso possível é a interação periódica entre energia cinética e energia potencial e, da mesma forma, a ressonância elétrica é possibilitada pelo movimento periódico de vaivém da energia elétrica de um capacitor e a magnética de um indutor. A ressonância, um conceito fundamental no mundo da eletricidade, apresenta muitas possibilidades de aplicação, ao mesmo tempo que apresenta riscos potenciais que técnicos, tecnólogos e engenheiros devem conhecer. A ressonância pode gerar ruído ou receber ruído induzido. Se um circuito contém um circuito ressonante não intencional, ele pode gerar uma corrente ou tensão elevada na frequência de ressonância, aumentando a probabilidade de gerar um sinal interferente. Ao entender e aproveitar a ressonância, os profissionais podem otimizar o desempenho dos circuitos, melhorar a eficiência e explorar os meandros do processamento de sinais.

Na segunda parte desse artigo, o estudo da ressonância será ampliado, apresentando-se novas configurações e aplicações.

Agradecimentos

O autor agradece aos colegas Jony Laureano Silveira pela cuidadosa revisão do texto, Mauro Tavares Peraça pelas valiosas sugestões e Muriel Bittencourt de Liz pela revisão do *abstract*.

REFERÊNCIAS

- BAKER, G. **Seven Tales of the Pendulum**. Reino Unido: OUP Oxford, 2011. 227 p.
- BILLAH, K. e SCANLAN R. Resonance, Tacoma Narrows Bridge Failure, and Undergraduate Physics Textbooks. **American Journal of Physics**. v. 59, n. 2 p. 118–124, fev. 1991.
- BISTAFA, S. R. Euler first theory of resonance. **Archive for History of Exact Sciences**. v. 76, n. 3, p. 207–221, 2002.
- BLECK-NEUHAUS, J. Mechanical resonance: 300 years from discovery to the full understanding of its importance. **arXiv: History and Philosophy of Physics**, 2018.
- DARRIGOL, O. **Electrodynamics from Ampère to Einstein**. Oxford e Nova Iorque: Oxford University Press, 2000. 532 p.
- DEARBORN ELECTRONICS. **Film & mica capacitors**. Disponível em: <<https://exxelia.com/uploads/PDF/59bac88997252.pdf>> Acesso em: 31. out. 2023.
- DIMAROGONAS, A.D. The origins of vibration theory. **Journal of Sound and Vibration**. v. 8, n. 2, p. 181–189, jul.1990.
- DUNN, J. **The Leyden jar: a colonial-era capacitor**. Disponível em: <<https://www.edn.com/the-leyden-jar-a-colonial-era-capacitor/>>. Acesso em: 15 out. 2023.
- EULER, L. De novo genere oscillationum. **In: Commentarii academiae scientiarum Petropolitanae**, Vol. 11, pp. 128–149, 1750.
- GALILEO, G. **Dialogues concerning two new sciences**. Nova Iorque: Dover, 1954. 300 p.
- GALILEU, G. **Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano**. Trad. Pablo Rubén Miranda. São Paulo: Editora 34, 2011.
- HELMHOLTZ, H. On the Conservation of Force. **In: Scientific Memoirs, Natural Philosophy**, Vol. 1, org. John Tyndall & William Francis, p. 114–162. Londres, Taylor and Francis, 1853.
- HENRY, J. **Scientific Writings of Joseph Henry**. Vol. 1. Washington: Smithsonian Institution, 1886. 523 p.
- HERTZ, H. **Electric waves**. Londres: Macmillan and Co, 1933. 278 p.
- MAXWELL J. A dynamical theory of the electromagnetic field. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, n. 155, p 459–512, jan. 1865. Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1865.0008>>. Acesso em: 18 out. 2023.
- MILLER, J. Practical and Implementation Issues of Wireless Power Charging of EV's. **In: IEEE Transportation Electrification Community (TEC) eNewsletter**, jul./ago. 2014. Disponível em: <<https://tec.ieee.org/newsletter/july-august-2014/practical-and-implementation-issues-of-wireless-power-charging-of-ev's>>. Acesso em: 28 nov. 2023.
- NATIONAL MAGLAB. **Leyden Jars – 1745**. Disponível em: <<https://nationalmaglab.org/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/museum/leyden-jars-1745/>>. Acesso em: 15 out. 2023.
- OBERBECK, A. Ueber eine der Resonanz ähnliche Erscheinung bei electrischen Schwingungen. **Annalen der Physik**, v. 262, n. 10, p. 245–253, 1885.
- ROGET, P.M. **Treatises on Electricity, Galvanism, Magnetism, and Electro-Magnetism**. Londres: Baldwin and Cradock, 1831. 316 p.
- SAVARY, F. **Memoir on Magnetization**. Trad. Eric Hickok. 1826. Disponível em: <<http://commons.princeton.edu/motorcycledesign/joseph-henry-project/oscillatory-discharge/experiments/>>. Acesso em: 15 out. 2013.
- SCIENCE MUSEUM GROUP. **Model of the Zhang Heng seismoscope**. Disponível em: <<https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co54055/model-of-the-zhang-heng-seismoscope-seismoscope>>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- SLEESWYK, A. e SIVIN N. Dragons and toads. The chinese seismoscope of a.d. 132. **Chinese Science**. v. 6, pp. 1–19, 1983.

SPARK MUSEUM. **Early wireless transmitters**. Disponível em: <www.sparkmuseum.com/SPKTRAN.HTM/>. Acesso em: 20 out. 2023.

THOMSON, W. On transient electric currents. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 5, n. 34, p. 393–405, 1853.

TRUESDELI, C. **The rational mechanics of flexible or elastic bodies 1638 – 1788**. Suíça: Orell Füssli Turici, 1960. 435 p.

WÜRTH ELEKTRONIK. **Folha de dados do componente 7447221103**. Disponível em: <https://www.w-online.com/en/components/products/WE-TI_2/>. Acesso em: 31 out. 2023.

YAN, H. e HSIAO, K. Reconstruction design of the lost seismoscope of ancient China. **Mechanism and Machine Theory**, v. 42, n. 12, p. 1601–1617, dez. 2007.

YOUNG, T. **A course of lectures on natural philosophy and the mechanical arts**. Vol. 1. Londres: Johnson, 1807. 796 p.



ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E COMERCIAL DE TRANSMISSOR E RECEPTOR SEM FIO PARA CÂMERAS DE SEGURANÇA *FULL HD*

Jeferson Ricardo de Almeida¹, Samir Bonho²

Resumo: Este documento aborda o estudo de viabilidade técnica e comercial de um transmissor e receptor do tipo sem fio para câmeras de vídeo, voltado para clientes de projetos de CFTV de pequeno e médio porte. Constatou-se que não possuem produtos similares ao proposto ofertados no país, sendo os existentes desenvolvidos por empresas estrangeiras. Portanto, foi proposto o desenvolvimento desse *transceiver* como uma alternativa para projetos onde a infraestrutura existente não possibilite a instalação/passagem de novos cabos. Foram determinados conceitos mecânicos para instalação do transmissor, possibilitando a instalação em parede ou teto. Os principais requisitos que determinaram as especificações técnicas foram levantados, assim como foram analisados os aspectos-chaves para o projeto. Finalmente, foi concluído que o transmissor e receptor sem fio para a transmissão de vídeo de câmeras de vídeo Full HD é viável tanto técnica como comercialmente.

Palavras-chave: CFTV. *Transceiver*. Estudo de viabilidade.

Abstract: Most of all CCTV solutions use confined space such as wire cables for video transmission. This is true for several surveillance products around the globe. In spite of many advantages using a wired connection, the cost of the installation at different scenarios may be less affordable than using wireless links to transmit the video. This document shows the technical and financial feasibility of a wireless transmitter and receiver for Full HD video cameras used in CCTV systems. It was checked, after a revision of commercial video camera systems, that there are few available options for this kind of wireless solution. The main technical specifications were pointed: transceivers, encoders, communication protocol, design and mechanical features. Also, an estimated unit cost, net profit and payback period were given. Finally, it is concluded that the proposed solution is feasible both technically and financially.

Keywords: CCTV. *Transceiver*. Technical and financial feasibility study.

¹ Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, IFSC/Florianópolis <jefersonrdealmeida@gmail.com>.

² Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <samir.bonho@ifsc.edu.br>.

1 INTRODUÇÃO

As câmeras de CFTV analógicas, sejam de baixa ou alta resolução “HD”, foram projetadas com um conector BNC de saída especificado para transmissão em cabo coaxial. Este meio de transmissão foi o muito usado por muitos anos no mercado de CFTV por possuir algumas variações “RG/59, RG/6 e RG/11”. Estas proporcionam ao usuário maiores distâncias de transmissão em função da variação da quantidade de matéria utilizado no condutor e maior proteção contra interferências eletromagnéticas externas, em função do percentual de malha do cabo. A derivação deste cabo denominado “coaxial bipolar” alavancou o crescimento deste meio de transmissão. Além da transmissão do sinal de vídeo através do cabo coaxial foram acrescentados dois novos condutores em paralelo ao meio existente, para que o usuário também pudesse conectar uma fonte para alimentação do dispositivo “câmera”.

A criação na década de 90 do meio de transmissão cabo de par trançado (UTP) permitiu a evolução e padronização de sistemas de cabeamento estruturado. Os principais players do mercado nacional, dentre estes o fabricante Intelbras, dispõe de um portfólio completo de produtos (INTELBRAS, 2017a), que realizam o casamento de impedância para o uso deste meio de transmissão para comunicação entre câmeras e DVRs. A

grande maioria dos novos projetos de sistema de CFTV tem optado por trabalhar com cabo UTP em função dos seguintes benefícios (PROTECNOS, 2017):

- a) facilidade de manutenção, pois praticidade para crimpagem dos conectores nas terminações do cabo;
- b) possibilita a transmissão de até 4 câmeras em um único cabo, pois cada sinal de vídeo precisa de apenas um único par para transmissão e o cabo UTP dispõe de 4 pares.
- c) possibilita a aplicação da padronização de cabeamento estrutura para o sistema de CFTV, o que permite mudanças, manutenções e implementações de maneira bastante rápida, segura, eficiente e controlada.

Para o uso deste meio é necessário realizar um o uso de um *balun* de vídeo, acessório responsável por realizar o casamento de impedância do sinal gerado pela câmera de segurança que é um sinal não balanceado de $1 V_{pp}$ e 75Ω para o cabo UTP de 100Ω .

O mercado de produtos eletrônicos tem evoluído rapidamente e grande parte dos sistemas existentes que utilizavam meios físicos confinados para transmissão estão passando por atualizações. A comunicação com seus periféricos, que até então era cabeada, tem sido atualizada para comunicação sem fio. Pode-se fundamentar esta constatação analisando o portfólio do fabricante Dahua, segundo maior fabricante mundial de equipamentos de vídeo-vigilância (A&S INTERNATIONAL EDITORIAL, 2017), que possui uma linha completa de *kits* de monitoramento IP com comunicação Wi-Fi (DAHUA TECHNOLOGY, 2017b), produtos estes os quais a aplicação/instalação dependiam de um meio físico para comunicação.

Motivados pelas evoluções apresentadas e tendências do mercado, independentemente do tipo de protocolo de comunicação ou da tecnologia utilizada para transmissão sem fio, este trabalho propõe um estudo de viabilidade técnica e comercial de um dispositivo que realize a transmissão/recepção sem fio do sinal de vídeo de câmeras de segurança.

1.1 Panorama geral do mercado de CFTV

O mercado de CFTV é subdividido nas seguintes categorias.

- a) **Kit de câmeras wireless e visualização realizada através de monitor wireless que atua como receptor.** Este tipo de sistema não possui compatibilidade com outros receptores (*recorders*/monitores) *wireless*. Foi desenvolvida para comunicação específica entre transmissor e receptor fornecidos no *kit*.
- b) **Câmera Wi-Fi e visualização realizada por aplicativo instalado em celular.** Este mercado de aplicações *smart home* vem crescendo constantemente. São produtos que facilitam a vida do usuário pela mobilidade e facilidade quanto a instalação/configuração dos dispositivos. Este tipo de sistema não possui compatibilidade com outros aplicativos receptores, foi desenvolvida para comunicação específica entre transmissor (câmera Wi-Fi) e o aplicativo do fabricante.
- c) **Sistema de CFTV digital cabeado.** Este é o tipo de sistema de segurança mais difundido no mercado, o advento das câmeras digitais de alta resolução impulsionou e aqueceu novamente este mercado. É um sistema *plug and play*, de fácil instalação de alta confiabilidade em função do meio físico cabeado. É composto de um transmissor (câmeras de vídeo) e de um receptor (gravador de vídeo).
- d) **Sistema de CFTV IP.** É o sistema em maior expansão e que em breve irá liderar o setor de sistemas de segurança, por ser um dispositivo inteligente (possui funções de análise de vídeo embarcada) e pela praticidade de poder ser instalado em qualquer rede de dados. O usuário poder realizar a visualização em tempo real através de um navegador ou *smartphone*. Outra grande vantagem deste sistema é que não é necessário o uso de um gravador digital de vídeo para que seja realizada a gravação das imagens. Pode realizar a gravação em nuvem e alguns modelos de câmera possuem entrada para cartão SD para armazenamento das imagens captadas.
- e) **Sistema de CFTV para monitoramento veicular.** Sistema desenvolvido para otimizar o monitoramento de frotas, pois ajuda no controle comportamental dos funcionários e na obtenção de informações importantes, quanto a assaltos, depredações e problemas que possam ocorrer durante o uso do veículo. Este sistema é composto de uma câmera de vídeo e DVR veicular para gravação das imagens, ambos são submetidos a rígidos testes de validação mecânica em função das condições de alta instabilidade mecânica em que são instalados.

1.2 Principais *players* no mercado nacional e mundial

A conceituada revista A&S, divulga anualmente um ranking “*Security 50*” (A&S INTERNATIONAL EDITORIAL, 2017), com os maiores fabricantes mundiais por receita de vendas de produtos, lucro bruto e margem de lucro. Os fabricantes Hikivision (1º lugar) e Dahua (2º lugar) são listados com os maiores fabricantes mundiais na categoria de *Video Surveillance*. O fabricante Dahua possui, em seu portfólio de produtos, *kits* de monitoramento sem fio, composto por câmeras e DVRs já com módulos Wi-Fi acoplados (DAHUA TECHNOLOGY, 2017a) e algumas empresas de menor porte, por exemplo o fabricante FOSCAM (FOSCAM, 2017), já apresentam este tipo de solução em seu portfólio de produtos. Analisando o mercado internacional, podemos constatar que existe uma forte tendência mundial na fabricação de câmeras e DVRs com comunicação Wi-Fi.

Nos principais *players* do mercado nacional, Intelbras e Hikivision, não foram encontrados produtos similares à solução aqui proposta.

2 PROJETO INFORMACIONAL

2.1 Definição do problema

Alguns cenários de instalação de sistemas CFTV não possibilitam a passagem de cabos para conexão das câmeras aos gravadores de vídeo. Por esta razão existe uma demanda de transmissores/receptores sem fio.

Uma solução já consolidada no mercado e que pode atender esta demanda é a utilização de câmeras IP. Todavia, em função do seu alto custo, deixa de ser utilizada em grande parte dos projetos que necessitam bom custo-benefício, ou seja, uma boa resolução de imagem com um custo adequado, e que não necessita das funções disponibilizadas por este tipo de sistema autônomo.

Um exemplo de instalação com bom custo-benefício é sistema analógico de CFTV que faz uso das câmeras Full HD. Como o sistema de CFTV analógico é 100% cabeado, existem cenários que não suportam a passagem de fiação para comunicação e para este tipo de situação propõe-se o uso destes acessórios, transmissor/receptor sem fio para envio das imagens capturadas em tempo real para o gerenciador de vídeo. Outra praticidade que motiva o uso deste tipo de acessório é a mobilidade que o sistema disponibiliza para o usuário. Por se tratar de um sistema móvel o usuário pode mudar constantemente as câmeras instaladas de modo a satisfazer a condição de monitoramento desejada.

2.2 Potenciais clientes

Pode-se dividir os clientes em duas categorias: clientes de projetos de CFTV de pequeno porte e de médio porte.

Os projetos de CFTV de pequeno porte são direcionados para clientes que já possuem infraestrutura limitada, que não permite a instalação de novos dutos ou passagens de novo cabeamento para um sistema de monitoramento. Aqui entram lojas ou empreendimentos móveis (ex. *food trucks*). Por se tratar de um sistema móvel o usuário pode mudar constantemente as câmeras instaladas de modo a satisfazer a condição de monitoramento desejada.

Os potenciais clientes de projetos de CFTV de médio porte são empresas privadas, edifícios comerciais, instituições de ensino, prédios governamentais etc. Assim como os clientes de pequeno porte, alguns destes clientes também terão infraestrutura limitada, que não permite a instalação de novos dutos ou passagens de novo cabeamento para um sistema de monitoramento. Para este tipo de clientela, um ponto atrativo é a economia quanto ao custo de instalação e de cabeamento, em função da necessidade de monitoramento de grandes perímetros, já que num cenário usual deste grupo de cliente, as câmeras de vigilância costumam ficar a grandes distancias da sala de controle/monitoramento.

2.3 Requisitos do produto

A lista de requisitos pode ser determinada respondendo às seguintes perguntas (CARPES JR., 2014): Quais são as necessidades, expectativas e desejos do consumidor que o produto deve contemplar? Que características o produto deve ter?

Pode-se responder à primeira pergunta, observando como é realizada a instalação dos projetos de CFTV analógicos. Constata-se que todos os produtos e acessórios são dispositivos *plug and play*, não é necessária a realização de qualquer configuração, apenas a crimpagem dos conectores nas extremidades do cabeamento, fixação do suporte acoplado ao dispositivo de captação de imagem (câmera) e acondicionamento do *balun* de vídeo em uma caixa de passagem quando utilizado este acessório em cenários com cabo UTP. Portanto, o produto deve ser *plug and play* e possuir caixa para acondicionamento dos acessórios e conectores que fazem a conexão entre os dispositivos.

Para responder ao segundo questionamento, foram observados os cenários de aplicação do produto, os requisitos funcionais e não-funcionais do sistema foram identificados:

- a) gabinete de produção moderno e pouco complexo;
- b) peso e dimensões que possibilite a fácil fixação;
- c) deve ser capaz de ser instalado ao lado de pontos de energia;
- d) cor branca, para que harmonize com a cor predominante no maior percentual de câmeras de segurança;
- e) robusto ao manejo e ao ambiente de operação;
- f) o transmissor e o receptor devem atender a norma IP65;
- g) proporcionar bom alcance de transmissão/recepção em ambientes fechados e abertos;
- h) o transmissor poderá ter uma máxima potência transmitida de pico de 400 mW (26 dBm);
- i) o alcance mínimo em linha de visada direta deve ser de 30 m ;
- j) o alcance mínimo em ambientes confinados deve ser de 12 m ;
- k) alimentação do sistema através de ponto de rede elétrica com tensão $220/110\text{ V}$, 60 Hz .

2.4 Benchmarking

2.4.1 Sistemas sem fio no mercado

Realizada a pesquisa e levantamento das soluções compatíveis com o produto em análise, evidenciou-se que as primeiras soluções propostas no mercado nacional eram *kits* de monitoramento sem fio. Um exemplo deste é o produto da empresa Intelbras (modelo EHM 608) (INTELBRAS, 2017b). Existem também transmissores e receptores *AV Wireless*, amplamente utilizados para a transmissão do sinal AV de um televisor para outros televisores contidos em um mesmo ambiente. Um exemplo deste é o produto modelo PAT-380 da empresa PAKIT (PAKIT, 2017).

Constatou-se também que o segundo maior fabricante mundial de câmeras e gravadores de segurança (Dahua) passou a dispor em seu portfólio de produtos, câmeras com módulo e antena sem fio acoplados ao case mecânico. Este fato demonstra uma forte tendência mundial quanto à expansão de acessórios e de câmeras de segurança sem fio. Por último, foi encontrado o único produto que tem similaridade como o acessório proposto neste artigo, que é a transmissão e recepção do sinal de vídeo sem fio, nas resoluções de vídeo HD e Full HD. O sistema visto é composto por dois produtos: (transmissor) QARA-CVI e o receptor EVIF-Multi-quick-start (DEKAPE, 2017).

2.4.2 Patentes relacionadas

Realizou-se uma busca por patentes existentes no mercado nacional através do Instituto Nacional de Propriedade Industrial – INPI (INPI, 2017), relacionadas ao produto anteriormente citado e não foram encontrados pedidos ou patentes relacionadas no Brasil. Além disso, não se encontraram patentes depositadas no país sobre outros sistemas similares.

2.5 Lista de especificações

As especificações técnicas do transmissor e receptor sem fio proposto foram determinadas a partir da observação das características dos produtos similares ofertados no mercado e dos requisitos mencionados no tópico 2.3. Foram selecionados para a composição do quadro, os dois produtos com maior relação ao produto em estudo. O Quadro 1 apresenta a lista com os valores alvos definidos para o sistema sem fio e especificações dos outros dois produtos similares para comparação. O produto “A” se refere ao produto de modelo QARA CVI, enquanto o produto “B” refere-se ao modelo PAT-380.

3 PROJETO CONCEITUAL

3.1 Função principal e modos de uso

A função global do produto é transformar câmeras Full HD, que necessitam de um meio cabeado para transmissão do sinal de vídeo, em câmeras *wireless*. O sistema englobará um transmissor conectado à câmera e um receptor conectado ao gravador digital de vídeo. Esta solução de radiocomunicação é de uso específico para sistemas de monitoramento.

Quadro 1 – Especificações técnicas do transmissor e receptor sem fio.

Produto: Transmissor e Receptor sem fio para câmeras de segurança Full HD							
<i>Tipo de Requisitos</i>	<i>Requisitos</i>	<i>Especificações</i>	<i>Unidades</i>	<i>Espec. Concorrente A</i>	<i>Espec. Concorrente B</i>	<i>Valor alvo</i>	<i>Obs.</i>
Entrada de vídeo (Transmissor)	Conectores de conexão para câmera	Conector BNC macho e P4 macho	-		RCA	1 entrada de vídeo	
Saídas de vídeo (Receptor)	Conectores de conexão para o DVR	Conector BNC fêmea	-		RCA	4 saídas de vídeo	
Número de canais				16			
Resolução de vídeo	Compatibilidade com todas as resoluções do mercado	CIF, D1, VGA, WD1, HD, 960H, Full HD	-			CIF, D1, VGA, WD1, HD, 960H, Full HD	
Tecnologias de vídeo	Compatibilidade com todas as tecnologias do mercado	HDCVI, AHD, HDTVI	-	HDCVI, AHD, HDTVI	PAL/NTSC	HDCVI, AHD, HDTVI	
Taxa de frames	Taxa máxima por canal de acordo com a resolução utilizada	-	fps	1080p/25fps, 960p/720p/25fps	-	1080p/25fps, 960p/720p/25fps	
Modulação			-	OFDM	-	OFDM	
Potência de transmissão			-	500mW		400mW	
Criptografia de transmissão				64, 128-bit, WPA2-PSK		-	
Frequência de operação				ETSI, EU: 5180-5320 MHz, 5470-5725 MHz, FCC: 5725 – 5850 MHz	2.4 GHz	2.4 GHz	
Sensibilidade					-90 dBm		

3.2 Subsistemas

A descrição dos blocos ou subsistemas do produto é mostrada na sequência:

- Estrutural:** bloco que realiza a proteção do transmissor e receptor *wireless*. Poderá ser de plástico ou metálico, esta definição está atrelada ao tipo de antena que será utilizada, se interno ou externo ao gabinete de proteção.
- Energia:** bloco que realiza o ajuste do nível de tensão ou conversão necessária para os demais blocos.
- Controle:** bloco responsável pela lógica de transmissão da saída de dados do *codec* de vídeo para o transceptor quando operando como transmissor, e se operando como receptor, responsável pelo recebimento do *payload* do *transceiver* para o *decoder*, que irá transferir os dados ao gravador.
- Transceptor RF:** bloco que contempla a transmissão e recepção dos dados. Este bloco consiste em dois sub-blocos principais: módulo RF e antena.

As particularidades da implementação de cada bloco serão avaliadas numa etapa posterior (projeto detalhado) após a conclusão da viabilidade técnica e comercial do produto. Todavia, existem opções correspondentes a estes blocos que serão vistas nesta etapa.

3.2.1 Avaliação de alternativas

Pode-se ver, na Tabela 1, três parâmetros selecionados a partir dos subsistemas listados anteriormente. Para cada um deles, duas ou mais alternativas foram comparadas seguindo o método de Pugh, ferramenta que consiste em comparar soluções entre si, em relação a critérios previamente estabelecidos (CARPES JR., 2014).

Tabela 1 – Resultado da avaliação de alternativas de rede sem fio.

Baseline: 0	Peso	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3
Alcance	2	=	-	-
Segurança	1	+	+	+
Data Rate	3	-	+	++
Fabricantes	2	=	=	--
Custo	1	+	=	-
Escalabilidade	1	=	=	=
Consumo de energia	1	-	-	-
		-2	1	-1

Legenda:

- Alt. 1: IEEE802.11b.
 Alt. 2: IEEE802.11n.
 Alt. 3: IEEE802.11ac.

O primeiro parâmetro do sistema a ser avaliado foi o padrão de rede sem fio a ser utilizado, conforme detalhado na Tabela 1. O sistema 802.11n foi escolhido pois possui uma técnica de acesso ao meio mais eficiente, transmissão-recepção em diversidade e alta taxa de transferência, requisitos estes necessários para realizar uma melhor comunicação do elevado número de dados obtidos do sistema (TELECO, 2017a).

O segundo requisito a ser avaliado foi o tipo de *codec* de vídeo a ser utilizado. Buscou-se um *codec* que realiza uma maior compressão de dados, ocasionando uma menor taxa de dados transferidos na rede sem fio (*throughput*) (ACADEMIA CCNA, 2017). Pode-se constatar na Tabela 2, através do método de Pugh, que o parâmetro que melhor atende a este requisito é o *codec* de compressão H.264.

Tabela 2 – Resultado da avaliação de alternativas de *codec* de vídeo.

Baseline: 0	Peso	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3
Taxa de compressão de dados	3	+	+	++
Formatos de imagem permitidos	3	+	++	++
Comunicação em tempo real	2	+	+	+
Aplicações com alta taxa de dados	1	+	+	++
Adequado para qualquer plataforma	1	-	++	++
Latência	1	=	=	=
		8	14	18

Legenda:

- Alt. 1: MPEG-2.
 Alt. 2: MPEG-4 PARTE 2.
 Alt. 3: H.264(MPEG4-PARTE 10/AVC).

Por último, foi analisado o protocolo de comunicação adequado para realizar a comunicação entre os blocos (Tabela 3), que poderia suportar as altas taxas de dados gerados pelo *encoder/decoder*. O protocolo USB 2.0 foi escolhido em função da sua taxa de comunicação de até 480 *Mbit/s*, o suficiente para que não ocorra o *overflow* do sinal.

Tabela 3 – Resultado da avaliação de alternativas de protocolo de comunicação.

Baseline: 0	Peso	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3
Taxa de comunicação	3	+	++	+++
Sentido de transmissão	2	=	=	-
Tensão do protocolo	1	=	=	=
Número de fios	1	=	=	=
		3	6	9

Legenda:

Alt. 1: UART.

Alt. 2: SPI.

Alt. 3: USB 2.0.

É válida uma ressalva sobre a análise do protocolo de comunicação entre os blocos: apesar dos *encoders* estudados oferecerem tecnologias com altas taxas de transferência (USB, HDMI etc.), os *chipsets* que implementam a rede de transmissão sem fio não possuem estes padrões. O alto *throughput* seria direcionado ao transceptor através do protocolo SPI, segunda opção da tabela, pois a interdependência entre as tabelas não foi julgada neste quesito.

3.3 Cenário de aplicação

Como mencionado na seção 2, o sistema proposto seria aplicado na monitoração de ambientes considerados de pequeno porte e de médio porte. Os requisitos de alcance da rede, 30 *m* em visada direta e 12 *m* em construções *indoor*, foram especificados com base na área monitorada.

Para uma melhor análise, pode-se levar em conta as potências de transmissão e sensibilidade dos transceptores IEEE802.11 estudados como opções de comunicação. O SPWF04SC, da ST Microelectronics, por exemplo, possui potência de envio máxima de 13,7 *dBm* e sensibilidade de recepção de -74,5 *dBm*, para um *link* de 54 *Mbps* OFDM. Considerando um ganho de 4 *dBi* para as antenas (uma antena *patch* ou uma antena dipolo), pode-se calcular o alcance teórico através dos modelos de propagação em espaço livre (Equação 1) (visada direta) e de propagação *indoor* ITU (Equação 2):

$$L = 20 \cdot \log \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \right). \quad [1]$$

Sendo:

- L perda no espaço livre (dB),
- d distância;
- λ comprimento de onda.

$$L = 20 \cdot \log f + N \cdot \log d + P_f(n) - 28 \quad [2]$$

Sendo:

- L perda *indoor* (dB),
- f frequência do canal em MHz,
- N coeficiente de perda por distância,
- d distância em metros;
- P_f perda por penetração em n andares.

Consideraram-se para os cálculos os valores de 5 *GHz* para os canais de comunicação, coeficiente de perda por distância de 24 (área residencial) e P_f igual a zero (nenhum pavimento entre os elementos do *link* de comunicação). A distância máxima de cobertura, levando em conta uma atenuação total de 96,2 *dB* (relação de potência transmitida e recebida e ganhos das antenas), obtida pelo modelo de espaço livre, é de 308 *m*, enquanto o modelo *indoor* traz o valor de 40,8 *m*. Verifica-se pelos resultados dos cálculos que o sistema pode atender os cenários de pequeno e médio porte em relação às áreas de abrangência do sinal.

Uma outra questão importante é o *throughput* gerado pelo *encoder* de vídeo. O padrão H.264 aplicado na resolução Full HD (1080p, 30 *fps*, tamanho de *frame* de 34 *kB*) traz um *bit rate* médio de 10 *Mbps*. A interface de comunicação entre o *encoder* e o SoC Wi-Fi deve ter velocidade igual ou superior a este valor. O

encoder Hi3521A da HiSilicon, possui como interface de comunicação de vídeo uma porta USB 2.0. Os *chipsets* de comunicação IEEE820.11 encontrados possuem interface SPI como interface de dados com o mais alto *bit rate*. Utilizando um conversor USB-SPI, como o MCP2210, da Microchip, que opera em 12 *Mbps* (padrão USB 2.0 e *clock* interno de 12 *MHz*), pode-se conectar os dois elementos: *encoder* e transceptor Wi-Fi. Um *clock* de referência externo de 24 *MHz* pode ser utilizado para comunicação SPI do SPWF04SC (utilizado no cálculo de alcance).

4 PROJETO PRELIMINAR

4.1 Sistemas e módulos

O projeto do produto é dividido por subsistemas e seus módulos, dentre estes podemos destacar dois subsistemas principais: o estrutural e o eletrônico. O subsistema estrutural contempla o gabinete de proteção, suporte de fixação e a interface com os outros aparelhos que se conectam ao produto. O segundo subsistema é composto por três módulos que constituem as partes eletrônicas do produto. A Tabela 4 resume os subsistemas e os módulos.

Tabela 4 – Subsistemas e módulos do produto.

Subsistema	Descrição	Módulos
Estrutural	Gabinete de proteção, suporte de instalação e interface com usuário.	–
Eletrônico	Componentes eletrônicos relacionados ao funcionamento do transmissor/receptor sem fio.	<i>Encoder-Decoder</i> e Controle RF Energia

4.2 Relacionamento entre sistemas e módulos

O planejamento e detalhamento dos fluxos de comunicação entre os subsistemas e seus módulos é parte fundamental de um projeto bem-sucedido. Este tópico visa expor de forma macro as entradas e saídas de cada módulo, apresentando o funcionamento do sistema eletrônico do produto. A Figura 1 mostra o fluxo de comunicação do transmissor, composto dos seguintes módulos:

- Câmera:** fonte geradora que realiza a captação da imagem e que fornece o sinal de vídeo Full HD. Este sinal possui banda máxima na frequência de 60 *MHz*, que pode variar dependendo da tecnologia Full HD utilizada (HDCVI, AHD, HDTV).
- Encoder:** este módulo recebe o sinal de vídeo, realiza a amostragem, quantifica e utiliza um algoritmo para codificação do sinal. Conforme o teorema de Nyquist, a frequência de amostragem deve ser igual ou maior que o dobro da máxima frequência do sinal (TELECO, 2017b).
- Módulo RF:** este módulo recebe o sinal de vídeo do *codec* e realiza a transmissão. Em função do *throughput* do algoritmo de compressão e elevada resolução, o CI escolhido deverá possuir uma alta potência de transmissão e um *receiver* que suporte um alto *data rate*. Aqui há a opção de utilização de um *buffer* circular para que nenhum dado seja perdido durante o processo de envio para o receptor.

A Figura 2 apresenta o fluxo de comunicação do receptor, que é composto dos seguintes módulos:

- Módulo RF:** este módulo recebe o sinal digital codificado e o transmite para o *decoder*. Este deve apresentar alta sensibilidade, para que consiga realizar uma boa recepção e baixa perda de dados, inerente a perdas que irão ocorrer em função dos obstáculos existentes no ambiente de instalação.
- Decoder:** este módulo recebe o sinal de vídeo digitalizado e codificado, realiza a decodificação do sinal para a forma analógica, para posterior transmissão para o gravador de imagem.
- Gravador de imagem:** dispositivo que realiza a gravação das imagens obtidas e que possui interfaces de interação com o usuário final, que realiza o monitoramento e programação de funções de vídeo (detecção de movimento e de zonas perimetrais).

Figura 1 – Módulo transmissor: relação funcional e de fluxos entre os sistemas e módulos do produto.

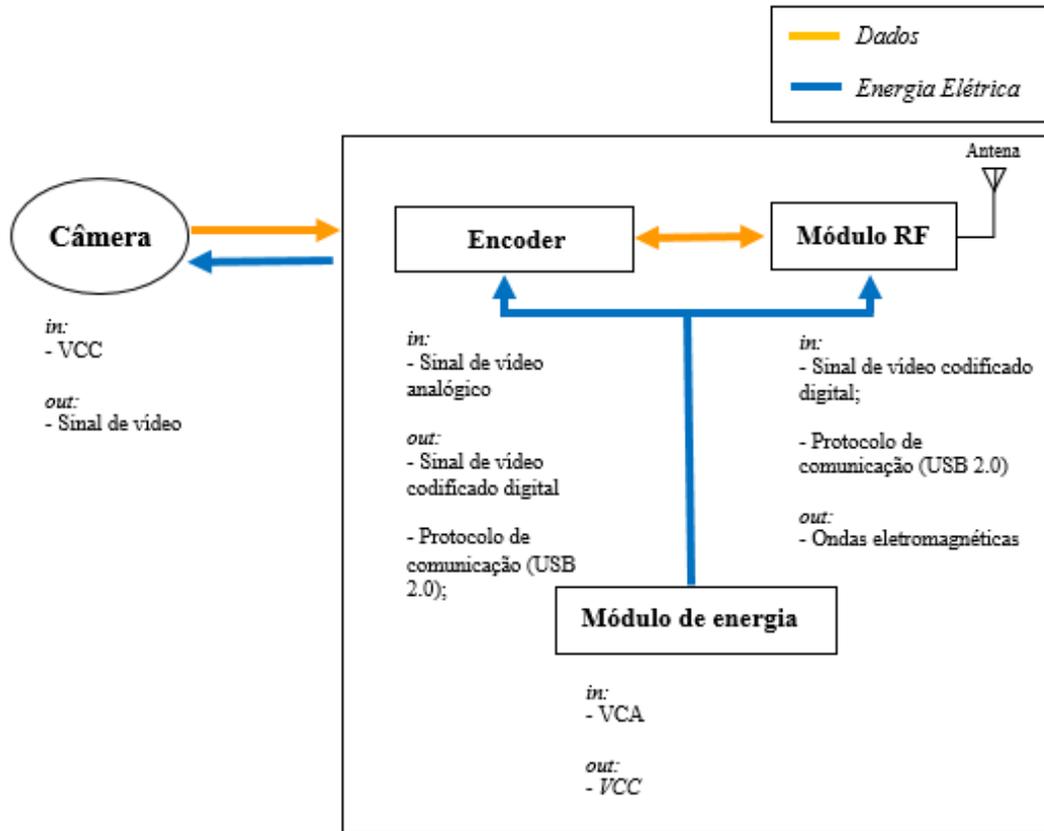
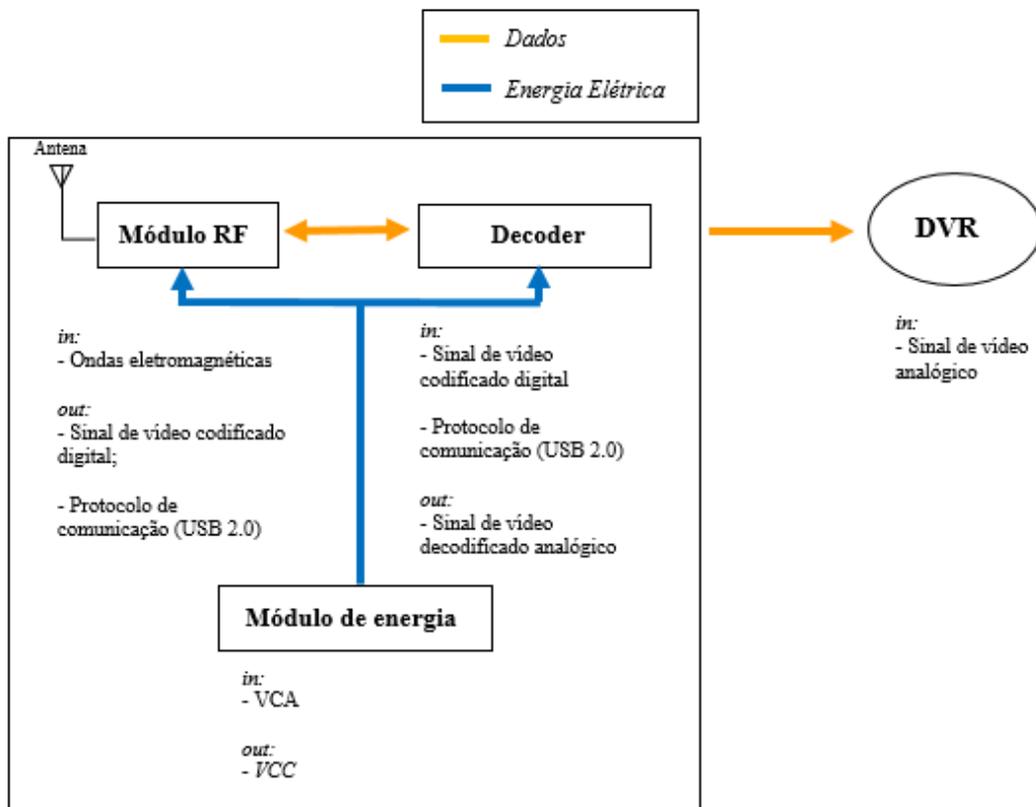


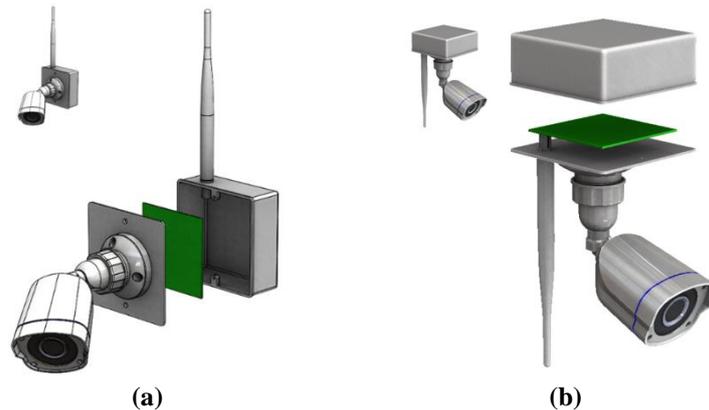
Figura 2 - Módulo receptor: relação funcional e de fluxos entre os sistemas e módulos do produto.



4.3 Esboço do produto

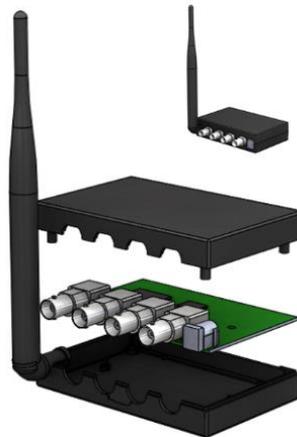
Realizando a análise dos produtos que compõem o mercado de CFTV identificou-se que o produto proposto, principalmente o transmissor ligado a câmera, deveria ser o mais minimalista e integrado ao cenário e ao suporte da câmera, de forma que o cliente visualize o produto como parte da câmera e não como um acessório. Buscou-se também fazer com que o produto ocupasse o menor espaço possível. Buscando atender a estes requisitos, foi desenvolvido um gabinete mecânico com dimensões ($L = 100\text{ mm}$ e $A = 40\text{ mm}$) que servisse de base para o suporte de fixação e que tivesse cor branca, presente no maior percentual de câmeras comercializadas. Os esboços finais do transmissor demonstrado na Figura 3, apresenta a solução mecânica proposta que atende os dois principais tipos de câmeras comercializados no mercado, sendo estas *bullet* (instaladas em paredes) e *dome* (instaladas em teto).

Figura 3 – Transmissor sem fio: (a) alternativa para instalação de câmeras em parede e (b) alternativa para instalação de câmeras em teto.



Para o receptor, ilustrado na Figura 4, primeiramente determinou-se a cor preta, que possui sinergia com a maioria dos DVRs comercializado no mercado.

Figura 4 – Receptor sem fio.



Em segundo plano, o receptor deveria ser o mais compacto possível para que pudesse se adequar aos mais variados espaços de acondicionamento e com saídas BNCs espaçadas, para que facilite a conexão dos cabos de ligação do receptor ao DVR.

4.4 Projeto segundo diretrizes

As principais diretrizes deste projeto são **segurança**, **funcionalidade**, **sustentabilidade** e **produtibilidade**. Na diretriz segurança, o aparelho deve considerar aspectos como a máxima potência efetiva irradiada permitida, esta limitação refere-se às normas estabelecidas pela ANATEL para faixa de frequências de $2,4\text{ GHz}$ (ANATEL, 2017).

Por outro lado, estima-se que trabalhando com potências de saída próximas a 18 dBm , deve-se considerar o projeto para uma correta dissipação de calor dos elementos de potência (amplificador de potência do transmissor).

Por último, a segurança implica no projeto de uma estrutura e encaixe do sistema eletrônico interno de tal maneira a respeitar o índice de proteção contra agentes externos e quedas desejado.

No quesito da estética foi adotada a cor branca, predominante no maior percentual de câmeras do mercado, além de possuir maior sinergia com o cenário foco de instalação, ambientes internos. Buscou-se desenvolver uma peça que servisse como base ou suporte de instalação para as câmeras buscando incorporar o acessório ao design da câmera, trazendo uma maior integração deixando apenas mais em evidência a antena omnidirecional.

Na diretriz funcionalidade, o aparelho deve ser um produto *plug and play*, não sendo necessária qualquer configuração por parte do usuário. Também deve possibilitar fácil instalação, possuindo processo de fixação similar ao de câmeras de vídeo.

Consideram-se por último as diretrizes de produtibilidade e sustentabilidade, ambos os quesitos estão relacionados uma vez que os projetos mecânico e eletrônico determinam a quantidade de matéria-prima utilizada, elementos estes que impactam diretamente nestas diretrizes. Quanto mais eficaz for o projeto, quanto menor for a quantidade de componentes e partes mecânicas utilizadas (exemplo: gabinete de proteção, placas e conectores), mais eficiente será a montagem do produto (maior produtibilidade) além da redução de materiais segregados ao término do ciclo de vida do produto. Outro fator importante é determinar que o produto tenha matérias-primas que possam ser reutilizadas ou recicladas e que não possuam substâncias perigosas, que se adequem as diretivas internacionais (por exemplo RoHS) quanto ao controle de substâncias nocivas ao homem e ao meio ambiente (COSTA, 2017). Estas ações, conseqüentemente, irão reduzir os impactos causados e tornar o produto mais sustentável.

4.5 Viabilidade comercial

4.5.1 Investimento inicial

Para composição dos investimentos necessários, considerou-se dois fundamentos que estão diretamente ligados, o tempo de execução do projeto e a complexidade do projeto. Para execução das atividades foram previstos (2) engenheiros e (1) técnico de produto. Os engenheiros responsáveis pelo desenvolvimento de hardware e o técnico responsável pelas demais atividades de suporte ao desenvolvimento. O tempo estimado de projeto é de um ano, o salário médio do engenheiro será de R\$ 7.000,00 e do técnico de R\$ 3.500,00 por mês, mais os encargos trabalhistas. Inclui-se também (1) gestor de projeto para controle das atividades e interface com as demais áreas atreladas ao desenvolvimento e (1) analista de *marketing* de produto para planejamento das atividades inerentes ao desenvolvimento de mercado e comercial do produto.

Considerou-se na estratificação dos demais gastos, todos os investimentos relacionados à matéria-prima e serviços necessários para composição do produto, como desenvolvimento e fabricação dos moldes, gastos com insumos, fabricação e testes de amostras e dos lotes pilotos, além de testes de conformidade para homologação do transmissor e receptor sem fio. A Tabela 5 mostra todos os custos e o resultado obtido. A partir deste resultado, e considerando um percentual de erro, estima-se que um valor mínimo de, aproximadamente, R\$ 580.800,00 devem ser investidos para o desenvolvimento do produto.

Tabela 5 – Cálculo de investimento inicial para desenvolvimento do produto.

Tipo de custo	Valor (R\$)
RH	306.000,00
Insumos / materiais	20.000,00
Molde	150.000,00
Lote piloto	50.000,00
Homologação	30.000,00
Administrativo / Infraestrutura	+5%
Total	R\$ 580.800,00

4.5.2 Custo de produção do sistema eletrônico

O produto Intelbras denominado “*kit* de monitoramento sem fio”, foi utilizado como objeto de estudo para levantamento dos custos do sistema eletrônico, por possuir funcionamento e estrutura similar, como mostrado na Tabela 6.

Verificou-se que o custo mais significativo da estrutura são os *chips encoders/decoders* de vídeo e os módulos de transmissão sem fio.

Tabela 6 – Cálculo de custo de produção estimado do sistema eletrônico.

Componentes	Quantidade	Valor Total (US\$)
<i>Transmissor</i>		US\$ 35,00
Vídeo Encoder	1	US\$ 16,50
Módulo RF	1	US\$ 15,00
Módulo de Energia	1	US\$ 3,50
<i>Receptor</i>		US\$ 58,00
Vídeo Decoder	1	US\$ 39,00
Módulo RF	1	US\$ 15,00
Módulo de Energia	1	US\$ 4,00
<i>Outros</i>		US\$ 10,00
<i>Total Componentes</i>		US\$ 93,00
Total Componentes + PCI + Produção + Impostos + Frete		R\$ 408,00

4.5.3 Tempo de retorno ao investimento

Levando em consideração os custos variáveis e fixos totais de produção do produto demonstrados no Quadro 2, chega-se num custo total aproximado de produção do transmissor e receptor sem fio de R\$ 448,80.

Quadro 2 – Cálculo de lucratividade por *transceiver* vendido.

<i>Custos Variáveis</i>	R\$ 408,00
<i>Custos Fixos</i>	10% de CV
<i>Custos totais por unidade</i>	R\$ 448,80
Preço de venda	R\$ 830,28
Impostos	25% PV
Lucro por unidade	R\$ 173,91
Lucratividade por unidade	20,9%

Assumindo que o produto em questão é um acessório e que é necessário o posicionamento adequado do preço para entrada no mercado, decidiu-se por uma baixa lucratividade de 20,9% inicialmente.

A partir do Quadro 3 é possível mensurar o retorno de investimento (*payback*) que é de aproximadamente 1,5 *ano*, considerando a venda de 2.400 unidades ano para obtenção do investimento inicial de R\$ 580.800,00.

Quadro 3 – Cálculo do retorno ao investimento do *transceiver*.

Investimento Inicial	R\$ 580.800,00
Unidades vendidas por ano	2.400
Faturamento em um ano	R\$ 1.992.672,00
Lucro total em um ano	R\$ 417.384,00
<i>Payback (anos)</i>	1,5
Rentabilidade	20,9%

5 CONCLUSÕES

Neste artigo foi realizado o estudo de viabilidade técnica e comercial de um transmissor e receptor sem fio como produto para o setor de segurança eletrônica. Analisando o mercado nacional e internacional, pode-se constatar que há uma forte tendência de crescimento na comercialização de câmeras e DVRs sem fio e que existe uma ampla demanda de cenários de instalação que necessitam deste tipo de produto, onde a única alternativa é um meio sem fio de transmissão. Finalmente, identificou-se também que não existe no mercado nacional um transmissor e receptor sem fio para câmeras de vídeo de segurança, que possibilite a transmissão do sinal de vídeo para um DVR.

Baseado nos requisitos funcionais e especificações técnicas obtidos até o momento, e fundamentado pelos dados técnicos dos produtos concorrentes, conclui-se que o projeto é viável tecnicamente. Quanto ao aspecto comercial, a estimativa realizada no estudo revela um tempo de retorno ao investimento de um ano e seis meses e uma rentabilidade em torno de 21%. Esta rentabilidade tende a aumentar na medida que a demanda de mercado crescer, proporcionando uma melhor negociação com os fornecedores, reduzindo os custos de matéria-prima. Assim, conclui-se que o produto é, também, comercialmente viável.

REFERÊNCIAS

- A&S INTERNATIONAL EDITORIAL. **Ranking Security 50**. Disponível em: <https://www.asmag.com/rankings/security50_rankings_product.aspx>. Acesso em: 2. out. 2017.
- ACADEMIA CCNA. **Taxa de pacotes por segundo “throughput”**. Disponível em: <<http://academiaccna.com.br/word/?p=126>>. Acesso em: 14. nov. 2017.
- ANATEL. **Resolução nº 680, de 27 de junho de 2017**. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2017/936-resolucao-680>>. Acesso em: 17. nov. 2017.
- CARPES JR, Widomar P. **Introdução ao Projeto de Produtos**. 1ª ed. Editora Bookman, 2014.
- COSTA, Luiz Henrique da. **A diretiva RoHS e os desafios para seu atendimento no setor eletroeletrônico: Estudo de caso em empresa de eletrodomésticos – Linha Branca**. Disponível em: <<https://maua.br/files/monografias/completo-diretoria-rohs-desafios-para-seu-atendimento-setor-eletroeletronico.pdf-280825.pdf>>. Acesso em: 16. nov. 2017.
- DAHUA TECHNOLOGY. Disponível em: <<http://br.dahuasecurity.com/br/products/kitnvr4104hs-w-s22-hdbw1320e-w-9471.html>>. Acesso em: 4. out. 2017a.
- DAHUA TECHNOLOGY. Disponível em: <<http://www.dahuasecurity.com/products/allProducts/4492/483>>. Acesso em: 4. out. 2017b.
- DEKAPE. **Transceiver QARA-CVI**. Disponível em: <<http://www.dekape.nl/shop/qara-cvi/>>. Acesso em: 8. nov. 2017.
- FOSCAM. Disponível em: <https://www.foscam.com/FN3104W_B4.html>. Acesso em: 4. out. 2017.
- INPI. **Pesquisa de Patentes**. Disponível em: <<http://www.inpi.gov.br/>>. Acesso em: 9. nov. 2017.
- INTELBRAS. **Portfólio de Baluns**. Disponível em: <<http://www.intelbras.com.br/empresarial/baluns-e-power-baluns>>. Acesso em: 5. out. 2017a.
- INTELBRAS. **Produto EHM 608**. Disponível em: <<http://www.intelbras.com.br/empresarial/monitoramento/kit-sem-fio/ehm-608>>. Acesso em: 6. out. 2017b.
- PAKIT. **Modelo PAT-380**. Disponível em: <<http://www.pakite.net/products/2.4G-Wireless-Transmitter-and-Receiver-Security-System-Video-With-Long-Range-700m-AV-Sender-Model-PA.html#.WTqmkevyvZ4>>. Acesso em: 6. out. 2017.
- PROTECNOS. **Baluns em Circuitos de CFTV**. Disponível em: <<http://www.protecnos.com.br/artigos/349/>>. Acesso em: 5. out. 2017.
- TELECO. **Redes Wi-Fi: O padrão IEEE 802.11n**. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwifiiee/pagina_4.asp>. Acesso em: 10. nov. 2017a.
- TELECO. **Sinais analógicos x Digitais**. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialsisedtv/pagina_2.asp>. Acesso em: 15. de nov. 2017b.



CONTADOR DE PESSOAS COM TRANSMISSÃO DE DADOS VIA INTERNET

Vinicius Buzzo Inocêncio¹, Hugo Marcondes²

Resumo: O projeto teve como objetivo desenvolver um dispositivo para contar pessoas e transmitir os dados via internet. Para desenvolvimento do produto foi necessário o uso de um sensor que detecta pessoas, um microcontrolador que aceita customização do firmware e com capacidade de transmitir os dados por meio da rede sem fio. Além do conjunto para alimentação elétrica do circuito e o sensor foi utilizado uma bateria para aumentar a capacidade elétrica. No artigo proposto, foi desenvolvido um protótipo para validar o produto em campo e realizar a coleta de dados para compor o resultado final. O levantamento dos requisitos foi determinante para avaliar qual mais adequado microcontrolador e o sensor seriam utilizados no projeto. O microcontrolador utilizado foi o modelo ESP8266 com módulo sem fio embutido, um sensor do tipo PIR e um ultrassônico para detectar as pessoas, além de uma fonte de alimentação para o protótipo. Com os dados coletados pelo protótipo foi possível determinar qual o melhor sensor para este projeto. O projeto final atendeu as expectativas como um produto tecnológico, confirmando a proposta de contar o deslocamento de pessoas no local.

Palavras-chave: ESP8266. Sensor PIR. Sensor ultrassônico. Comunicação sem fio.

Abstract: *The project aimed to develop a device to count people and transmit the data via the internet. To develop the product was necessary the use of a sensor that detects people, a microcontroller that accepts firmware customization and with the ability to transmit data through the wireless network. In addition to the set for electrical power of the circuit and the sensor was used a battery to increase the electrical capacity. In the proposed article, a prototype was developed to validate the product in the field and perform the data collection to compose the final result. The survey of the requirements was determinant to evaluate which more suitable microcontroller and the sensor would be used in the project. The microcontroller used was the ESP8266 model with built-in wireless module, a PIR sensor and an ultrasonic to detect people, as well as a power supply for the prototype. With the data collected by the prototype, it was possible to determine the best sensor for this project. The final project met expectations as a technological product, confirming the proposal of counting the displacement of people in the place.*

Keywords: *ESP8266. PIR sensor. Ultrasonic sensor. Wireless communication.*

¹ Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, IFSC/Florianópolis <viniciusbuzzo@gmail.com>.

² Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <hugo.marcondes@ifsc.edu.br>.

1 INTRODUÇÃO

Com a evolução das tecnologias surgiu o IoT, um segmento de tecnologia que tem o objetivo de capturar dados por meio dos sensores e enviar as informações para a plataforma *online*.

Existem vários tipos de sensores que podem ser utilizados em diversas aplicações com múltiplas finalidades, incluindo detectar a presença de pessoas.

Com objetivo de mensurar a quantidade de pessoas que frequentam a cidade durante a temporada de verão, onde o município recebe um aumento no número de turistas, foi pensado em um produto que conta quantas pessoas transitaram por um determinado local.

Os dados coletados com o produto contribuem com as empresas do ramo do turismo, que necessitam de dados confiáveis do número de pessoas para programarem suas atividades, além de contribuir para o levantamento dos dados populacionais da cidade.

Com a necessidade de suprir a demanda do mercado em acompanhar o desenvolvimento populacional da cidade, esse produto visa realizar o mapeamento da cidade por meio da coleta dos dados. Os possíveis clientes seriam os lojistas do comércio em geral, empresas do segmento de turismo e órgãos públicos.

Primeiramente foi elaborado o levantamento bibliográfico, com pesquisa nos segmentos de IoT, sensores, microcontroladores e transmissores de dados.

O produto contará com um dispositivo que fará a detecção das pessoas e enviará os dados para o microcontrolador. O sensor se comunicará com o microcontrolador para detectar as pessoas e realizar a contagem dos pedestres que passam pela região onde será instalado o dispositivo. Ao passar na frente do dispositivo, o sensor é acionado, o qual irá detectar a pessoa e realizará a contagem no microcontrolador.

De modo geral, o sensor captura as informações e transmite para o microcontrolador, onde os dados são analisados e posteriormente enviados para um sistema *online*, essas informações serão armazenadas e disponibilizadas para acesso do usuário.

Por fim o módulo é constituído de uma bateria que tem a função de garantir a autonomia do produto nas ruas e pontos de coleta de dados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para maior compreensão do projeto proposto faz-se necessário entender alguns conceitos e teorias fundamentais. Para isso, serão referenciados os temas de IoT, sensores, microcontroladores e transmissores de dados.

2.1 Internet das Coisas (IoT)

IoT é a comunicação entre sensores e objetos através da Internet, sendo empregado na indústria, em veículos e residências. A Internet das Coisas surgiu da evolução dos sistemas embarcados e tem recebido grande atenção devido ao seu potencial na utilização em diversas atividades.

Segundo a empresa Amazon, o termo Internet das Coisas foi criado pelo britânico, Kevin Ashton, quando ele desenvolveu uma rede de sensores conectados à Internet (AMAZON WEB SERVICES, 2017). Com isso o desenvolvedor foi considerado o pioneiro no mundo do IoT (ASHTON, 2015).

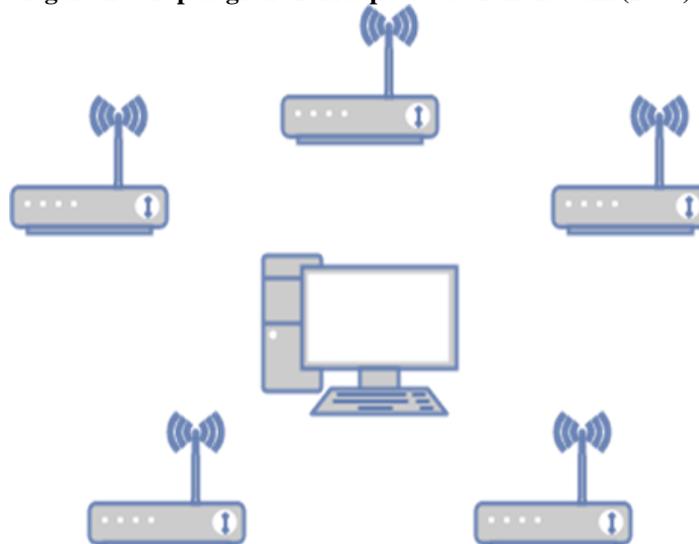
2.1.1 Rede IoT

A rede IoT tem como finalidade intercomunicar os sensores com o seu *gateway* e com isso transmitir os dados capturados para o sistema de gerenciamento, sendo que cada sensor da rede se comunica com o dispositivo mestre que faz a ligação e gerenciamento da rede.

A comunicação dos sensores IoT pode ocorrer através dos protocolos de comunicação, sendo que cada protocolo utiliza um conjunto de tecnologias que possibilita a aplicação em diferentes dispositivos.

A Figura 1 demonstra a topologia IoT, onde os sensores se comunicam com a rede. O modelo teórico escolhido de topologia é do tipo estrela conforme modelo proposto por Tanenbaum (2003), sendo o *gateway* o dispositivo central.

Figura 1 – Topologia IoT. Adaptado de Tanenbaum (2003).



2.2 Sensor

O sensor é um dispositivo que detecta as entradas do ambiente físico. Essas entradas podem ser a passagem de uma pessoa por um lugar, a temperatura de um ambiente ou mesmo outra informação detectável em um mundo físico.

“Sensor é um dispositivo que mede o valor de uma determinada grandeza. Este valor da grandeza elétrica vai servir de entrada a um circuito elétrico, que atuará de acordo com o valor medido.” (JERONIMO, 2009).

Neste projeto, o sensor terá a função de detectar e interpretar a passagem de pessoas em frente ao dispositivo, para gerar a informação da quantidade de transeuntes no local onde o dispositivo estará instalado.

Dentre os vários modelos de sensores existentes os tipos de sensores comuns mais utilizados para detectar pessoas são o sensor PIR comumente utilizado em alarmes residenciais, sensor ultrassônico utilizado para mensurar distâncias e o sensor infravermelho para detecção movimento.

2.2.1 Sensor PIR

O sensor PIR detecta os movimentos por meio da radiação infravermelha produzida pelo corpo humano. Quando ele detecta a radiação do corpo o sensor envia um sinal de pulso alto por um período de 2,5 segundos que é interpretado pelo microcontrolador como a passagem de uma pessoa.

Um típico sensor PIR pode ser observado na Figura 2, que contém dois potenciômetros para ajuste da sensibilidade e tempo de detecção e capacitores utilizados para calcular o tempo de detecção.

Figura 2 – Sensor PIR (FILIPE FLOP, 2018a).



2.2.2 Sensor ultrassônico

O sensor ultrassônico trabalha com emissão e recepção de onda sonora cuja detecção é feita com o diferencial de tempo entre emissão e recepção da onda sonora emitida.

O sensor do tipo ultrassônico emite uma onda sonora não audível aos seres humanos. O funcionamento do sensor ocorre por meio da diferença entre o tempo de transmissão do som até o objeto a ser mensurado e o retorno do som que é chamado de eco.

O sensor utiliza as ondas sonoras para calcular o intervalo de tempo do objeto. Para isso é feita uma conversão de segundos para metros para determinar esta distância, sendo a escala de 343 metros por segundo a velocidade estimada em condições climáticas consideradas ideais, pois a temperatura do ambiente exerce influência sobre os valores mensurados pelo sensor ultrassônico. A Figura 3 apresenta o modelo de sensor ultrassônico.

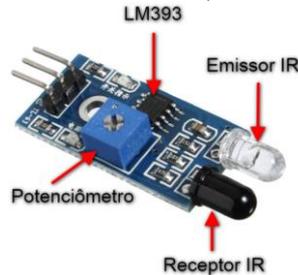
Figura 3 – Sensor ultrassônico (FILIPE FLOP, 2018b).



2.2.3 Sensor infravermelho

O sensor infravermelho é um transdutor de energia luminosa que converte os raios infravermelhos em valor mensurável. Existem dois tipos de sensores: o tipo ativo é o modelo de sensor que tem acoplado o emissor infravermelho e junto o receptor infravermelho; o segundo modelo é o receptor passivo, que somente capta os raios infravermelhos do ambiente. A Figura 4 apresenta um módulo com emissor e receptor infravermelho.

Figura 4 – Sensor ultrassônico (FILIPE FLOP, 2018c).



2.3 Microcontrolador

O microcontrolador é um circuito integrado com software e hardware embutido em um único *chip* capaz de realizar cálculos matemáticos que são armazenados em sua memória, além de ter a característica de baixo consumo de energia.

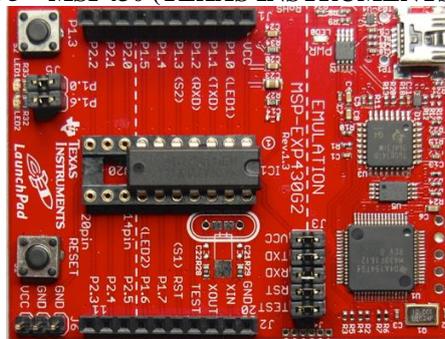
“Os microcontroladores têm interface de entrada e saída com dispositivos elétricos como botoeiras e relés, ao contrário dos microprocessadores de uso geral, normalmente dedicados a projetos de computadores com periféricos de entrada e saída como teclado, *mouse* e monitor.” (OLIVEIRA, 2017).

O microcontrolador deve atender aos requisitos técnicos de arquitetura, consumo, velocidade, capacidade de processamento, tamanho e escalabilidade, sendo que esses requisitos são essenciais para eficiência do projeto.

2.3.1 MSP430

Fabricado pela empresa Texas Instruments o microcontrolador MSP430 RISC possui capacidade de processamento de 16 bits e características energéticas de ultra-baixo consumo. Outro recurso importante é o oscilador interno que permite a execução do programa em velocidades de até 5 MHz sem necessidade de componentes externos, além da flexibilidade na arquitetura de suas portas que possuem funções de entrada, saída de hardware, sua porta JTAG permite verificar o programa passo a passo. A Figura 5 mostra o microcontrolador MSP430.

Figura 5 – MSP430 (TEXAS INSTRUMENTS, 2018).

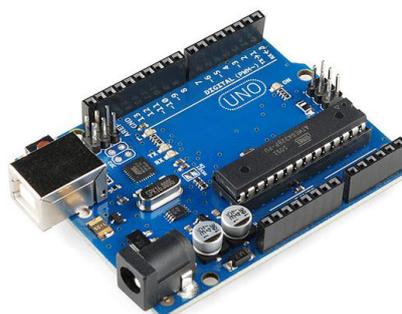


2.3.2 ATmega328

O microcontrolador ATmega328 tem como base o microcontrolador RISC de 8 bits de baixa potência e consumo de energia otimizado em relação à velocidade de seu processamento que alcança 1 MIPS por MHz.

O microcontrolador ATmega328 (ATMEL, 2017), da empresa Atmel, possui uma unidade central de processamento, memória de programa, memória RAM e portas de entrada e saída. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta um Arduino modelo UNO R3 com microcontrolador ATmega328P.

Figura 6 – Arduino UNO R3 (FILIPE FLOP, 2018d).

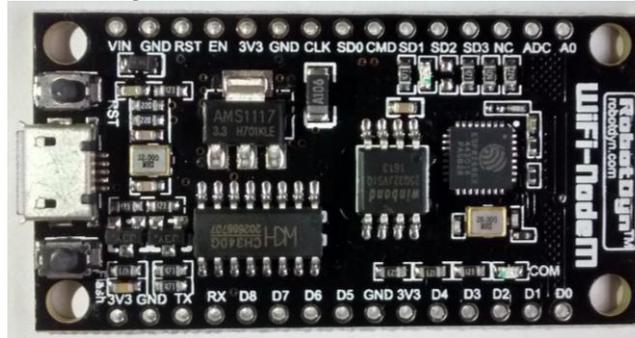


2.3.3 ESP8266

O microcontrolador ESP8266 criado pelo fabricante chinês Espressif Systems, tem processador RISC de 32 bits, microcontrolador de baixo consumo, tamanho reduzido e com Wi-Fi embutido. Sua CPU opera em 80 MHz com possibilidade de operar em 160 MHz, possui memória RAM de 64 KB para instruções e 96 KB para dados.

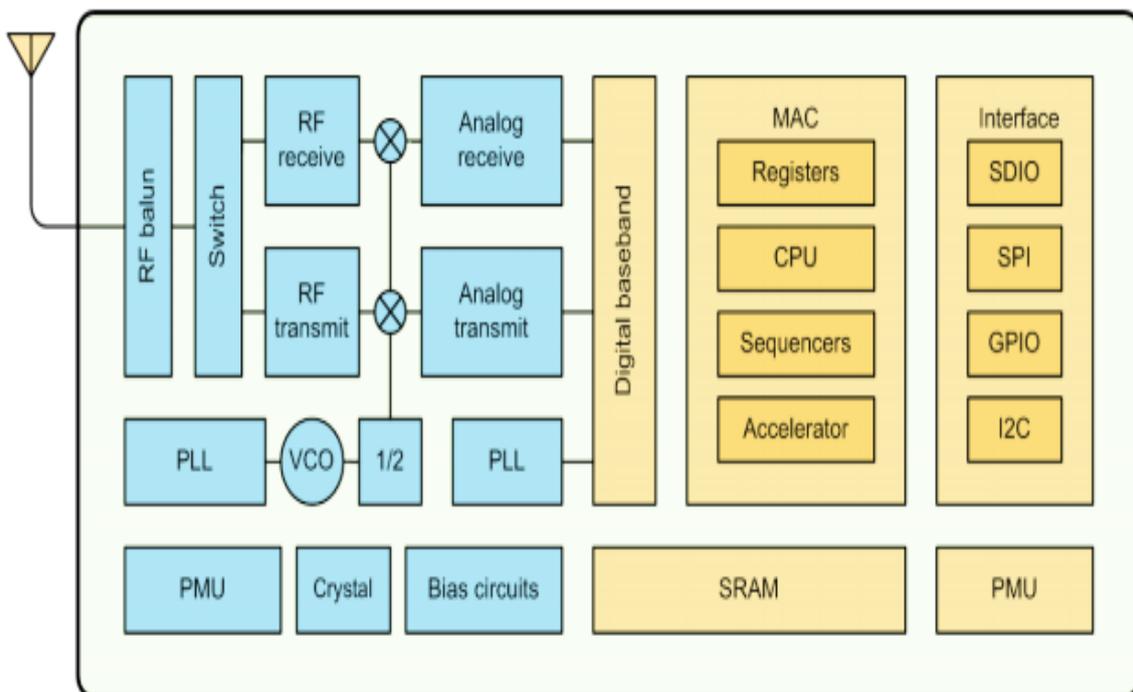
A Figura 7 mostra o microcontrolador ESP8266 embutido no módulo nodeMCU do fabricante RobotDyn.

Figura 7 – Microcontrolador ESP8266.



A figura 8 mostra o diagrama de blocos com a estrutura interna do microcontrolador ESP8266.

Figura 8 – Diagrama de blocos ESP8266 (ELECTRO DRAGON, 2018).



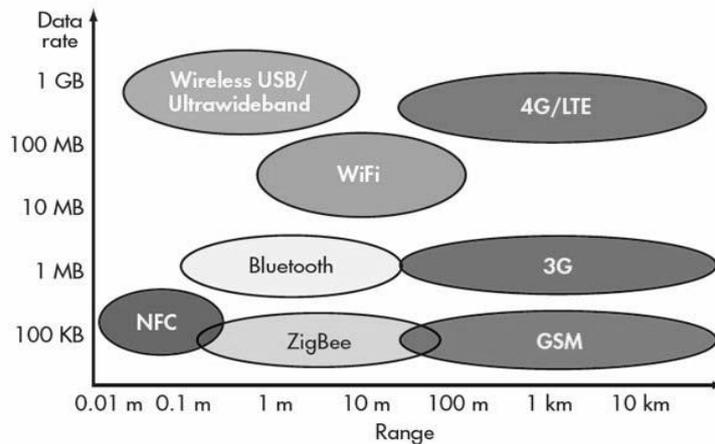
No lado esquerdo da Figura 8 estão representados os blocos de radiofrequência e transmissão de dados. No lado direito da figura estão representadas as áreas de processamento de dados e armazenamento de memória do microcontrolador ESP8266.

Os microcontroladores ESP8266, ATmega328 e MSP430 são comuns nos projetos de IoT.

2.4 Transmissão de dados

Transmissão de dados é a comunicação entre dispositivos que utilizam protocolos conforme a tecnologia utilizada para transferência de dados. A Figura 9 apresenta um comparativo entre as tecnologias aplicadas na transmissão de dados.

Figura 9 – Comparativo entre tecnologias (MICROWAVES & RADIO FREQUENCY, 2018).



Conforme a Figura 9, é possível observar as várias tecnologias que podem ser utilizadas na transmissão de dados, como Wireless USB, 4G, 3G, GSM, Bluetooth, ZigBee e NFC.

Dentre as diversas tecnologias existentes, as principais tecnologias de rede de dados voltadas ao segmento de IoT são a rede Wi-Fi, GSM e Bluetooth, porém existem outras tecnologias que podem ser usadas.

2.4.1 Rede sem fio Wi-Fi

Com a necessidade de ter uma rede de dados tipo LAN (*Local Area Network*) sem fio foi criada a rede de dados do tipo WLAN (*Wireless Local Area Network*) que usa o padrão IEEE 802.11.

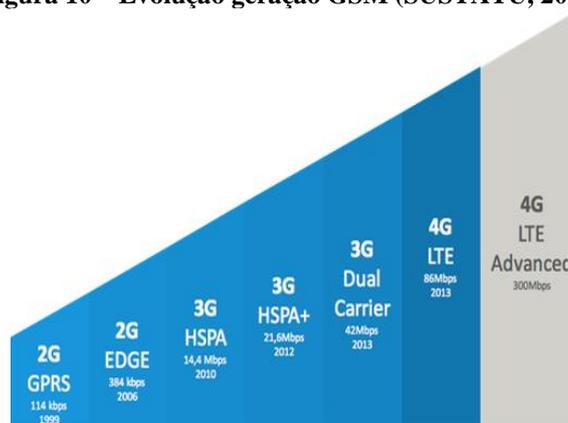
A rede Wi-Fi é uma rede de comunicação entre computadores desenvolvida para melhorar a transmissão de dados, que utiliza ondas de rádio que operam na faixa de 2,4 GHz para realizar a conexão com a Internet.

2.4.2 GSM

Global System for Mobile Communications, denominada a geração tecnológica para conexão de dados por meio de dispositivos móveis, como o celular. A rede móvel GSM tem a capacidade de atender inúmeros dispositivos com acesso simultâneo e extensa abrangência territorial.

A rede GSM é considerada a segunda geração da rede móvel, sendo que, atualmente, existem as atualizações 3G e 4G disponíveis no Brasil. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, é possível acompanhar a evolução das tecnologias de redes móveis.

Figura 10 – Evolução geração GSM (SUSTATU, 2018).



2.4.3 Bluetooth

Essa tecnologia foi desenvolvida pela fabricante Ericsson, com a finalidade de ser uma rede de dados do tipo PAN (*Personal Area Network*) que utiliza uma frequência de rádio de baixíssima potência e baixa taxa de transmissão de dados. Com alcance máximo de apenas alguns metros que opera na faixa de frequência de 2,4 GHz.

Para facilitar a transmissão de dados, o Bluetooth tem como principais características o baixo consumo e o método de comunicação que é do tipo mestre e escravo, no qual os dados são gerenciados pelo mestre da rede Bluetooth.

3 METODOLOGIA

O projeto foi dividido em quatro etapas: projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado.

O objetivo do projeto informacional é definir as especificações para aceitação do produto no mercado, através da definição dos requisitos para determinar o escopo do projeto.

“A primeira fase do desenvolvimento de um projeto é o projeto informacional, também chamado de definição da tarefa ou planejamento do produto. Para realizar esta etapa, é preciso identificar e analisar as necessidades do consumidor, descrever a ideia do produto e determinar os requisitos e as especificações do projeto.” (CARPES JR., 2014).

O projeto conceitual terá como característica a delimitação dos requisitos para atender os objetivos do projeto, onde serão definidas as especificações de qual sensor atenderá as funções desejadas, além de selecionar o microcontrolador para atender as necessidades do projeto de forma eficaz.

“Projeto conceitual, no qual diferentes conceitos são gerados para atingir os objetivos do cliente. Assim, as principais funções e os meios para alcançá-las são identificados, bem como os relacionamentos espaciais e estruturais dos principais componentes.” (DYM e LITTLE, 2010).

Por meio do projeto preliminar serão delimitadas as tecnologias que se enquadram com as características do produto.

Para Carpes Jr. (2014) “O projeto preliminar é a terceira fase da metodologia de projeto. É neste momento que se determina a configuração do produto.”

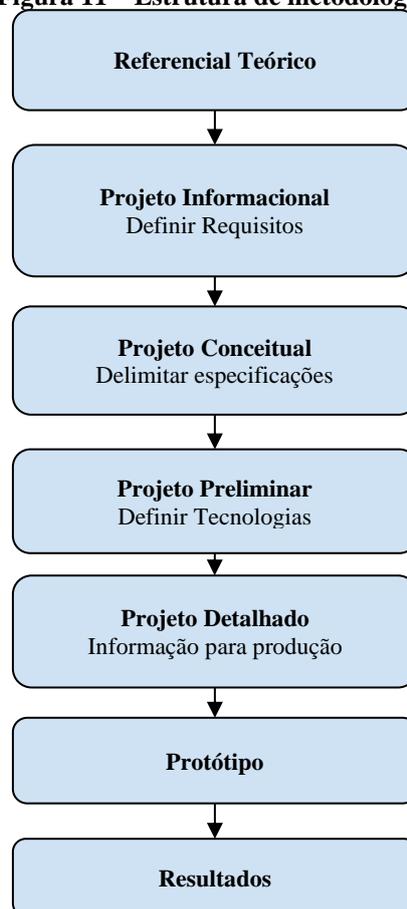
No projeto detalhado serão especificadas as tecnologias utilizadas, que foram selecionadas do projeto preliminar por atender os requisitos solicitados para o projeto.

De acordo com Carpes Jr. (2014) “Projeto detalhado é a última fase da metodologia de projeto e tem como função gerar uma documentação capaz de permitir a produção do produto.”

O protótipo será elaborado na última etapa do projeto com a finalidade de realizar a validação em campo e obter uma tabela de resultados.

Como pode ser observado na Figura 11, o trabalho segue a estrutura metodológica detalhada acima que atende as especificações para a produção do projeto.

Figura 11 – Estrutura de metodologia.



4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

4.1 Projeto Informacional

O projeto informacional é a primeira fase do desenvolvimento de um produto, onde se define os requisitos, restrições e especificações do produto. Neste projeto informacional será definido o problema a ser solucionado com o produto desenvolvido, será definido o produto, seus requisitos e suas especificações técnicas.

4.1.1 Definição do problema

Com a dificuldade de se mensurar a quantidade de transeuntes em um determinado local, surge a necessidade do desenvolvimento de um produto que atenda esses requisitos e capture as informações referentes ao número de pessoas que transitam em determinado local.

Esta informação é relevante principalmente para que os comerciantes possam fazer um comparativo de quantas pessoas passam no determinado local e quantas vendas são efetuadas no período. A partir dessas informações seria possível criar estratégias de vendas e *marketing*, sendo assim as informações ajudam na tomada de decisões de forma mais precisa e conseqüentemente permite que as empresas promovam ações de *marketing*, alterações de preços, entre outros indicadores de forma mais eficaz.

O público-alvo são as empresas do segmento do comércio em geral e órgãos públicos, pois com o produto, o cliente teria o benefício de ter os dados do volume de pessoas que frequentam o seu comércio, gerar relatórios com as métricas e utilizar como referência para as estratégias da empresa.

4.1.2 Produto

Na concepção de um produto novo devem ser observados alguns requisitos. Dentre eles é possível destacar a necessidade do produto perante o consumidor, as funções que o produto terá, além de outros requisitos que julgue necessário para concepção do projeto.

“A ideia de um produto deve ser detalhada e especificada com todos os detalhes concebidos originalmente. Esta etapa é fundamental, pois a ideia de um produto novo deve servir de entrada para metodologia de projeto e de produtos adequada. Somente após a utilização correta desta metodologia é que realmente será concebido o produto.” (CARPES JR., 2014).

O produto que será desenvolvido é um contador de pessoas com o conceito IoT aplicado, que permite enviar as informações capturadas para uma plataforma *online*, onde são gerados os relatórios com os dados coletados. O produto consiste em um sensor acoplado ao microcontrolador, um módulo de comunicação de dados, mais uma bateria ou ligação na rede elétrica.

O contador de pessoas tem como principais características: a leveza, sua portabilidade, facilidade de instalação e usabilidade. Além dessas características o produto utiliza rede sem fio que permite a utilização em diferentes ambientes para contar as pessoas.

A necessidade atendida pelo contador de pessoas é ajudar com o levantamento do volume de pessoas que acessam uma loja, mercado ou mesmo uma rua. Com isso, é possível determinar o movimento das pessoas e mensurar como elas se locomovem pelos diversos locais de uma cidade.

4.1.3 Requisitos do projeto

Os requisitos que serão adotados no projeto têm como finalidade definir o método de fabricação com adoção de medidas para evitar problemas na fabricação do produto.

De acordo com Carpes Jr. (2014) “Os requisitos do projeto correspondem as exigências que se faz em relação ao produto”.

No presente projeto foi utilizada uma lista de requisitos essenciais para adoções de medidas que diminuam a subjetividade e evitam erros no projeto de fabricação do produto. Os requisitos adotados foram: os requisitos de sustentabilidade, requisito de funcionalidade, requisito de ergonomia, requisito de produtividade e requisito de operacionalidade.

O requisito de **sustentabilidade** tem como característica a seleção dos materiais que serão utilizados na fabricação do produto, de forma que tenha um impacto ambiental reduzido. Por isso o produto consiste em um gabinete com material base em plástico resistente a propagação de fogo e com resistência mecânica contra pequenos danos.

O produto terá uma vida estimada de aproximadamente de dois anos, devido à vida útil da bateria, sendo que, no final desse período, o produto poderá sofrer troca da bateria e voltar a operar no mercado. O descarte

final terá como objetivo a reciclagem, pois irá conter componentes eletrônicos e materiais que poderão ser reutilizados.

O requisito de **funcionalidade** mostra que a principal característica do produto é contar pessoas.

O rendimento do produto tem que demonstrar uma operabilidade que atenda às necessidades do cliente. A restrição do produto ocorrerá dependendo do tipo do sensor, sendo que o produto deve ser instalado de forma que esteja posicionado em paralelo ao fluxo de pessoas de um local para que as pessoas passem por dentro da área de alcance do sensor.

No requisito de **ergonomia** o produto apenas terá a interação com o usuário por meio de LEDs indicativos de funcionamento. O contador de pessoas não fará interação direta com as pessoas e terá contato somente através do sensor, o que não trará danos as pessoas que passarem pelo equipamento.

O requisito de **produtibilidade** que se refere ao modo de produção do equipamento, será de fabricação interna, sendo que cada equipamento será testado individualmente e os materiais utilizados serão os adequados aos requisitos de fabricação de cada produto. O produto será projetado para ter um tamanho minimalista para não ocupar espaço demais do ambiente e ser mais indetectável para os transeuntes.

Por último, o requisito de **operacionalidade**: o produto poderá ser operado por qualquer pessoa. A principal necessidade de interação com o cliente é no processo de instalação do produto, depois da instalação o produto irá operar de modo isolado. A interação será por meio de uma plataforma *online* com acesso controlado por usuário e senha. O indicativo luminoso irá determinar se o produto está operante ou mesmo se está com defeito.

4.1.4 Especificações do produto

As especificações do produto são essenciais no projeto, pois elas devem definir o que o produto pretende fazer, mostrando de forma específica e clara aos usuários as funcionalidades do produto.

“Especificar ou determinar as especificações de um produto significa transformar os requisitos, desejos, expectativas e necessidades em relação ao produto, em uma linguagem menos moldada em interpretações subjetivas, reduzindo com isso a possibilidade de erros do projeto.” (CARPES JR., 2014).

Na Tabela 1 foi realizado o levantamento das especificações técnicas do produto de acordo com os requisitos identificados para a produção do projeto.

Tabela 1 – Especificação do produto.

Especificação	Característica
Precisão	Detectar pessoas
Autonomia	Bateria ou Fonte elétrica
Desempenho	Velocidade compatível com o sensor
Conectividade	Fácil acesso

De acordo com a tabela de especificações do produto, serão necessárias algumas configurações específicas para um funcionamento adequado produto em campo.

O ponto mais importante do produto é a sua precisão na coleta de informações. O projeto tem como premissa ter uma precisão elevada nas informações coletadas para que tenha fidelidade frente ao ambiente monitorado.

A característica de autonomia com baixo consumo é importante no quesito de portabilidade para que permita a instalação em campo aberto, sem fonte de alimentação através da rede elétrica. Para isso será necessário a utilização de uma bateria como fonte de energia do produto.

O requisito desempenho e taxa de transmissão são fundamentais para que ocorra a captura dos dados sem falhas devido à velocidade de processamento. Caso o processador não possua velocidade igual ou superior à velocidade do sensor, o mesmo não fará o processamento das detecções.

A conectividade é fundamental, pois é a conexão com a Internet que terá a função de enviar os dados para o sistema *online*. Sem conexão com a Internet, não é possível gerar os resultados da captura dos dados.

4.2 Projeto Conceitual

O projeto conceitual é a segunda fase do desenvolvimento de um projeto, nesta etapa são definidas as soluções para satisfazer as necessidades do cliente em relação ao produto.

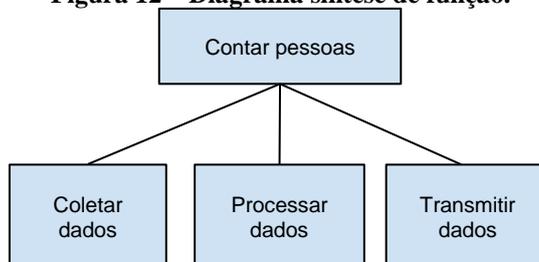
Nesta etapa do projeto será elaborado o diagrama de síntese de função, matriz morfológica e matriz de avaliação, que tem por objetivo identificar as funções desejadas para o produto, definir suas funcionalidades e elencar as melhores opções para o projeto de acordo com o objetivo definido no projeto.

4.2.1 Árvore de funções

A árvore de função é um método de análise do produto, com objetivo de identificar as funções exercidas por um produto e como elas são percebidas pelos usuários. Para elaborar a árvore de funções é necessário ter o conhecimento sobre funcionamento do produto em cada etapa do projeto.

Uma árvore de funções é uma representação gráfica das principais funções e funções secundárias de um projeto. O primeiro nível da árvore é a função principal a ser obtido pelo projeto, os níveis seguintes mostram os meios pelos quais a função principal será executada. Na Figura 12, é demonstrado o diagrama síntese de função.

Figura 12 – Diagrama síntese de função.



A árvore de funções proposta para o projeto é dividida em dois níveis, sendo que o primeiro nível é o nível da função de contar pessoas que é o principal objetivo do projeto. O nível seguinte composto por três subfunções, coletar dados, cujo objetivo é capturar e receber os dados do sensor, a subfunção de processar dados tem a característica de ler e interpretar os dados capturados, e a subfunção transmitir dados, cuja função é enviar os dados através da rede sem fio ao sistema *online*.

4.2.2 Matriz Morfológica

Matriz morfológica é a sistemática de combinar vários elementos a fim de encontrar uma nova solução ou a solução mais adequada para determinado problema.

Nesta etapa são listados os possíveis elementos de composição do projeto, neste caso foram listadas as possíveis tecnologias a serem utilizadas, com base nas especificações técnicas do produto, a fim de identificar a alternativa que se adequa às necessidades tecnológicas do projeto.

A partir do levantamento de requisitos dentro das especificações do produto, se faz necessário indicar quais as alternativas tecnológicas que poderão ser adotadas no projeto (Tabela 2).

Tabela 2 – Alternativas para as tecnologias.

Parâmetro	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Transmissão de dados	Bluetooth	Wi-Fi	GSM
Bateria	Li-Ion	Ni-MH	Li-Po
Sensor	PIR	Infravermelho	Ultrassônico
Microcontrolador	ATmega328	MSP430	ESP8266

Para o projeto será necessário a definição dos parâmetros de transmissão de dados, bateria, sensor e microcontrolador, sendo que para cada uma dessas funções foram selecionadas três alternativas que podem satisfazer de forma mais adequada às necessidades do projeto.

4.2.3 Matriz avaliação

A matriz de avaliação consiste em analisar cada função desejada para o produto a fim de determinar qual tecnologia melhor se enquadra no projeto para obtenção dos resultados esperados.

O critério de avaliação tem base na escala de pontuação de zero a cinco, onde cada tecnologia recebe uma nota de acordo com sua categoria em comparação aos concorrentes selecionados para o projeto.

A alternativa selecionada em cada avaliação é a que possuir maior pontuação entre os parâmetros selecionados conforme os requisitos desejados para a fabricação do produto. A Tabela 3 apresenta as alternativas para o parâmetro de transmissão de dados, onde foram selecionadas as tecnologias Bluetooth, rede sem fio e GSM.

No requisito velocidade, a maior pontuação foi para a alternativa Wi-Fi pois sua velocidade é de 54 *Mbps*, seguida da alternativa Bluetooth com 1 *Mbps* e a alternativa GSM com 85,6 *Kbps*, que recebeu a menor pontuação.

Tabela 3 – Avaliação Transmissão de Dados.

Alternativa	Velocidade	Custo	Alcance	Total
Bluetooth	3	4	1	8
Wi-Fi	5	5	4	15
GSM	2	2	5	9

No requisito custo, a alternativa que recebeu a maior pontuação foi para a tecnologia com o menor custo, sendo a alternativa Wi-Fi com custo de R\$ 26,90, seguido do custo do Bluetooth de R\$ 36,90, e da menor pontuação para o GSM com R\$ 69,90 pois apresentou o maior custo entre as alternativas¹.

No requisito alcance, foi levada em consideração a alternativa que teve maior alcance entre as alternativas, sendo que a tecnologia GSM recebeu a maior pontuação, seguido do Wi-Fi, e com menor pontuação, a alternativa Bluetooth, com alcances de 3.500 m, 90 m e 10 m, respectivamente. Por ter recebido a maior pontuação a alternativa escolhida foi a Wi-Fi.

Partindo dos requisitos desejados para a função bateria é dado uma pontuação de zero a cinco para cada subfunção.

Na Tabela 4 são comparados três modelos de baterias.

Tabela 4 – Avaliação Baterias.

Alternativa	Capacidade	Custo	Total
Li-Ion	3	3	10
Ni-MH	1	4	6
Li-Po	4	1	9

No requisito de capacidade da bateria, foi atribuída a maior nota para a bateria com maior capacidade de carga, onde a bateria Li-Po apresenta capacidade de 3.000 mAh a bateria Ni-MH 730 mAh e a Li-Ion apresenta 2.600 mAh. Por isso a maior pontuação foi para a bateria Li-Ion, seguida da Li-Po e Ni-MH.

No requisito do custo, a bateria que recebeu a maior pontuação foi do tipo Ni-MH com R\$ 10,98, a segunda maior pontuação foi para a Li-Ion com R\$ 41,92, e a menor pontuação foi para a Li-Po com custo de R\$ 103,88². Para determinar a pontuação foi considerada a maior pontuação para o menor custo.

Para a avaliação da subfunção bateria, foram adotados os critérios de capacidade de armazenamento e custo.

No critério de capacidade, é desejável que a bateria tenha uma capacidade de duração mínima de 24 horas. No critério do custo financeiro do produto, o objetivo é manter um custo baixo.

A partir desses critérios de avaliação da bateria, a que se enquadra no projeto é a Li-Ion 18650, pois foi a que obteve maior pontuação total comparada às demais.

A Tabela 5 apresenta três modelos de sensores.

Tabela 5 – Avaliação Sensores.

Alternativa	Alcance	Custo	Precisão	Total
PIR	5	4	2	11
Infravermelho	1	3	3	7
Ultrassônico	4	3	4	9

No requisito alcance, foi atribuída a maior pontuação para a alternativa que tinha o maior alcance, sendo o sensor PIR com 7 m, o sensor ultrassônico com 4 m e, com a menor pontuação, o infravermelho com 0,3 m, sendo a maior pontuação atribuída para o sensor PIR.

No requisito custo, o sensor PIR tem custo de R\$ 9,90 e o sensor ultrassônico e o sensor infravermelho possuem custo de R\$ 10,90 cada³. Sendo a maior pontuação para o menor custo, foi atribuída a maior pontuação para o sensor PIR.

Para a precisão, foi levada em consideração a menor amplitude de captura. Atribuído para o sensor ultrassônico, com 15°, seguido do sensor infravermelho, com 35° e do sensor PIR, com menos de 100° de precisão. Foi considerado que, quanto menor o ângulo, maior a pontuação.

¹ Os valores de referência foram obtidos no site filipeflop.com. A tecnologia GSM teve referência no módulo 4MD89, a Wi-Fi, no módulo 6WL01 e a Bluetooth, no módulo 6WL14.

² Os valores de referência foram obtidos no site br.mouser.com. A bateria Ni-MH teve referência no modelo HHR-210AAC48, a Li-Po, no modelo 409-EP-UPSHATB3000M e a Li-Ion, no modelo 619-28987.

³ Os valores de referência foram obtidos no site filipeflop.com. O sensor PIR teve referência no módulo 9SS11, o sensor infravermelho, no módulo 9SS47 e o sensor ultrassônico, no módulo 9SS01.

Como os sensores PIR e ultrassônico obtiveram a pontuação mais alta frente aos requisitos de alcance de detecção, custo e precisão, serão utilizados os dois sensores no projeto para comparação dos resultados dos sensores.

De acordo com a Tabela 6 são apresentadas as alternativas para o microcontrolador.

Tabela 6 – Avaliação Microcontroladores.

Alternativa	Custo	Processamento	Memória	Total
ATmega328	4	4	3	9
MSP430	3	3	4	10
ESP8266	4	5	5	14

O requisito custo para o microcontrolador, foi atribuída a maior pontuação para o menor custo sendo o ATmega328 com o valor de R\$ 37,11, seguido do ESP8266, com R\$ 37,11 e a menor pontuação para o MSP430 com o valor de R\$ 50,31⁴.

O requisito processamento atribui a maior pontuação para o ESP8266, com 80 MHz, seguido do ATmega328, com 16 MHz e a menor pontuação para o MSP430, com 8 MHz.

Para a alternativa memória, foi atribuída a maior pontuação para o ESP8266 com 512 KB, seguido do MSP430, com 128 KB e, com a menor pontuação, o ATmega328, com 32 KB de memória interna.

A subfunção de microcontrolador tem a principal função do projeto que é gerenciar todo o produto desenvolvido, com isso foram escolhidos os requisitos de custo financeiro da tecnologia, a velocidade do processamento e a capacidade de memória interna. No critério do custo, quanto menor o custo maior sua pontuação. Para o processamento e memória, quanto maior capacidade maior sua pontuação. Desta forma a alternativa que mais se adequa às necessidades do projeto é o microcontrolador ESP8266.

Seguindo as etapas de definir quais as possíveis funções tecnologias adotadas no projeto através da matriz morfológica, foi possível realizar a matriz de avaliação para cada subfunção do projeto e com isso são determinadas quais as tecnologias que foram escolhidas para o projeto.

A Tabela 7 apresenta as alternativas escolhidas conforme os critérios de avaliação.

Tabela 7 – Alternativas escolhidas para o projeto.

Subfunção	Alternativa Escolhida
Transmissão de dados	WiFi
Bateria	Li-Ion
Sensor	PIR e Ultrassônico
Microcontrolador	ESP8266

A tecnologia escolhida para a subfunção de transmissão de dados foi o Wi-Fi, para a bateria foi escolhida a do tipo Li-Ion modelo 18650, na subfunção sensor foi escolhido os tipos de sensores PIR e ultrassônico e para o microcontrolador foi adotado o ESP8266.

4.3 Projeto Preliminar

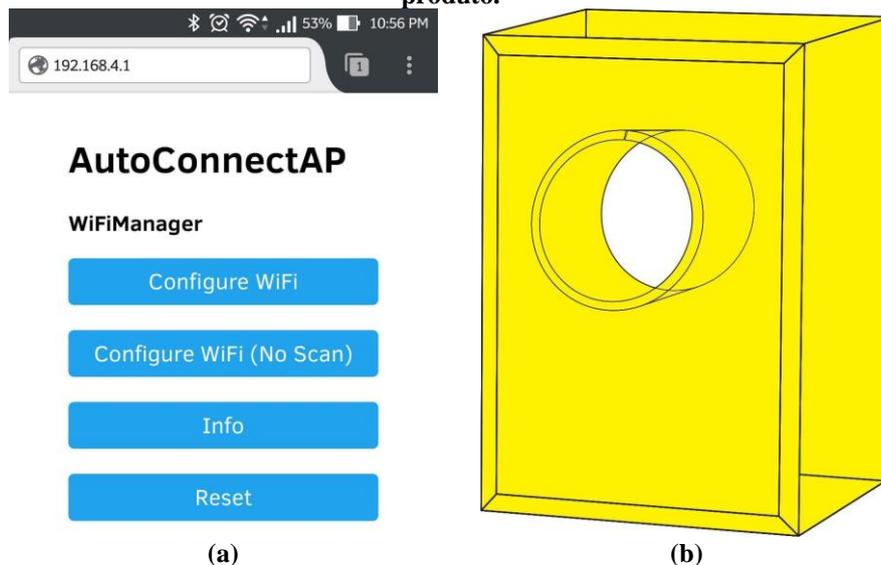
Nesta fase são determinadas as configurações do produto, disposição dos componentes, o relacionamento entre os componentes e esboço do produto de forma a permitir a produção e o funcionamento conforme as especificações desejadas.

Com o conceito de configuração não modular, o sensor será integrado ao microcontrolador, juntamente com a bateria, impossibilitando a adição de novos módulos. Isso permite que os componentes sejam dispostos dentro de um gabinete que acomode todos os itens em um único produto maximizando seu desempenho.

Para ter acesso às informações coletadas pelo contador de pessoas, o usuário acessa os dados na tela com o *login* e senha, onde será disponibilizado um relatório da quantidade de pessoas detectadas por dia. A Figura 13(a) apresenta a tela de configuração do contador de pessoas e a Figura 13(b) exhibe um esboço do gabinete do produto.

⁴ Os valores de referência foram obtidos no site digikey.com. O microcontrolador ESP8266 teve referência no código 1528-1223-ND, o MSP430, no código 296-36506-ND e o ATmega328, no código 1568-1055-ND.

Figura 13 – (a) tela de configuração do contador (MINATEL, 2018) e (b) esboço do produto.



4.4 Projeto Detalhado

O projeto detalhado é a última fase do desenvolvimento de um produto. O objetivo desta fase é gerar as informações necessárias para produção do produto.

Para maior compreensão, o projeto detalhado foi dividido em duas partes. A primeira é o software onde foi escrito e configurado todo o código do produto e a segunda etapa é o hardware onde se detalha cada componente utilizado no produto.

4.4.1 Software

O código-fonte do ESP8266 foi desenvolvido com a IDE do Arduino 1.8.1, que utiliza como base a linguagem de programação C++ e recursos nativos do seu sistema. Para o desenvolvimento do código-fonte, foram utilizadas algumas bibliotecas como *ESP8266WiFi*, *WiFiClient*, *NTPClient* *WiFiUdp* e *time*, usadas para se comunicar com o ESP8266, para fazer comunicação com a rede sem fio, NTP para garantir o sincronismo do tempo e a para ajustar o tempo recebido do NTP, respectivamente.

Cada biblioteca escolhida teve a sua função complementar na escrita do código, como característica principal foram chamadas as bibliotecas básicas para o funcionamento do ESP8266 em sua essência, em seguida foi chamado as bibliotecas de apoio para o sistema de controle de tempo, com a característica de marcar o tempo para cada detecção do sensor e chamando a biblioteca de apoio *WiFiClient* para conectar o ESP na rede Wi-Fi.

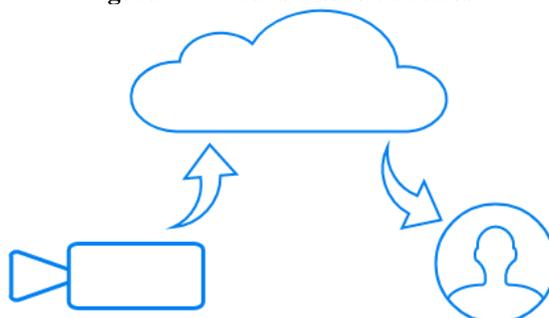
A placa escolhida para o projeto tem, embutido em seu firmware, um *bootloader* que dispensa a utilização de uma gravadora de firmware externa.

Com a capacidade de o dispositivo suportar conexões sem fio através de seu módulo interno, é possível estabelecer o padrão de comunicação.

O sensor realiza as detecções de pessoas, processa os dados através do microcontrolador e transmite os dados para a nuvem com seu módulo de comunicação sem fio. Esses dados podem ser acessados pelos usuários em forma de relatórios pelo sistema *online*.

A Figura 14 mostra o diagrama de comunicação de dados entre o dispositivo e a Internet, que grava as informações na nuvem e permite o acesso dos dados em forma de relatórios.

Figura 14 – Transmissão de dados.



4.4.2 Hardware

O esquema elétrico é o demonstrativo de como será adotado o padrão de ligação dos fios e seus módulos. No esquema descrito, a bateria Li-Ion modelo 18650 está ligada no V_{CC} e no GND do microcontrolador e do sensor PIR, que garantirá a energia para o dispositivo. A ligação do sensor pino OUT será ligada no GPIO0 que o sensor irá enviar um sinal digital do tipo alto ou baixo. A bateria será carregada por meio de uma fonte externa que serve para fornecer energia ao microcontrolador e carregamento da bateria.

O módulo do fabricante RobotDyn modelo *wifi-nodeM* com microcontrolador ESP8266 que possui rede sem fio embutida e permite que o microcontrolador se conecte a rede sem fio nos padrões wireless 802.11 b/g/n. Esse módulo possui um regulador de tensão embutido, um conversor USB-serial embarcado e uma memória interna de 32 MB disponível tanto para gravação de firmware ou para acessar como memória do tipo Flash nos padrões de um cartão de memória interno, conforme apresentado na Figura 7.

As baterias utilizadas no projeto serão do tipo Li-Ion 18650, com uma tensão nominal de 3,7 volts e por volta de 2 ampères-hora. Será calculado o tempo médio de consumo do ESP8266, para que o dispositivo tenha uma autonomia mínima de operação de um período de 24 horas em caso de falta de energia. Para o protótipo foi necessário a ligação na rede elétrica devido ao tempo necessário para coleta e validação dos dados em campo. A Figura 15 mostra o modelo de bateria 18650.

Figura 15 – Bateria Li-Ion 18650.



4.4.3 Estimativa de custos

Os custos apresentados na Tabela 8 representam a compra dos componentes para montagem de um único contador de pessoas. A taxa de conversão utilizada foi de R\$ 3,71 para cada dólar, valor da cotação na data da pesquisa.

Tabela 8 – Custo dos componentes.

Componente	Custo
Bateria Li-Ion ⁵	R\$ 22,00
Sensor PIR ⁶	R\$ 10,90
Sensor ultrassônico ⁶	R\$ 9,90
ESP8266 ⁵	R\$ 37,11
Fonte 5v ⁶	R\$ 29,90
Case ⁶	R\$ 15,90
Carregador bateria TP4056 ⁶	R\$ 6,90

5 IMPLEMENTAÇÃO E PROTÓTIPO

A implantação foi realizada em uma loja no bairro Barra da Lagoa, na cidade de Florianópolis, com o objetivo de realizar a validação do produto em campo e levantar os resultados do trabalho realizado.

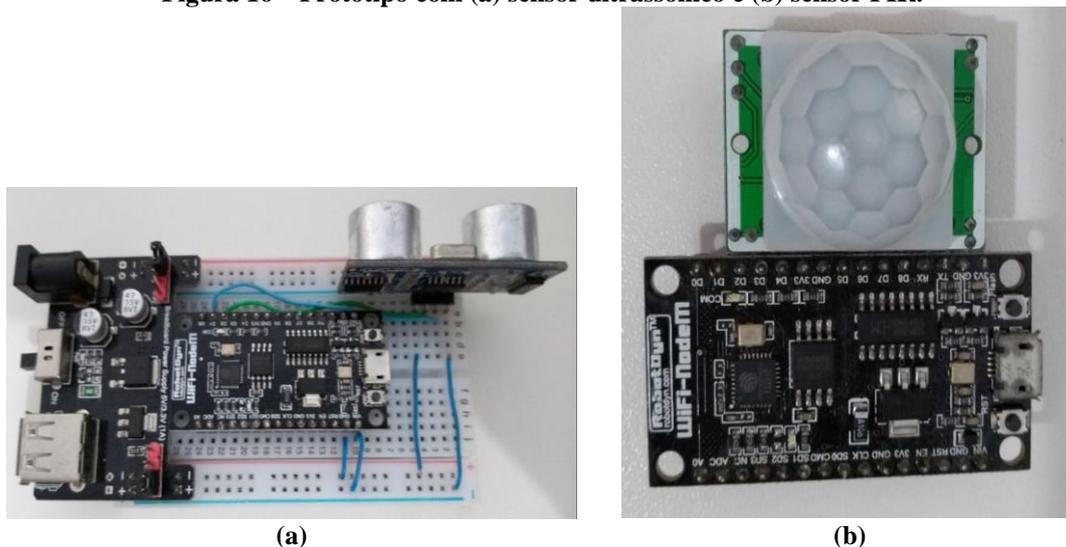
O protótipo foi alimentado através da rede elétrica, por necessidade de validar o produto por um longo período. Foi empregado no protótipo um sensor do tipo PIR e outro sensor do tipo ultrassônico, um microcontrolador modelo ESP8266 e uma fonte externa, com o objetivo de alimentar o microcontrolador e os sensores.

Os dados coletados neste protótipo foram enviados em tempo real para uma plataforma *online* onde foi possível visualizar os dados do produto de forma remota e onde foi possível acessar os relatórios obtidos com o protótipo. A Figura 16(a) apresenta o protótipo do sensor ultrassônico utilizado no desenvolvimento do trabalho e a Figura 16(b) apresenta o protótipo que foi utilizado com o sensor PIR.

⁵ Os valores de referência foram obtidos no site filipeflop.com.

⁶ Os valores de referência foram obtidos no site digikey.com.

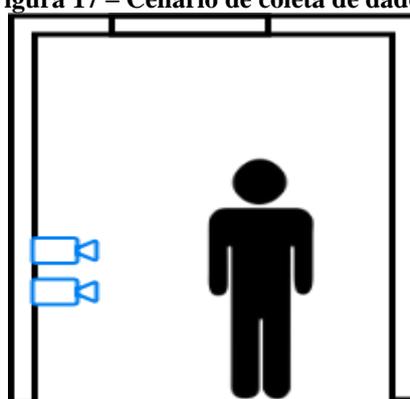
Figura 16 – Protótipo com (a) sensor ultrassônico e (b) sensor PIR.



5.1 Metodologia coleta de dados

Para a metodologia de coleta de dados, foram instalados os dois modelos de protótipo à esquerda de uma porta de tamanho padrão (80 cm). A Figura 17 apresenta o cenário onde foi realizada a coleta de dados.

Figura 17 – Cenário de coleta de dados.



Cada sensor fez a detecção para cada pessoa que passava, uma pessoa fez a contagem que fez a validação da detecção, e os sensores contabilizavam os resultados, por fim, foram comparadas as coletas e determinada a taxa de precisão de cada protótipo.

6 RESULTADOS

Para esse projeto foram adotados os sensores do tipo de sensor PIR e ultrassônico, pois dentre os vários modelos existentes estes são os que atendem de forma mais adequada os requisitos do projeto.

Os testes foram realizados em ambiente controlado para obter maior precisão e permitir comparar os sensores do tipo PIR e ultrassônico com o objetivo de verificar qual a capacidade de detecção de cada um deles. A Tabela 9 mostra a taxa de detecção de cada sensor nos testes realizados.

Tabela 9 – Comparativo taxa de detecção.

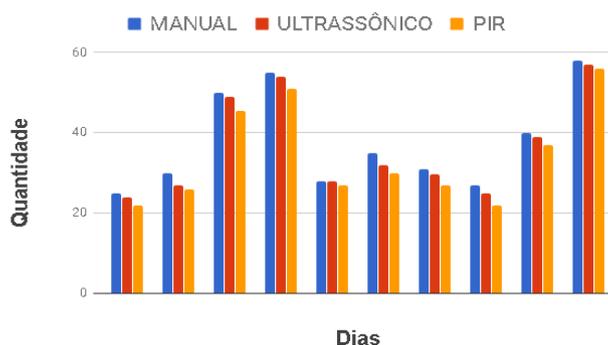
Detecção Manual PIR ultrassônico		
Contagem Manual	Sensor ultrassônico	Sensor PIR
100%	96%	91%

Para apresentação dos resultados coletados foi utilizada a contagem manual, que representa 100% de precisão, o sensor PIR teve precisão de 91% e o ultrassônico teve 96% de precisão em testes realizados em laboratório.

Com os valores da contagem manual de pessoas e os dados coletados por cada sensor, foi possível elaborar a Tabela 10, que apresenta a quantidade de pessoas que cada sensor foi capaz de detectar no período de dez dias, entre os dias 12 e 21 de fevereiro de 2018, e a Figura 18 apresenta os dados coletados pelos sensores.

Tabela 10 – Comparativo taxa de detecção.

Dia	Manual	Ultrassônico	PIR
12	25	24	22
13	30	27	26
14	50	49	46
15	55	54	51
16	28	28	27
17	35	32	30
18	31	30	27
19	27	25	22
20	40	39	37
21	58	57	56
Total	379	365	344

Figura 18 – Detecção Manual, PIR, ultrassônico em relação aos dias adquiridos.

Entre os dias 12 e 21 houve a contagem manual de 379 pessoas, sendo que dessas 379 pessoas, o sensor PIR detectou 344 pessoas e o ultrassônico 365 pessoas, o que leva à taxa de detecção mencionada.

É possível perceber que existe uma variação de detecção entre os dias, porém a média dos dias apresenta a precisão de 96% e 91% para o sensor ultrassônico e PIR, respectivamente.

7 CONCLUSÃO

Com o objetivo inicial do trabalho de contar as pessoas que acessam um determinado local, foi utilizado no projeto um ESP8266 como microcontrolador, um sensor tipo PIR e ultrassônico para detecção das pessoas e uma bateria e uma fonte externa para alimentação do circuito elétrico. O firmware foi gravado com a IDE do Arduino e mais algumas bibliotecas para complementar o código-fonte do produto.

Com o produto que foi elaborado no decorrer do trabalho, foi feito o levantamento dos dados apresentados e foi observado que com o uso do produto em um determinado local é possível determinar qual o dia de maior movimento na semana, e determinar qual o maior horário de movimento.

É possível determinar que o resultado foi satisfatório, pois o produto desenvolvido teve sua funcionalidade em contar as pessoas atendida.

Uma sugestão para trabalhos futuros seria a utilização de outros modelos de microcontroladores e outros modelos de sensores, realizar os testes com os produtos em diversos ambientes e com outras variáveis para avaliar os resultados.

REFERÊNCIAS

AMAZON WEB SERVICES. **Internet das Coisas**. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/pt/iot/>>. Acesso em: 9. mai. 2017.

ASHTON, Kevin. **A história secreta da criatividade**. Rio de Janeiro: GMT Editores, 2015.

ATMEL. **ATmega328**. Disponível em: <<http://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega328>>. Acesso em: 9. mai. 2018.

CARPES JR, Widomar P. **Introdução ao Projeto de Produtos**. 1ª ed. Florianópolis: Editora Bookman, 2014.

DYM, Clive L.; LITTLE, Patrick. **Introdução à engenharia**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

ELECTRO DRAGON. **Diagrama de Blocos**. Disponível em: <<http://www.electrodragon.com/>>. Acesso em: 7. abr. 2018.

FILIPE FLOP. **Sensor PIR**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-movimento-presenca-pir/>> Acesso em: 8 mai. 2018a.

FILIPE FLOP. **Sensor Ultrassônico**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-distancia-ultrassonico-hc-sr04/>> Acesso em: 8. mai. 2018b.

FILIPE FLOP. **Sensor infravermelho**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-obstaculo-infravermelho-ir/>>. Acesso em: 7. abr. 2018c.

FILIPE FLOP. **Arduino UNO R3**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/placa-uno-r3-cabo-usb-para-arduino/>>. Acesso em: 7. abr. 2018d.

JERONIMO, Luis. **Automação e comando**. Morrisville, EUA: Lulu.com, 2009.

MICROWAVE & RADIO FREQUENCY. **NFC Prepares For Wide Adoption**. Disponível em: <<http://www.mwrf.com/active-components/nfc-prepares-wide-adoption>>. Acesso em: 15. abr. 2018.

MINATEL, Pedro. **Biblioteca WiFiManager para o ESP8266**. Disponível em: <<http://pedrominatel.com.br/pt/esp8266/biblioteca-wifimanager-para-o-esp8266/>>. Acesso em: 7. abr. 2018.

OLIVEIRA, Sérgio de. **Internet das Coisas, com ESP8266, Arduino e Raspberry PI**. São Paulo: Novatec, 2017.

TANENBAUM, Andrew S. **Redes de Computadores**. 4ª ed. Amsterdam: Campus, 2003. 632 p. Tradução: Vandenberg D. de Souza.

TEXAS INSTRUMENTS. **MSP430 LaunchPad Value Line Development kit**. Disponível em: <<http://www.ti.com/tool/MSP-EXP430G2#0>>. Acesso em: 9. mai. 2018.



SISTEMA DE TELEMETRIA POR RFID ATIVO

Rafael Bidese¹, Romano Weirich², Samir Bonho³

Resumo: Esse artigo aborda o desenvolvimento de um sistema de telemetria utilizando tecnologia de RFID ativo para transmissão de dados entre nós sensores e um agregador de dados utilizando como método de desenvolvimento as etapas do modelo PRODIP. Apresenta-se as características principais das aplicações de monitoramento que se deseja atender, identificando os requisitos funcionais e não funcionais do sistema. Uma breve revisão dos dispositivos comerciais na área de Florianópolis é feita, identificando que é possível inovar no mercado local trazendo uma inovação do mercado estrangeiro. A arquitetura a nível de sistema e subsistema do nó sensor e do agregador de dados são elaborados e justificados, bem como a posterior definição dos componentes que constituirão cada módulo. É feita uma estimativa de custos de cada parte do sistema e avalia-se um caso prático para implementação do sistema em uma drogaria. Finalmente, uma prova de conceito é elaborada e executada para avaliar a arquitetura proposta e detectar os principais pontos onde o sistema pode ser melhorado. Assim, demonstra-se que o sistema proposto é capaz de atender os requisitos do projeto e, ainda, define-se pontos onde o projeto pode ser melhorado.

Palavras-chave: Internet das coisas. Sistemas Embarcados. Telemetria. RFID Ativo.

Abstract: This article addresses the development of a telemetry system that uses active RFID to transfer data from sensor nodes to data aggregators by using the development model based on the PRODIP model. The main characteristics of monitoring applications of interest are presented, both the functional and non-functional requisites of the system are identified. A brief review of commercially available devices in the Florianopolis area is realized, identifying that it is possible to bring innovation to the local market by bringing innovations from the foreign market. The system and subsystem level architectures for the sensor node and data aggregator are developed and justified, as well as the definition for each component in the modules are done later. The estimated cost is then calculated for the sensor node and gateway, and a practical case for a drugstore monitoring is evaluated. Finally, a proof of concept is developed and implemented to evaluate the proposed architecture and to detect the main points where the system can be improved. Thus, the article demonstrates that the proposed system can meet the project requisites and, also, defines where there is room for improvement within the project.

Keywords: Internet of Things. Embedded Systems. Telemetry. Active RFID.

¹ Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, IFSC/Florianópolis <rafael.b01@ifsc.edu.br>.

² Dynamox Soluções Criativas.

³ Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <samir.bonho@ifsc.edu.br>.

1 INTRODUÇÃO

A revolução da indústria 4.0 por meio do processo de digitalização das operações industriais já é realidade fora do Brasil desde 2011. Ela teve início na Alemanha e se expandiu rapidamente para o restante da Europa e para os Estados Unidos. Atualmente, no Brasil, poucas empresas conseguiram aderir aos processos de automatização e manufatura digital mais avançados (EXAME, 2017). Um dos principais fatores para essa revolução estar atrasada no Brasil é identificada, principalmente, pela falta de informação das empresas. Dados da Confederação Nacional das Indústrias mostram que pelo menos 57% das pequenas e 32% das grandes empresas nem mesmo reconhecem quais tecnologias poderiam ser úteis para alavancar a competitividade do setor industrial (PEQUENAS EMPRESAS & GRANDES NEGÓCIOS, 2016).

A fim de contribuir com a melhora desse cenário, o governo brasileiro tem apoiado as iniciativas de desenvolvimento por meio de programas de incentivo como o Programa Indústria 4.0 e regulamentação de alguns setores (BRASIL, 2017). Para alguns estabelecimentos comerciais e prestadores de serviço, a regulamentação vigente exige que sejam monitorados parâmetros como temperatura e umidade do local/produtos ao longo do tempo para garantir a segurança do consumidor. Alguns exemplos são as farmácias de manipulação, de acordo com a RDC nº 44 de 17 de agosto de 2009 da expedido pela ANVISA (BRASIL, 2009), centros de distribuição de drogas, conforme o inciso X, alíneas a e b da RDC nº 55 de 16 de dezembro de 2010 expedido pela ANVISA (BRASIL, 2010) e demais estabelecimentos da área da saúde. Nessas aplicações, é necessário manter um histórico de dados para comprovar que os limites exigidos não foram extrapolados.

Além disso, alguns serviços utilizam de telemetria em cadeia de produção e distribuição para agregar valor aos seus produtos, ainda que não exista regulamentação que exija este tipo de controle de histórico. Por exemplo, o monitoramento remoto de produtos durante o transporte. Nesse caso, além de fazer o monitoramento das faixas de interesse para as variáveis de controle, é possível avaliar o serviço das diversas empresas que manuseiam o produto desde a produção até a distribuição para os clientes finais. Trabalhos que abordam essas aplicações já podem ser encontrados na literatura como em aplicações voltadas à logística intercontinental de alimentos (ABAD *et al.*, 2009), monitoramento de cadeia de frio (CARULLO *et al.*, 2009), cadeia de suprimentos (LORITE *et al.*, 2017), dentre outras aplicações (MERCIER *et al.*, 2017).

Nos segmentos de monitoramento de ambientes e cargas, os principais componentes de um sistema de telemetria são os sensores e os dados propriamente ditos. Dependendo da aplicação, diversos arranjos podem ser utilizados – desde o armazenamento dos dados no próprio sensor até a transmissão instantânea de dados para um servidor remoto. Essas diferentes arquiteturas trazem consigo os prós e os contras que devem ser avaliados através dos requisitos da aplicação específica para que a opção mais adequada seja escolhida.

Os sistemas disponíveis comercialmente apresentam-se principalmente em duas categorias: sistemas de *datalogging* e nós sensores com agregadores de dados. Sistemas de *datalogging* precisam armazenar em cada um dos sensores os dados coletados, o que geralmente faz com que o custo unitário seja elevado e uma interface para posterior transferência dos dados seja necessariamente disponibilizada. No outro caso, os nós sensores adquirem os dados e transmitem diretamente para o agregador. Ele é quem lida com um volume maior de dados. Em sistemas deste tipo, o agregador tem um custo elevado, entretanto, o custo unitário dos sensores é muito mais baixo.

Dados deste setor no mercado nacional são difíceis de serem avaliados, porém com o acesso e divulgação internacional dos produtos desenvolvidos no Brasil, o mercado global torna-se acessível e atraente. O mercado global para sistemas rastreamento e monitoramento para transporte e armazenamento de itens da cadeia fria (alimentação e medicamentos) é esperado alcançar o valor de 426 bilhões de dólares em 2022, a partir de um valor de 148 bilhões em 2015. Ou seja, imprimindo uma taxa de crescimento anual composto (CAGR) de cerca de 16% entre 2016 e 2022 (BAJPAI e SHARMA, 2014). Além disso, visando o mercado específico de hardware, espera-se um mercado global avaliado em 6 bilhões de dólares até 2022, partindo de um mercado de 3 bilhões em 2016. Ou seja, um CAGR de 10%, sendo esse crescimento favorecido pelo ambiente estritamente regulado na indústria farmacêutica (MARKETS AND MARKETS, 2016).

Contudo, apesar do desenvolvimento tecnológico na área de telemetria, ainda existem relatos de gestores de estabelecimentos controlados onde o registro de temperatura e umidade é feito de maneira manual. Ou seja, a cada determinado tempo, um dos colaboradores é responsável por preencher à mão uma tabela com os dados lidos de um aparelho digital fixado na parede. Assim, fica clara a necessidade de desenvolvimento e comercialização sistemas que atendam o mercado local de telemetria, melhorando assim a eficiência, confiabilidade e a segurança para os clientes e gestores.

As demais seções deste trabalho estão divididas seguindo o modelo PRODIP das etapas de projeção do produto (BACK *et al.*, 2008). Iniciando pelo Projeto Informacional, a contextualização do projeto, seus requisitos e especificações são apresentados. Posteriormente, no Projeto Conceitual, avaliam-se as opções disponíveis no mercado e propõe-se uma arquitetura para o sistema. Em seguida, no Projeto Preliminar, são determinados os componentes específicos do produto. Na Seção 5, foge-se marginalmente do modelo PRODIP para apresentar a prova de conceito realizada. Finalmente, apresenta-se as conclusões do trabalho e os devidos agradecimentos são feitos.

2 PROJETO INFORMACIONAL

Essa seção apresenta uma introdução ao projeto, definindo o problema por meio do levantamento de informações a respeito de sistemas típicos de telemetria e características típicas dos ambientes onde esses

sistemas são necessários. Com isso, viabiliza-se a definição dos requisitos e, posteriormente, a realização da especificação técnica do produto.

2.1 Cenários de aplicação do produto

Em todas as situações abordadas, é importante que o sistema de sensoriamento não utilize conexões cabeadas, principalmente nos casos em que é feito o monitoramento de objetos móveis.

Os ambientes que devem ser monitorados por lei são tipicamente farmácias de manipulação e centros de distribuição de remédios. Isso faz com que os ambientes da aplicação sejam locais fechados com um tamanho médio entre 50 e 120 m² (PEQUENAS EMPRESAS & GRANDES NEGÓCIOS, 2002). Supondo uma frente de loja padrão de 10 metros de fachada, é necessário um enlace de comunicação que suporte transmissão sem fio em até 13 metros em um ambiente fechado.

Nos casos de centros de distribuição é necessária a capacidade de transmitir distâncias mais longas, porém, nesses casos, os ambientes podem ser considerados como abertos e, muitas vezes, a transmissão é feita em linha de visada. Estima-se, que um alcance de 50 metros seja capaz de suprir as aplicações com esse cenário, ainda que seja necessário instalar mais de um ponto de comunicação.

Com relação à mobilidade do sistema, é necessário que os sensores sejam completamente autônomos, para isso, eles devem ser alimentados por uma bateria primária. Nesse contexto, tem-se explicitamente um compromisso que envolve a autonomia do sistema, o volume de dados transmitidos e o período de espera entre uma medição e a outra.

Identificou-se, portanto, que uma composição de módulos, como os descritos na Figura 1, seria capaz de atender as necessidades de ambas as situações. O Nó Sensor contém os sensores necessários e um módulo de transmissão de dados; e o Agregador de Dados, realiza comunicação com os sensores e com o AP, que dá acesso à Internet. Também é representada na Figura 1 a existência de um cliente para acesso aos dados.

Figura 1 – Ilustração esquemática de um dos cenários de aplicação do sistema: monitoramento de uma drogaria.



2.2 Identificação e Análise de Requisitos

Com base na proposta de sistema mencionada anteriormente, e nos cenários de aplicação do produto, os requisitos funcionais e não-funcionais do sistema foram identificados. Os requisitos funcionais (RF) são apresentados a seguir juntamente com seus respectivos requisitos não-funcionais.

Em relação ao nó sensor, os requisitos são:

- RF1: Realizar transmissões apenas para agregadores deste mesmo sistema;
 - O sistema deve utilizar uma codificação adequada na comunicação sem fio;
- RF2: Ser capaz de capturar dados de temperatura e umidade de ambientes farmacêuticos e de armazéns;
 - O sensor de temperatura deve medir de -30 a 100 °C com resolução de 0,1 °C;
 - A medição de umidade deve ser relativa e com resolução de 1%;
- RF3: Ser capaz de funcionar remotamente por longos períodos;
 - A autonomia de cada nó sensor deve ser de pelo menos 2 anos;
 - Deve ser utilizada uma bateria com perfil baixo que seja compatível com os limites de funcionamento do sensor;
- RF4: Permitir ao usuário alterar o ID dos nós sensores;
 - A configuração não pode acontecer utilizando o sistema de comunicação sem fio;

- O ID dos nós sensores não pode ser maior que 32 bits;
- RF5: Informar quando um nó sensor estiver com bateria fraca;
 - O nó sensor deve ser capaz de ler a tensão da bateria;
- RF6: Operar com protocolo de comunicação sem fio compatível com o agregador;
 - O alcance mínimo em linha de visada deve ser 50 metros;
 - O alcance mínimo em ambientes confinados deve ser 13 metros;
- RF7: Ser resistente a ambientes hostis;
 - O nó deve atender a norma IP68.

E os requisitos referentes ao agregador de dados são:

- RF1: Ser capaz de enviar os dados recebidos dos sensores para um servidor na Internet;
 - O agregador deve se conectar a um ponto de acesso disponibilizado pela infraestrutura do local via Wi-Fi;
- RF2: Ser capaz de armazenar os dados quando não houver conexão com a Internet;
 - O agregador deve armazenar 2 MB de dados por pelo menos 24 horas;
 - O agregador deve implementar um *buffer* circular para manter as amostras mais recentes;
 - O sistema deve enviar as mensagens armazenadas quando recuperar a conexão com a Internet;
- RF3: Ser resistente a ambientes hostis;
 - O agregador deve atender a norma para IP65.

Finalmente, apresenta-se os requisitos referentes ao sistema:

- RF1: Ser capaz de receber e persistir os dados em um banco;
- RF2: Ser capaz de receber dados de diversas estações de monitoramento simultaneamente;
- RF3: Ser capaz de monitorar o banco de dados para gerar alarmes via e-mail, SMS, WhatsApp;
- RF4: Ser capaz de exibir o histórico e alarmes na interface com usuário;
- RF5: A interface de cliente deve ser acessível por meio de diversas plataformas (Android, iOS e Web);
- RF6: A interface deve utilizar as convenções e normas de usabilidade de software;
- RF7: A interface deve utilizar a terminologia voltada para gestores.

3 PROJETO CONCEITUAL

Essa seção apresenta uma revisão de produtos disponíveis no mercado nacional e internacional, bem como patentes relacionadas a estes sistemas. A partir dessa revisão, juntamente com a revisão da literatura específica, propõe-se uma arquitetura de desenvolvimento para o sistema, onde cada subsistema é especificado. Finalmente, uma avaliação da arquitetura é proposta, por meio de uma prova de conceito (solução técnica).

3.1 Benchmarking

Comercialmente estão disponíveis inúmeras soluções completas para telemetria de dados de diversas naturezas. Focando na competição do mercado local, visando o estado de Santa Catarina e, principalmente, a cidade de Florianópolis especificamente, já é possível encontrar empresas que oferecem soluções desse tipo.

A Sensorweb, oferece um sistema de telemetria com hardware e software proprietário como pode ser visto na Figura 2. Esse sistema utiliza nós sensores com um agregador para fazer a conectividade com a plataforma de software para visualização dos dados. A documentação da empresa não apresenta maiores detalhes sobre as tecnologias específicas utilizadas em cada um dos módulos.

Figura 2 – Sistema de telemetria da empresa Sensorweb. Adaptado de sensorweb.com.br.



A Dynamox, oferece um sistema diferente, baseado na arquitetura de *dataloggers* que pode ser visto na Figura 3. O DYNALOGISTICS pode armazenar até 20 mil leituras de temperatura; também existe uma versão com sensor de umidade relativa. Para acessar esses dados utiliza-se um aplicativo de celular que se comunica por meio de uma interface Bluetooth e depois sincroniza os dados com a plataforma de telemetria de cada cliente.

Figura 3 – DYNALOGISTICS, o *datalogger* para telemetria da Dynamox. Adaptado de www.dynamox.net.



Buscando trazer inovação, busca-se trazer ideias do mercado internacional para implementar localmente. Assim, foi encontrado na empresa Ela Innovation, baseada em Montpellier na França o sistema de telemetria apresentado na Figura 4. Esse sistema utiliza nós sensores com conectividade sem fio e que, por meio de um agregador de dados, também transfere os dados para a plataforma de software para gestão.

Figura 4 – Sistema de telemetria baseado em RFID ativo da ELA Innovation, nós sensores à cima e agregador abaixo. Adaptado de www.elainnovation.com.



As características mais relevantes do sistema da Ela Innovation é o alcance de até 80 metros em linha de visada, autonomia de até 10 anos dependendo das configurações, IP68 e dimensões extremamente compactas (diâmetro de 36 mm, altura de 10 mm e peso aproximado de 11 g). Isso faz com que o custo por unidade do sensor seja drasticamente reduzido, permitindo que sistemas com muito baixo custo sejam instalados. Assim, mercados que antes viam esse tipo de instalação como desejável, porém de alto custo, possam ver nessa plataforma uma possibilidade de agregar valor aos seus produtos.

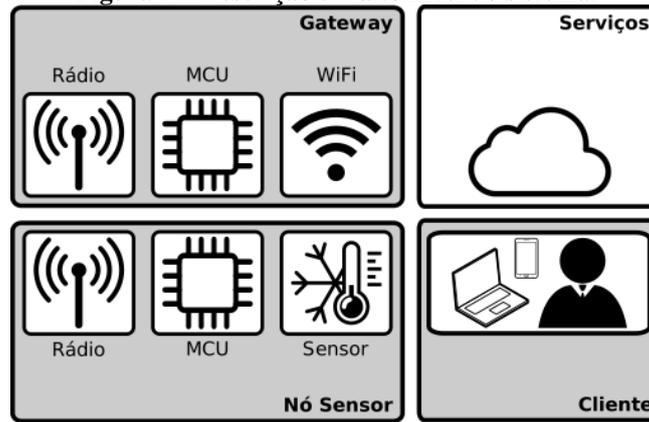
Uma busca por patentes conflitantes com o projeto foi realizada em diversas fontes nacionais e internacionais como Google Patents e Instituto Nacional da Propriedade Intelectual utilizando como palavras-chave como RFID ativo, telemetria, nó sensor. Nessa busca, nenhum impedimento para o desenvolvimento e comercialização desse produto foi encontrado.

3.2 Arquitetura do Sistema

O sistema completo de telemetria proposto, visando atender aos requisitos anteriormente previstos, pode ser dividido em quatro subsistemas principais, conforme indicado na Figura 5. Eles são o nó sensor, o *gateway*, os serviços e o cliente.

O nó sensor faz as medições periódicas e envia dados para o acumulador de dados por meio de comunicação sem fio. O acumulador está conectado a um ponto de acesso local, e ao receber a informação do nó sensor e envia para o subsistema de serviços. Ou seja, nesse arranjo o acumulador tem a função de um *gateway*. O subsistema de serviços recebe informação do *gateway*, os armazena e os disponibiliza para o cliente. O cliente, por sua vez, possibilita a realização de consultas, a avaliação o histórico dos dados, e a geração e monitoramento dos alarmes ativos.

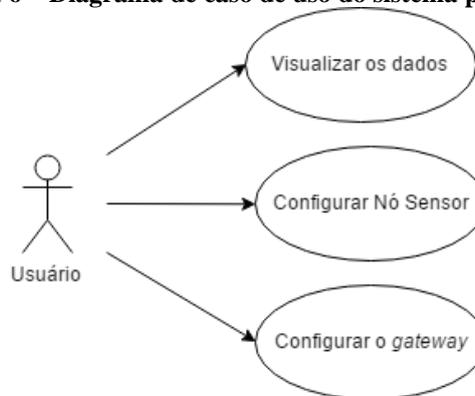
Figura 5 – Descrição em alto nível do sistema.



3.2.1 Casos de uso do sistema

A Figura 6 apresenta as maneiras como o usuário pode interagir diretamente com o sistema.

Figura 6 – Diagrama de caso de uso do sistema proposto.



- O usuário configura o nó sensor, por meio de uma interface apropriada.
- O usuário configura a *gateway* por meio de uma interface Web.
- O usuário visualiza os dados coletados pelos sensores.

3.3 Decomposição em módulos

Os subsistemas apresentados anteriormente foram divididos em módulos funcionais conforme apresentado de forma simplificada na Figura 5. Essa subseção, descreve o funcionamento detalhado e os módulos de cada subsistema.

3.3.1 Nó Sensor

De maneira geral, o microcontrolador do nó sensor deve permanecer em um estado de hibernação e acordar a cada período pré-selecionado. Ao acordar, ele deve realizar a leitura do sensor e enviar o dado coletado juntamente com seu número de identificação por meio da interface de comunicação sem fio (rádio). Essa interface envia os dados utilizando um protocolo proprietário pré-definido. Ao fim dessa operação, o microcontrolador volta a hibernar. Ainda que não explicitado na Figura 5, nó deve ser alimentado por uma bateria primária.

O comportamento do firmware do nó sensor foi modelado pela máquina de estados apresentada na Figura 7 e complementado pela lista de eventos descritos na Tabela 1.

Assim sendo, o microcontrolador permanecerá a maior parte do tempo em modo de hibernação no estado **SLEEP**. Ele acordará eventualmente por meio do evento **E1**, que transicionará o sistema diretamente para estado **ON**. Nesse estado, o sistema é acionado, e posteriormente faz-se a checagem do nível da bateria no estado **CHECKBATT**. Neste momento, caso a bateria esteja com carga suficiente opera operação normal, o evento **E2** não ocorre e o sistema transiciona para o estado **MEASURE**. No estado **MEASURE**, a leitura do sensor é realizada, e o sistema entra automaticamente no estado **TRANSMIT**, que inicializa a transmissão de dados. O sistema permanece nesse estado enquanto o evento **E3** não ocorrer. Quando o evento ocorre, o sistema volta ao estado **SLEEP** e espera novamente pelo evento **E1**.

Figura 7 – Máquina de estados do nó.

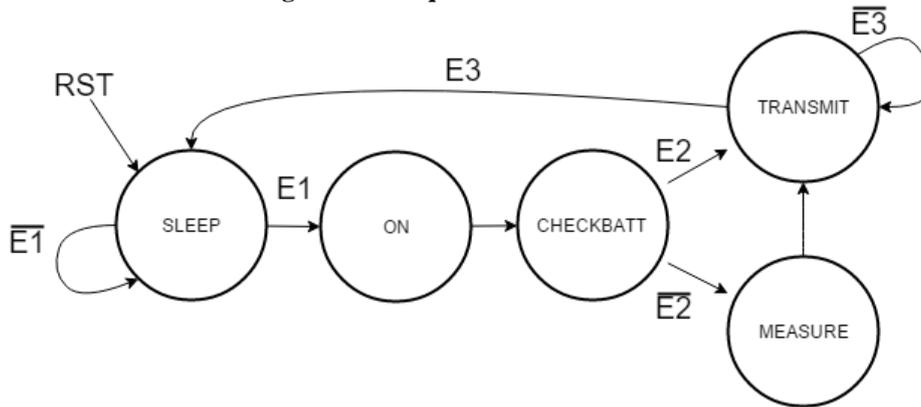
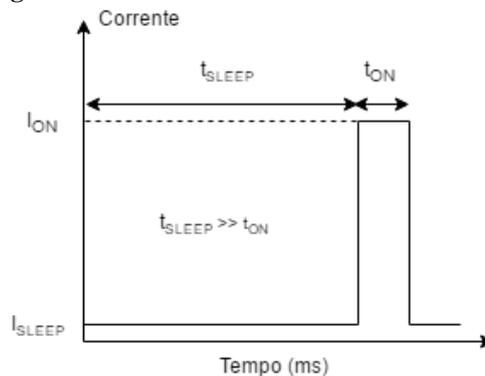


Tabela 1 – Eventos do MCU do nó sensor.

Evento	Descrição
E1	Sinaliza o estouro da contagem do período de leitura do nó
E2	Sinaliza que o sistema detectou que o nível da bateria está baixo
E3	Sinaliza que a transmissão de dados foi finalizada

O perfil de consumo de corrente da bateria pode ser modelado em primeira ordem pelo gráfico apresentado na Figura 8. Nele, a corrente I_{SLEEP} representa o consumo em modo de hibernação do sistema completo, em que a maior parcela é atribuída ao microcontrolador. A corrente I_{ON} representa a consumida no sistema durante a realização de medida e transmissão de dados. As formas mais convenientes para se reduzir o consumo do sistema, seriam minimizar, principalmente, a corrente I_{SLEEP} e o tempo t_{ON} . A corrente I_{SLEEP} pode ser minimizada utilizando um microcontrolador de baixo consumo e fazendo uso extensivo dos modos de hibernação. O tempo t_{ON} é fortemente dependente do tempo necessário para transmitir a mensagem da leitura, visto que a velocidade de transmissão do RFID ativo não é particularmente elevada. Portanto, é essencial manter a mensagem o mais curta possível.

Figura 8 – Perfil de consumo de corrente no nó.



3.3.2 Gateway

O microcontrolador do *gateway* deve esperar pela chegada das mensagens de diferentes nós através do seu módulo rádio de comunicação, acumular as mensagens em memória local, criar um pacote compatível com o protocolo de comunicação servidor e enviá-lo por meio da conexão Wi-Fi, havendo disponibilidade de rede. Caso contrário, ele deve acumular os dados para que sejam transmitidos quando houver conexão. Esse módulo pode ser alimentado por uma fonte externa, já que ele não precisa ser móvel, como os nós sensores.

3.3.3 Serviços e Cliente

O subsistema de serviços deve esperar pela chegada de dados no servidor, ler as mensagens e armazená-las em um banco de dados. O sistema deve monitorar os dados de acordo com limites pré-estabelecidos e disparar alarmes para os responsáveis caso algum deles seja ultrapassado. Assim, os dados do sistema devem estar disponíveis para acesso através do subsistema de cliente por meio de uma página Web, com interface amigável, intuitiva e customizável.

3.4 Delimitação do projeto

Como a proposta deste projeto como um todo é altamente multidisciplinar, não seria possível compreender uma análise de todo o projeto, inclusive pela falta de domínio técnico suficientemente em relação a todos os temas. Por isso, as seguintes seções dão maior ênfase nos subsistemas do projeto que mais têm relação com desenvolvimento de produtos eletrônicos, ou seja, os subsistemas do nó sensor e do *gateway*. Com atenção especial ao nó sensor, que é o subsistema mais crítico nesse projeto específico.

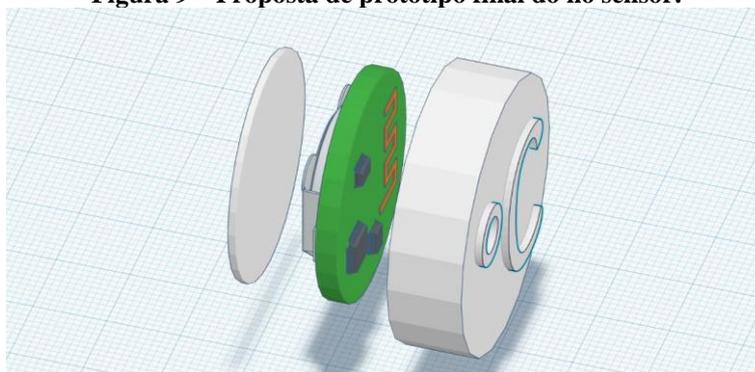
4 PROJETO PRELIMINAR

Essa seção apresenta o desenvolvimento da solução conceitual proposta anteriormente. A seguir, os materiais necessários são dimensionados, justificados e devidamente apresentados. Posteriormente, um estudo de caso de uma instalação típica é apresentado, a fim de avaliar a viabilidade e atratividade econômica do sistema. Finalmente, a proposta final de produto almejado é apresentada juntamente com algumas etapas necessárias para alcançar esse objetivo.

4.1 Nó Sensor

Um desenho preliminar do nó sensor idealizado pode ser visto na Figura 9. As dimensões máximas do projeto são 30 mm de diâmetro e 10 mm de espessura. Visando a praticidade de uso, optou-se por utilizar-se um perfil baixo. A fim de viabilizá-lo, é importante a utilização de baterias com perfil baixo. Além disso, componentes eletrônicos com empacotamentos que facilitem a miniaturização do projeto também são desejáveis.

Figura 9 – Proposta de protótipo final do nó sensor.



4.1.1 Bateria

Para manter a diversidade de fornecedores de baterias, juntamente com alta densidade de carga aliada ao fator de forma adequado para a aplicação, foi escolhido utilizar uma bateria de Lítio de 3 V e 215 mAh (CR2032). Caso a carga da bateria não seja suficiente para a autonomia do sistema, esse componente deve ser revisto. É importante manter perfil do produto baixo, portanto, outra bateria com forma de moeda seria mais adequada.

4.1.2 Sensor

Como sensor de temperatura, optou-se pelo sensor Si7050 da Silicon Labs. Ele utiliza interface I²C, é de baixo consumo, não tem preço elevado e utiliza um encapsulamento de 3x3 mm. A existência de bibliotecas que suportam o interfaceamento com esse sensor faz com que seja definido este sensor para a aplicação.

Algumas características relevantes deste sensor são os 14 bits de resolução, garantindo um erro na leitura de no máximo ± 1 °C. O sensor ainda pode operar de -40 a +125 °C com alimentação de 1,9 a 3,6 V, oferecendo assim grande margem para a bateria.

4.1.3 Módulo de Comunicação Sem Fio

A Tabela 2 apresenta uma revisão das tecnologias de transmissão sem fio presentes na literatura e disponíveis comercialmente. É importante notar que as tecnologias consagradas de Wi-Fi, Bluetooth e ZigBee apresentam consumos de corrente incompatíveis com a autonomia desejada para pequenos volumes de bateria; além disso, também apresentam custo bastante elevado. Nesse ponto, a tecnologia de RFID ativo é superior, ao troco de uma taxa de transmissão mais baixa.

Tabela 2 – Comparação de Tecnologias Sem Fio.

	WiFi CC3000	BLE CC2540	RFID 433MHz
Taxa de Transmissão (bps)	11 M	723 k	9.600
Distância Máxima (m)	300	100	100 – 150
Corrente RX (mA)	92	15,8	6
Corrente TX (mA)	190	18,6	9
Custo (US\$)	49,50	2,30	0,75 (RX e TX)
Área de PCI (mm ²)	640	400	400

A frequência de RFID ativo permite a implementação de antenas impressas na PCI, o que reduz bastante o custo. As antenas de $1/20$ de comprimento de onda, também conhecidas como antenas de *loop* magnético pequeno e têm sido utilizadas em dispositivos móveis. É importante lembrar que essa topologia de antena não é direcional e não oferece alto ganho, portanto, o receptor deve ter sensibilidade suficiente para captar o sinal de forma correta.

4.1.4 Microcontrolador de Ultra-Baixo Consumo

Para fazer o controle do nó é necessário um microcontrolador que opere em ultra-baixo consumo para garantir que o sistema atenda aos requisitos de autonomia. Além disso, para comandar todas as funções do nó sensor, o microcontrolador precisa oferecer os periféricos apresentados na Tabela 3. Propõe-se uma interface I²C para comandar o sensor de temperatura e uma UART para comandar o RFID ativo e a interface de configuração.

Tabela 3 – Periféricos necessários para o microcontrolador (Nó Sensor).

Periférico	Pino	Função
I ² C	SDA	Sensor de Temperatura
	SCL	
UART	TX	RFID Ativo
	RX	Configuração

É importante ainda que o microcontrolador seja compatível com a tensão da bateria utilizada e que permaneça em funcionamento normal caso a tensão da bateria caia ao longo do tempo. Outra consideração relevante é o tamanho do empacotamento a ser utilizado, para garantir a miniaturização do circuito como um todo.

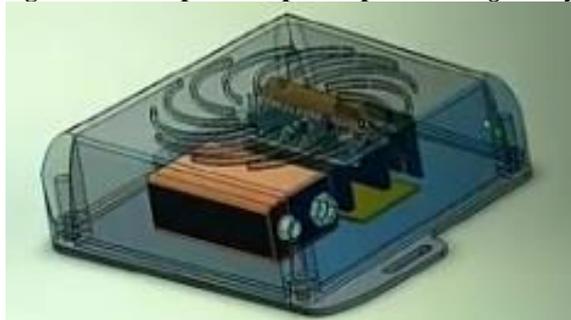
Os microcontroladores da linha MSP430 (Texas Instruments – TI) são conhecidos pelas suas características de extremo baixo consumo de energia, mesmo quando comparadas com outras famílias de microprocessadores de ultra-baixo consumo. Apesar da discussão sobre qual seria o MCU com o menor consumo disponível no mercado ainda persistir, a família MSP430 tem se destacado frente os concorrentes, principalmente quando comparado aos microcontroladores da família PIC XLP (Microchip) (ALBUS; VALENZUELA; BUCCIN, 2009), (TOLLEFSON, 2014). Além de figurar entre os líderes de baixo consumo em todos os estudos, a TI oferece vantagens importantes sobre outras companhias no contexto de redução do período de desenvolvimento. Por exemplo, um extenso catálogo de produtos abrangendo módulos de diversas funcionalidades compatíveis entre si, excelente documentação e existência de uma ampla comunidade ativa.

A Texas Instruments comercializa *kits* de desenvolvimento com microcontroladores de suas famílias mais importantes, o que acelera as etapas iniciais de desenvolvimento de hardware, firmware, e facilita os primeiros testes modulares. Adicionalmente, a TI disponibiliza uma ferramenta gráfica de geração automática de código (GRACE) para configuração dos periféricos de seus microcontroladores da família MSP430. Com ela, é possível acelerar ainda mais a construção das rotinas de controle.

A TI oferece diversos microcontroladores com diferentes preços e capacidades de processamento. A família MSP430G2 se destaca por ser a de mais baixo custo e de menor consumo. Ela é composta por microcontroladores sem aceleração em hardware para operações aritméticas, com poucos periféricos, e apenas algumas poucas portas de entrada e saída de propósito geral (GPIO). O microcontrolador de modelo MSP430G2553, membro da família MSP430G2, atende a todos os requisitos e oferece todas as facilidades citadas anteriormente.

4.2 Gateway

Um modelo para o *gateway* idealizado pode ser visto na Figura 10. As dimensões máximas desse projeto são 90 mm de lado e 30 mm de espessura, utilizando parafusos para fixação da tampa e rasgos para fixar o equipamento na parede.

Figura 10 – Proposta de protótipo final do gateway.

4.2.1 Módulo de Comunicação Sem Fio

O módulo de comunicação sem fio foi definido de forma a manter compatibilidade com a transmissão feita pelo nó sensor. Utiliza-se então, um projeto discreto para receptores de rádio frequência em modulação ASK. Este circuito, utiliza componentes passivos, transistores de propósito geral e amplificadores operacionais (LM358 da TI). No módulo de recepção, uma antena externa omnidirecional foi utilizada para garantir a boa recepção de nós sensores espalhados no ambiente.

4.2.2 Módulo de Controle e Wi-Fi

O módulo ESP32 da Espressif possui um microcontrolador capaz de realizar 600 DMIPS, disponibiliza 16 MB de Flash e 520 KB de SRAM com um processador *dual core* de 240 MHz. Ponderações sobre o consumo são pouco relevantes já que o módulo é alimentado por um adaptador de parede, mas é importante notar que a corrente de pico para transmissão é na faixa de 90 mA e a fonte deve ser capaz de suprir essa corrente.

4.3 Estimativas de Custos

Os custos dos componentes foram cotados segundo o catálogo da DigiKey, com o valor referente a compra de 1.000 unidades de cada um dos componentes. Além dos componentes citados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, são necessários componentes passivos como capacitores para filtro de linha e desacoplamento, porém seus valores não foram considerados aqui por não serem relevantes em relação ao custo total do projeto. Sendo assim, o valor total para um nó sensor com componentes importados diretamente da DigiKey custa R\$ 26,53.

Tabela 4 – Custo estimado de um Nó Sensor.

Componente	Custo (US\$)	Custo (R\$)	Custo (R\$+Taxas)
Bateria (CR2032)	0,49	0,68	0,98
Conector (CR2032)	0,38	1,21	2,42
Sensor de Temperatura (Si7050)	0,94	2,90	5,81
Transistor TX (2SC332)	0,50	1,55	3,09
Cristal TX (SAW 433MHZ)	0,61	1,88	3,77
MSP430G2553	1,07	3,31	6,61
PCI	0,30	0,93	1,85
Case	0,32	1,00	2,00
TOTAL	4,62	13,45	26,53

A Tabela 5 apresenta a lista de componentes mais relevantes para a determinação do preço total de um gateway. O valor total para componentes importados diretamente da DigiKey é de R\$ 119,21.

Tabela 5 – Custo estimado de um gateway.

Componente	Custo (US\$)	Custo (R\$)	Custo (R\$+Taxas)
Adaptador AC	2,47	7,50	15,00
Conector USB	0,37	1,14	2,29
Ampops	0,08	0,25	0,49
Passivos	1,20	3,71	7,42
Antena	2,54	7,58	15,70
ESP32	8,95	27,66	55,31
PCI	1,29	4,00	8,00
Case	2,47	7,50	15,00
TOTAL	19,37	59,60	119,21

4.4 Estimativas de Autonomia

Diversas considerações no projeto foram feitas para garantir o menor consumo o possível. A Tabela 6 apresenta uma lista dos consumos de corrente pelos módulos do nó sensor, considerando os dois modos de operação do nó: quando ele está medindo e transmitindo e quando ele está hibernando.

Tabela 6 – Custo estimado de um gateway.

Componente	I_{SLEEP} (μA)	I_{ON} (μA)
MSP430G2553	0,50	10,00
RFID Ativo	0,10	3.000,00
Si7050	0,06	3,80
TOTAL	0,66	3.013,80

Como pior caso, utiliza-se a corrente de pico de transmissão como corrente média durante todo o período. Para estimar o tempo em que o dispositivo está ligado, considera-se um tamanho de mensagem de 4 bytes de endereço e 2 bytes de dados a uma taxa de transmissão de 9.600 bps. Ainda considerando uma sobrecarga pelo protocolo de comunicação, pode-se adicionar 1 byte de cabeçalho e um de segurança, totalizando 8 bytes e um tempo total de aproximadamente 7 ms.

Para a bateria considerada nesse projeto (215 mAh), a Tabela 7 apresenta estimativas de autonomia do sistema para diferentes intervalos de aquisição e transmissão de dados. Fica claro que, a partir de um minuto de intervalo, não existe ganho efetivo em autonomia. Isso se deve ao fato de que a parcela dominante no consumo do módulo é dada pelo consumo em modo *SLEEP*. Sendo assim, medindo a cada um minuto a autonomia do sistema deve superar 3,5 anos.

Tabela 7 – Estimativa de autonomia para intervalos de amostragem.

Intervalo de Amostragem (s)	Autonomia (dias)
1	308
60	1.284
300	1.342
3.000	1.355

4.5 Exemplo de estudo de caso: drogaria

Para uma implementação de um sistema que precise de pelo menos cinco nós sensores e um *gateway* o custo de componentes aproximado pode ser visto na Tabela 8. Lembrando que esse valor conta apenas com os componentes, sem considerar custos de produção, logística, abatimento de investimento, custos com manutenção etc.

Tabela 8 – Estimativa de autonomia para intervalos de amostragem.

Item	Unidades	Preço (R\$)
Nó Sensor	5	132,65
Gateway	1	119,21
TOTAL	6	251,86

Para fazer a cobertura de uma drogaria com dimensões típicas, por exemplo, utilizando um sistema com os componentes definidos na Tabela 8 é possível realizar uma cobertura como a observada na Figura 11. Nesse caso, uma drogaria de 600 m² pode ser monitorada com cinco pontos por R\$ 251,86; ou seja, um custo de R\$ 0,42 por m².

5 PROVA DE CONCEITO

Com o intuito de avaliar a arquitetura proposta, utilizou-se módulos de desenvolvimento e técnicas de prototipagem rápida para criar protótipos dos subsistemas alvo desse trabalho: o nó sensor e o *gateway*. Quanto aos subsistemas de serviços e cliente, utilizou-se ferramentas bem conhecidas no mercado, e tecnologias já amplamente dominadas, e difundidas com amplo material de apoio desenvolvido pela comunidade.

5.1 Nó Sensor

Por simplicidade, no protótipo do nó sensor, utilizou-se apenas um sensor. Optou-se por utilizar o sensor de temperatura LM35C da National Semiconductors. Para comandar o nó, foi utilizado um Arduino Nano, que contém um ATmega328P da Atmel como microcontrolador. Ele pode ser programado facilmente utilizando as ferramentas da Atmel e do Arduino. Para comunicação sem fio, utilizou-se o FS1000A, um transmissor de

rádio em 433 MHz com modulação ASK. Para alimentação do circuito, uma bateria de 9 V foi utilizada. Ela está claramente superdimensionada, porém facilita testes de longa duração por possuir uma carga elevada. Para realizar as conexões entre os componentes, uma placa de circuito impresso foi projetada e fabricada. Os protótipos dos subsistemas são apresentados na Figura 12. Além disso, um invólucro foi projetado e fabricado utilizando impressão 3D para conter todos os módulos durante os testes.

Figura 11 – Exemplo de uma possível aplicação de monitoramento de uma drogaria.

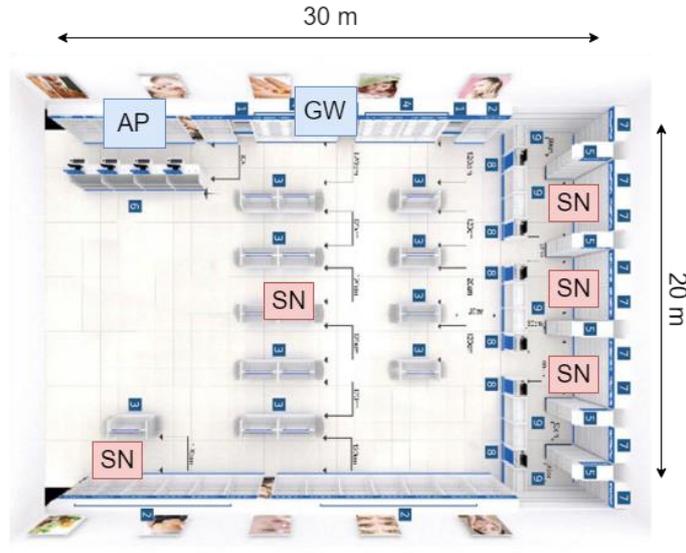
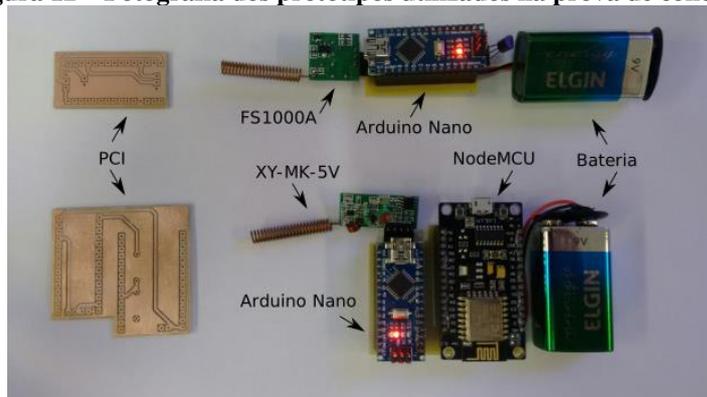


Figura 12 – Fotografia dos protótipos utilizados na prova de conceito.



O firmware do nó sensor segue uma rotina sub-ótima em que o nó dorme e acorda a cada tempo pré-estabelecido para enviar uma mensagem. A mensagem utilizada nos testes é composta por um *caractere* de cabeçalho, um byte de identificação do sensor, e o valor lido pelo conversor analógico digital. A fim de melhorar a leitura do LM35C, que é tipicamente 10,0 mV/°C, a tensão de referência do conversor analógico digital foi alterada para 1,1 V. O acionamento do FS1000A foi realizado com o auxílio da biblioteca *RadioHead*, que é uma biblioteca de código aberto utilizada em diversos rádios comercialmente disponíveis.

5.2 Gateway

Para comandar o protótipo do *gateway* era necessário utilizar um módulo que pudesse fazer todas as funções previstas e que também fosse facilmente programável. Nesse contexto, optou-se pelo NodeMCU para comandar o *gateway*. Ele utiliza o ESP8266 da Espressif Technologies como microcontrolador e, além de possuir o rádio para comunicação Wi-Fi com o ponto de acesso, é compatível com a plataforma de desenvolvimento Arduino. O rádio utilizado para comunicação com os nós sensores foi definido pela compatibilidade com o módulo FS1000A. Desta forma, utilizou-se o XY-MK-5V. A alimentação do circuito foi prevista para ser realizada através de uma fonte externa, entretanto, uma bateria de 9 V também foi utilizada, pelo mesmo motivo de facilitar os testes. A conexão entre os componentes foi realizada por uma placa de circuito impresso que foi projetada e desenvolvida durante o andamento deste trabalho. Além disso, por facilidade, o mesmo invólucro projetado e fabricado para o nó sensor foi utilizado para o *gateway*.

Pela compatibilidade com o nó sensor, que utiliza a biblioteca **RadioHead** para transmitir os dados, o *gateway* precisaria dessa mesma biblioteca para receber os dados. Contudo, não existe suporte dessa biblioteca para o microcontrolador presente na NodeMCU. Com isso, foi necessário utilizar um Arduino Nano para receber os dados do rádio e enviá-los diretamente para o NodeMCU, através de uma comunicação serial.

O NodeMCU deve se conectar a uma rede local utilizando a autenticação necessária para aquele ponto de acesso, e assim que está conectado, ele se conecta também ao servidor de mensagens MQTT utilizando a biblioteca **ClientPubSub**, utilizando a mesma autenticação configurada previamente. A partir desse momento, o sistema recebe e decodifica as mensagens, e o cliente MQTT publica os dados no tópico específico do próprio sensor e do cliente dono daquele sensor.

5.3 Serviços e Cliente

Para permitir a coleta remota dos dados produzidos pelo hardware, utilizou-se um ecossistema comercial de serviços em nuvem chamado **Heroku**. Nele, um servidor MQTT que pode ser acessado de qualquer local, desde que o cliente esteja conectado à Internet, foi configurado. Isso se demonstrou extremamente conveniente, pois quem envia mensagens para o servidor não precisa estar no mesmo local físico que quem deseja recebê-las.

Para receber os dados que são roteados pelo servidor MQTT, utilizou-se uma máquina física que se inscreve para receber os dados do servidor, os armazena e disponibiliza para visualização. A máquina física, executa um sistema operacional Ubuntu, e utiliza a ferramenta **Docker Compose** para instanciar múltiplos containers Docker. Os containers utilizados são do tipo Telegraf, que se conecta ao servidor MQTT como um cliente que se inscreve para receber as mensagens, as gerencia e envia para o próximo contêiner no *pipeline*, o **InfluxDB**. Ele é um banco de dados específico para armazenamento de séries temporais, e é ideal para aplicações de telemetria. Finalmente, um terceiro contêiner, **Grafana**, disponibiliza por meio de uma autenticação de usuário a configuração de acesso aos dados persistidos no **InfluxDB**, a customização de um painel para visualização dos dados e a criação de outros usuários com acesso aos dados, porém com diferentes permissões.

5.4 Testes Funcionais

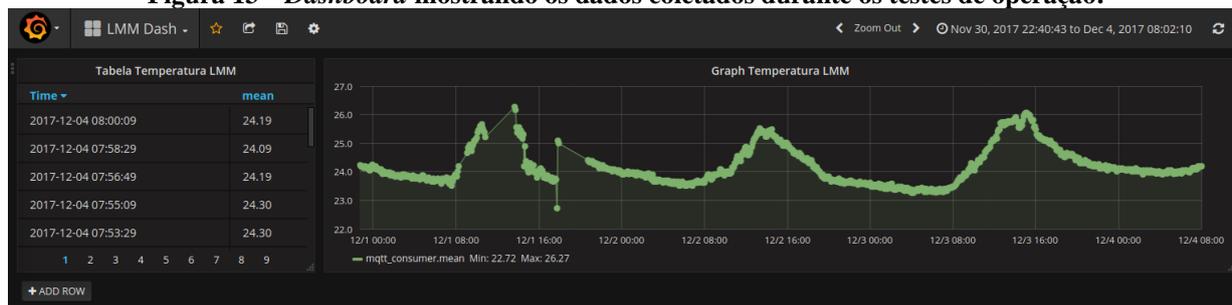
Primeiramente, o alcance do par de rádios FS1000A e XY-MK-5V foi avaliado. Porém, apenas a 3 m em linha de visada já ocorriam transmissões com perda de dados, o que se demonstrou indesejado até mesmo para uma prova de conceito. Como alternativa, antenas helicoidais comerciais foram utilizadas. Com isso, o alcance em linha de visada ultrapassou 15 m.

Num primeiro momento, durante o teste de operação, que simula uma situação real, cada um dos subsistemas foi testado isoladamente, para garantir seu funcionamento. Uma vez que os subsistemas operaram de forma apropriada, a integração dos subsistemas foi feita gradualmente, garantindo que não havia problemas de compatibilidade entre eles.

O cenário de testes final foi então montado em um laboratório de pesquisa e ensino da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), onde o nó sensor foi posicionado próximo ao centro da sala e o *gateway* em um de seus cantos. Em outra extremidade, um computador foi utilizado para gerar um ponto de acesso permitindo ao *gateway* se conectar à Internet; sendo o servidor MQTT configurado na plataforma **Heroku**. Em outro ponto de acesso, fora da UFSC, um *laptop* executando os contêineres de serviços foi preparado e configurado para receber os dados.

Os dados coletados entre os dias 1 até 4 de dezembro de 2017 estão disponíveis na Figura 13, que apresenta um recorte do *dashboard* da ferramenta de visualização. Os trechos do gráfico que não apresentam os pontos referentes a temperatura estão dessa forma por uma queda da conexão com a Internet ocorrida nas instalações do local monitorado. O gráfico não mostra todas as amostras coletadas pelo sistema, mas uma média ponderada dentro dos pontos recebidos em cada intervalo de cinco segundos.

Figura 13 – *Dashboard* mostrando os dados coletados durante os testes de operação.



5.5 Avaliação da Prova de Conceito

Durante os testes, ficou claro que a proposta de arquitetura para o sistema opera de maneira satisfatória. Entretanto, algumas considerações importantes devem ser feitas e levadas em conta no projeto final do produto.

A principal dificuldade encontrada foi a incompatibilidade da biblioteca de comunicação de rádio **RadioHead** com o microcontrolador da plataforma NodeMCU. Assim, é importante estar atento à compatibilidade multiplataforma dos códigos utilizados na versão final. Ainda sobre o rádio, a necessidade de utilizar-se uma antena helicoidal, que não era planejada, demonstra a necessidade da devida atenção em relação ao enlace de comunicação para que esse requisito do projeto possa ser atendido. Possíveis soluções são: a melhoraria da sensibilidade do receptor, a utilização de uma antena de maior ganho, e garantir a equalização entre as antenas do transmissor e receptor. Além de todas essas opções, seria ainda possível aumentar a potência do transmissor, ao custo de reduzir a autonomia do nó sensor.

Além disso, identificou-se que a configuração de múltiplos nós deve ser realizada de forma mais eficiente, pois carregar as configurações dos nós, um por um, via interface cabeada se demonstrou comercialmente inviável. Uma possível alternativa seria utilizar-se um componente óptico (e.g. fototransistor e fotodiodo) para receber informações pela interface de recepção serial de dados (pino de RX) da mesma interface utilizada para enviar dados para o rádio.

6 CONCLUSÕES

O processo de desenvolvimento de produto apresentado nesse artigo visa sintetizar o fluxo de desenvolvimento completo, apresentando o caso específico de um sistema de telemetria e enfatizando a visão de sistema embarcado do produto. Certamente, muitas outras atividades não apresentadas são necessárias até o desenvolvimento de um produto mínimo viável, porém estas foram deixadas fora do escopo deste documento por não se tratar do foco deste trabalho.

Foram apresentados aqui as principais etapas necessárias à etapa de projeção do produto, definindo da arquitetura do sistema, dos subsistemas e dos módulos que compõem cada um deles, sempre que possível, justificando as decisões de projeto com base nos conhecimentos da literatura específica e das disponibilidades comerciais.

Levando em conta a complexidade do desenvolvimento de um produto a nível de sistema, acredita-se que este trabalho foi capaz de tratar de forma técnica, direta e sucinta cada uma das etapas de projeto. Deste modo, acredita-se que este artigo sirva como um exemplo de ponto de partida para desenvolvimento de produtos de sistemas telemetria com grande ênfase em sistemas embarcados.

REFERÊNCIAS

- ABAD, E; PALACIO, F; NUIN, M; GONZALES, A; JUARROS, A; GOMEZ, J; MARCO, S. RFID smart tag for traceability and cold chain monitoring of foods: Demonstration in an intercontinental fresh fish logistic chain, **Journal of Food Engineering**, v. 93, n. 4, pp. 394-399, 2009.
- ALBUS, Z; VALENZUELA, A; BUCCIN M. **Ultra-Low Power Comparison: MSP430 vs. Microchip XLP Tech Brief**, Tech. Rep., 2009.
- BACK, N; OGLIARI, A; DIAS, A; SILVA, J. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. São Paulo: Manole, 2008.
- BAJPAI, A; SHARMA, K. **Cold Chain Tracking and Monitoring Market by System (Hardware and Software), by Solution (Storage and Transportation), and End User (Healthcare, Food & Beverage, Chemical, and Others) - Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2014-2022**. Disponível em: <<https://www.alliedmarketresearch.com/cold-chain-tracking-and-monitoring-market>>. Acesso em: 6. fev. 2018.
- BRASIL. RDC N° 44, de 17 de agosto de 2009. **Boas Práticas Farmacêuticas para o controle sanitário do funcionamento, da dispensação e da comercialização de produtos e da prestação de serviços farmacêuticos em farmácias e drogarias**. Órgão emissor: ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. 2009.
- BRASIL. RDC N° 55, de 16 de dezembro de 2010. **Registro de produtos biológicos novos e produtos biológicos e dá outras providências**. Órgão emissor: ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. 2010.

BRASIL. Programa Indústria 4.0 receberá mais incentivos no Brasil. Disponível em:

<<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2017/09/programa-industria-4-0-recebera-mais-incentivos-no-brasil>>. Acesso em: 6. fev. 2018.

CARULLO, A; CORBELLINI, S; PARVIS, M; VALLAN, A. A Wireless Sensor Network for Cold-Chain Monitoring. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, v. 58, n.5, pp. 1405–1411, 2009.

EXAME. O Brasil está pronto para a indústria 4.0?. Disponível em:

<<https://exame.abril.com.br/tecnologia/o-brasil-esta-pronto-para-a-industria-4-0/>>. Acesso em: 6. fev. 2018.

LORITE, G; SELKALA, T; SIPOLA, T; PALENZUELA, J; JUBETE, E; VINUALES, A; CABANERO, G; GRANDE, H; TUOMINEN, J; UUSITALO, J; HAKALAHTI, L; KORDAS, K; TOTH, G. Novel, smart and RFID assisted critical temperature indicator for supply chain monitoring, *Journal of Food Engineering*, v. 193, p. 20–28, 2017.

MARKETS AND MARKETS. Cold Chain Monitoring Market by Component (Hardware: Data Loggers & Sensors, RFID Devices, Telemetry & Telematics, Networking Devices, and Software), Logistics (Storage, and Transportation), Application, and Geography - Global Forecast to 2022.

Disponível em: <<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/cold-chain-monitoring-market-161738480.html>>. Acesso em: 6. fev. 2018.

MERCIER, S; VILLENEUVE, S; MONDOR, M; UYSAL, I. Time–Temperature Management Along the Food Cold Chain: A Review of Recent Developments. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 16: p. 647–667, 2017. doi:10.1111/1541-4337.12269.

PEQUENAS EMPRESAS & GRANDES NEGÓCIOS. Só 48% das indústrias brasileiras são '4.0', diz CNI. Disponível em: <<http://revistapegn.globo.com/Empreendedorismo/noticia/2016/05/so-48-das-industrias-brasileiras-sao-40-diz-cni.html>>. Acesso em: 6. fev. 2018.

PEQUENAS EMPRESAS & GRANDES NEGÓCIOS. Fórmula para ter sucesso. Disponível em:

<http://revistapegn.globo.com/EditoraGlobo/componentes/article/edg_article_print/0,3916,451610-2497-3,00.html>. Acesso em: 6. fev. 2018.

TOLLEFSON, J. **Power consumption in PIC MCUs with XLP technology vs. TI'S MSP430.**, Tech. Rep., 2014.



DISPOSITIVO PARA COLETA REMOTA DE DADOS DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Wilson Daniel Peres de Oliveira¹, Joabel Moia²

Resumo: Este documento aborda o desenvolvimento de um dispositivo para aquisição de informações de corrente e tensão, de dispositivos eletroeletrônicos, com a finalidade de verificar o consumo de energia elétrica. O produto é composto por dois módulos: Um primeiro módulo com a função de obter a corrente drenada pela carga e a tensão aplicada nesta, em um dado instante, com o intuito de calcular o consumo de energia. Um segundo módulo tendo a função centralizadora de receber esses dados e calcular o consumo, disponibilizando essas informações em forma de serviço, permitindo que seja acessada remotamente através de várias plataformas, como por exemplo, o móvel, de forma ágil e rápida.

Palavras-chave: Gestão de consumo de energia. Internet das coisas. Aquisição de dados. Microcontroladores.

Abstract: This document discusses the development of a device for acquiring information of current and voltage, of electrical and electronic devices, in order to verify the consumption of electric energy. The product consists of two modules: A first module with the function of obtaining the current drained by the load and the voltage applied to it, at a given instant, in order to calculate the energy consumption. A second module having the centralizing function of receiving this data and calculating the consumption, making this information available as a service, allowing it to be accessed remotely through various platforms, such as the mobile, in a fast and agile way.

Keywords: Energy consumption management. Internet of things. Data acquisition. Microcontrollers.

¹ Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, IFSC/Florianópolis <wilson.dp.oliveira@gmail.com>.

² Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <joabel.moia@ifsc.edu.br>.

1 INTRODUÇÃO

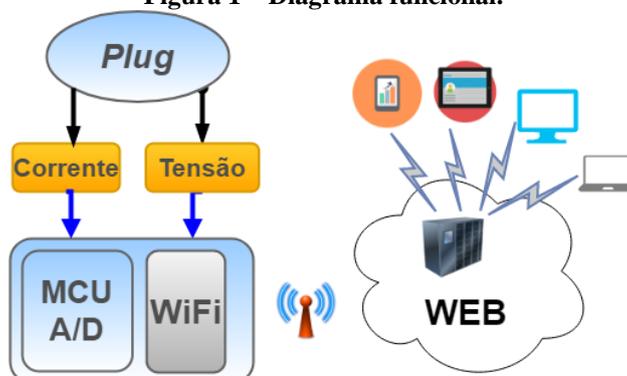
Em um mercado onde o consumo de energia elétrica vem aumentando a cada dia e, sendo seu custo da produção repassado diretamente ao consumidor final, segundo ANEEL (ANEEL, 2017a), torna-se necessária a adoção de ferramentas de gerenciamento de consumo energético. Além disso, o método atual de gestão do consumo é pouco ativo, dado que é feito apenas a cada faturamento da energia consumida.

Pretende-se, com este trabalho, o desenvolvimento de um dispositivo funcional para coleta de dados de consumo de energia elétrica, individualmente de equipamentos eletroeletrônicos, a fim de auxiliar na identificação de possíveis pontos de consumo elevado, buscando o aumento da eficiência energética e a redução de gastos com energia. Neste sentido, o usuário final pode utilizar essas informações para identificar qual equipamento em sua residência, está consumindo energia de forma exagerada, e atuar de maneira preventiva, antes do fechamento da fatura, reduzindo assim o valor a ser pago e aumentando a eficiência.

O equipamento será capaz de coletar amostras de consumo de uma carga ligado a ele e manter esses dados para processamento e tomada de decisão. Para isso será criado um módulo que fará a coleta dos dados de consumo através de sensores e se comunicará via protocolo Wi-Fi com outro módulo, na nuvem, com a tarefa de coordenar o recebimento dos dados coletados, manter as informações levantadas e disponibilizar estes dados aos usuários. Esse trabalho se diferencia das demais versões disponíveis comercialmente por possibilitar o envio dos dados para processamento externo, o que permite uma melhor flexibilidade quanto a metodologias ou equipamentos para o processamento deste tipo de informação.

O produto consiste em dois módulos distintos, sendo apresentado pelo diagrama funcional da Figura 1, onde se observa mais à esquerda o bloco de aquisição e comunicação com o *plug* ao qual será ligada a carga a ser medido pelos respectivos sensores. Ainda nessa parte apresenta em bloco o microcontrolador (MCU) responsável pelas leituras dos sensores e a comunicação com o exterior (Wi-Fi). No lado direito apresenta-se o módulo externo (nuvem) que será responsável pelo processamento dos dados.

Figura 1 – Diagrama funcional.



Foram analisados vários meios de transmissão que pudessem ser utilizados para envio dos dados do coletor para seu processamento e apresentação externo, porém se optou pelo Wi-Fi pela praticidade de configuração e operação além de utilizar rede de transmissão de dados bastante difundida e consolidada.

Quanto à metodologia utilizada para definição do produto optou-se pelo método de Pahl e Beitz (1996) que visa distribuir a concepção do projeto em etapas. Já para a definição dos requisitos do projeto optou-se pela técnica *benchmarking* descrita por Carpes Jr. (2014), onde se verificou os produtos disponíveis no mercado, extraindo-se destes as características comuns imprescindíveis ao novo produto além de nortear a implementação de novas funcionalidades não encontradas nestes.

Todo o desenvolvimento deste produto foi apoiado no estudo da situação brasileira atual no que diz respeito ao processo de tarifação de energia elétrica e ainda em estudos sobre a importância do conhecimento das pessoas sobre o seu real consumo de energia através da utilização de IHDs (do inglês *In-Home Displays*) como forma de disponibilizar informação aos usuários.

1.1 Problemática

O atual método de gestão de energia utilizado pelas concessionárias não permite uma supervisão de maneira eficiente quanto ao uso da energia elétrica no ambiente residencial, antes do recebimento da fatura, dificultando alguma ação que vise reduzir o consumo.

Além disso, a fatura emitida pela distribuidora considera o consumo de todas as cargas do ambiente, de forma global, não permitindo identificar qual equipamento carece de atenção.

Com a utilização de equipamentos adequados que permitam uma aquisição de forma correta e segura das grandezas elétricas envolvidas no funcionamento de equipamentos eletroeletrônicos, seria possível se antecipar ao processo de faturamento com ações preventivas.

Existem no mercado soluções desse gênero, porém, os equipamentos comerciais disponíveis são de difícil utilização, não são portáteis ou ainda, muitos deles se apresentam na forma de *displays* acoplados a *plugs* que, apesar de executarem muitas funções, não permitem uma coleta, armazenamento e processamento sistemático, como é o caso do modelo EG-SSM-01, fabricante ENERGENIE. Ainda, existe um dos poucos modelos nacionais, como o ECONOPLUG, fabricante ONELETRONICOS (ONELETRONICOS, 2018) que, segundo o fabricante, disponibiliza ao equipamento ligado a ele, apenas a energia necessária para o seu funcionamento. Este dispositivo não realiza uma captura de informações de consumo, e sim, efetiva uma redução no consumo, também segundo o fabricante.

Além da necessidade de controle de gastos, identificaram-se alguns pontos-chaves os quais o produto deste trabalho mostra ser aderente às necessidades de mercado:

- **Produto nacional:** Um dos poucos produtos de produção nacional com a função de coleta de dados de consumo de equipamentos individuais, podendo competir com outras soluções importadas.
- **Facilidade de instalação:** Estes módulos poderão ser facilmente instalados sem a necessidade de conhecimentos técnicos ou ainda a intervenção invasiva, por se tratar de um dispositivo que se conecta diretamente à tomada.

- **Escalabilidade:** Módulos coletores individuais por carga a ser medida, permitem que o sistema seja expandido com facilidade, e adaptado a diferentes ambientes que possuam acesso a rede Wi-Fi.
- **Coleta de diversas grandezas:** A arquitetura utilizada na confecção deste dispositivo permite além da coleta de dados de consumo, a adaptação futura para integrar outros sensores com o intuito de medir, por exemplo, qualidade do ar, temperatura de uma área para dimensionar o uso de ar-condicionado etc.

2 METODOLOGIA

No desenvolvimento deste projeto optou-se pela metodologia definida segundo Pahl e Beitz (1996) onde se têm quatro fases distintas que são descritas segundo Carpes Jr. (2014):

- **Informacional:** Visa identificar e analisar as necessidades de consumo, descrever a ideia do produto e determinar os requisitos e especificações do projeto, tendo como saída uma lista de especificações.
- **Conceitual:** Objetiva gerar os princípios/conceitos de solução viável para o produto. São elaborados os princípios alternativos para a solução, utilizando técnicas de criatividade.
- **Preliminar:** Busca determinar a configuração do produto, através dos princípios de solução encontrados. Tem como função nortear o cumprimento das especificações, mantendo a ideia de desenvolver um produto simples e claro em sua essência.
- **Detalhado:** Tem a função de gerar documentação capaz de permitir a produção do produto. Inclui informações sobre configuração do produto, dimensões e tolerância de componentes, seleção de materiais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Tarifação no Brasil

Atualmente a energia elétrica disponível e condicionada para consumo passa por um longo processo que envolve geração, transmissão e distribuição, além da emergente geração distribuída por meio de painéis fotovoltaicos, geração eólica, entre outras. Tudo isso requer organização, cumprimento de regras, normas e contratos, envolvendo governos e empresas com o intuito de atender o consumidor final com qualidade.

Assim, no Brasil, uma parcela grande da organização de ordem técnica e estrutural é realizada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que procura cumprir o dever de coordenar tudo o que está contido ou diz respeito à disponibilidade deste serviço.

A tarifação da energia elétrica consumida busca garantir às empresas que a produzem ou distribuem valores suficientes para manter os custos operacionais e permitir investimentos necessários à expansão da capacidade com qualidade.

Para atender com sua obrigação contratada de suprir com energia a totalidade do mercado a ela designada, a distribuidora repassa aos consumidores em geral, mensalmente, um valor faturado de energia composta por três partes segundo ANEEL (ANEEL, 2017a):

- Parcela A: Compra da energia gerada, transmissão e encargos setoriais;
- Parcela B: Despesas com distribuição;
- Tributos Federais, Estaduais e Municipais.

Segundo a ANEEL (ANEEL, 2017a), na “Parcela A”, consta “Compra de energia”, que é a adoção pela distribuidora, de uma das diversas modalidades de aquisição da energia gerada e disponibilizada para comercialização.

Para fins de cálculo tarifário, a “Parcela B” é composta de Custos Operacionais (atividades de operação, manutenção, tarefas comerciais e administrativas, como os custos com leitura e entrega de faturas, vistoria de unidades consumidoras, podas de árvores, operação de subestações, combate às perdas, administração e contabilidade) (ANEEL, 2017b), só para citar algumas.

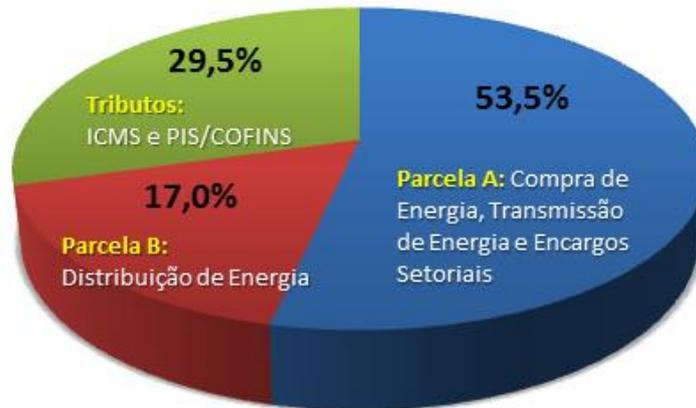
Dentre os tributos cobrados pelos governos estão PIS/COFINS, o ICMS e a Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública. A Figura 2 apresenta os percentuais que compõem o valor da energia elétrica no Brasil.

3.2 Bandeiras Tarifárias

Diferente dos demais países do mundo, no Brasil optou-se pela massiva utilização do potencial hídrico existente para produção de energia elétrica. Porém, as constantes secas e condições climáticas de difícil

previsão acabam por proporcionar uma queda no rendimento das hidroelétricas devido a diminuição nos reservatórios ou ainda no fluxo de água nos rios.

Figura 2 – Composição do preço da energia elétrica (ANEEL, 2017a).



Quando esses fatos ocorrem, a contrapartida adotada é o aumento no uso de usinas termelétricas para compensar a queda na produção e manter a disponibilidade de energia. Porém essa é uma energia tipicamente mais cara que a fonte hídrica, e o custo excedente para a produção de energia é repassado ao consumidor pela adoção do Sistema de Bandeiras Tarifárias (ANEEL, 2017c) onde é feita uma alusão ao sistema de semáforos utilizado no trânsito, onde:

- **Bandeira verde:** condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não sofre nenhum acréscimo;
- **Bandeira amarela:** condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,020 para cada quilowatt-hora (kWh) consumido;
- **Bandeira vermelha – Patamar 1:** condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,030 para cada quilowatt-hora (kWh) consumido.
- **Bandeira vermelha – Patamar 2:** condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,035 para cada quilowatt-hora (kWh) consumido.

A exceção é o estado de Roraima que não pertence ao Sistema Interligado Nacional (ONS, 2017).

3.3 Tarifa Branca

Como já adotado em outras partes do mundo, a regra de tarifação conhecida como “Tarifa Branca” (ANEEL, 2018) que pretende ser uma alternativa que permita aos consumidores ter sua variação do valor da energia conforme o dia e o horário do consumo. Para isso os valores podem variar em três horários do dia que são “ponta”, “intermediário” e “fora de ponta”. Durante o período de “ponta” e “intermediário” a energia terá maior valor devido a demanda. Quando for “fora de ponta”, haverá uma consequente diminuição de valores. Haverá também diferenciação quanto a dias normais, feriados e fins de semana. Durante os fins de semana e feriados nacionais, o valor sempre será “fora de ponta”.

3.4 Aspectos sociais e mercadológicos

Considerada um bem imprescindível para o mundo moderno, seja do ponto de vista pessoal na questão do uso de bens de consumo eletroeletrônicos, seja no âmbito coletivo, como fonte de energia que impulsiona a sociedade, o uso da energia elétrica deve ser tratado com parcimônia. Isto, pois sua geração utiliza muitos recursos naturais, devendo ser mais bem aproveitada em todos os setores.

3.4.1 Impacto social do uso consciente da energia elétrica

Alguns estudos como em Faruqui (2010), indicam que o uso de IHDs como forma de disponibilizar informação aos usuários domésticos, pode promover uma mudança de atitude quanto ao consumo de energia sendo possível uma redução no gasto em torno de 5 a 20%.

Faruqui (2010) relata que a revolução digital recente, traz novos dispositivos sendo introduzidos no mercado a cada dia, que possibilitam aos consumidores saber para onde sua energia está indo. Sabendo disso, poderiam controlar melhor seu uso, baixar o valor gasto com energia elétrica e ainda ajudar a reduzir a emissão de carbono.

O uso de IHDs é incentivado em alguns locais do mundo, seja por governos ou mesmo pelas concessionárias de energia, sendo vistos, mesmo que em menor escala, como dispositivos de uso rotineiro.

Como meio de informar ao consumidor seu consumo de energia existe o método conhecido como “*feedback* indireto” que acontece via faturamento e cobrança mensal, realizado pelas distribuidoras. Em contrapartida existe o “*feedback* direto” que considera o consumo da residência como um todo, tanto na forma de valores quanto em quantidade consumida em unidades de energia (kWh). O *feedback* direto vem ao encontro do conceito de *smart grid*, IoT (*Internet of Things*) e *smart home*, ajuda a transformar a estática e complicada fatura de energia em um processo transparente, dinâmico e controlável.

O estudo descrito em Faruqui (2010) informa ainda que a diminuição no consumo de energia elétrica beneficia não somente consumidores que, obtém vantagens financeiras através da diminuição do valor pago da fatura, mas também as concessionárias que contribuem para uma diminuição na emissão de carbono e ainda diminuem a necessidade de investimentos em aumento da capacidade de transmissão e distribuição.

Concluiu-se com isso que o *feedback* direto desempenha o papel principal na conscientização das pessoas quanto ao consumo de energia, podendo gerar economias na ordem de 10%, conforme Darby (2001). O ganho maior, porém, está no aprendizado que pode impactar diretamente no estilo de vida das pessoas.

3.4.2 Faz sentido confrontar a distribuidora?

Essa pergunta vem à mente quando se depara com valores faturados que se acredita não condizer com a realidade, podendo ser fruto de métodos falhos de aquisição de dados, pelo fato dessa coleta ser na maioria das vezes executada manualmente por um operador, problemas de ordem técnica na instalação elétrica do imóvel ou ainda algum outro fator. A solução seria partir para algum processo de auditoria que posso dirimir essa dúvida.

No Brasil, a ANEEL, através da Resolução Normativa nº 414/2010 (ANEEL, 2010), define que o cliente das distribuidoras tem o direito de solicitar a aferição do seu medidor de energia elétrica, o que deve ser realizado num prazo de 30 dias. Caso não seja constatada nenhuma irregularidade, o cliente poderá ainda solicitar que o medidor seja inspecionado por algum órgão metrológico, sendo passível a partir de então, a cobrança de custas por frete e procedimento de aferição. Ainda nesse ponto, se for constatada irregularidade que excedam os limites estabelecidos, as custas ficam a cargo da distribuidora, caso contrário, quem paga é o cliente.

Esse processo pode ser longo e tedioso. Mas então: pode haver alguma forma de auditoria via meios próprios do cliente?

Neste ponto, os equipamentos que forneçam *feedback* de consumo podem entrar em ação, como já mencionado em Darby (2001):

- Agilizando as análises;
- Ao tempo do cliente;
- Geram dados que podem ser usados pelos indivíduos que ocupam o local, como forma de incentivo à mudança de hábitos.

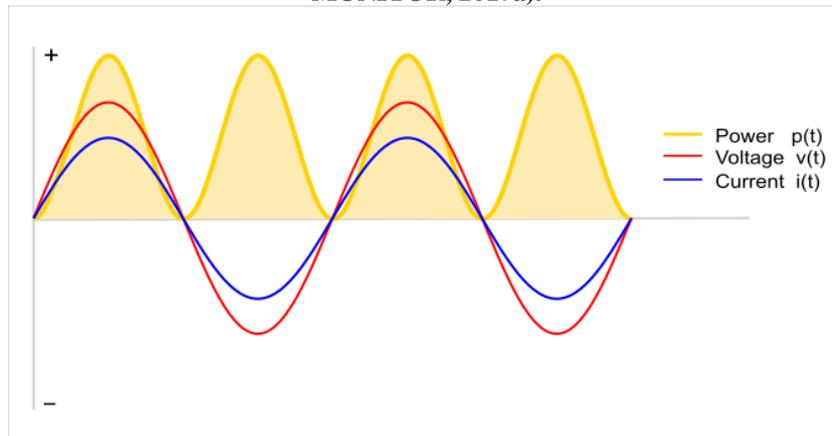
Por outro lado, caso se constate algo substancial, pode ser que as distribuidoras não aceitam essa informação imediatamente, podendo haver contestação e exigência de certificação do equipamento usado na análise ou ainda pelo fato de não haver ainda na legislação brasileira, alguma regulamentação que aceite esse tipo de contrapartida técnica.

3.5 O cálculo de consumo

Quando se pensa no consumo de energia elétrica de equipamentos eletroeletrônicos, antes de tudo, é preciso identificar as grandezas envolvidas e sua relação. Conforme Open Energy Monitor (2017a), os equipamentos eletrônicos têm sua interação com a rede elétrica de formas diferentes, sendo comumente categorizados segundo ao uso da energia em:

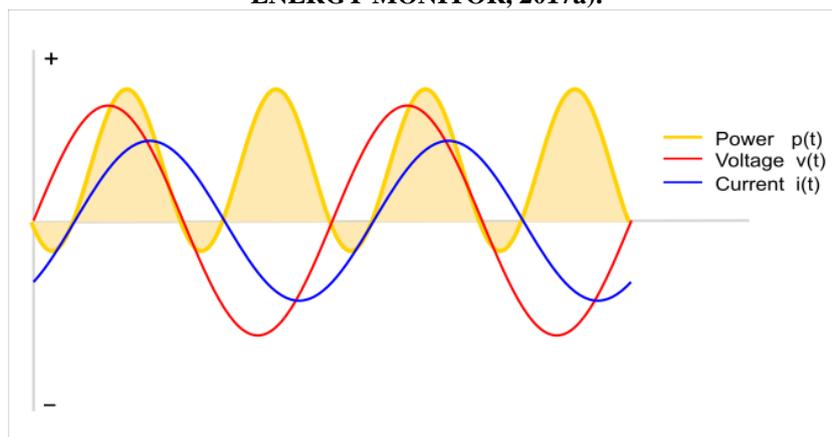
- **Cargas resistivas:** São as lâmpadas incandescentes, ferro de passar roupa, chuveiro, chaleiras, fornos etc. Têm por característica consumir toda a energia que lhes for disponível, transformando-a geralmente em calor. A Figura 3 demonstra que para esse tipo de carga, a potência instantânea é sempre positiva e igual ao produto da tensão pela corrente drenada.

Figura 3 – Relações de tensão e corrente em uma carga resistiva (OPEN ENERGY MONITOR, 2017a).



- **Cargas parcialmente reativas:** Entre estas podem ser citadas as máquinas com motores elétricos, equipamentos de solda, entre outros, tendo a principal característica possuírem além da carga resistiva, elementos indutivos/capacitivos. Neste caso, como demonstrado na Figura 4, a potência é hora absorvida pela carga, hora expelida, pois o elemento indutivo deve ser “carregado lentamente” enquanto a tensão sobe e quando a tensão do sistema diminui (sendo menor que aquela mantida pelo indutor), a corrente tende a “voltar” do indutor para o sistema.

Figura 4 – Relações de tensão e corrente em uma carga parcialmente reativa (OPEN ENERGY MONITOR, 2017a).



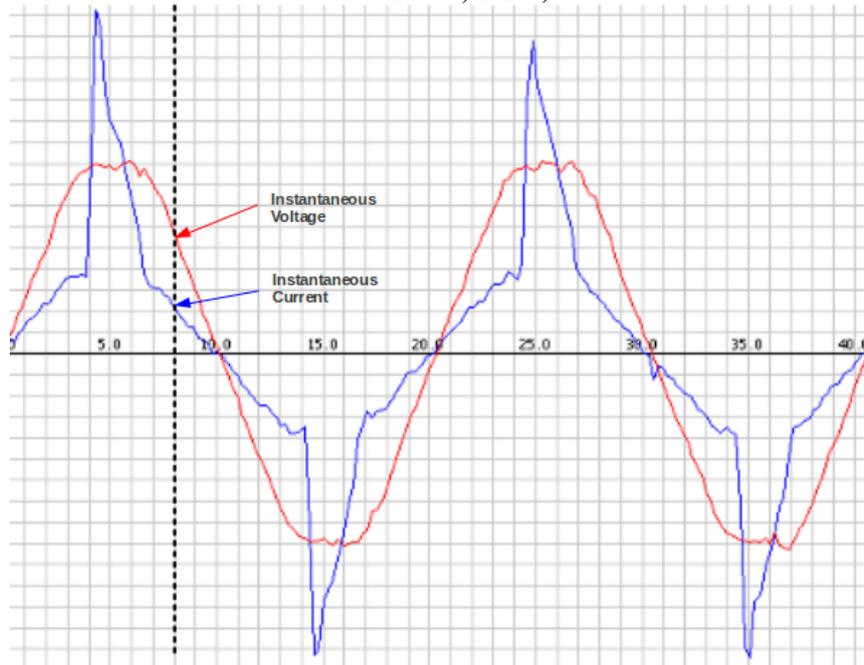
- **Cargas não-lineares:** São dispositivos que distorcem a forma de onda da corrente/tensão, pois fazem uso de elementos operando em região não linear, caso dos semicondutores. Estas cargas processam a eletricidade de forma a condicionar a energia para uma utilidade específica. Os exemplos mais comuns são fontes chaveadas, conversores/inversores de frequência, retificadores a filtro capacitivo sem correção do fator de potência etc. Uma representação da forma de onda nestes casos é mostrada na Figura 5.

Considera-se potência ativa a quantidade de energia que é capaz de gerar trabalho, e a energia elétrica em residências e comércio é dada pela potência ativa por um determinado tempo.

Para o cálculo de consumo, deve-se considerar que a tensão e a corrente aplicada na carga, na frequência de 60 Hz, onde é preciso adquirir seus valores de tempos em tempos. Essa aquisição permite calcular a potência instantânea, e ainda, gerar uma média destas potências instantâneas para ter o valor da potência ativa (real).

Ainda, existe certa quantidade de potência que não produz trabalho, geralmente existente nas cargas totalmente ou parcialmente reativas onde existem elementos indutivos e/ou capacitivos que ocorre troca de energia com a rede elétrica. Nesse caso tem-se a potência reativa. Por fim, existe uma parcela de potência reativa oriunda das harmônicas geradas nas correntes das cargas não lineares.

Figura 5 – Forma de onda representativa de cargas não-lineares (OPEN ENERGY MONITOR, 2017a).



4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DO PRODUTO

As quatro fases do projeto são descritas a seguir:

4.1 Projeto Informacional

Esta etapa utiliza alguns métodos a fim de identificar as necessidades do público-alvo e procura ainda a descrever ideia na qual o produto está fundamentado a fim de elaborar uma lista com os requisitos do projeto.

4.1.1 Percepção das necessidades do consumidor

A aplicação do método de Carpes Jr. (1995) permite ter uma percepção antecipada da necessidade do consumidor, possibilitando ser suprida pelo novo produto. Aplicadas as oito etapas, segue o resultado:

- **Definição do caso a ser estudado:** Oferta de um dispositivo que colete informações de consumo de energia elétrica, de uma carga ligada a ele, para melhor controle do consumo energético.
- **Definição do mercado de atuação:** O dispositivo se destina à operação em ambiente residencial. Futuramente, a mesma arquitetura poderá ser utilizada no sensoriamento de outras grandezas e em diferentes ambientes.
- **Definição dos clientes:** Através da técnica de *brainstorming*, identificou a necessidade de um equipamento visando o mercado de consumidores de energia no ambiente residencial que se preocupam com seu gasto com energia elétrica.
- **Coleta de informações:** Sendo um bem indispensável que além de tudo, demanda muitos recursos para sua produção, identificou-se uma tendência crescente de ter seu consumo monitorado, inclusive e especialmente na situação brasileira atual onde existem taxas extras que incidem sobre a energia elétrica e que estão relacionadas com o modelo de produção adotado no país.
- **Pesquisa e avaliação das mudanças ocorridas:** Em pesquisa em sites de compra, verificaram-se no mercado brasileiro, muitas opções de equipamentos com essa finalidade, na sua imensa maioria importados, porém que não permitem uma coleta sistemática destes dados de consumo.
- **Pesquisa e avaliação das alterações percebidas:** No Brasil, a disponibilidade de energia pode variar devido a fatores climáticos, e por isso sofre sobretaxas que impactam diretamente o consumidor final.
- **Concepção e avaliação das formas de adaptação:** Utilização de um dispositivo para coleta de dados de consumo por equipamento, em ambientes residenciais, permite identificar quais equipamentos oneram mais a conta de energia.
- **Concepção e avaliação das ideias de produto:** É desejável que o produto seja de fácil instalação, permitindo trocar de tomada e assim medir o consumo de diferentes equipamentos caseiros. É

importante também verificar esses dados sistematicamente, armazenando-os a fim de comparação ao longo do tempo.

4.1.2 Descrição da ideia de produto

A ideia é que este novo produto de produção nacional, seja aderente ao mercado, suprimindo às necessidades que os concorrentes não estão oferecendo.

Considerando as características de produtos similares, constatou-se que o novo produto deve ser de fácil configuração e instalação, sendo conectado entre a tomada e a carga, efetuar a coleta e envio dos dados para processamento, armazenamento e visualização em dispositivos móveis ou microcomputadores.

4.1.3 Requisitos de projeto

Para o levantamento dos requisitos foi utilizado o método de *benchmarking*, conforme Carpes Jr. (2014), que se baseia na análise de produtos similares ou concorrentes, com o objetivo de identificar pontos positivos e relacionar as melhores características encontradas, aos requisitos. Este método mostrou que dentre os concorrentes analisados, a esmagadora maioria à venda no Brasil, é importado.

A Tabela 1 apresenta alguns dispositivos pesquisados, evidenciando algumas semelhanças presentes em praticamente todos os modelos. São conhecidos como *energy cost plugs* ou “*plugs* de custo da energia”, apresentando basicamente um *plug* onde é conectada a carga que se pretende medir.

Tabela 1 – Comparativo entre concorrentes.

Produto	Tipo	Características	Armazenamento	Transmissão
Medidor de Consumo de Energia JD20-IO2	Comercial Nacional	Display: 7 dígitos; 1 tomada; Corrente Nominal: 80 A; Invasivo; Mostra apenas consumo em kWh; Uso comercial, residencial e industrial;	Interno	Emissão pulsos
Micro Power Monitor GM86	Comercial Importado	Display: 7 dígitos; 1 tomada; Corrente Nominal: 10 A; Não Invasivo;	Interno	n/a
Kill A Watt - P4400	Comercial Importado	Display: 7 dígitos; 1 tomada; Corrente Nominal: 15 A; Não Invasivo;	Interno	n/a
Kill A Watt PS-10 - P4330	Comercial Importado	Display: 2,8"; 10 tomadas; Corrente Nominal: 15 A; Não Invasivo;	Interno	n/a
EG-SSM-01	Comercial Importado	Display: 2,8"; 1 tomadas; Corrente Nominal: 16 A; Não Invasivo;	Interno	n/a
EmonPI	Open Source	Display: 12x2 seg; Conecta 2 TCs; Não Invasivo; Suporta Sensor de Temperatura	Interno/Externo	Wi-Fi/Ethernet
EmonTX	Open Source	Sem display; Conecta 4 TCs; Não Invasivo; Suporta Sensor de Pulso Ótico/Temperatura	n/a	Radio 433 MHz

Também é possível verificar que poucos apresentam a característica de armazenamento de dados coletados, para processamento e extração de informações úteis, sendo que a maioria disponibiliza apenas os dados em display e os armazena internamente.

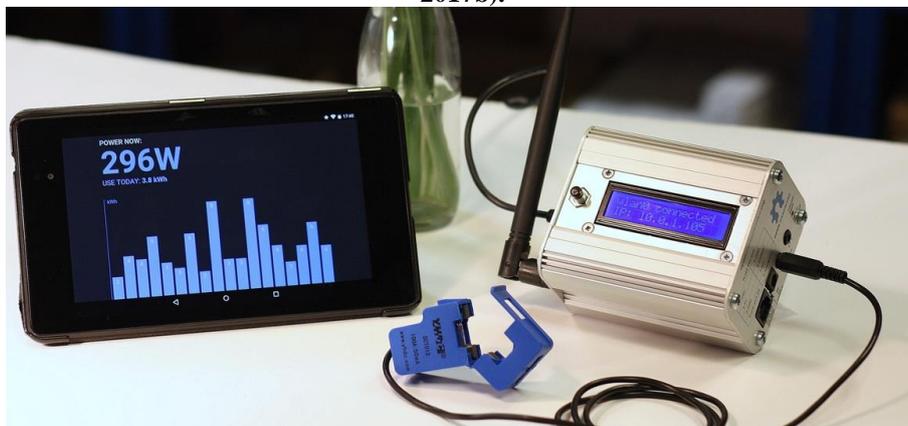
A Figura 6 apresenta um exemplo de dispositivo disponível no mercado, o EG-SSM-01 (ENERGENIE) como descrito acima, com *display* mostrando o tempo em uso e a potência consumida.

Figura 6 – Exemplo de equipamento (EG-SSM-01) disponível no mercado (ENERGENIE, 2017).



Os sistemas do tipo *open source* crescem a cada dia, impulsionados por novas tecnologias e por outro movimento forte conhecido como “faça você mesmo” (do inglês, *do it yourself*) ou simplesmente DIY, destaca-se o Open Energy Monitor (OPEN ENERGY MONITOR, 2017b) que é composto de vários módulos com o objetivo de monitorar energia, umidade e temperatura. Tal produto disponibiliza módulos isolados, responsáveis pela conexão dos sensores, envio de dados via rádio, além de um sistema Web para visualização de toda essa informação. A Figura 7 mostra o módulo de aquisição conhecido como EmonPI, que é disponibilizado pronto, para compra ou em forma de projeto *open source*.

Figura 7 – Exemplo de equipamento *open source* (OPEN ENERGY MONITOR, 2017b).



Sendo assim os requisitos principais levantados foram:

- a) Disponibilidade de *plug* para conexão da carga a ser medida;
- b) Possibilitar o monitoramento de cargas com corrente nominal compatível com os equipamentos residenciais mais comuns, em torno de 20 A;
- c) Calcular e disponibilizar informações de potência real, potência aparente, fator de potência e tempo em uso;
- d) Exportar os dados coletados para armazenamento, processamento e visualização;
- e) Permitir armazenamento das aquisições ao longo do tempo possibilitando a comparação (histórico de consumo);
- f) Apresentar os dados processados de forma fácil e direta aos clientes através de interface amigável por dispositivos móveis ou microcomputadores.

4.2 Projeto Conceitual

Com o objetivo de gerar soluções viáveis para o desenvolvimento do produto, os requisitos levantados na etapa anterior são analisados a fim de definir melhor o produto segundo sua forma de utilização e funcionamento, conforme Carpes Jr. (2014).

Porém foi necessária a adoção de uma ferramenta mais específica como o diagrama de síntese de funções, descrito por Pahl e Beitz (1996), com o objetivo de definir a função principal do produto. Essa função principal, então, pode ser subdividida a fim de identificar as funcionalidades básicas que serão executadas por cada bloco e comporão o produto. A estrutura funcional deste produto é mostrada na Figura 8 e divide hierarquicamente o produto, possibilitando enfatizar cada função e assim facilitar a busca por alternativas viáveis no desenvolvimento de cada parte.

Figura 8 – Diagrama de Síntese de Funções.



4.2.1 Especificação do ambiente externo de operação

O módulo coletor será instalado prioritariamente em um invólucro com um *plug* tipo N (IEC 2018), o qual conecta o produto à tomada e um soquete do mesmo padrão onde se conecta carga a ser medida.

4.2.2 Especificação das entradas e saídas do sistema

A Tabela 2 apresenta os artefatos de entrada e saída necessários ao sistema implementado pelo produto proposto. Assim sendo foram verificadas alternativas viáveis para cada subfunção do produto, que serão descritas a seguir.

Tabela 2 – Entradas e saídas do sistema proposto.

Módulo	Tipo	Entradas	Saídas
Aquisição	Medição de Corrente	Sensor de corrente de efeito hall ACS723	Retorno da informação medida de corrente e o momento em que ocorreu para cálculo da potência instantânea.
Aquisição	Medição de Tensão	Circuito condicionador de tensão com divisor resistivo e ampop	Retorno da informação medida de tensão e o momento em que ocorreu, para os cálculos de potência instantânea.
Web	Interfaceamento	Comunicação com os módulos coletores através de <i>webservice</i>	Persistência dos dados
Web	Processamento	Utilização dos dados históricos armazenados para calcular o consumo de energia	Disponibiliza os dados históricos de medição para consulta via <i>webservice</i> ou página HTML específica

Sensoriamento

Conforme visto em Petry (2014), para a medição da tensão é necessário reduzir dos 127/220 V eficaz nominais da rede elétrica para um nível em adequado ao circuito A/D do microcontrolador a ser utilizado. Para isso existem várias possibilidades, componentes e técnicas onde se podem citar a utilização de sensores que implementam essa funcionalidade, transformadores associados a retificadores com diodos, dentre outras. A opção escolhida para esse equipamento foi a confecção de um circuito baseado em amplificador operacional e resistores, o qual permite que seja implementado um circuito de baixo custo, com tamanho reduzido, comparado ao uso de transformador, que evita as quedas de tensão típicas, sem o uso de retificadores de precisão no circuito desejado.

Quanto à aquisição de corrente consumida, as possibilidades levantadas foram a utilização de transformador de corrente que é um dispositivo que reproduz no seu circuito secundário, uma amostra da corrente que circula no enrolamento primário. A outra opção é o uso de um circuito integrado capaz de medir a corrente pelo efeito Hall, onde a corrente que flui através de um condutor de cobre, gera um campo magnético que é convertido em uma tensão proporcional (ALLEGRO MICROSYSTEMS, 2018). A opção escolhida para esse produto foi o componente ACS723 da Allegro Microsystems, pelas características de tamanho reduzido, precisão e cobertura de uma grande faixa de medição de corrente (considerando-se sua capacidade de 40 A) necessária ao requisito de uso residencial.

Processamento e comunicação

Um dos requisitos do produto é o envio dos dados coletados, para processamento externo. Porém, antes disso, é preciso algum microcontrolador para comandar o processo de amostragem, gerenciamento dos sensores e empacotamento dos dados para envio, e outro componente ou circuito para o envio desses dados. Existem atualmente muitas tecnologias para o envio de dados, entre elas o protocolo IEEE 802.15.1 (Bluetooth), radiofrequência operando a 2,4 GHz, protocolo IEEE 802.11x (Wi-Fi) ou ainda o IEEE 802.15.4 (ZigBee). Entre os microcontroladores verificados, optou-se pelo microcontrolador ESP8266 da Expressif com excelente capacidade de processamento, a um baixo custo e ainda já implementa o protocolo IEEE 802.11x. Porém, com a adoção desse microcontrolador, existe o problema de o ESP8266 apresentar apenas uma porta analógica, o que impediria sua utilização no projeto, sendo necessária alguma alternativa.

Se poderia lançar mão de algum conversor analógico-digital, como o circuito integrado ADS1115 (TEXAS INSTRUMENTS, 2017), de 4 portas, 16 bits, que se comunicaria com o ESP8266 via interface I²C. Com este módulo extra, seria possível ler os dois sensores analógicos, a uma taxa entre 8 e 826 SPS, o que permitiria uma boa amostragem dos sinais coletados.

Entre os benefícios do uso desse módulo está o fato da referência de tensão para a entrada analógica ficar entre $GND - 0,3 V$ e $VDD + 0,3 V$, estando o valor máximo dependente apenas da tensão de alimentação, que pode variar de 2,0 a 5,5 V. Isso facilita em muito a leitura dos sensores, uma vez que o ACS723 trabalha nessa amplitude de tensões e o sensor de tensão é de autoria própria, podendo ser diretamente dimensionado para esses limites.

Outra forma de estender o número de portas seria por meio de outro microcontrolador como, por exemplo, o ATtiny85 (MICROCHIP, 2018a) ou o ATmega328 (MICROCHIP, 2018b), conectando ao ESP8266 via serial (RX/TX). Os prós dessa abordagem seria a divisão de tarefas, ficando a cargo do ESP, a comunicação com a rede Wi-Fi e ao outro microcontrolador, o sensoriamento. Os contras se encontram no fato de adicionar mais componentes que aumentariam o custo do produto, e ainda haver a manutenção em dois códigos-fonte diferentes.

No entanto a alternativa adotada foi de adicionar um *chip* multiplexador analógico como o 74HC4052 (NEXPERIA, 2018), expandindo a capacidade do sistema para oito entradas analógicas.

Interface com usuário

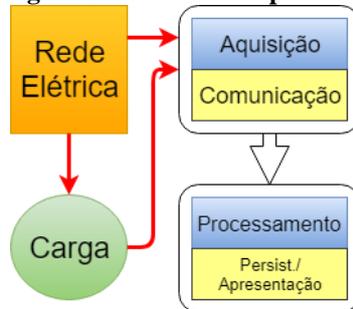
A apresentação dos dados ao cliente será por meio de uma aplicação Web que pode ser acessada por um *browser* ou mesmo um dispositivo móvel. Essa interface apresentará os dados de consumo (coletados pelos sensores), e ainda permitirá uma comparação histórica dos dados em forma de gráficos que representarão a variação do consumo durante o período escolhido.

A visualização das informações coletadas será feita através de um *dashboard* mantido por uma aplicação Web que poderá ser instalada localmente ou na nuvem, através de página Web com autenticação de usuário, onde poderão ser acessados os dados de potência adquiridos.

4.3 Projeto Preliminar

Para este produto, optou-se por uma abordagem modular, a qual permite, como já dito, uma melhor flexibilidade quanto a metodologias ou equipamentos para o processamento deste tipo de informação. Os módulos são apresentados na Figura 9.

Figura 9 – Módulos do produto.



Como se tratam de módulos distintos e separados fisicamente, essa arquitetura permite que a mesma solução seja adotada para diferentes tipos de produtos.

Conforme Carpes Jr. (2014), por se tratar de módulos que possuem apenas relacionamento funcional e não físico, é necessário o estabelecimento de uma interface que possibilite a intercomunicação entre eles, no caso deste produto essa interface ficará a cargo da comunicação via Wi-Fi através do consumo de *webservices*.

4.4 Projeto Detalhado

O detalhamento deste projeto será na forma de um conjunto de informações sobre a configuração do produto, seleção de componentes e definição da relação desses componentes no produto.

4.4.1 Medições da Corrente e Tensão

A seguir serão descritos os componentes utilizados no sensoriamento.

Sensor de corrente de Efeito Hall

Para medir a corrente que circula pela carga e assim poder calcular o consumo da energia, será utilizado um sensor de corrente modelo ACS723 (ALLEGRO MICROSYSTEMS, 2018) com o *part number* ACS723LLCTR-40AB-T. Tal sensor que tem como características tamanho reduzido e ótima precisão,

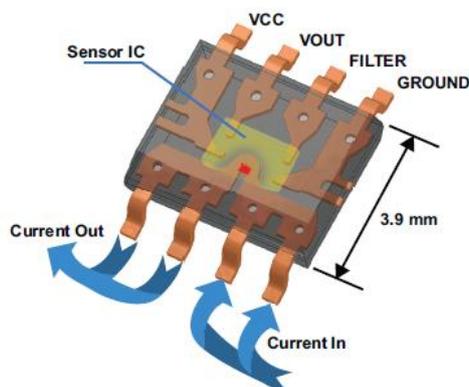
cobrindo uma grande faixa de medição de corrente. Considerando-se sua capacidade de 40 A, em uma aplicação residencial, seria possível medir uma carga de até 3.590 W em 127 V ou 6.220 W em 220 V. Ainda, apresenta isolamento elétrico de 2.400 V, rápido tempo de resposta e linearidade em toda a faixa de medição. A Figura 10 apresenta em corte, uma visão interna do circuito integrado onde podem ser observadas as setas em azul identificando o fluxo da corrente elétrica a ser medida e no meio sensor propriamente dito.

Especificações:

- Faixa de medição: ± 40 A.
- Alimentação: 5 V.
- Tempo de resposta de 5 μ s.
- Saída analógica proporcional de 50 mV/A.

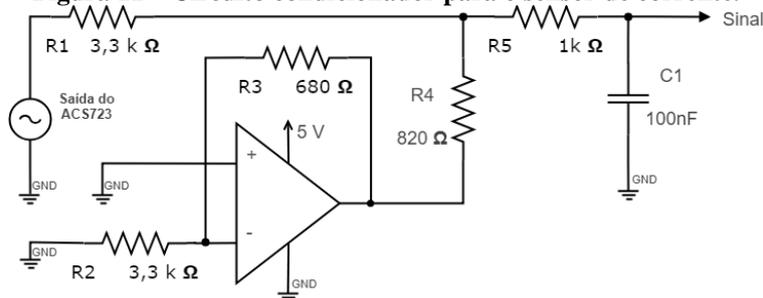
O conversor A/D do ESP8266 suporta tensões na faixa de 0 até 1 V. Como essa tensão para a entrada do A/D é máxima, considerando pico-a-pico do rebaixamento da tensão da rede elétrica, pode-se utilizar a tensão média (*offset*) de 2,5 V do próprio sensor de corrente. Desta forma pode ser associado à tensão de 0 V do A/D com o valor do pico negativo da corrente medida do equipamento e o teto de 1 V associado com o pico positivo da corrente, na condição de variação máxima de corrente drenada pelo equipamento sobre análise, atendendo assim a faixa completa de valores possíveis de conversão analógico-digital.

Figura 10 – Circuito integrado ACS723 em corte (ALLEGRO MICROSYSTEMS, 2018).



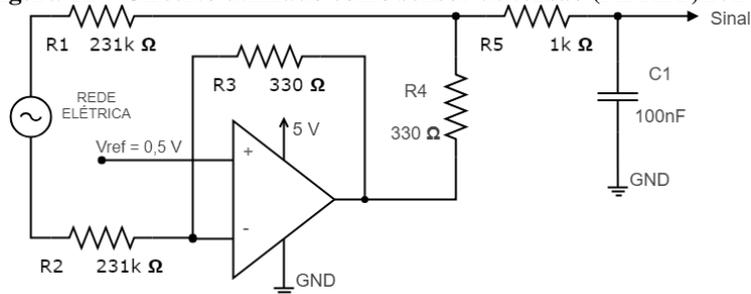
Sendo assim para efetuar a amostragem, é necessário um circuito adicional para condicionar a tensão oriunda do sensor de corrente com valor máximo CA de 2 V (4,5 V somando com o valor de *offset*), conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Circuito condicionador para o sensor de corrente.



Sensor de tensão

Conforme Petry (2014) este circuito é composto por um amplificador operacional configurado como um inversor, demonstrado na Figura 12.

Figura 12 – Circuito utilizado como sensor de tensão (PETRY, 2014).

Como este circuito tem a função de amostrar a tensão instantânea imposta na carga que deve ser convertido pelo A/D do microcontrolador, o próprio funciona como condicionador de sinal, tal qual o sensor de corrente. No entanto é preciso fornecer uma tensão média (*offset*) de 0,5 V de referência.

Para a configuração do amplificador operacional, quanto ao controle de ganho/atenuação, foi necessário definir valores diferenciados aos resistores sendo que R2 deve ser de resistência maior que R3, sendo eles de 231 k Ω e 330 Ω respectivamente, obtendo a atenuação do sinal.

4.4.2 Microcontrolador

O microcontrolador utilizado será o ESP8266EX ou simplesmente referido como ESP8266, fabricante ESPRESSIF, um SoC (do inglês, *System-on-a-Chip*) com as seguintes características:

- 802.11 b/g/n;
- MCU de 32 bits;
- 16 GPIOs;
- *Clock* interno de 80 MHz;
- Pilha do protocolo TCP/IP integrado;
- Suporte a vários tipos de antena;
- Wi-Fi 2,4 GHz com suporte WPA/WPA2;
- Certificados: FCC, CE, TELEC, WiFi Alliance e SRRC;
- ADC de 10 bits;
- Memória Flash externa (acessada através de SPI).

Para esse projeto será utilizado a versão com o *part number* ESP-WROOM-02, desenvolvido pela própria Espressif (ESPRESSIF, 2018).

O ESP8266 foi projetado para aplicações eletrônicas móveis e portáteis e IoT, com o objetivo de obter o menor consumo de energia com uma combinação de várias tecnologias proprietárias.

Quanto ao desempenho, o microcontrolador possui um ADC de 10 bits com uma entrada limitada a 1 V, necessitando assim de um sistema de condicionamento de sinal de forma que os sensores não ultrapassem o limite do conversor A/D.

4.4.3 Aquisição dos sinais

Mesmo sendo um MCU com excelente desempenho, o ESP8266 carece de portas de entrada (GPIOs) analógicas. Havendo apenas uma porta para dados analógicos, conhecida como TOUT que direciona ao conversor A/D.

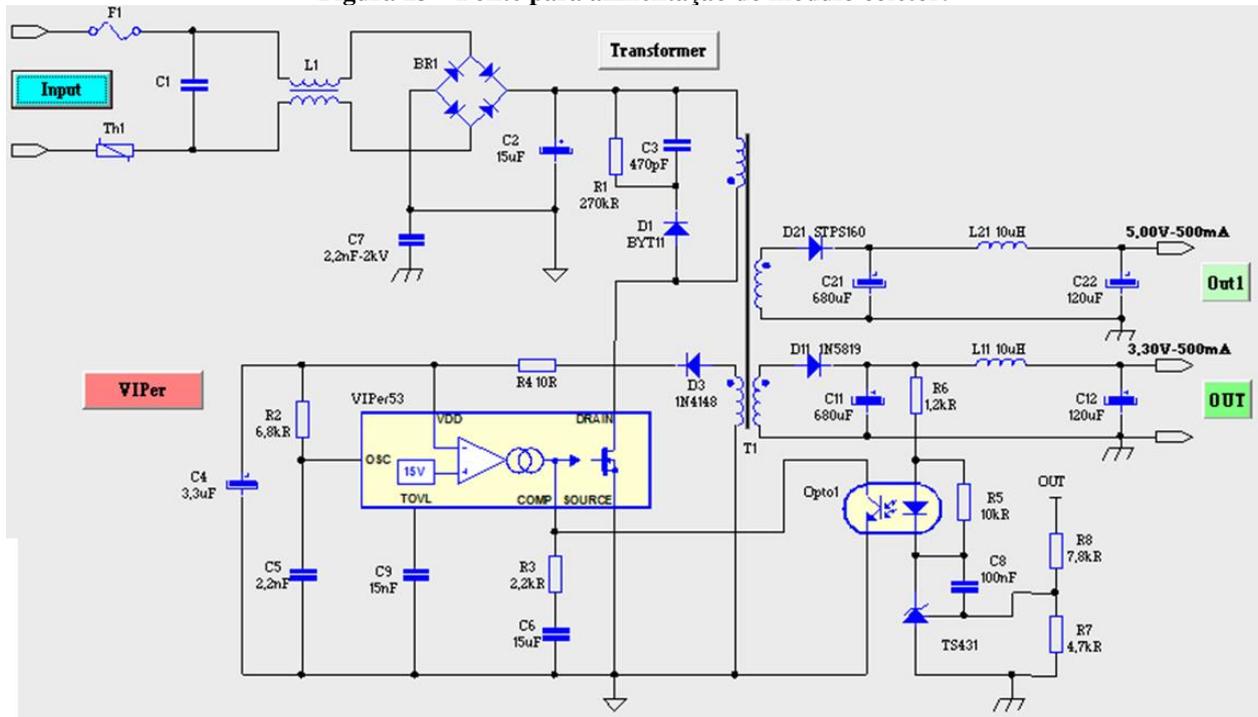
Para resolver essa situação foi utilizado o multiplexador/demultiplexador analógico 74HC4052 (*part number* 74HC4052D,653), que permite conectar até quatro dispositivos analógicos a um único pino analógico do ESP8266 (são usados outros dois pinos digitais para seleção de canais). Essa solução não encarece o projeto e permite o uso dos já citados sensores analógicos, a um baixo custo.

A taxa de amostragem, ou seja, a aquisição dos sinais de corrente e tensão deverá ser realizada com uma frequência de 2 kHz. Isto possibilita que sejam medidas as correntes e tensões em 60 Hz, com várias amostras no período da rede elétrica, sobretudo considerando-se que o produto pode ser usado para analisar qualidade de energia (aplicação onde se necessita taxas de amostragem maiores por conta das harmônicas de corrente e tensão). Com esta taxa de amostragem, levando em consideração o teorema de Nysquist, pode-se reconstruir sinais do sistema proposto com frequência de até 1 kHz. Assim, levando em consideração a frequência da rede elétrica brasileira e as harmônicas presentes nos equipamentos eletrônicos, principalmente a corrente, pode-se considerar até a 17ª harmônica para o cálculo das grandezas envolvidas, tais como potência reativa e THD.

4.4.4 Alimentação do sistema

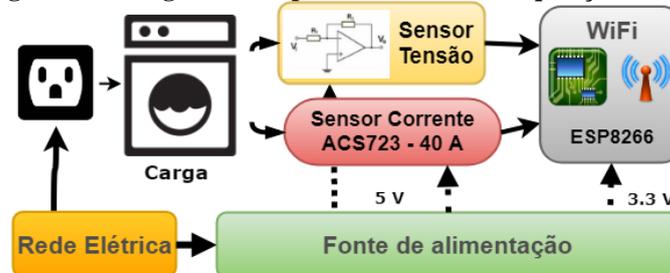
O sistema deve ser alimentado por um circuito dedicado do fabricante ST Microelectronics, modelo Viper53E (ST MICROELECTRONICS, 2018), gerando tensões CA isoladas de 3,3 V e 5 V, a partir da rede elétrica como apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Fonte para alimentação do módulo coletor.



A Figura 14 apresenta um diagrama completo, com os diversos componentes o compõe o sistema de aquisição de dados e envio.

Figura 14 – Diagrama completo do sistema de aquisição e envio.



5 FUNCIONAMENTO DO MEDIDOR DE ENERGIA

Segue a descrição do funcionamento do dispositivo.

5.1 Coleta e transmissão dos dados

O fluxograma de execução do sistema responsável pela coleta de dados é apresentado na Figura 15, dividido em dois blocos distintos: Um bloco de *setup* que configura o ESP8266 de modo a acessar a rede Wi-Fi disponível, pela qual serão transmitidos os dados coletados. Outro bloco que executa em *loop* a amostragem (leitura dos sensores), a criação do *payload* e o envio via *webservice*.

5.1.1 Bloco de *Setup*

Ao ser energizado, é executado o *boot* no módulo ESP8266 que verifica na EEPROM a existência de configuração para acesso a rede Wi-Fi (SSID e senha). Caso exista, uma conexão ao roteador é estabelecida. Caso contrário o ESP8266 entra em modo AP (*Access Point*) que pode ser acessado por algum dispositivo móvel para ser realizada a configuração. Ao ser acessado, será apresentada uma tela conforme a Figura 16(a) onde se pode escolher entre configurar uma conexão Wi-Fi listando os APs disponíveis, configurar algum que já se conhece (sem escaneamento), ter informações sobre a rede ou ainda apenas resetar o sistema. A Figura 16(b) apresenta os campos onde se informa o AP escolhido (SSID) e a senha para acesso.

Figura 15 – Fluxo de execução do sistema no ESP8266.

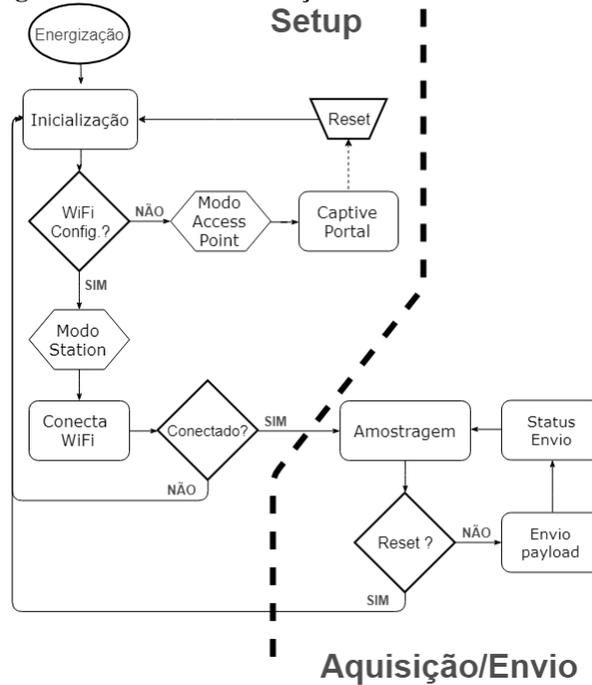


Figura 16 – Imagens (a) da tela de configuração e (b) da tela com login informado (WIFIMANAGER, 2018).



Depois de configurados, os dados de conexão são salvos na memória EEPROM do dispositivo. Também é necessário configurar o endereço do módulo servidor ao qual proverá o *webservice* que será consumido para transmitir o *payload*.

5.1.2 Bloco de Aquisição e Envio

Após a conexão o sistema entra em *loop* efetuando o processo de amostragem, coletando tensão e corrente e calculando a potência instantânea, sendo 2.000 amostras que serão enviadas a um servidor Web. Esse servidor manterá os dados históricos das coletas e ainda será responsável pelos cálculos de consumo e apresentação dos resultados em vários formatos, como consumo real, aparente, fator de potência e além desses, dados processados como valor gasto durante um período, consumo por períodos, adequação à tarifa branca etc.

Como forma de controlar o funcionamento do sistema, será lido o *status* de um botão de *reset*, que permitirá reiniciar todo o sistema. Isso é importante porque por haver o consumo de um *webservice*, pode haver algum atraso no processamento visto que a rotina de envio roda em modo síncrono.

Após o processo de amostragem, a massa de dados será empacotada para envio via *webservice*. Foi escolhida notação JSON (JSON.ORG, 2018) que é um meio leve e estruturado para troca de dados, combinando muito bem com os limitados recursos existentes nos hardwares IoT, evitando a necessidade de implementação de algum protocolo específico e facilmente interpretado por outros sistemas/aplicações.

Para isso, os dados amostrados que foram armazenados em *arrays* sofrem um processamento chamado *parsing* que formata essas informações na notação. Como o módulo servidor implementa a troca de mensagens via REST, uma submissão simples via POST envia esses dados formatados no *payload* da mensagem.

Então o *status* do envio será armazenado para que futuramente possa ser implementada alguma funcionalidade que guarde essa informação que pode ajudar em um processo de *debug* e na detecção de erros.

5.2 Estimativa de custos

A Tabela 3 demonstra o custo dos principais componentes utilizados neste produto (cotados em 14/06/2018), os quais foram elencados por serem componentes que exigem cotação fora do país para obter um preço competitivo. Os demais componentes discretos, são mais facilmente encontrados no país a preços que não compensariam o processo de importação.

Tabela 3 – Custo dos principais componentes.

PartNumbers	Descrição	Qtd.	Custo (US\$)	
			Digikey	Mouser
VIPER53SP-E	Conversor CA/CC <i>Primary Switch</i>	1	2,88	2,88
ESP-WROOM-02	Microcontrolador com Wi-Fi (ESP8266)	1	3,10	2,70
MAX4238ASA	Amplificador operacional	1	1,40	1,40
ACS723LLCTR-40AB-T	Sensor de corrente	1	1,90	7,95 (módulo)
74HC4052D,653	Multiplexador/demultiplexador analógico duplo de 4 canais	1	0,40	0,37

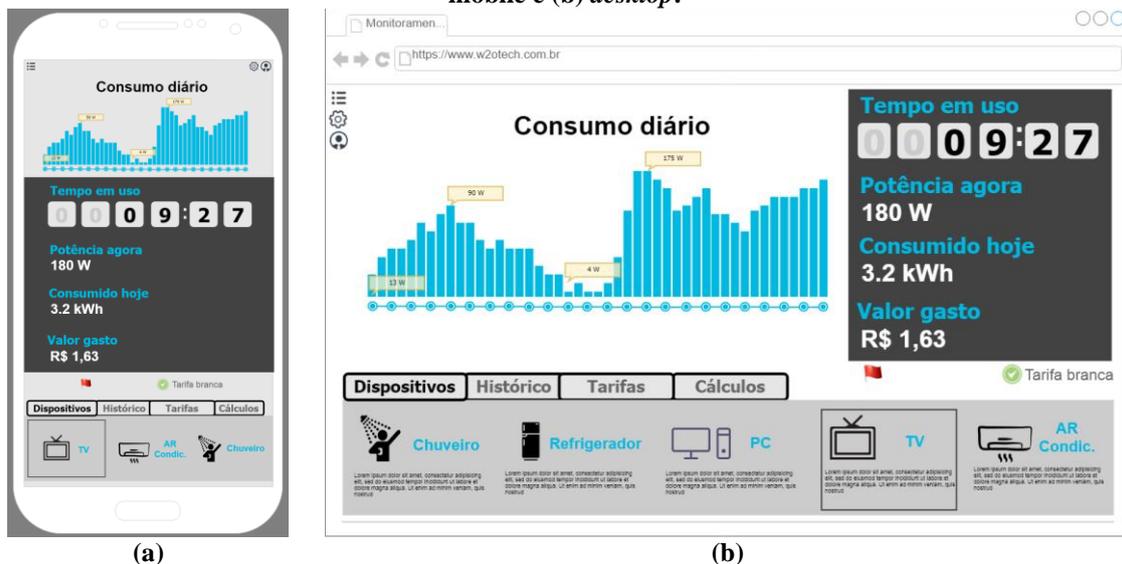
5.3 Processamento dos dados e apresentação

O módulo para o processamento dos dados será hospedado em algum servidor na nuvem, sendo ele um módulo composto basicamente de uma aplicação Web que pode rodar inclusive em alguma rede interna (intranet), ou mesmo em algum dispositivo IoT que mantenha um *webserver* com banco de dados/dispositivo de armazenamento, onde se pode citar o Raspberry PI, NodeMCU, Wemos, BeagleBone, placas FPGA etc.

O objetivo principal é manter uma interface que permita ao módulo de aquisição de dados, se comunicar remotamente, enviando os pacotes de dados, armazenar esses dados e processá-los para exibição.

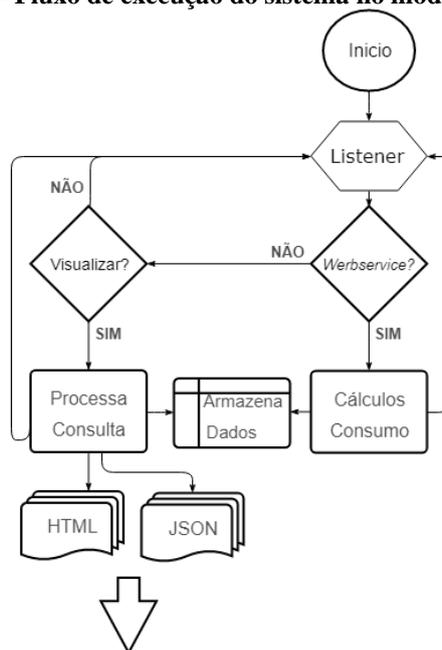
A interface com o usuário será uma aplicação em HTML 5, que se ajusta perfeitamente nos mais diversos tipos de dispositivos. A Figura 17 apresenta esta interface em dois dispositivos distintos, sendo um dispositivo mobile (Figura 17(a)) e um *browser* Web (Figura 17(b)) sendo executado em um dispositivo *desktop*.

Figura 17 – Interface com o usuário apresentada em dois dispositivos distintos: (a) móbile e (b) *desktop*.



Já o fluxo de execução do sistema no lado servidor é apresentado pela Figura 18.

Figura 18 – Fluxo de execução do sistema no módulo servidor.



6 CONCLUSÃO

A ideia deste produto surgiu há muito tempo, antes mesmo dos temas sustentabilidade e eficiência energética entrarem em evidência; surgiu da necessidade particular do autor em ter um método eficiente de controle do uso da energia elétrica principalmente na própria residência.

Segundo esta necessidade e os requisitos associados, é possível concluir que o projeto não apresenta nenhuma grande complexidade técnica em sua execução, tão pouco a necessidade de grandes recursos para implementá-lo. Pode-se sim dizer que a produção deste equipamento é viável quanto à questão técnica e, quanto ao custo, sua produção em série depende de uma boa cotação e talvez importação de componentes por conta da relação preço/quantidade. Durante o processo de revisão bibliográfica e das etapas que envolveram o projeto, principalmente o projeto durante o projeto informacional, se observou a existência de muitos componentes e metodologias diferentes, aptos a resolver os requisitos do projeto, porém verificando com calma, nem todos os arranjos de componentes se mostraram satisfatórios. Se por um lado precisou-se de componentes extras para a tarefa de sensoriamento, o que causa um ligeiro aumento no custo de produção, essa solução adere ao projeto trazendo o bônus da eficiência e desacoplamento.

Para o futuro ficam ainda muitas tarefas como a necessidade de desenvolver uma placa PCI de qualidade dentro da expectativa de tamanho e robustez, um detalhado plano de montagem e testes, além de uma minuciosa validação da parte técnica e de custos, ensaios de normas e validação do produto. Também se sugere como forma de melhoria do sistema, a utilização de um microcontrolador com maior capacidade de processamento bem como a adoção de alguma outra tecnologia para o envio de dados, como por exemplo, um dispositivo que implemente a especificação IEEE 802.15.4.

REFERÊNCIAS

ALLEGRO MICROSYSTEMS. **Folha de dados do componente ACS723**. Disponível em: <<http://www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/ACS723-Datasheet.ashx>>. Acesso em: 5. jun. 2018.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 414, de 09 de setembro de 2010. **Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/>>. Acesso em: 21. set. 2017.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Como é composta a tarifa**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/entendendo-a-tarifa/>>. Acesso em: 22. jun. 2017a.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Cálculo tarifário e metodologias**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/calculo-tarifario-e-metodologia/>>. Acesso em: 22. jun. 2017b.

- ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Bandeiras tarifárias**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias/>>. Acesso em: 30. out. 2017c.
- ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tarifa branca**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>>. Acesso em: 6. fev. 2018.
- CARPES JR, Widomar P. **Modelo para percepção de necessidades, visando a implantação de um novo negócio**. 1995. 77p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.
- CARPES JR, Widomar P. **Introdução ao Projeto de Produtos**. 1ª ed. Florianópolis: Editora Bookman, 2014.
- DARBY, Sarah. Making it Obvious: Designing Feedback into Energy Consumption. **Energy Efficiency in Household Appliances and Lighting**, Springer, 2001. ISBN-10: 3540414827
- ENERGENIE. EG-SSM-01. **Smart energy meter, Shuko, 16 A**. Disponível em: <<https://energenie.com/item.aspx?id=9884>>. Acesso em: 6. fev. 2018.
- ESPRESSIF. **Folha de dados do componente ESP-WROOM-02**. Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0c-esp-wroom-02_datasheet_en.pdf>. Acesso em: 3. mai. 2018.
- FARUQUI, Ahmad, SERGICI S. Sharif, A. The impact of informational feedback on energy consumption - A survey of the experimental evidence. **Energy Journal**, Elsevier, v. 35, n. 4, 2010.
- JSON.ORG. **Javascript Object Notation**. Disponível em: <<https://www.json.org/json-pt.html>>. Acesso em: 4. fev. 2018.
- MICROCHIP. **Folha de dados do componente ATtiny85**. Disponível em: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2586-AVR-8-bit-Microcontroller-ATtiny25-ATtiny45-ATtiny85_Datasheet.pdf>. Acesso em: 28. fev. 2018a.
- MICROCHIP. **Folha de dados do componente ATmega328p**. Disponível em: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf>. Acesso em: 28. fev. 2018b.
- NEXPERIA. **Folha de dados do componente 74HC4052**. Disponível em: <https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC_HCT4052.pdf>. Acesso em: 3. mai. 2018.
- ONELETRONICOS. **ECONOPLUG: economia instantânea de energia elétrica de até 35%**. Disponível em: <<http://www.oneletronicos.com.br/on-produtos--econoplug/>>. Acesso em: 5. fev. 2018.
- ONS. **Sistema Interligado Nacional**. Disponível em <<http://www.ons.org.br/pt/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>>. Acesso em: 3. ago. 2017.
- OPEN ENERGY MONITOR. **An Introduction to AC Power**. Disponível em <<https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ac-power-theory/introduction>>. Acesso em: 10. set. 2017a.
- OPEN ENERGY MONITOR. **Open source monitoring for understanding energy**. Disponível em <<https://openenergymonitor.org/>>. Acesso em: 3. set. 2017.
- PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design: a systematic approach**. 2nd ed. London: Springer Verlag, 1996.
- PETRY, Clóvis Antônio. **Desenvolvimento de Sistema de Alimentação de Máquinas de Corte a Laser para Operação com Tensão Universal**. Relatório Técnico, UFSC, Florianópolis, 2014.
- ST MICROELECTRONICS. **Folha de dados do componente Viper53**. Disponível em: <<http://www.st.com/resource/en/datasheet/viper53-e.pdf>>. Acesso em: 13. abr. 2018.
- TEXAS INSTRUMENTS. **Folha de dados do componente ADS1115**. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1115.pdf>>. Acesso em: 5. dez. 2017.
- WIFIMANAGER. **ESP8266 WiFi Connection manager with web captive portal**. Disponível em: <<https://github.com/tzapu/WiFiManager>>. Acesso em: 9. jun. 2018.



TESTES PARA CERTIFICAÇÃO EMC DE UMA FONTE CHAVEADA *FULL RANGE* 60 W

Airton Bento¹, Luis Carlos Martinhago Schlichting²

Resumo: O processo de fabricação de componentes eletrônicos, sofreu grandes transformações nos últimos anos. Destaca-se nesse contexto, a tecnologia SMD (*Surface Mount Device*), que surge como uma nova opção à tecnologia PTH (*Pin Through Hole*). Diante disso, o objetivo desse estudo, foi examinar o comportamento dessas duas tecnologias, em relação a compatibilidade eletromagnética (EMC). Para examinar esse comportamento, foram utilizadas duas fontes de alimentação, uma montada com componentes SMD e outra com o uso de componentes PTH. Além das diferenças tecnológicas de montagem das fontes, foram comparados dois filtros de EMI. Os resultados apontam que o modelo SMD apresenta uma pequena desvantagem em relação ao modelo PTH, essa última com melhor desempenho nos testes de emissão conduzida. De acordo com esses resultados, conclui-se que as fontes não necessitam utilizar filtros EMI, por estarem dentro dos limites da norma CISPR11.

Palavras-chave: EMC. Emissão Conduzida. Emissão Irradiada. SMPS.

Abstract: *The process of manufacturing electronic components has undergone major changes in recent years. In this context, SMD (Surface Mount Device) technology emerges as a new option for PTH (Pin Through Hole) technology. Therefore, the objective of this study was to examine the behaviour of these two technologies in relation to electromagnetic compatibility (EMC). To examine this behaviour, two power supplies were used, one mounted with SMD components and another one with the use of PTH components. In addition to the technological differences in the assembly of the sources, two EMI filters were compared. The results show that the SMD model presents a small disadvantage in relation to the PTH model, the latter with the best performance in the conducted emission tests. According to these results, it is concluded that the sources do not need to use EMI filters because they are within the limits of the CISPR11 standard.*

Keywords: *EMC. Conducted Emission. Irradiated Emission. SMPS.*

¹ Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, IFSC/Florianópolis <airton@mpei.com.br>.

² Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <schlicht@ifsc.edu.br>.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho, busca comparar as diferentes tecnologias de montagem de equipamentos eletrônicos. Além de verificar sua eficiência e a necessidade de utilização de filtros EMI, este estudo pretende fazer a avaliação de conformidade da fonte de alimentação com relação à emissão irradiada e conduzida, como etapa inicial do processo de certificação, para atender às normas de compatibilidade eletromagnética. Para isso, foi necessário um estudo, para verificação das normas utilizadas, que estabelecem os limites de emissão conduzida e irradiada por este tipo de equipamento, neste caso, a fonte de alimentação chaveada (SCHLICHTING, 2003).

A rede de energia elétrica, fornece para as residências e indústrias em tensão alternada, valores de tensões elevados, comparados aos utilizados pela maioria dos circuitos eletrônicos. As fontes de alimentação, têm como principal função, fornecer os níveis de tensão compatíveis, para os circuitos eletrônicos, transformando em valores e tipos adequados, nesse caso, com entrada de 90 a 240 V_{CA} (Tensão Corrente Alternada) e saída de 24 V_{CC} (Tensão Corrente Contínua).

Com o aumento das exigências dos clientes e a necessidade de atendimento às normas de compatibilidade eletromagnética (EMC), cada dia mais se faz necessária a realização de ensaios em

compatibilidade eletromagnética. Esta área ainda é pouco conhecida e apresenta custos elevados em nível de equipamentos de medidas (PASQUALOTTO; SCHLICHTING, 2017).

O atendimento às normas de EMC é necessário para as certificações CE (Conformidade Europeia) e FCC (*Federal Communications Commission*), requisitos para exportação.

As normas que estabelecem os limites de emissão conduzida e irradiada, foram elaboradas por um comitê chamado CISPR (Comitê Internacional Especial de Perturbações Radioelétricas). Em seu guia de uso é apresentada uma lista de equipamentos eletrônicos, com as normas que devem ser utilizadas, como pode ser verificado no Quadro 1, na linha em destaque, a CISPR11 (CISPR, 2006) foi a norma indicada, por conter conversores de potência, nos quais se encaixam as fontes chaveadas.

Quadro 1 – Relação de alguns produtos guia CISPR.

Parte da Tabela extraída do guia CISPR	CISPR Aplicável										Observações
	11	12/25	13	14-1	14-2	15	20	22	24	32	
Interruptor de terra AC											
Medidor de energia AC											
Motor alimentado por conversor AC											
Veículo trilho AC											
Medidor de Watt Hora AC											
Aceleradores (medicina)											
Máquinas agrícolas											
Equipamentos de solda a arco											
Amplificadores de áudio											
Caixa automático											
Carregadores de baterias - retificador											
Carregadores de baterias - comutação											
Carregadores de baterias sem fio (WPT)											
Máq. Acabamento de piso a bateria											
Barcos (menor que 15m comprimento)											
Disp. De disco óptico - CD e DVD											
Cartões sintonizadores de TV PC											OBS1
Cartões sint. Rádio AM / FM PC											
Tocadores / gravadores											
Fontes de alimentação retificadas											
Terminal de ponto de venda											
Conversores de potência											
Fontes de alimentação sem fio (WPT)											
Ferramentas elétricas (inclui à bateria)											
Amplificadores de RF											
Conversores de RF											
Veículos rodoviários											

OBS1: Parte do sintonizador de TV testada para CISPR 13 quando o CISPR 22 é aplicado ao PC

A norma CISPR11 é dividida em duas classes, A e B, sendo a primeira indicada para equipamentos industriais, médicos e científicos e a segunda para equipamentos de uso residencial. Por se tratar de um equipamento de uso não residencial, a classe A foi utilizada para os testes, desta forma, apresenta-se os limites para a classe utilizada, tanto para emissão conduzida quanto irradiada.

Na Tabela 1 apresenta-se os limites de emissões irradiadas para Classe A, de acordo com a norma CISPR11. Para que determinado equipamento atenda à mesma, os valores obtidos após as medições, devem ficar abaixo desses limites estabelecidos.

Tabela 1 – Limites emissão irradiada CISPR11 Classe A.

Faixa e Frequência (MHz)	Quase Pico (dBµV) 10 m	Quase Pico (dBµV) 3 m
30 – 230	40,0	50,5
230 – 1.000	47,0	57,5

Na Tabela 2, tem-se os limites estabelecidos pela norma, para emissão conduzida, onde, para cada faixa de frequência, são apresentados os valores máximos permitidos, quase pico e valor médio.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Compatibilidade Eletromagnética

Faz-se necessário abordar de forma conceitual Compatibilidade Eletromagnética (EMC – *Electromagnetic Compatibility*). Conforme Paul (2006) “Um sistema eletrônico que é capaz de funcionar compatível com outros sistemas eletrônicos e não produzir ou ser suscetível a interferências é dito ser eletromagneticamente compatível em seu ambiente.”.

Tabela 2 – Limites Emissão Conduzida CISPR11 Classe A.

Faixa e Frequência (MHz)	Quase Pico (dBµV)	Média (dBµV)
0,14 – 0,50	79	66
0,50 – 5	73	60
5 – 30	73	60

Um sistema é considerado eletromagneticamente compatível com seu ambiente se atender a três critérios:

- não causa interferência em outros sistemas;
- não é suscetível a emissões de outros sistemas;
- não causa interferência em si mesmo.

De acordo com estes critérios, um equipamento está atendendo às normas, do ponto de vista da compatibilidade eletromagnética, uma vez que ele não interfere em outros sistemas, não é interferido por outros sistemas e não causa interferência no próprio sistema.

O modelo apresentado por Paul (2006) decompõe o problema da compatibilidade eletromagnética conforme a Figura 1.

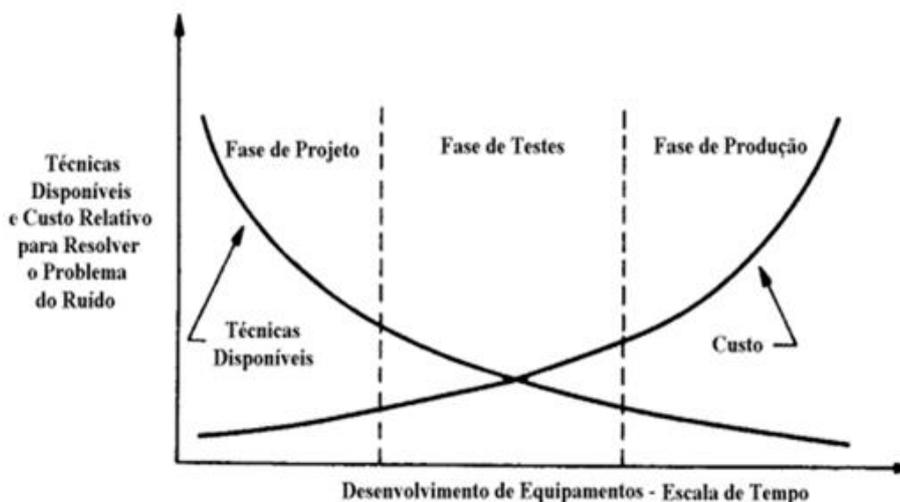
Figura 1 – Decomposição básica de EMC.



Esta decomposição é dividida em três partes: a primeira é a fonte (emissor) na qual o ruído eletromagnético é gerado; a segunda, o meio por onde esse ruído eletromagnético, se propaga até chegar ao receptor. Este ruído eletromagnético ao chegar ao receptor pode gerar resultados ou efeitos indesejados em sistemas próximos, revelando um problema de compatibilidade eletromagnética.

Por que se preocupar com EMC? Conforme pode ser verificado na Figura 2, na fase inicial do projeto, as técnicas disponíveis para resolver os problemas de EMI são muitas e o custo considerado baixo. À medida que o projeto avança ocorre o inverso: aumento do custo e poucas possibilidades de solução, por isso há a necessidade de observar as técnicas existentes, para que o projeto seja viável do ponto de vista econômico e técnico.

Figura 2 – EMC: Técnicas disponíveis vs. Custo. Adaptado de OTT (2009).



2.2 Interferência eletromagnética conduzida

Segundo Montrose (2000), emissões conduzidas, são os componentes da energia de RF (radiofrequência) que são transmitidos através de um meio, como uma onda de propagação, sempre através de um fio ou cabos de interconexão.

2.3 Interferência eletromagnética irradiada

Conforme a definição de emissões irradiadas dada por Montrose (2000), o componente da energia de RF, que é transmitida através de um meio, geralmente é transmitido pelo ar.

2.4 Problemas e soluções EMC

Os quatro problemas básicos em EMC são: emissões irradiadas, suscetibilidade a emissões irradiadas, emissões conduzidas e suscetibilidade a emissões conduzidas.

2.5 Como solucionar ou minimizar esses problemas

Segundo Paul (2006), esses problemas de compatibilidade eletromagnética podem ser mitigados de três maneiras:

- 1) reduzir a emissão na fonte do ruído eletromagnético;
- 2) fazer o caminho do acoplamento o mais ineficiente possível;
- 3) fazer com que o receptor seja o menos suscetível a essas emissões.

Segundo Paul (2006), o primeiro passo em equipamentos que utilizam técnicas digitais é diminuir o tempo de transição dos sinais digitais, até o valor que não interfira no funcionamento do equipamento. Muitas vezes as transições são realizadas em picossegundos, quando na prática podem ser realizadas na escala de nanossegundos. Ao diminuir o tempo de transição do sinal, diminui-se a amplitude dos harmônicos de frequência alta dessa transição, reduzindo a eficiência do acoplamento, com isso reduzindo o nível de ruídos eletromagnéticos no receptor.

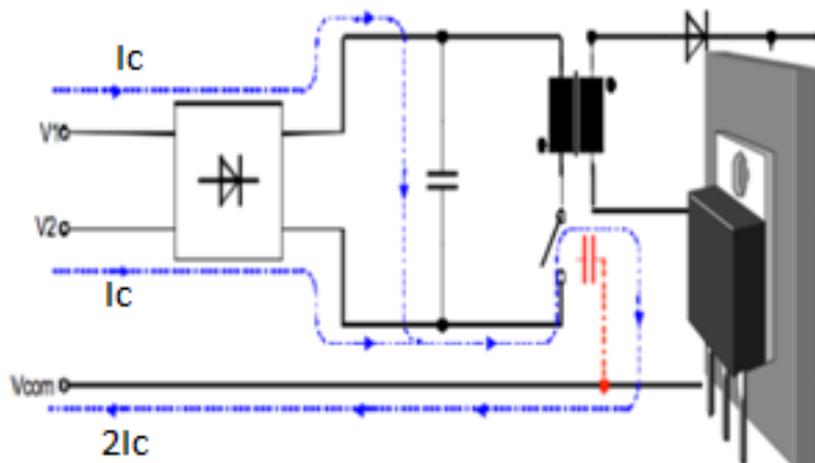
Existem os métodos chamados de força bruta, como blindagens, que diminuem a suscetibilidade do receptor ou uso de filtros de EMI, o que aumenta os custos do equipamento. Diminuir ou eliminar cabos que interligam sistemas faz com estes cabos deixem de irradiar sinais indesejados. Na maioria das vezes, são cabos sem blindagem, fazendo com que, dependendo do tamanho, tornem-se antenas para irradiar ou receber ruídos eletromagnéticos.

Em se tratando de fontes de alimentação, equipamentos que são ligados à rede elétrica, na próxima seção será feito um adendo para abordar as correntes de modo comum e de modo diferencial, por serem a forma como a interferência eletromagnética se propaga. Por esta razão, devem ser reduzidas de forma adequada, com a utilização de filtros EMI quando necessário.

2.5.1 Correntes de modo comum e modo diferencial

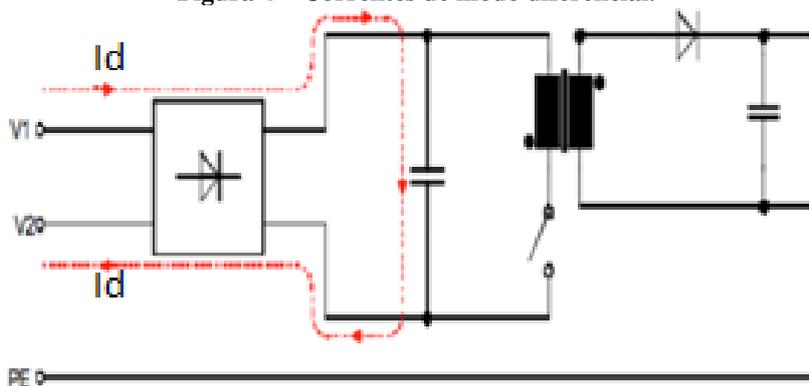
Um equipamento eletrônico, quando ligado a uma rede elétrica, possui um cabo de alimentação que possui um fio fase, um fio neutro e um fio terra. Quando uma tensão é aplicada, estando o equipamento alimentando uma carga qualquer, aparecem correntes que se propagam pelos condutores. Estas, dependendo do modo de propagação, podem ser decompostas em correntes de modo comum e de modo diferencial (PAUL 2006). Muitos problemas de compatibilidade estão relacionados a essas correntes. As correntes de modo comum são aquelas que se propagam no mesmo sentido nos dois condutores, como pode ser verificado na Figura 3.

Figura 3 – Correntes de modo comum.



Já as correntes de modo diferencial se propagam em sentidos opostos, como podemos observar na Figura 4.

Figura 4 – Correntes de modo diferencial.



3 METODOLOGIA

3.1 Testes Emissão Conduzida

Os testes de emissão conduzida foram realizados no laboratório de EMC do IFSC, utilizando uma LISN (*Line Impedance Stabilization Network*), de marca Rhode & Schwarz e modelo ENV216 conforme Figura 5.

Figura 5 – Equipamento R&S ENV216.



Para realizar as medições, foi conectado a LISN ao analisador de espectro, modelo HMS-X conforme Figura 6.

Figura 6 – Analisador de espectro HMS-X.



Esses equipamentos, ligados a um computador, com software de análise específico, permitem a realização dos testes de emissão conduzida. A disposição dos equipamentos de medidas e o equipamento em teste, podem ser verificados na Figura 7.

Figura 7 – Setup conduzidas.



3.2 Testes de Emissão Irradiada

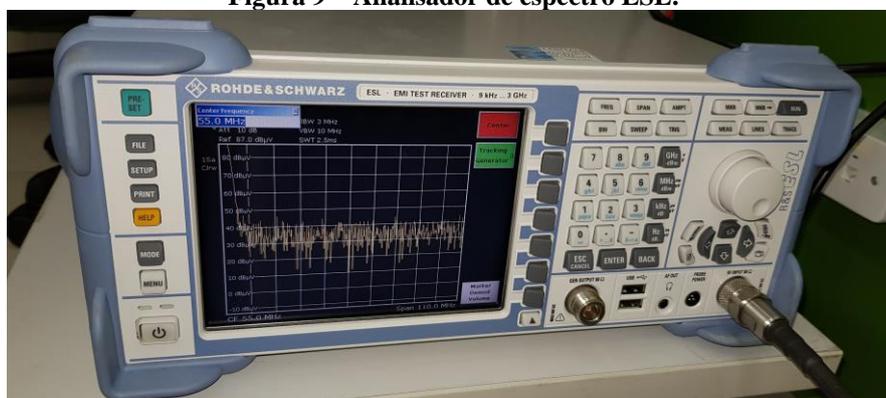
Os testes de emissão irradiada foram realizados na câmara GTEM-750 conforme Figura 8.

Figura 8 – Câmara GTEM-750.



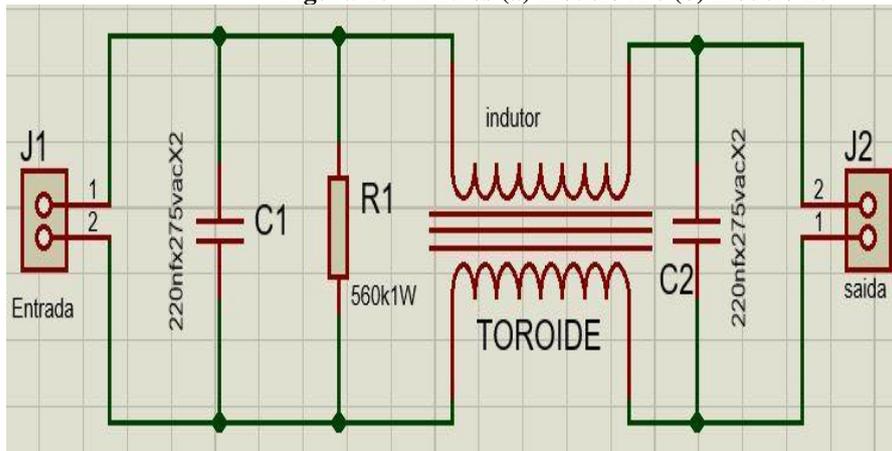
Essa câmara é conectada a um analisador de espectro, marca Rhode & Schwarz, modelo ESL, conforme Figura 9, estes equipamentos, ligados a um computador com software específico instalado, com *setups* das normas pré-configurados.

Figura 9 – Analisador de espectro ESL.

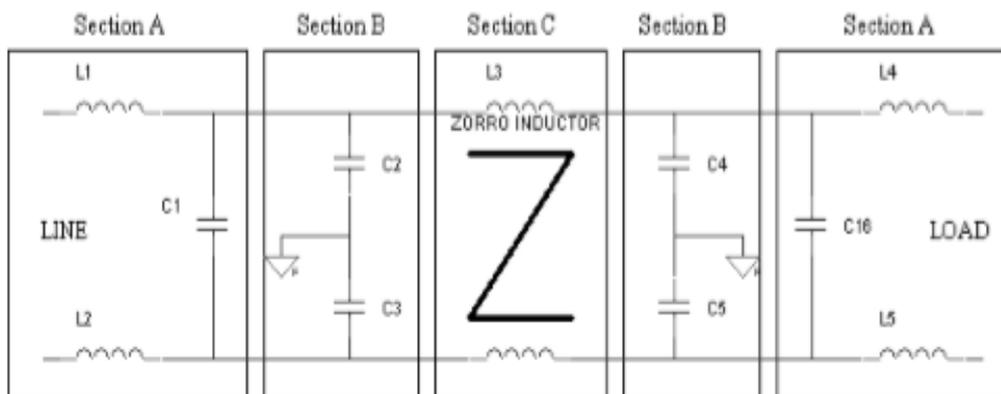


Todos os testes foram realizados com as fontes alimentadas em 220 V_{CA}, com carga resistiva e potência de 60 W. Cada fonte foi testada em três diferentes situações: sem filtro EMI na entrada, com filtro modelo A, e com filtro modelo B (Figura 10).

Figura 10 – Filtros (a) modelo A e (b) modelo B.



(a)



(b)

O filtro modelo A é o utilizado originalmente na fonte modelo PTH extraído do *datasheet* do componente FSCM0765R da Fairchild Semiconductors. O filtro modelo B, foi extraído da nota de aplicação AN4145 (FAIRCHILD, 2004), utilizado na fonte SMD, quando realizado a mudança de tecnologia.

3.3 Equipamentos submetidos aos testes

As fontes que foram submetidas aos testes de compatibilidade, são utilizadas nos equipamentos fabricados pela empresa MPCÍ Metal Protector LTDA., onde atua um dos autores deste estudo, fabricante de detectores de metais, para diversas áreas de segurança, tais como, aeroportos, agências bancárias, casas de câmbio, lotéricas, penitenciárias, clubes etc. Outra área de utilização desses equipamentos são as indústrias alimentícias, que os utilizam para que contaminações com metais envolvidos no processo não cheguem ao consumidor, evitando que tais partículas sejam ingeridas, em atendimento às normas estabelecidas por órgãos reguladores como a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). Outra aplicação é a APPCC (Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle), para detecção de partes de máquinas, que ao serem identificadas na linha, permitem uma correção imediata do problema, evitando paradas e perdas de produção.

A fonte modelo PTH comercializada pela empresa MPCÍ Metal Protector LTDA., foi desenvolvida com base no documento de aplicação do fabricante Fairchild Semiconductors (referência ao *datasheet* FSCM0765). Com a necessidade de automatizar processos, além da dificuldade de encontrar determinados componentes em PTH, todos os produtos da empresa passaram pelo processo de mudança de tecnologia de montagem, passando de PTH para SMD, inclusive a fonte de alimentação. Trata-se do mesmo projeto, porém com tecnologias de montagem diferentes.

Na Figura 11, apresenta-se uma imagem da fonte modelo PTH montada, tendo em destaque o filtro Modelo A de entrada.

A Fonte de modelo SMD tem a maioria de seus componentes em tecnologia SMD e possui um filtro Modelo B de entrada, conforme a Figura 12. Este é um filtro calculado para a faixa de frequência de operação da fonte, levando em consideração as correntes de modo comum e modo diferencial conforme apresentado anteriormente.

Figura 11 – Fonte PTH com filtro Modelo A em destaque.



Figura 12 – Fonte SMD com filtro Modelo B em destaque.

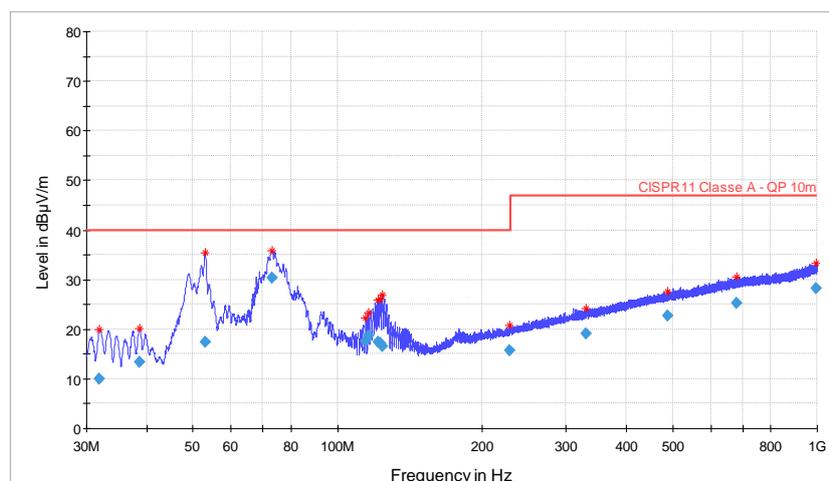


4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Testes Emissão irradiada: Fonte SMD

Na Figura 13, tem-se o resultado obtido no teste de emissão irradiada, fonte SMD sem filtro. Observe-se que seu pico máximo está em $35 \text{ dB}\mu\text{V/m}$, $5 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ abaixo do limite permitido pela norma.

Figura 13 – Teste de emissão irradiada da fonte SMD sem filtro.



Na Figura 14, tem-se o gráfico com os resultados de emissão irradiada com a fonte SMD, utilizando o filtro Modelo A da fonte PTH, em que o pico máximo chega a $29 \text{ dB}\mu\text{V/m}$, uma redução de $6 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ em relação ao resultado sem filtro. A mesma fonte com o filtro modelo B, apresenta um resultado de $34 \text{ dB}\mu\text{V/m}$, em seu pior caso, comportando-se de modo similar aos testes efetuados sem filtro, conforme pode-se observar na Figura 15.

Figura 14 – Teste de emissão irradiada da fonte SMD com filtro Modelo A.

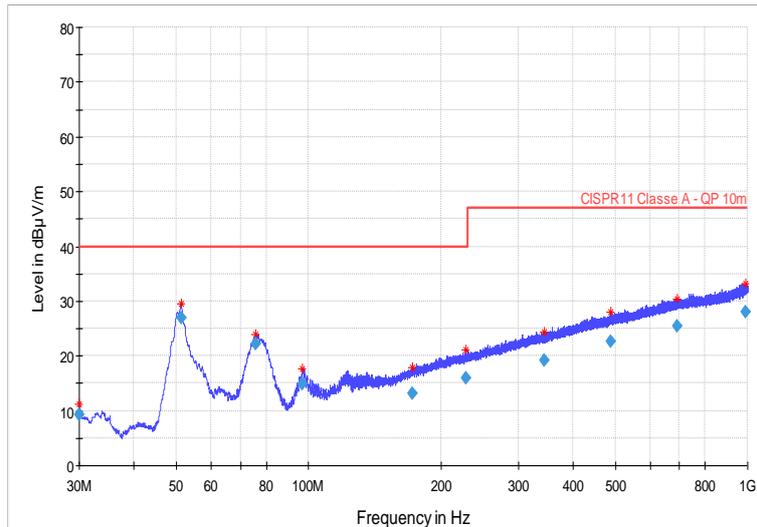
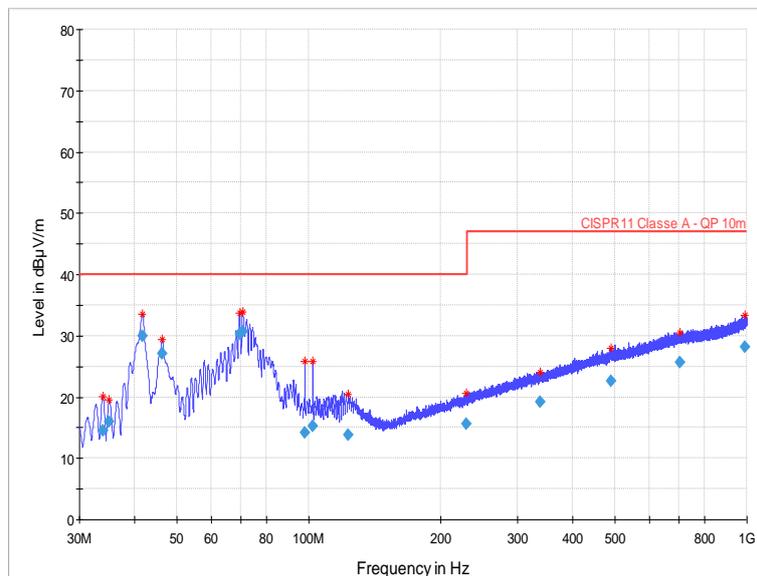


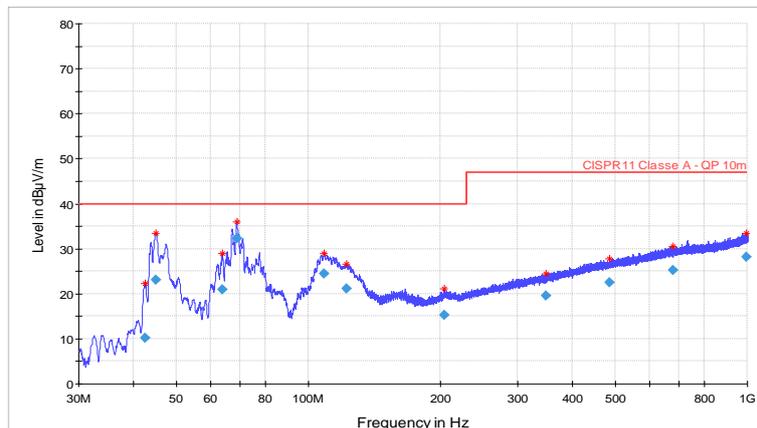
Figura 15 – Teste de emissão irradiada da fonte SMD com filtro Modelo B.



4.2 Testes Emissão Irradiada: Fonte PTH

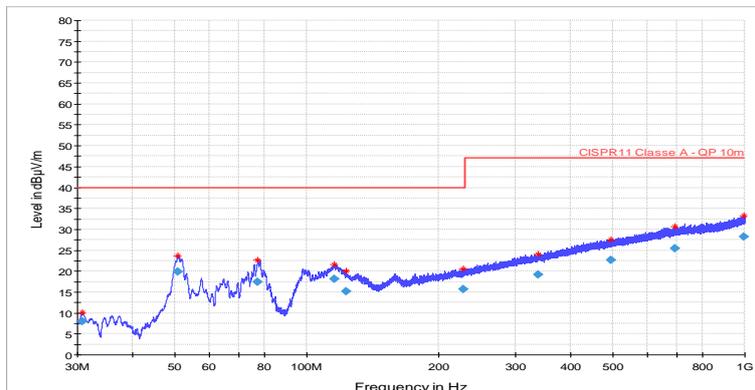
Na Figura 16, tem-se o resultado do teste de emissão irradiada da fonte modelo PTH, sem filtro EMI, apresentando em seu pior caso, 35 dBµV/m, abaixo do limite definido em norma.

Figura 16 – Teste de emissão irradiada da fonte PTH sem filtro.



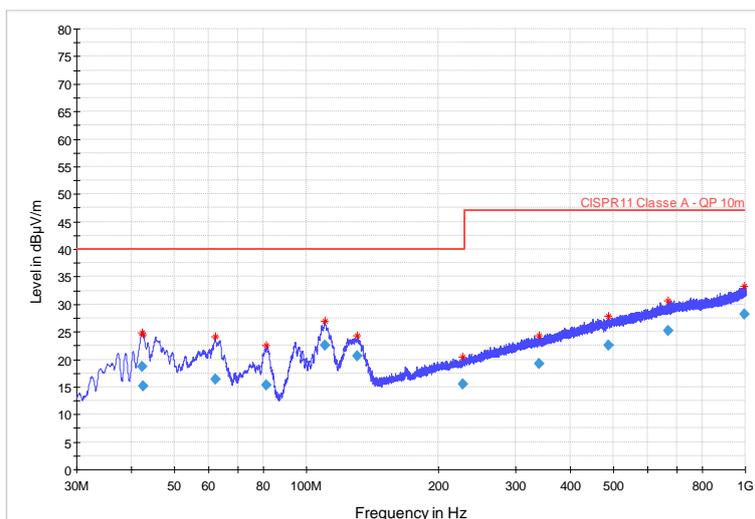
Na Figura 17, apresenta-se os testes de emissão radiada na fonte modelo PTH utilizando o filtro modelo A, o qual apresentou, em seu pior caso, 23 dB μ V/m, valor bem abaixo dos limites estabelecidos pela norma CISPR11.

Figura 17 – Teste de emissão irradiada da fonte PTH com filtro Modelo A.



Na Figura 18, tem-se os dados do teste da fonte PTH de emissão irradiada, utilizando o filtro Modelo B, apresentando, em seu pior caso 27 dB μ V/m, pior que o resultado com o filtro Modelo A.

Figura 18 – Teste de emissão irradiada da fonte PTH com filtro Modelo B.



Na Tabela 4, apresenta-se os valores máximos registrados nos testes de emissão irradiada, dados comparativos, com relação a tecnologia das fontes de alimentação testadas, testes sem filtros e com filtros EMI.

Tabela 3 – Dados comparativos emissão radiada: valores máximos alcançados.

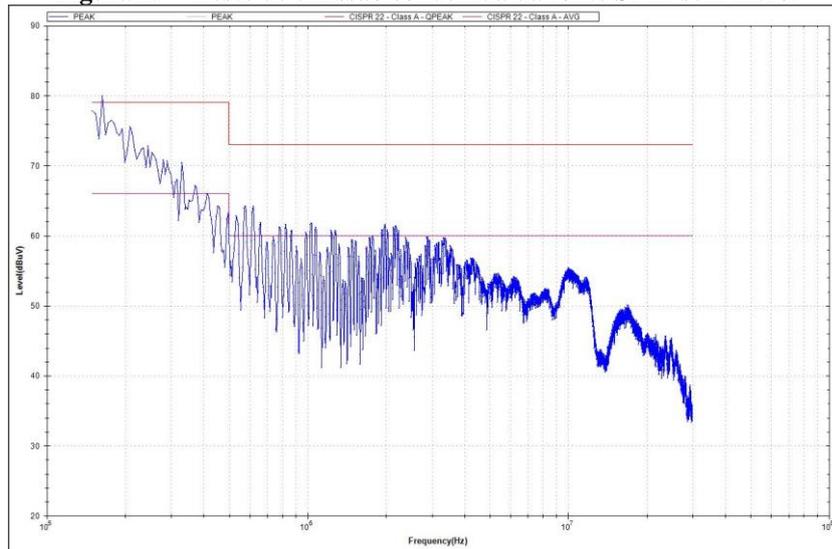
Radiada	SMD	PTH
Sem fitro	35 dB μ V/m	36 dB μ V/m
Filtro Modelo A	29 dB μ V/m	23 dB μ V/m
Filtro Modelo B	34 dB μ V/m	27 dB μ V/m

4.3 Testes de Emissão Conduzida: Fonte SMD

Nos testes de emissão conduzida, tem-se duas curvas, a curva inferior são os valores médios e a curva superior os valores limites de quase pico, este último, o que deve ser inferior para aprovação nos testes.

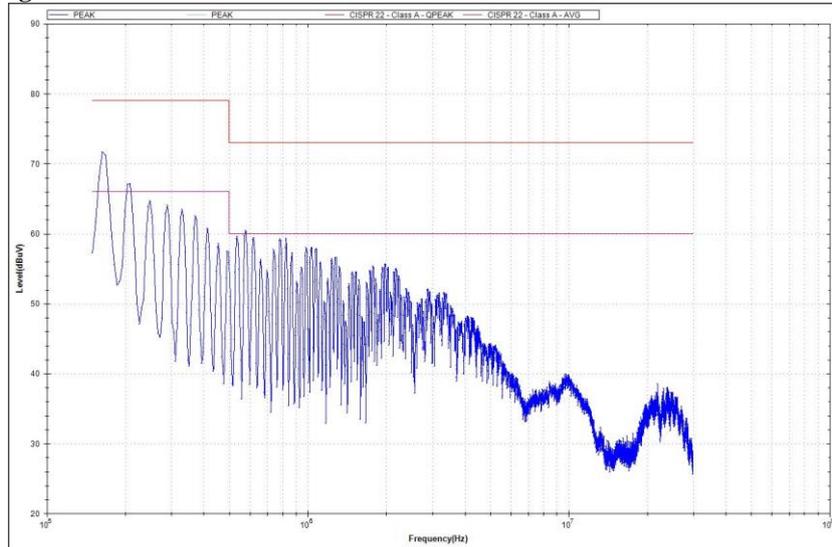
Ao ser submetida a fonte modelo SMD ao teste de emissão conduzida, sem filtro de EMI, pode-se verificar conforme a Figura 19, que, no início apresenta um pico de 1 dB μ V/m, acima do limite da norma, demonstrando a necessidade da utilização de filtro de EMI neste modelo.

Figura 19 – Teste de emissão conduzida da fonte SMD sem filtro.



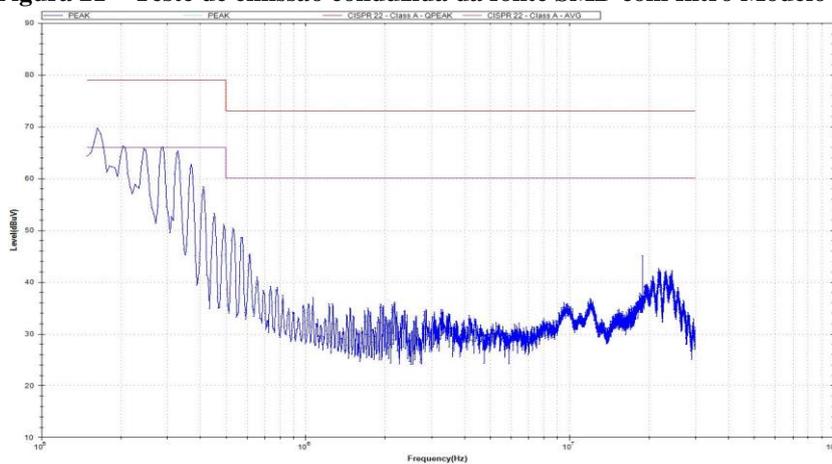
Na Figura 20, o modelo de fonte SMD, com o filtro Modelo A, fica abaixo do limite, em 7 dBµV/m, demonstrando sua eficiência para redução de ruídos eletromagnéticos.

Figura 20 – Teste de emissão conduzida da fonte SMD com filtro Modelo A.



Na Figura 21, com o filtro modelo B, é possível verificar uma pequena melhora dos resultados da fonte SMD nos testes de emissão conduzida, com o filtro modelo B em relação ao modelo A.

Figura 21 – Teste de emissão conduzida da fonte SMD com filtro Modelo B.



4.4 Testes de Emissão Conduzida: Fonte PTH

Na Figura 22, tem-se o resultado dos testes de emissão conduzida da fonte modelo PTH sem filtro, demonstrando que os valores mais próximos dos limites de quase pico ficam abaixo dos limites estabelecidos na norma. Na Figura 23, pode-se verificar a diminuição dos níveis de ruídos eletromagnéticos, neste caso utilizando o filtro Modelo A em comparação aos resultados sem filtro. Na Figura 24, apresenta-se o resultado da fonte modelo PTH com o filtro Modelo B, apresentando um corte maior à medida que a frequência aumenta.

Figura 22 – Teste de emissão conduzida da fonte PTH sem filtro.

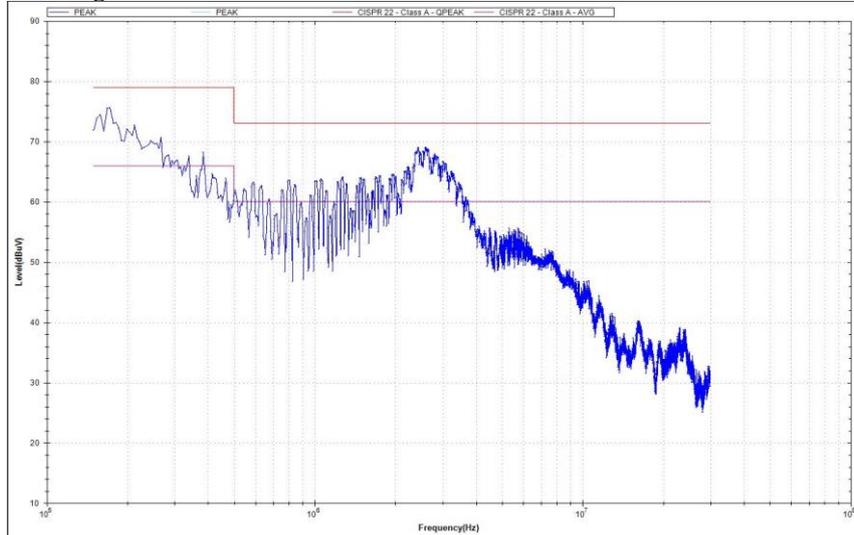


Figura 23 – Teste de emissão conduzida da fonte PTH com filtro Modelo A.

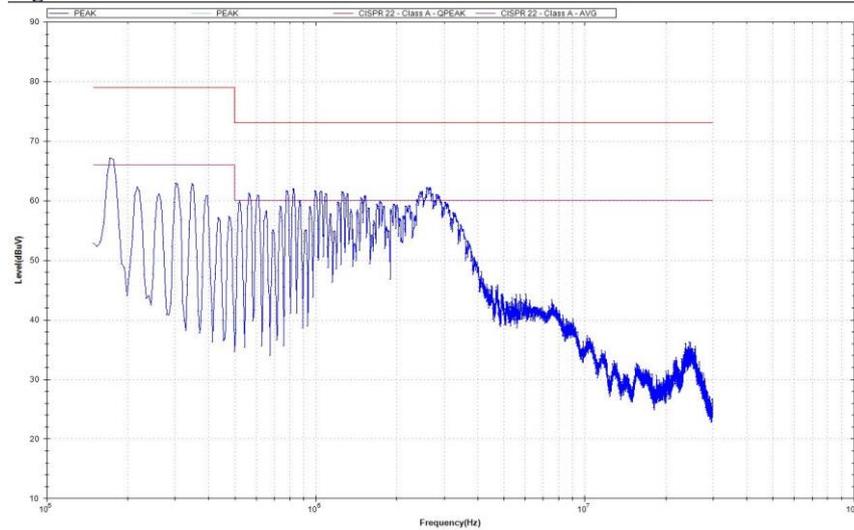
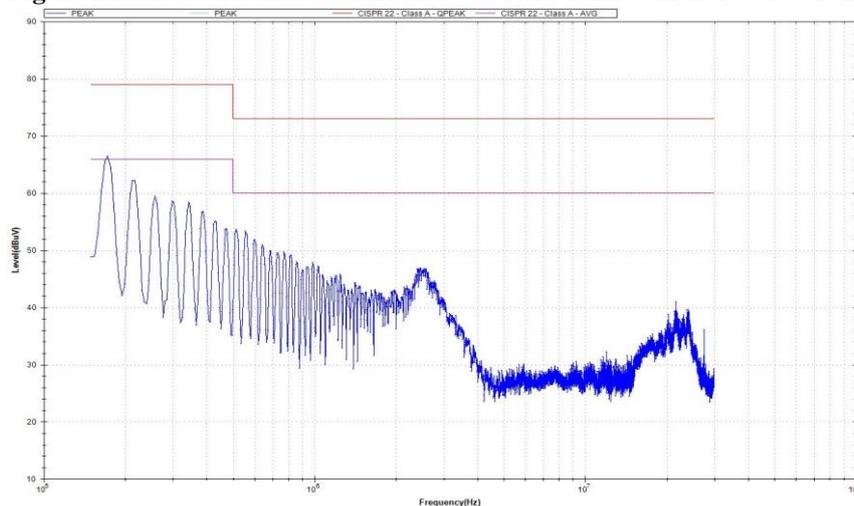


Figura 24 – Teste de emissão conduzida da fonte PTH com filtro Modelo B.



Ao se analisar os gráficos dos resultados, apresenta-se na Tabela 4, os dados comparativos de emissão conduzida em seus pontos críticos, nos diferentes tipos de tecnologias e filtros utilizados.

Tabela 4 – Dados comparativos emissão conduzida: valores máximos alcançados.

Conduzida	SMD	PTH
Sem fitro	80 dB μ V/m	76 dB μ V/m
Filtro Modelo A	72 dB μ V/m	67 dB μ V/m
Filtro Modelo B	70 dB μ V/m	66 dB μ V/m

5 ANÁLISE COMPARATIVA DOS CUSTOS DOS FILTROS, PRODUÇÃO E MATÉRIA PRIMA

Apresenta-se a seguir uma comparação genérica, das diferenças dos custos de mão de obra e matéria prima das duas tecnologias.

- Custo do serviço de montagem da fonte PTH = 2X.
- Custo do serviço de montagem da fonte SMD = X.
- Custo matéria prima PTH = Y.
- Custo matéria prima SMD = 2Y.

Como os custos da matéria prima são muito superiores aos dos serviços de montagem, faz-se necessária a verificação dos itens em SMD que necessitam ser substituídos por modelo PTH, para que haja uma redução no custo total da fonte, por exemplo:

- Varistor PTH 275 14 mm -14k431: R\$ 0,42;
- Varistor SMD V275SM7: R\$ 7,65.

Com relação aos valores dos filtros, apresenta-se abaixo o custo de matéria prima de cada modelo, demonstrando-se a viabilidade da utilização do Modelo A.

- Filtro modelo A: R\$ 2,60.
- Filtro modelo B: R\$ 14,00.

6 CONCLUSÕES DOS RESULTADOS OBTIDOS

Após testes de emissão irradiada e emissão conduzida, chega-se a algumas constatações elencadas a seguir.

- 1) A fonte modelo PTH não necessita de filtros, uma vez que em todos os testes sem filtros, ficou abaixo dos limites estabelecidos pela norma CISPR11.
- 2) A fonte modelo SMD, ao ser submetida ao teste de emissão conduzida, estando sem o filtro EMI, apresentou um pico acima do limite estabelecido pela norma, desta forma indicando a necessidade da utilização do filtro na entrada. Por se tratar do mesmo projeto, tem-se aqui duas variáveis, não se podendo afirmar que há uma vantagem da tecnologia PTH, pois os *layouts* das placas são diferentes.
- 3) O comportamento dos dois modelos de fontes nos testes de emissão irradiada aponta para um melhor desempenho da fonte modelo PTH, estando com o filtro Modelo A.
- 4) Nos testes de emissão conduzida, os dois modelos de filtro, nos dois modelos de fonte, até a frequência de 230 MHz se assemelham; à medida que a frequência aumenta, o filtro Modelo B passa a ser mais eficiente.

Embora, de acordo com os testes realizados, um dos modelos de fonte, não necessite de filtro de EMI, como essas fontes são utilizadas muito próximo aos sensores indutivos do detector de metais, a utilização do filtro EMI se faz necessária, para que o equipamento tenha um desempenho superior em termos de estabilidade, quando configurado para níveis de sensibilidade maiores.

Com relação aos custos de produção, a fonte modelo PTH em seu processo de montagem é mais cara, por sua montagem ser realizada de forma manual. Isto não acontece no modelo SMD, fazendo com que os custos de mão de obra caiam. No entanto, ao se comparar os custos dos componentes SMD e PTH, verifica-se que os valores de alguns componentes em SMD são mais caros que o valor dos PTH, desta forma, conclui-se que é viável fazer um *layout* misto, com a troca dos itens mais caros em SMD por itens mais baratos em PTH, conseguindo uma redução nos custos de montagem e da matéria-prima. Neste novo *layout* deverá ser

implementado o filtro Modelo A, uma vez que seu desempenho fez com que os resultados ficassem bem abaixo dos limites da norma, nos testes práticos em conjunto com os sensores, permitiu a fonte operar sem nenhuma interferência.

REFERÊNCIAS

- CISPR. **CISPR 11 – Industrial, scientific, and medical (ISM) radio-frequency equipment electromagnetic disturbance characteristics - Limits and methods of measurement**, 2006.
- FAIRCHILD SEMICONDUCTORS. **Application Note 4145: Electromagnetic Compatibility for Power Converters**. 2006.
- MONTROSE, M. I. **Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance**. 2nd ed. Hoboken, Nova Jersey, EUA: Wiley-Blackwell, 2000.
- OTT, Henry W. **Eletromagnetic Compatibility Engineering**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009.
- PASQUALOTTO, T.; SCHLICHTING, L. C. M. Desenvolvimento de computador de telemetria com foco na redução de emissões eletromagnéticas conduzidas e radiadas. **Revista Ilha Digital**, v. 6, p. 10, 2017.
- PAUL, Clayton R. **Introduction to Eletromagnetic Compatibility**. 2nd ed. Hoboken: Jhon Wiley & Sons, 2006.
- SCHLICHTING, L. C. M. **Contribuição ao estudo da Compatibilidade Eletromagnética Aplicada aos Conversores Estáticos**. 2003. 139p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – UFSC, Florianópolis, 2003.



MALA TRIFÁSICA COM INJEÇÃO DE TENSÃO E CORRENTE PARA ENSAIOS DE CARGA IMPOSTA APLICADA A SISTEMA DE MEDIÇÃO PARA FATURAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

Eduardo de Liz Hampel¹, Joabel Moia²

Resumo: Este artigo aborda o projeto de uma mala trifásica com injeção de tensão e corrente, através do uso de conversores CC-CA, para ser utilizada em Subestações com o objetivo de serem realizados ensaios de carga imposta durante o período de comissionamento ou manutenção da Subestação. O produto eletrônico em questão tem a principal aplicação em Sistemas de Medição para Faturamento e possui o diferencial de outros do mercado por ser alimentado por bateria e não depender de alimentação externa. O produto projetado atende todos os ensaios exigidos nos Procedimentos de Rede do Operador Nacional do Sistema Elétrico – Módulo 12.

Palavras-chave: Sistema de Medição para Faturamento. Procedimento de Rede. Carga Imposta. Mala Trifásica. Conversor CC-CA.

Abstract: *This paper discusses the project of equipment able to inject voltage and current, through CC-CA converters, proposed to be used in Power Substation allowing to be realized burden tests during commissioning or maintenance period in Power Substation. The electronic product discussed has the main application into metering systems for billing and its advantage when compared to other products in market is that it can be fed by battery not depending on external power source. The proposed product meets all tests required in the “Procedimentos de Rede do Operador Nacional do Sistema Elétrico – Módulo 12”.*

Keywords: *Metering System for Billing, Burden test, Three phase source, CC-CA converter.*

¹ Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, IFSC/Florianópolis <du.hampel@hotmail.com>.

² Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <joabel.moia@ifsc.edu.br>.

1 INTRODUÇÃO

Sistema de Medição para Faturamento (SMF) é um sistema composto por medidores principal e retaguarda, por transformadores para instrumentos (transformadores de corrente e potencial), por canais de comunicação entre o agente e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), e por sistemas de coleta de dados de medição para faturamento (ONS, 2017).

O SMF fornece:

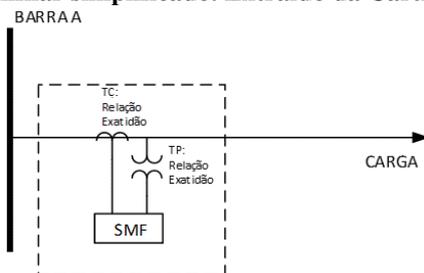
- dados para a apuração dos Encargos de Uso do Sistema de Transmissão – EUST e da eficiência da contratação do uso do sistema de transmissão, no âmbito do ONS;
- dados para a contabilização e liquidação da energia elétrica, no âmbito da CCEE;
- dados para a apuração dos encargos dos serviços ancilares, no âmbito da CCEE;
- dados para verificação do cumprimento das instruções de despacho nas unidades geradoras e para apuração dos serviços ancilares e das capacidades declaradas dessas unidades geradoras;
- dados para cálculo de fator de potência;
- dados para cálculo dos fatores de perda de transformação; e
- dados para cálculo dos indicadores de qualidade da energia elétrica (QEE) (ONS, 2017).

Dessa forma, fica evidenciado que o correto funcionamento do SMF é primordial para questões de faturamento, arrecadação de receita, e também para evitar penalidades dos agentes junto a CCEE, principalmente para Distribuidoras, Transmissoras e Geradores de energia elétrica.

Durante a instalação de um novo SMF o ensaio mais importante é o Ensaio de Carga Imposta, pois por meio dele é possível verificar se os equipamentos conectados aos secundários dos Transformadores de Instrumentos (TIs), bobinas dos medidores de energia elétrica, resistências dos contatos, blocos de terminais, resistência dos condutores e chaves de aferição não demandam uma carga imposta ao equipamento maior do que sua capacidade.

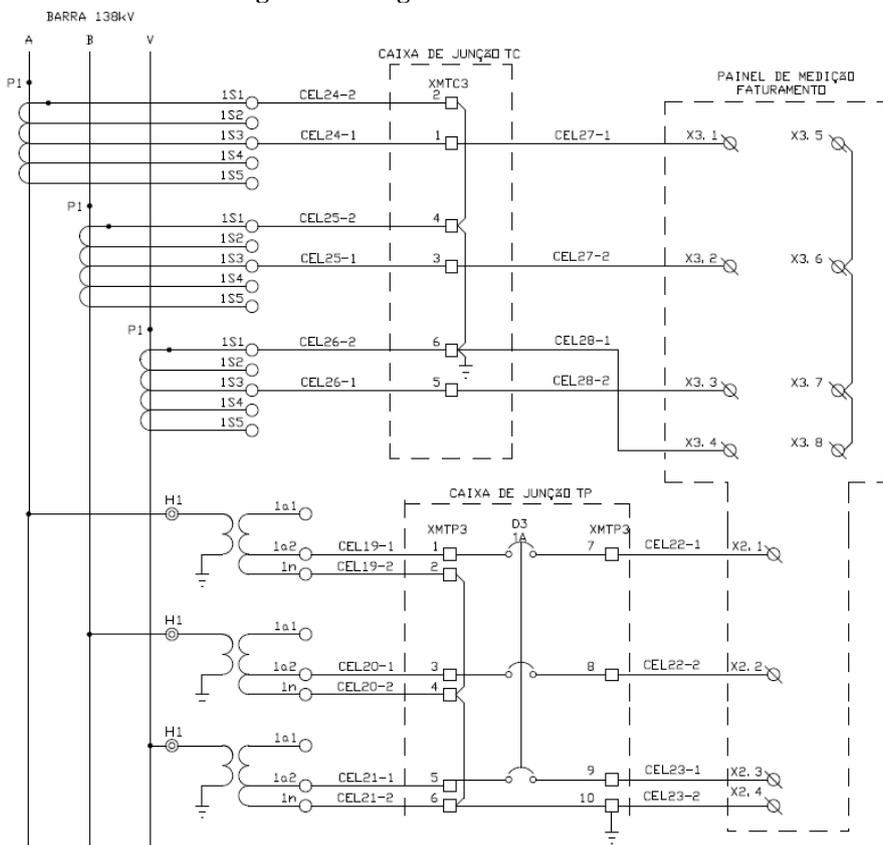
Devido a importância deste ensaio, o mesmo é exigido pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) e cobrado através do Relatório de Comissionamento do SMF, pois além de garantir o perfeito funcionamento dos TIs, garante que o SMF foi ligado corretamente. Isto porque no caso de uma conexão de uma fase invertida ou mesmo a polaridade do circuito de corrente estiver invertida, é possível identificar durante o ensaio através do Diagrama Fasorial apresentado nos medidores. Na Figura 1 é demonstrado o exemplo de um diagrama unifilar simplificado de onde é instalado um SMF.

Figura 1 – Diagrama Unifilar simplificado. Extraído da Cartilha do SMF ONS (2015).



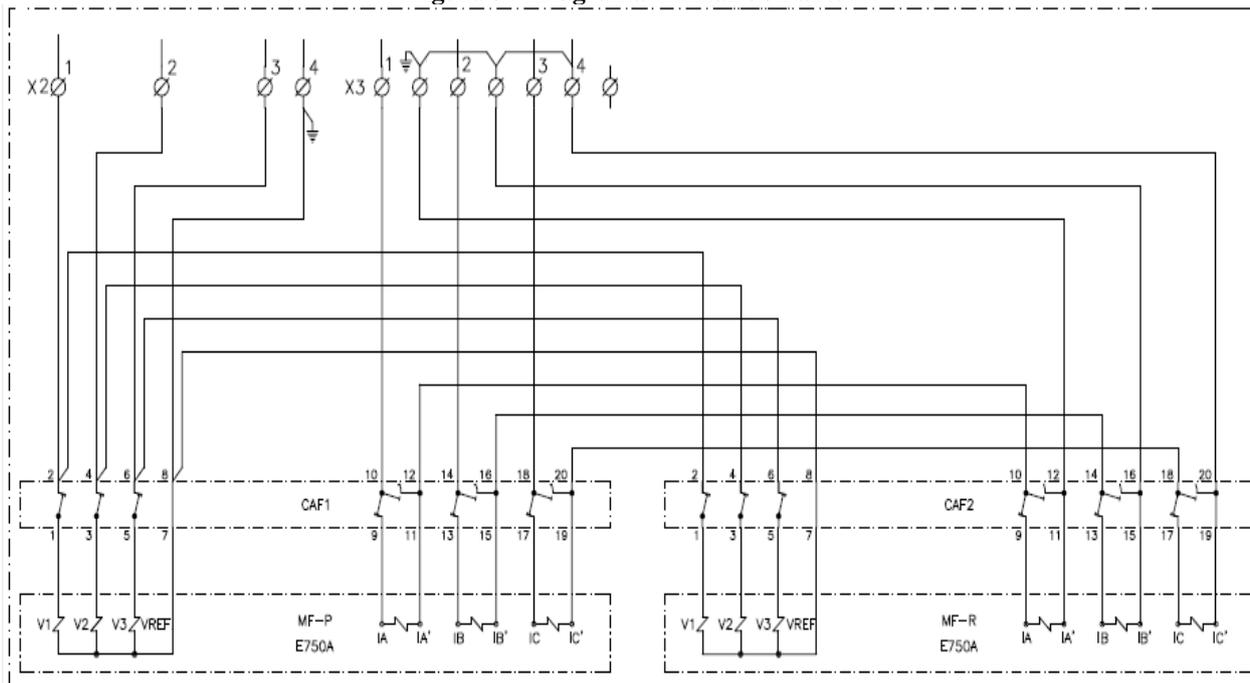
Na Figura 2 é demonstrado um típico diagrama trifilar de um SMF que contempla todas as instalações externas até o painel existente dentro da casa de comando de uma Subestação. Cabe salientar que na maioria das situações os cabos que interligam as caixas de junção dos transformadores de potencial (TPs) e destes até o painel dentro da casa de comando, possuem grandes distâncias, usualmente em torno de 300 metros, podendo ser maior ou menor dependendo do arranjo da subestação. A área da seção transversal (bitola) desses condutores deve ser calculada de modo a respeitar a potência máxima dos TIs.

Figura 2 – Diagrama Trifilar do SMF.



A fiação da parte interna do Painel, relativa à conexão dos medidores pode ser visualizada na Figura 3.

Figura 3 – Diagrama Trifilar do Painel.



Em uma pesquisa de mercado realizada com os produtos que permitem realizar o ensaio, constatou-se que a maioria é de fabricantes internacionais e existem poucos fornecedores, o que acaba tornando o produto caro. Os produtos nacionais apresentam interfaces pouco amigáveis e mais indicadas para uso em laboratórios, já que aparentam ter pouca resistência mecânica. Outro fator importante é que todos os produtos existentes dependem de fontes de alimentações externas.

Dessa forma este artigo propõe o projeto de um produto eletrônico, comumente conhecido como “Mala Trifásica”, capaz de realizar os ensaios necessários para o comissionamento de SMF. O produto é baseado em conversores CC-CA (inversor) com modulações PWM, transformadores elevadores e filtros de harmônicos. É implementada também uma malha de controle para o ajuste das correntes.

Como diferencial dos produtos existentes no mercado, a alimentação do equipamento é feita através de bateria, devido muitas vezes o equipamento ser utilizado em lugares remotos e o usuário não dispor de fontes de alimentação convencionais. Por fim é feita uma estimativa de preços e comparada com os equipamentos existentes no mercado.

1.1 Realização do Ensaio de Carga Imposta

Após a montagem de todo o circuito conforme a Figura 2 e a Figura 3, a equipe que realizar o serviço de posse de uma Mala Trifásica, que permita a injeção de tensão e corrente, pode iniciar o ensaio pelo circuito de potencial.

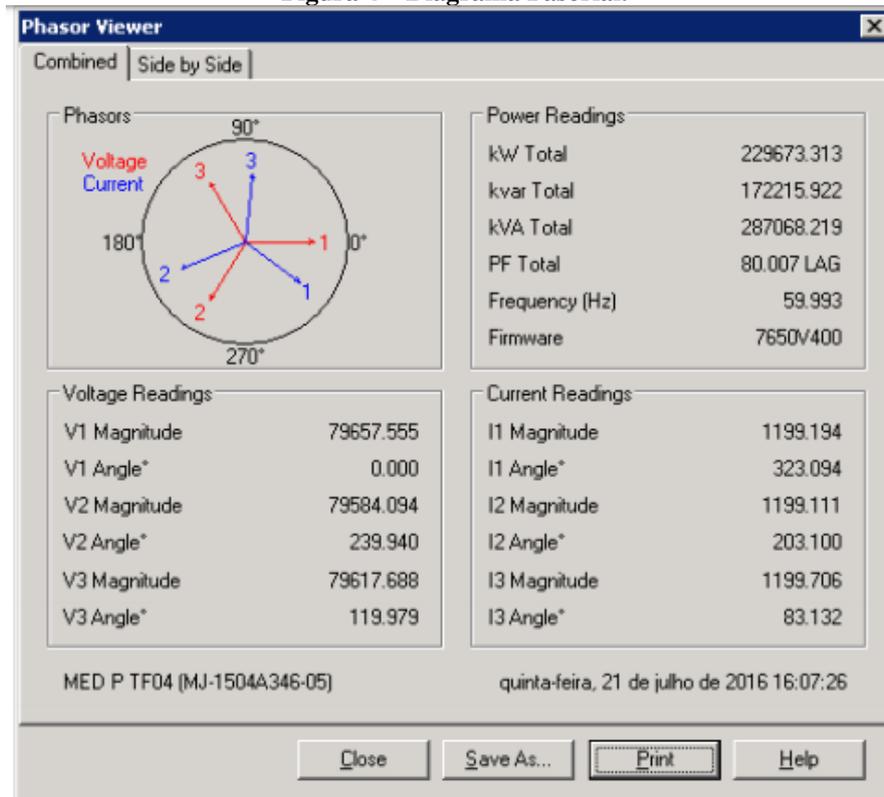
No caso do circuito de potencial devem ser desconectadas as ligações nos secundários dos TPs (terminais 1a2 e 1n – Figura 2) de cada TP. Após isto o equipamento deve ter suas saídas de tensão selecionadas para a mesma tensão do secundário do TP, usualmente $115 V_{RMS}$. Com o auxílio de um amperímetro é medida a corrente que circula por cada fase, seu valor eficaz/RMS é anotado. O produto resultante da corrente eficaz com a tensão eficaz aplicado em cada fase resulta na potência em VA demandada pelo circuito, a qual deve estar abaixo da especificada pelo fabricante do TP.

De forma análoga no circuito de corrente, o ensaio é realizado desconectando-se as ligações dos secundários (terminais 1S1 e 1S3 – Figura 2) dos transformadores de corrente (TCs) e conectando-as ao equipamento para teste. Neste caso a saída de corrente do equipamento deve ter sua saída configurada para 5 A ou 1 A, dependendo da especificação do TC, e com o auxílio de um voltímetro é mensurada a tensão nestes bornes para cada fase e seu valor é anotado. O produto resultante da tensão eficaz medida com a corrente eficaz aplicada resulta numa potência demandada pelo circuito, devendo estar abaixo da especificada pelo fabricante do TC.

Outro teste feito também que é exigido pelo ONS é o de estudo Fasorial, onde são aplicadas tensão e corrente nominais nas fiações que chegam aos secundários dos TIs. Nos medidores é capturado o Diagrama

Fasorial, dessa forma é possível visualizar se a alguma conexão está errada. Na Figura 4 é possível observar o exemplo de um Diagrama Fasorial capturado. Na Figura 4 é possível observar que as conexões estão corretas, pois as tensões estão defasadas 120° e cada uma está acompanhada de sua respectiva corrente.

Figura 4 – Diagrama Fasorial.



1.2 Requisitos do equipamento para realização do Ensaio de Carga Imposta

O equipamento para Ensaio de Carga Imposta em SMF, conhecido também como “Mala Trifásica Para Injeção de Tensão e Corrente”, deve possuir minimamente os seguintes requisitos para permitir que o ensaio possa ser realizado:

- Saídas em tensão trifásicas defasadas 120° entre si, com ajuste individual do valor eficaz para cada fase;
- Tensão de saída ajustável de 0 a $120 V_{RMS}$;
- Potência de 50 VA para a fonte de tensão;
- Saídas em corrente trifásicas defasadas 120° entre si, com ajuste individual do valor eficaz para cada fase;
- Corrente de saída ajustável de 0 a $5 A_{RMS}$;
- Potência de 50 VA para a fonte de corrente;
- A corrente deve estar atrasada em 30° em relação à tensão (fator de potência 0,866).

Os valores especificados são baseados nos TPs e TCs usualmente encontrados no mercado e em equipamentos existentes. No caso dos TPs sua relação é dimensionada de forma que a tensão de fase é sempre 66,39 ou 113,82 Vrms, Já para os TCs sua corrente de secundário é padronizada sempre para 1 ou 5 A.

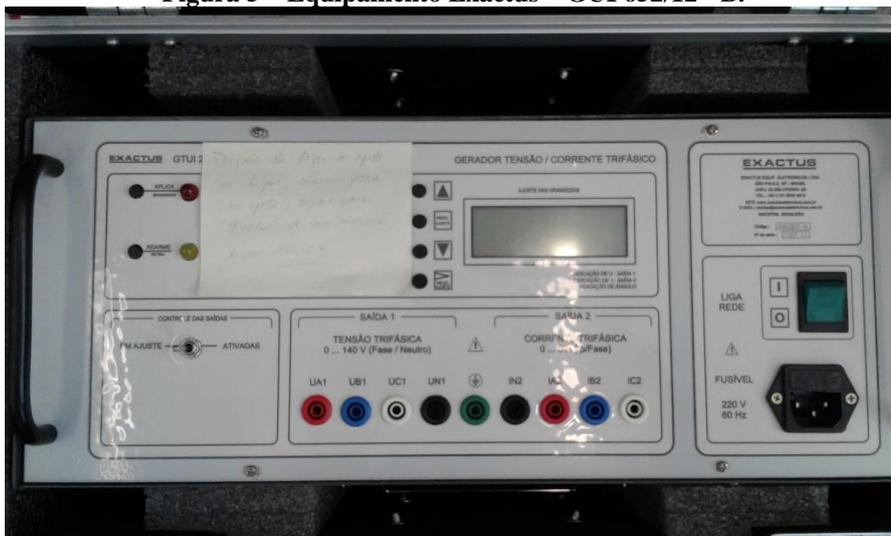
2 PESQUISA POR PRODUTOS CORRELATOS NO MERCADO

Para efeitos de especificação técnica e preço realizou-se uma pesquisa de mercado com alguns fabricantes que possuem o produto correlato. Este item resultou em apenas dois casos com cotações formais para pessoa jurídica. Os outros dois casos listados informaram o preço do equipamento por telefone.

2.1 Equipamento do fabricante Exactus: GUI 652/12 - B

Das pesquisas realizadas é o mais simples, mas atende perfeitamente todos os requisitos necessários para o ensaio, na Figura 5 pode se visualizar o mesmo.

Figura 5 – Equipamento Exactus – GUI 652/12 - B.



No site do fabricante são encontradas algumas informações técnicas, resumidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Especificações do fabricante.

Dados Técnicos	
Alimentação	90 a 260 V _{ca} 50/60 Hz
Saída Trifásica 1	0 a 120 V _{ca} 30 VA/fase
Saída Trifásica 2	0 a 6 A 30 VA/fase
Defasagem angular	0 a 360°
Apresentação	Bastidor metálico
Dimensões	L=193 mm, A=449 mm, P=415 mm. 14 kg
Acessórios	Manual, cabo de alimentação e mala para transporte
Garantia	2 anos

2.2 Equipamento do fabricante Metrum: PS-XVCCC

É o segundo mais caro dentre os pesquisados, no entanto apresenta mais funcionalidades (Figura 6).

Figura 6 – Equipamento do fabricante Metrum – PS-XVCCC (Extraído do Catálogo do fabricante).



O fabricante não informa a potência de saída, mas garante corrente de saída de 0 a 18 A e tensão eficaz de 0 a 300 V. Neste produto o controle dos sinais a serem aplicados pode ser ajustado por meio de software e é possível a injeção de harmônicos até 51ª ordem.

2.3 Equipamento do fabricante MTE: PPS 3.3C

Para este equipamento a cotação de preço foi feita por telefone, mas é um equipamento semelhante ao do item 2.2, no entanto não apresenta potência de saída suficiente (50 VA) para as fontes de tensão e corrente. Conforme catálogo do fabricante, na Tabela 2 estão resumidas as principais características do produto e na Figura 7 é possível visualizar o produto. Como vantagem, permite programação via software e possibilidade

de salvar os dados em um cartão de memória padrão MTE, permite também gerar sinais com harmônicos até 31ª ordem.

Tabela 2 – Especificações do fabricante.

Dados Técnicos		
Alimentação	88 a 264 V _{ca}	47 a 63 Hz
Saída Trifásica 1	300 a 480 V _{ca}	30 VA/fase
	150 a 300 V _{ca}	30 VA/fase
	75 a 150 V _{ca}	30 VA/fase
	30 a 75 V _{ca}	30 VA/fase
Saída Trifásica 2	10 a 120 A	60 VA/fase
	1 a 10 A	25 VA/fase
	1mA a 1 A	10 VA/fase
Defasagem angular	-180° a 180°	
Apresentação	Bastidor metálico	
Dimensões	L=465 mm, A=210 mm, P=375 mm. 21,5 kg	

Figura 7 – Diagrama Unifilar simplificado. Extraído do catálogo do fabricante (MTE, 2010).



2.4 Equipamento do fabricante Salk: SK-303

É um equipamento de fabricação nacional, semelhante ao do item 2.1, porém aparenta ter uma resistência mecânica maior e ser mais aplicável ao uso no campo. No site do fabricante não há imagem do equipamento, porém existe uma imagem de um monofásico que dá uma ideia do *design*. Na Figura 8 é possível visualizar o equipamento monofásico.

Figura 8 – Equipamento Salk. Extraído do site do fabricante.



O equipamento possui entrada de alimentação trifásica comutável entre 127 e 220 V_{AC}, com saídas de corrente alternada em 60 Hz de 4,6 ou 10 A e saída de tensão ajustável de 115 ou $115/\sqrt{3}$, e variação de FP de 1,00 – 0,5 Capacitivo – 0,5 Indutivo.

2.5 Comparativo de preços

Em uma breve análise é possível perceber que o segundo produto cotado é mais completo e possui um *design* mais interativo com o usuário, pois sua interface apresenta-se mais moderna. Outra vantagem é que o seu revestimento, em forma de maleta, apresenta facilidade de transporte e maior resistência. Na Tabela 3 é possível identificar os preços dos quatro fabricantes.

Tabela 3 – Preços cotados.

Item	Equipamento	Valor (R\$)
1	Exactus	25.951,10
2	Metrum	64.715,00
3	MTE	170.000,00*
4	Salk	48.000,00*

*Preços informados por telefone.

O equipamento do item 1 é o mais barato e contempla os itens necessários para realização do ensaio, mas sua desvantagem é que é o mais frágil em relação aos outros, sendo mais indicado para uso em laboratório.

O produto do item 3 além de não possuir as especificações mínimas é o mais caro de todos o que torna praticamente inviável em relação aos concorrentes.

O equipamento do item 4 não cumpre a especificação mínima também, pois não possui ajuste de tensão e corrente em toda faixa e sim valores pré-estabelecidos.

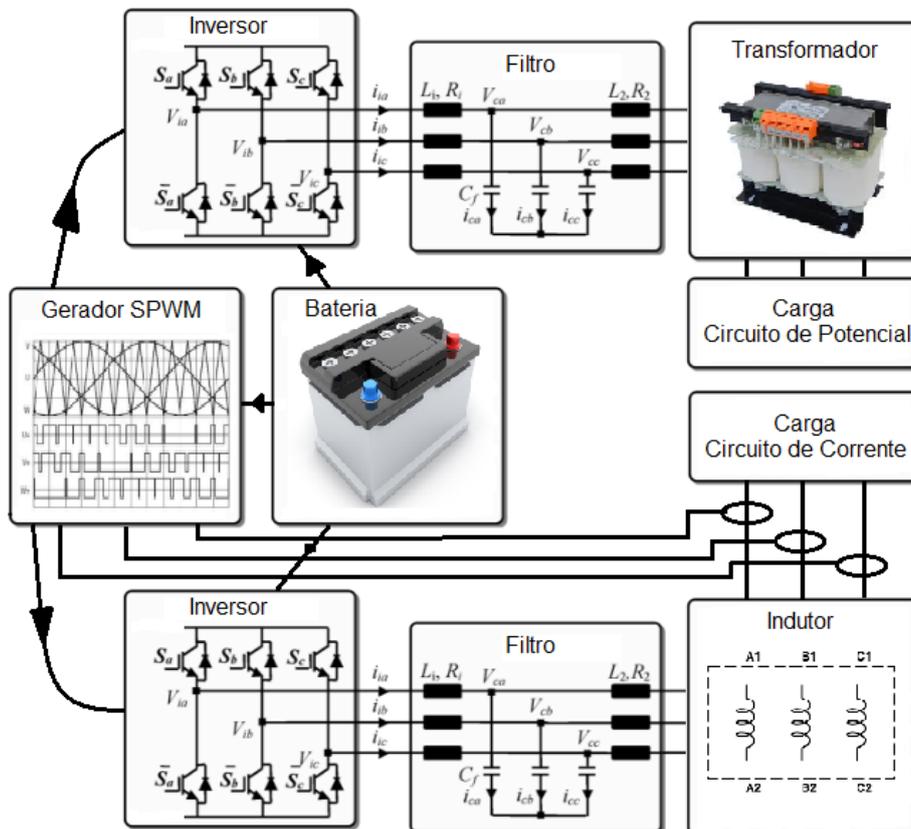
Outra desvantagem é que todos necessitam de fontes de alimentação externas, diferente da proposta deste trabalho onde o equipamento será alimentado por bateria.

3 EQUIPAMENTO PROPOSTO

De acordo com a pesquisa de equipamentos correlatos existentes no mercado, foi identificado que os produtos possuem um preço elevado em relação a proposta deste trabalho, além disso todos necessitam de fontes de alimentação externas que muitas vezes não estão disponíveis. O mercado nacional para o produto é vasto, pois além de ser um equipamento obrigatório para Agentes de Medição (Distribuidoras, Transmissoras, Geradores de energia elétrica) existem muitas empresas especializadas no mercado em oferecer este serviço de Ensaio de Carga Imposta.

A Mala Trifásica para Injeção de Tensão e Corrente proposta neste trabalho possui o diferencial dos outros produtos do mercado por ser alimentada por bateria de chumbo-ácido de 12 V/45 Ah, estacionária, facilmente encontrada no mercado. A bateria é especificada para durar 10 minutos com o equipamento sob carga nominal. Este tempo foi dimensionado de acordo com o tempo necessário para realizar um ensaio padrão de 2 a 3 minutos. Sendo assim são necessários conversores CC-CA para gerar os sinais senoidais. Na Figura 9 é possível visualizar o diagrama de blocos do produto proposto.

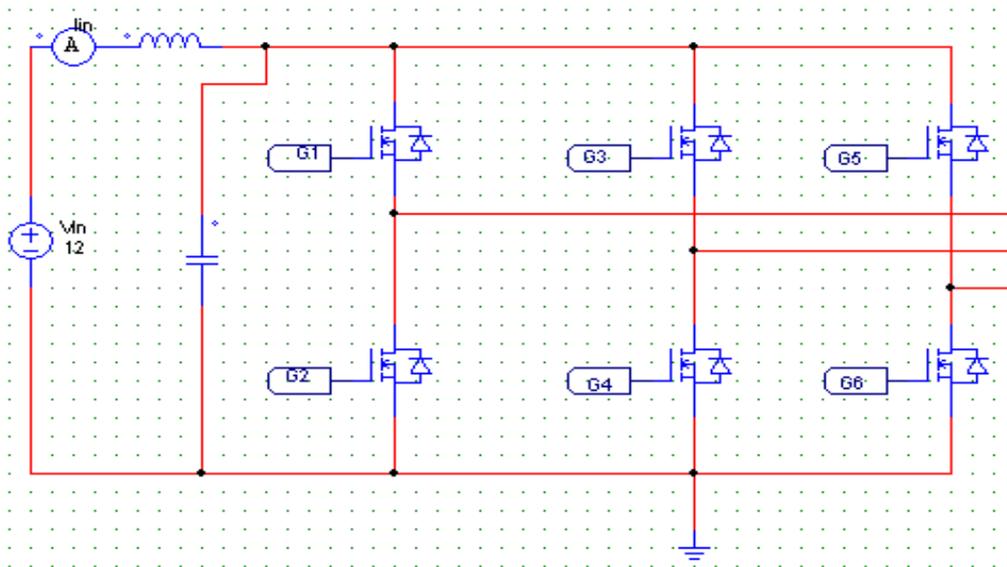
Figura 9 – Diagrama de blocos.



3.1 Topologia adotada

Um conversor CC-CA comumente conhecido por inversor é um dispositivo que converte corrente contínua em algum modo de corrente alternada. A fonte principal de energia é uma bateria. No caso de um inversor trifásico as saídas são defasadas 120° . A topologia de conversor CC-CA ou inversor que foi adotada é do tipo unidirecional, compostas por seis chaves e saída trifásica, conforme Figura 10.

Figura 10 – Topologia do Inversor trifásico.



Para o controle da forma de onda da saída foi utilizada a Modulação por Largura de Pulsos Senoidal (SPWM).

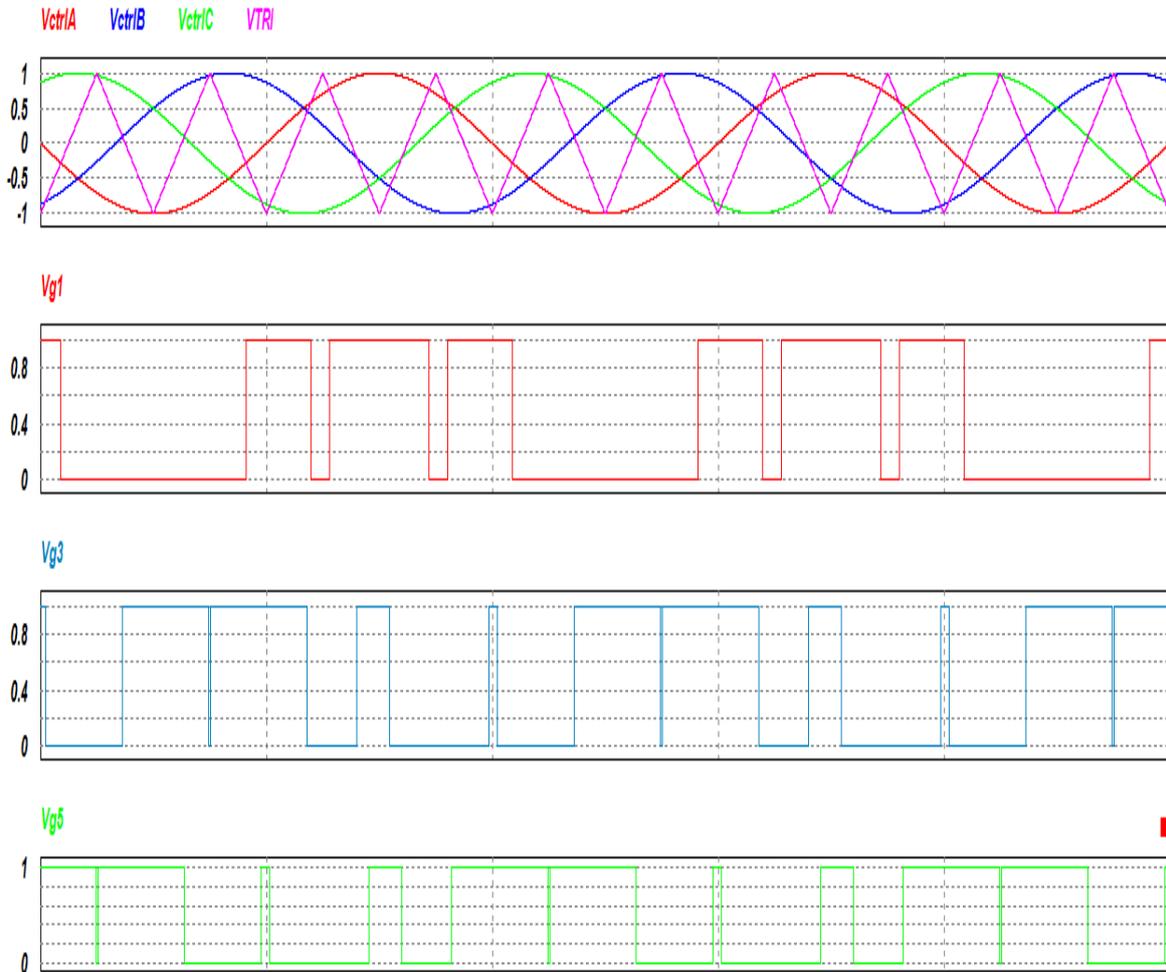
3.2 Técnica de Modulação por Largura de Pulsos Senoidal (SPWM)

A Modulação por Largura de Pulso (PWM) é uma técnica a qual é caracterizada pela geração de pulsos de amplitude constantes através da modulação da duração do pulso pela modulação do ciclo de trabalho. A modulação analógica PWM requer a geração de um sinal de referência (moduladora) e da portadora os quais são alimentados em um comparador e baseado em uma lógica a saída é gerada. O sinal de referência possui a forma desejada do sinal de saída o qual pode ser um valor contínuo, uma onda quadrada ou senoidal enquanto a portadora deve ser um sinal triangular ou dente de serra em uma frequência significativa maior do que o sinal de referência (MAJHI, 2012).

A técnica de modulação SPWM é caracterizada por pulsos de amplitude constante com diferentes ciclos de trabalho para cada período. A largura desses pulsos é modulada para obter a tensão senoidal na saída do inversor, reduzindo assim o conteúdo de harmônicos. A modulação SPWM é o método mais usado para controle de motores, aplicações solares e aplicações industriais. Nesta técnica três ondas senoidais e uma portadora triangular são utilizadas para gerar o sinal PWM. Essas três ondas senoidais são utilizadas para inversores trifásicos. As ondas senoidais são os sinais de referência e devem ser defasados obrigatoriamente em 120° . A frequência destas referências é escolhida de acordo com a aplicação ou a rede a ser conectada, neste projeto foi utilizada a frequência de 60 Hz, pois é o padrão utilizado no Brasil. A portadora, de sinal triangular, deve ter uma frequência muito maior do que o sinal de referência, na ordem de kHz. O sinal para chaveamento é gerado pela comparação das ondas senoidais com as ondas triangulares. O comparador gera um pulso em sua saída quando a tensão da onda senoidal é maior do que a onda triangular e estes pulsos são utilizados para acionar as chaves do inversor. Com o objetivo de evitar curto de braço entre as chaves, qualquer um dos três ramos do inversor não pode ser acionado simultaneamente (RAJU, 2013).

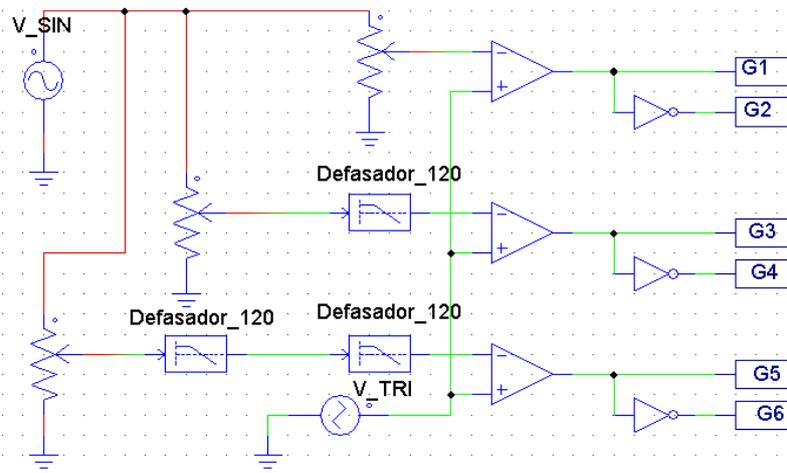
Na Figura 11 é possível visualizar as formas de ondas típicas de uma modulação SPWM. As três ondas senoidais defasadas 120° são aplicadas a entrada inversora dos comparadores e a onda triangular é aplicada a entrada não inversora dos comparadores. As formas de onda V_{g1} , V_{g3} e V_{g5} , são resultantes da comparação destas ondas, quando a onda senoidal é maior do que a onda triangular é gerado um pulso na saída do comparador, este por vez sua alimenta os drivers responsáveis por acionar as chaves do inversor. As formas de onda V_{g2} , V_{g4} e V_{g6} , não estão demonstradas no gráfico, pois são complementares as V_{g1} , V_{g3} e V_{g5} , respectivamente.

Figura 11 – Forma de ondas modulação SPWM.



Para gerar as formas de onda conforme a Figura 11, propõe-se a utilização de circuitos analógicos devido a facilidade de se trabalhar com os mesmos e terem um custo de implementação menor, já que para gerar os sinais seria necessário um microprocessador (microcontrolador, DSP etc.). A desvantagem é que as frequências de operação e filtragem ficam dependentes da precisão dos componentes e ajustes na hora de fabricação e primeiros testes. O circuito fica limitado também a operar nas frequências e fator de potência pré-estabelecidos. Na Figura 12 é possível visualizar o diagrama de blocos completo do circuito para gerar os sinais SPWM.

Figura 12 – Diagrama de blocos do circuito para gerar o SPWM.

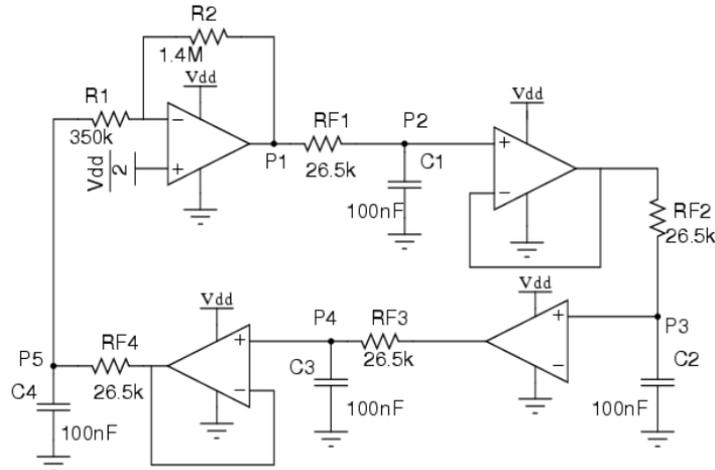


Para alimentar esses circuitos auxiliares utilizaram-se os componentes LM7805 e LM7905, para gerar uma fonte de alimentação de -5 V a $+5\text{ V}$ responsável por alimentar os circuitos auxiliares. A forma de ligação segue a folha de dados do fabricante.

3.2.1 Gerador de onda senoidal

Como o sinal de saída é um reflexo do sinal de referência, é muito importante que o mesmo possua baixa distorção. O AD639 é um circuito integrado que proporciona a geração deste sinal, mas como se tornou obsoleto e não há substituto direto, propõe-se a utilização do “*Bubba Oscillator*”. O Oscilador de Bubba é um circuito que fornece uma onda senoidal filtrada na frequência desejada baseada na configuração dos capacitores e resistores no circuito (DOUCET *et al.*,2007). Na Figura 13 é possível visualizar o circuito projetado para operar em 60 Hz. O amplificador operacional utilizado neste caso é o TLV2474.

Figura 13 – Gerador de onda senoidal (DOUCET, *et al.*,2007).



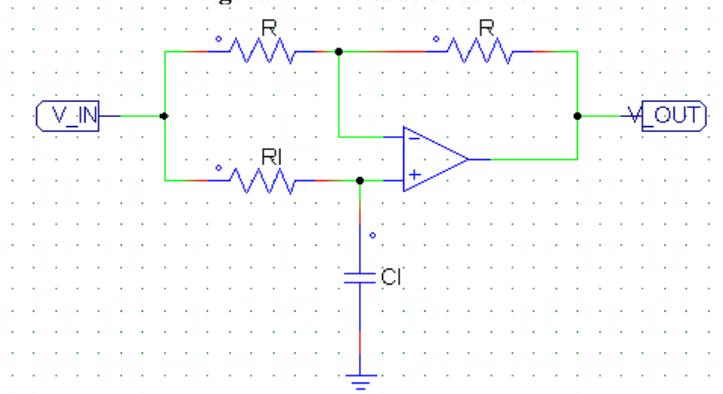
3.2.2 Ajuste amplitude tensão de saída

Os potenciômetros existentes entre a saída do oscilador e a entrada de cada comparador servem para ajustar a amplitude de saída do sinal por fase do inversor, é o controle que o operador do equipamento deve utilizar para o controle da amplitude de saída.

3.2.3 Defasador de 120°

Como o oscilador utilizado possui apenas saídas em quadratura, foi utilizado um filtro passa tudo com o objetivo de provocar apenas um deslocamento de fase, no caso 120° para a fase B e 240° para a fase C. A defasagem de 240° é obtida associando dois defasadores em série. Na Figura 14 é possível identificar o circuito utilizado.

Figura 14 – Defasador de 120°.



A tensão de saída é dada pelas Equações 1 e 2.

$$V_{out} = V_{in} \angle -\theta \quad (1)$$

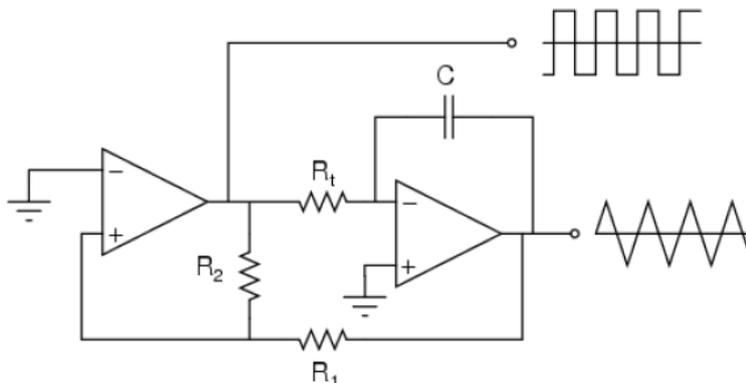
$$\theta = 2 \arctan(2\pi f R_i C_i) \quad (2)$$

Para uma defasagem de 120° obteve-se os seguintes valores para o capacitor e o resistor: $R_i = 5,51 \text{ k}\Omega$ e $C_i = 1 \mu\text{F}$.

3.2.4 Gerador de onda triangular

O circuito gerador de onda triangular consiste num gerador de onda quadrada e um integrador, conforme demonstrado na Figura 15.

Figura 15 – Gerador de onda triangular (DOUCET *et al.*, 2007).



O circuito da Figura 15 oscila numa frequência dada pela Equação 3:

$$f_{osc} = 1/4R_t C \quad (3)$$

A frequência de comutação escolhida foi 60 kHz, pois permite utilizar componentes para a filtragem com valores menores, diminuindo o custo do filtro, entretanto este valor de frequência deve ser escolhido cuidadosamente, pois quanto maior a frequência, maiores são as perdas de comutação. Para a frequência de 60 kHz obteve-se os seguintes valores para os componentes: $R_t = 4,2 \text{ k}\Omega$ e $C = 1 \mu\text{F}$. Os resistores R_1 e R_2 controlam a amplitude do sinal de saída, e seus valores são iguais a $1 \text{ k}\Omega$.

Como a frequência de saída foi selecionada para 60 kHz o amplificador operacional deve possuir um *slew rate* elevado, portanto, escolheu-se o LM7171.

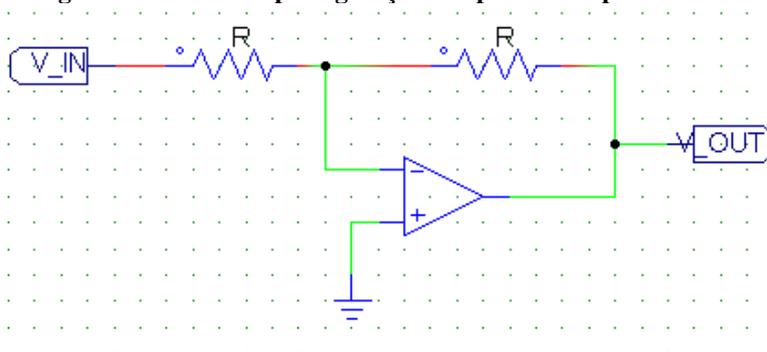
3.2.5 Comparador

O circuito integrado escolhido para a função de comparador, a ser utilizado no circuito gerador de SPWM, é o LM319 por ser um componente facilmente encontrado e de alta velocidade.

3.2.6 Geração dos Pulsos Complementares

O circuito utilizado para gerar a saída complementar do sinal de disparo das chaves da parte inferior de cada braço do inversor é apresentado na Figura 16.

Figura 16 – Circuito para geração dos pulsos complementares.



Neste caso os dois resistores devem possuir o mesmo valor a fim de se obter ganho unitário para o amplificador inversor. Cabe salientar que este circuito foi utilizado apenas para simulação do funcionamento já que o driver utilizado já tem a funcionalidade de gerar os pulsos complementares.

3.3 Chaves estáticas

Em aplicações de inversores os MOSFETs e IGBTs são largamente aplicados. Os MOSFETs de potência podem operar em frequências maiores na ordem de dezenas de kHz, mas é limitado na questão de potência, geralmente 1.000 V com corrente de 50 A. Já o IGBT é um transistor de potência controlado por tensão que é

utilizado quando aplicado em tensões maiores e oferece maior velocidade do que um BJT, mas não tão rápido quanto um MOSFET. No caso do produto proposto, como a potência necessária é relativamente baixa e a frequência de chaveamento elevada, foi escolhida a tecnologia MOSFET para utilização no inversor. O componente escolhido é o STD130N6F7 que tem aplicação em chaveamentos de alta velocidade, e a vantagem de apresentar baixa resistência quando em condução.

As perdas de condução e chaveamento para as chaves utilizadas foram calculadas através das Equações 4 e 5, respectivamente.

$$P_{cond} = R_{ds} \cdot (I_{RMS})^2 \quad (4)$$

$$P_{comut} = \frac{f_{comut}}{2} V_{pico} I_{pico} (t_r + t_f) \quad (5)$$

Sendo:

R_{ds}	resistência dreno- <i>source</i> em condução do transistor;
I_{RMS}	valor da corrente eficaz do transistor;
f_{comut}	frequência de comutação de operação do transistor;
V_{pico}	valor da tensão de pico sobre o transistor;
I_{pico}	valor da corrente de pico do transistor;
t_r	tempo de subida do transistor, fornecido pelo fabricante, e;
t_f	tempo de descida do transistor, fornecido pelo fabricante.

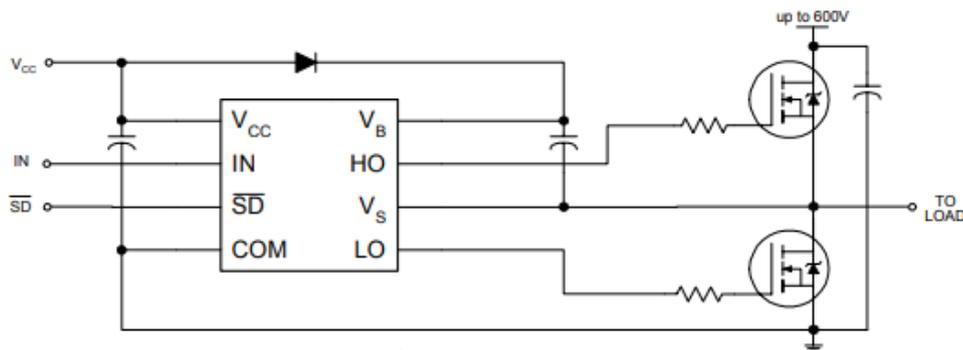
Com os seguintes valores: $R_{ds} = 5,0 \text{ m}\Omega$; $I_{RMS} = 6,8 \text{ A}$; $f_{comut} = 60 \text{ kHz}$; $V_{pico} = 12 \text{ V}$; $I_{pico} = 8 \text{ A}$; $t_r = 44 \text{ ns}$ e $t_f = 24 \text{ ns}$, os quais são resultantes da simulação e da folha de dados do fabricante e as Equações 4 e 5, chega-se ao valor de 427 mW de perdas totais. Com essa potência, foi feito o cálculo térmico e confirmou-se que não há necessidade de utilização de dissipadores nas chaves.

3.4 Acionamento para as chaves (*driver*)

Com todos os circuitos descritos anteriormente implementados o sinal SPWM já está apto a ser aplicado nas chaves, no entanto, como serão utilizados MOSFETs do tipo N são necessários circuito de acionamento (*drivers*) com o objetivo de acionar as chaves da parte superior do inversor, pois deve-se existir uma tensão no *gate* do MOSFET maior que em seu dreno para que ele possa conduzir. Os *drivers* de MOSFET são capazes de atingir esta tensão rapidamente através das técnicas de *Charge Pumps* e *Boot Strapping*.

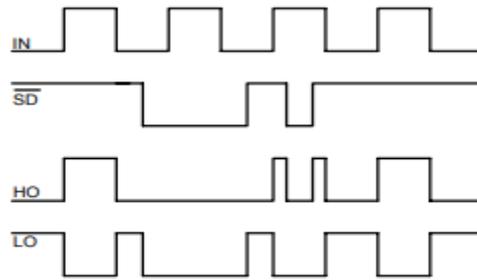
O *driver* escolhido para esta função é o IR2104 o qual excede todos os requisitos necessários para os acionamentos dos MOSFETs. Ele é capaz de suportar tensão de 600 V sob corrente de 130 mA e rápidas velocidades de chaveamento. A típica conexão deste circuito é demonstrada na Figura 17.

Figura 17 – Conexão típica IR2104 (INFINEON TECHNOLOGIES, 2018).



A operação deste dispositivo é feita através do sinal SPWM, os quais alimenta o pino IN. Os pinos HO e LO são acionados conforme os sinais da entrada IN, sendo que o sinal complementar é gerado pelo próprio circuito, além disso, ele fornece um tempo morto de 520 ns para evitar curto entre braços, o pino SD (*shutdown*) permite realizar o desligamento das duas saídas independentemente dos sinais de entrada, e para o caso em questão deve ser mantido aterrado. Na Figura 18 segue a lógica de funcionamento.

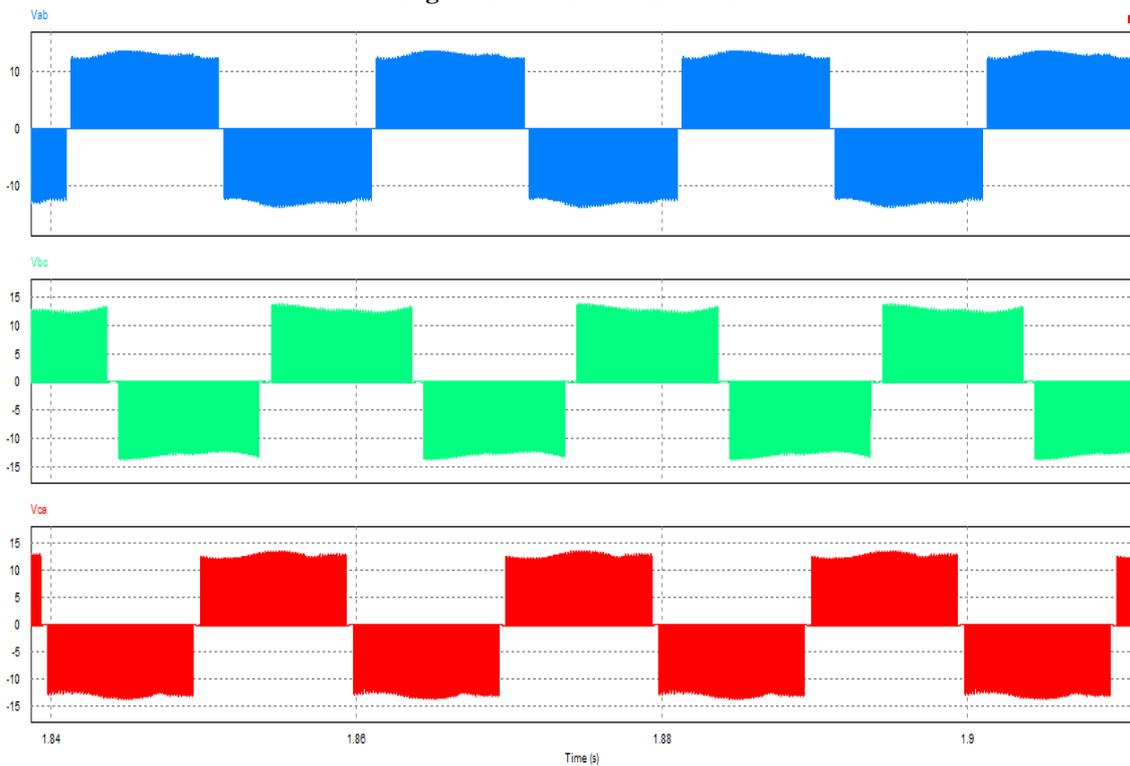
Figura 18 – Saída e entrada (INFINEON TECHNOLOGIES, 2018).



3.5 Filtragem

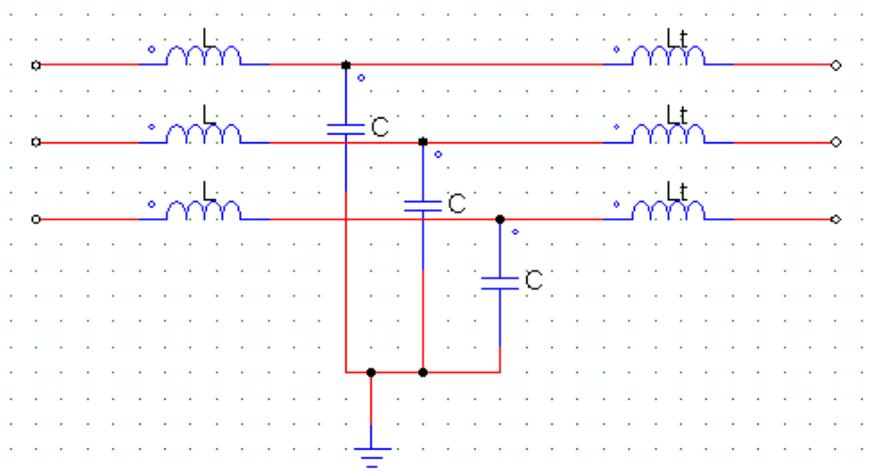
A saída do inversor pode ser visualizada na Figura 19.

Figura 19 – Saída do inversor.



Percebe-se que o conteúdo da forma de onda de saída possui a frequência fundamental do sinal de referência e o conteúdo do sinal na frequência de chaveamento utilizado, dessa forma faz-se necessária a eliminação das frequências indesejadas. Assim, foi utilizado um filtro LCL, conforme circuito da Figura 20.

Figura 20 – Filtro LCL (RAJU, 2013).

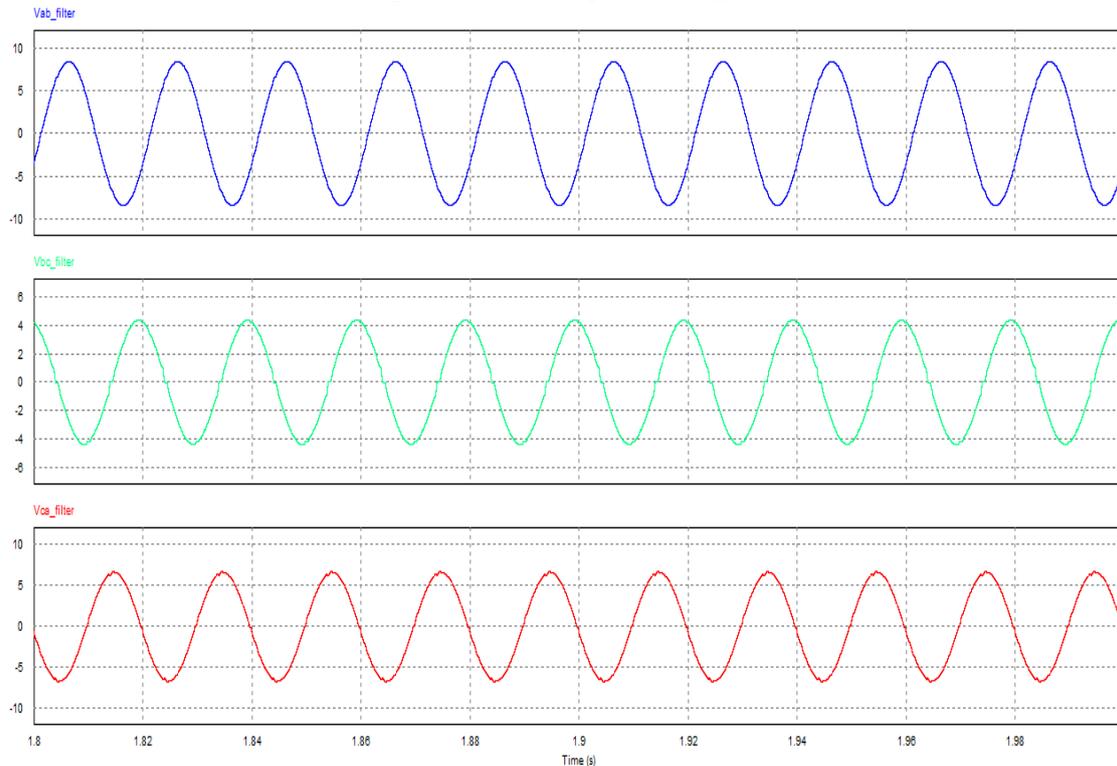


O indutor L_t é a indutância do transformador a ser colocado após o filtro com o objetivo de elevar a tensão de saída para o valor desejado. Para este circuito a frequência de corte pode ser calculada pela Equação 6.

$$f_{3db} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L + L_t}{L * L_t * C}} \quad (6)$$

Na Figura 21, é possível visualizar os sinais de tensão na saída do inversor após a filtragem.

Figura 21 – Saída após a filtragem.



As formas de onda apresentadas são as tensões de fase após a filtragem, onde se percebe que as componentes de alta frequência foram eliminadas.

Após a bateria foi implementado um filtro de corrente para retirar os chaveamentos da corrente fornecida pela bateria, na Figura 10 pode ser visualizada implementação do filtro de entrada através de um capacitor e um indutor.

3.6 Transformador elevador

Como a fonte de alimentação da entrada possui uma tensão de 12 V e é desejada uma tensão de 120 V_{RMS} na saída do inversor, faz-se necessária a utilização de um transformador elevador de tensão. Em aplicações no Sistema Elétrico de Potência o primário dos transformadores é ligado em delta e uma das grandes vantagens disto é o confinamento do harmônico de terceira ordem. No caso do produto em questão não é possível que o primário seja conectado em delta, pois assim, o controle de tensão não fica independente por fase, portanto optou-se por um transformador com o primário e o secundário ambos ligados em estrela. Na Figura 22 é possível visualizar o circuito com o filtro, o transformador e a carga na saída.

A relação de transformação utilizada para o transformador foi de 1:40, pois com a filtragem a componente fundamental foi levemente atenuada, o que resultou em uma tensão de saída menor que os 12 V da fonte.

3.7 Tensão de saída com carga

Para simular o funcionamento do circuito na máxima potência foram colocados resistores de 250 Ω nas saídas para atingir a potência de 50 W. Na Figura 23 é possível visualizar as formas de onda na saída, com diferentes valores, decorrente de ajuste através dos potenciômetros que controlam a amplitude do sinal de referência. Foi plotado também a corrente de entrada do inversor suportada pela bateria.

Figura 22 – Saída do inversor com transformador elevador.

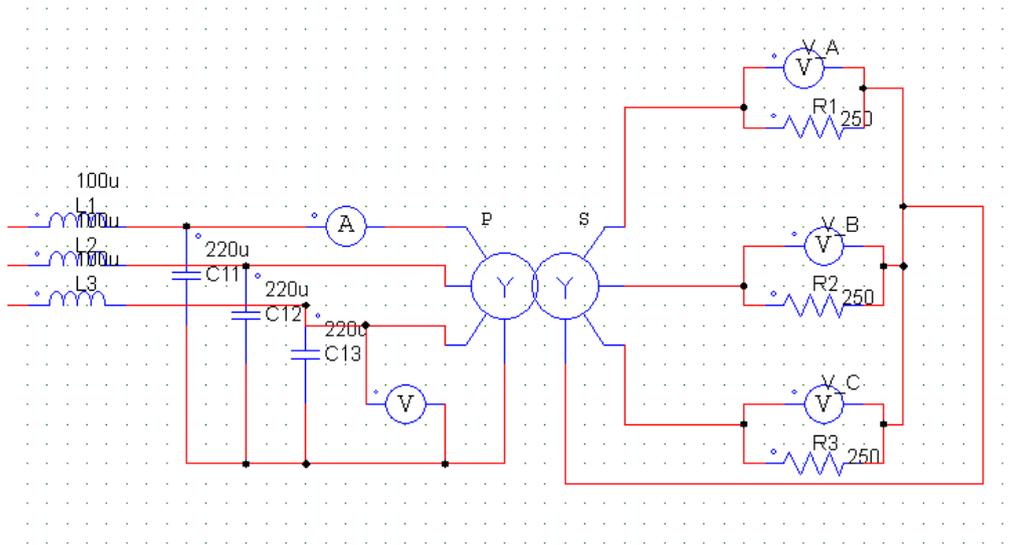
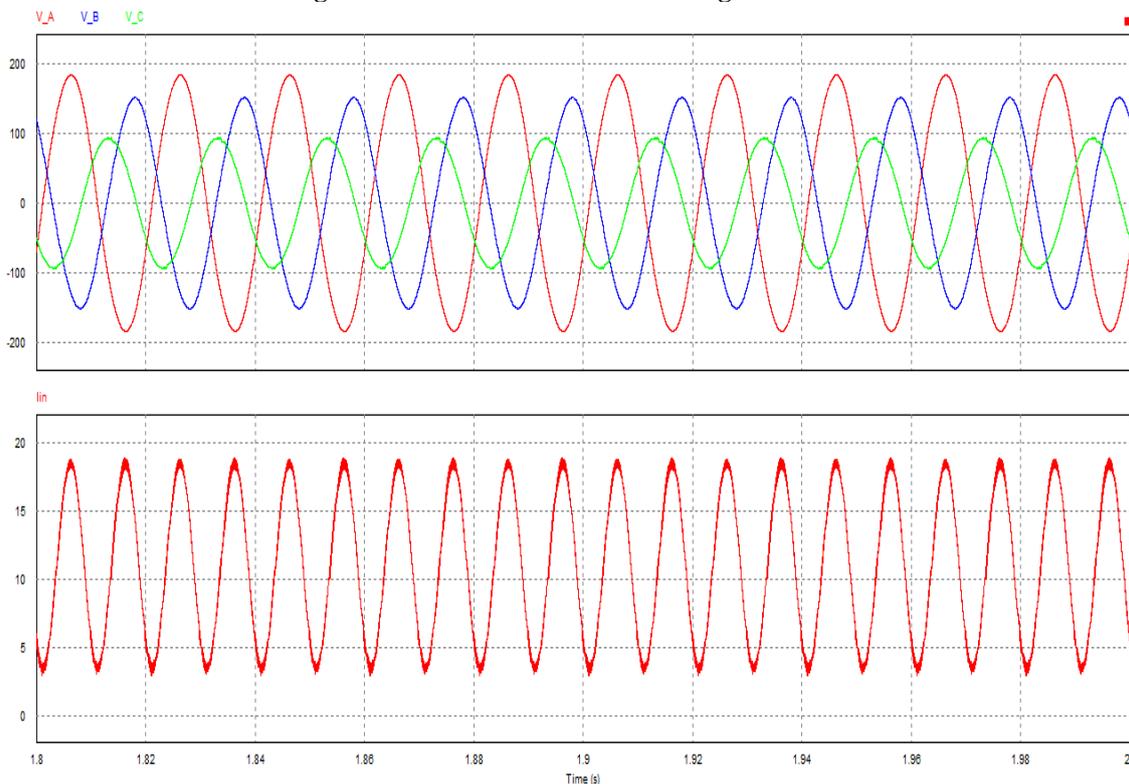


Figura 23 – Saída do inversor sob carga nominal.



3.8 Fonte de Corrente

Conforme a Figura 9, o projeto da fonte de corrente é muito próximo ao da fonte de tensão, no lugar do transformador foram colocados indutores para caracterizar a saída em corrente. Foram adicionados sensores de corrente também em cada saída, pois a corrente é monitorada e caso esteja abaixo ou acima da referência configurada pelo usuário, seu valor é corrigido através de uma malha de controle com um controlador Proporcional Integral.

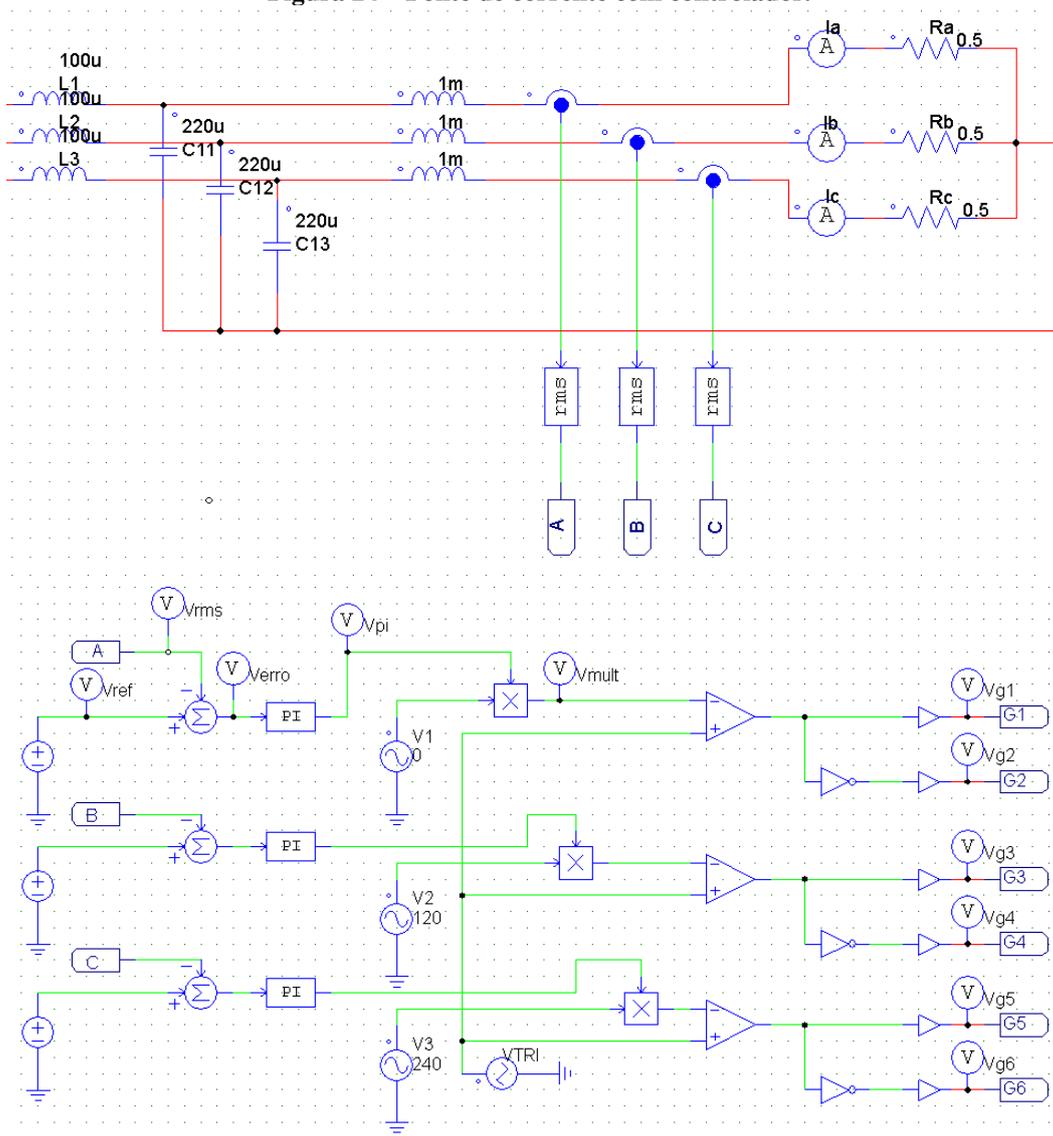
Deve ser observado também que o circuito defasador que vai pegar o sinal de referência deve possuir o resistor R_i e o capacitor C_i ajustáveis para permitir ao usuário o controle da defasagem entre o circuito de tensão e corrente, já que o transformador e os outros componentes ao longo do circuito geram uma defasagem.

3.8.1 Circuito de controle da corrente de saída

Como a corrente varia com a carga, projetou-se um circuito controlador com malha fechada, onde monitora-se a corrente de saída e conforme o erro em comparação com a entrada estabelecida pelo usuário; a

amplitude do sinal de referência é ajustada automaticamente. Na Figura 24, é possível visualizar o circuito da saída da fonte de corrente com seu circuito de controle.

Figura 24 – Fonte de corrente com controlador.



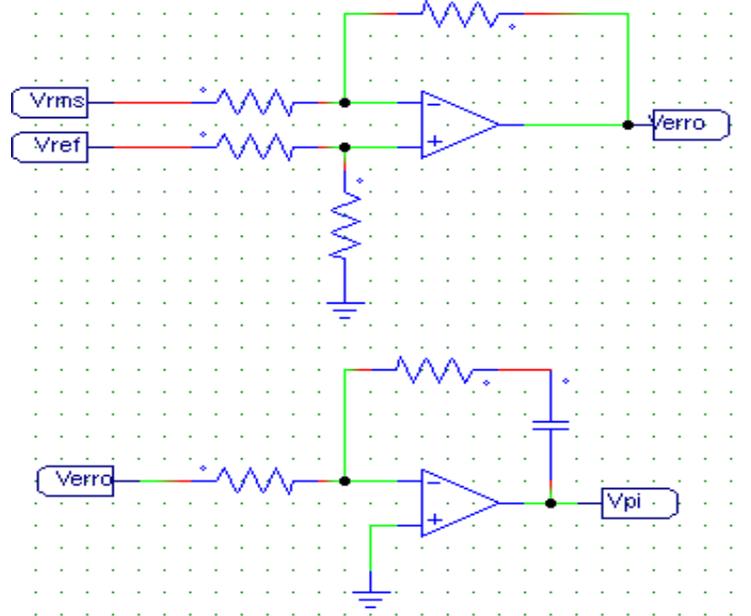
Neste caso optou-se por utilizar componentes ideias para facilitar a simulação e o entendimento do funcionamento.

Logo após a saída do filtro do inversor, foram colocados indutores de 1 mH para caracterizar a saída do inversor em corrente. Os resistores de 0,5 Ω representam a carga. A corrente que passa pela carga é monitorada através de sensores de corrente, (transdutores), os quais transformam a corrente em um valor de tensão. Deste valor de tensão, é extraído seu valor eficaz que por sua vez é comparado com um valor de referência, estabelecido pelo usuário. Dessa comparação surge um valor de tensão de erro o qual passa por um controlador Proporcional Integral (PI) e a sua saída é aplicada a um amplificador controlado por tensão o qual possui em sua entrada o sinal de referência.

Em linhas gerais, a amplitude do sinal de referência é controlada por um sinal proporcional a diferença entre o valor ajustado pelo usuário e o valor medido na carga, dessa forma quanto maior for a diferença maior será a amplitude do sinal de referência.

O controlador PI e o somador de diferença, podem ser implementados por meio de amplificadores operacionais, conforme Figura 25.

Figura 25 – Circuito de controle Proporcional Integral com Amplificador Operacional.

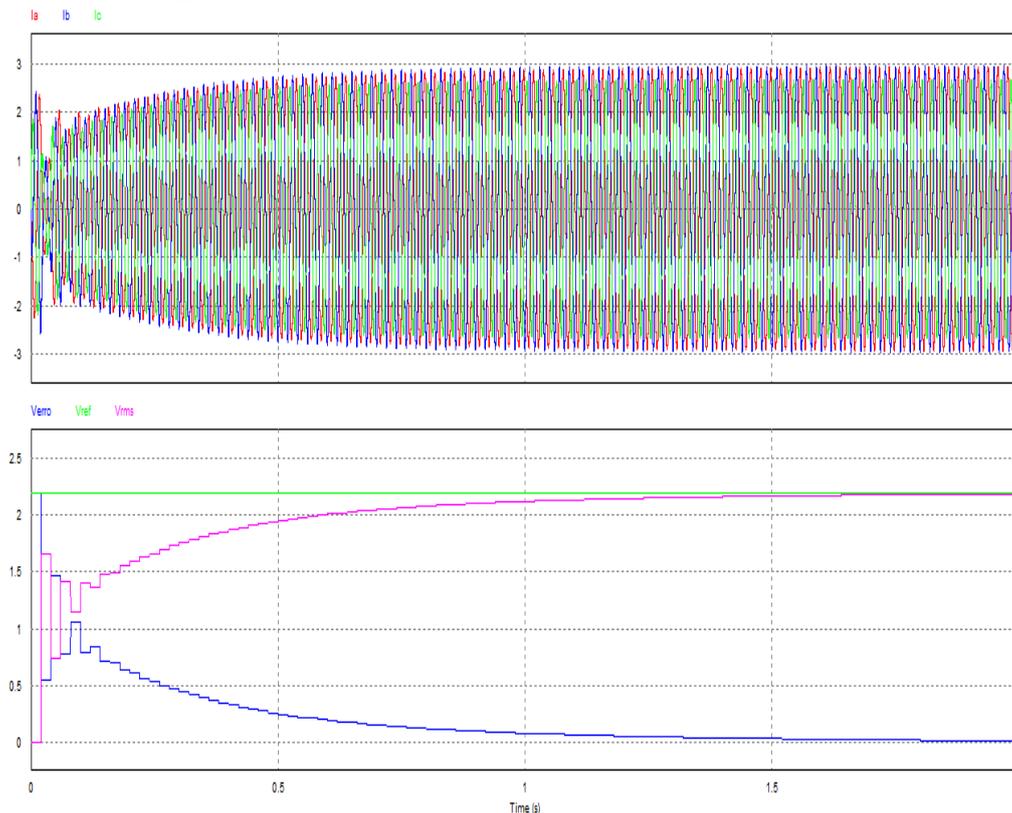


O amplificador controlado por tensão, por ser um circuito não linear e, portanto, de difícil implementação através de amplificadores operacionais, optou-se por utilizar o componente THAT2181, o qual realiza esta multiplicação.

Para monitorar a corrente de saída devem ser utilizados mini transformadores de corrente, facilmente encontrados no mercado, como sugestão o componente DL-CT1005A, pode ser utilizado, em sua saída deve ser colocado um resistor para converter a saída de corrente para tensão.

Dessa saída de tensão, é extraído o seu valor eficaz através de um detector de pico seguido por um amplificador com ganho $1/\sqrt{2}$. Essa premissa adotada é válida porque se assumiu que o sinal de saída é uma onda puramente senoidal. Na Figura 26, é possível observar as correntes de saída e também a atuação do circuito realimentado.

Figura 26 – Saídas da fonte de corrente e circuito realimentado.



Pelo gráfico da Figura 26 é possível identificar as correntes ajustando seus valores para o valor selecionado pelo usuário, no caso $3,2 A_{RMS}$. O sinal em V_{RMS} representa a medição da corrente de saída, esse sinal é diminuído do sinal de referência V_{ref} , o resultado passa então pelo controlador PI e controla a amplitude do sinal de referência que por sua vez controla a amplitude do sinal de saída, a qual fica em um valor fixo quando atinge o valor de referência.

4 PROJETO DE INTERFACE

Para a interface com o usuário sugere-se que sejam adotadas as melhores práticas observadas nas teorias de interface. A proteção externa deve ser em formato de maleta com rodinhas e alça para facilitar o transporte do equipamento devido ao peso resultante principalmente da bateria. Na Figura 27, é possível visualizar o exemplo citado.

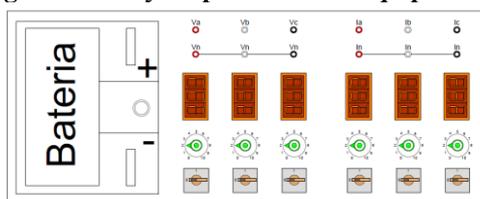
Figura 27 – Sugestão de proteção externa do equipamento.



Esse tipo de maleta protege o equipamento durante o transporte dentro de veículos, contra choques com outros objetos e permite também grau de proteção IP50. É importante ressaltar que a parte externa da maleta deve de material não condutor por questões de segurança.

Se tratando da interface com o usuário para realização do ensaio, elaborou-se um *layout* provisório do produto, conforme demonstrado na Figura 28.

Figura 28 – *Layout* provisório do equipamento.



O *layout* proposto possui a finalidade de ser o mais intuitivo o possível para o usuário. Suas saídas em tensão e corrente possuem entradas para pinos do tipo “banana” e cada fase tem uma cor diferenciada. Foram colocados voltímetros e amperímetros digitais para o usuário ter uma indicação do valor da tensão e correntes aplicadas em cada fase respectivamente. O ajuste de seus valores é feito através de potenciômetros. Foram inseridas chaves ainda para acionar ou não cada saída. Antes de acionar as chaves o usuário deve lembrar que o circuito conectado a fonte de corrente deve permanecer fechado para evitar danos internos ao equipamento.

O equipamento deve estar disposto internamente na mala de tal forma que a bateria fique na parte inferior deslocando o centro de massa para a parte inferior do equipamento, facilitando assim o transporte.

No *layout* provisório não foi inserida uma chave geral de emergência, a qual deve ser do tipo *push-button*, para facilitar a desenergização do equipamento em caso choque elétrico ou outro tipo de risco.

O peso do produto fica em torno de 25 kg, com 12 kg proveniente da bateria, 8 kg do transformador e os outros 5 kg provenientes dos demais componentes. Já sua dimensão ficou em 600 x 300 x 250 mm (CxLxA).

5 CUSTO DO PRODUTO

Todos os componentes eletrônicos utilizados no produto tiveram seus custos cotados com fornecedor o fornecedor internacional Mouser, os preços foram convertidos de US\$ para R\$ com o valor de 3,50. A bateria foi cotada num site de fornecimento nacional e é o único produto cotado em reais. Para o caso do transformador elevador, não foi informado preço, pois é um componente feito sob especificação e seu custo estimado é em torno de R\$ 500,00. No Quadro 1, estão listados os preços dos componentes eletrônicos necessários para a implementação do produto.

Quadro 1 – Estimativa de preços dos componentes eletrônicos.

Planilha de custos dos componentes eletrônicos do produto					
			Quant.	Preço unit.	Total (R\$)
Bateria	12 V	45 Ah	1	R\$ 279,90	279,9
Gerador SPWM - tensão	Gerador de onda senoidal	TLV2474	1	\$ 1,51	5,285
		Resistores	10	\$ 0,14	4,9
		Capacitor	4	\$ 0,77	10,78
	Ajuste Tensão saída	Potênciômetros	3	\$ 4,24	44,52
	Defasador 120	TL082	2	\$ 0,80	5,6
		Resistores	9	\$ 0,14	4,41
		Capacitor	3	\$ 0,77	8,085
	Gerador de onda triangular	LM7171	2	\$ 3,21	22,47
		Resistores	3	\$ 0,14	1,47
		Capacitor	1	\$ 0,77	2,695
	Comparador	LM319	3	\$ 0,57	5,985
Inversor	Chaves Estáticas	STD130N6F7	12	\$ 1,39	58,38
	Drivers	IR2104	6	\$ 1,62	34,02
Filtro	Filtro LCL	Capacitor	6	\$ 1,66	34,86
		Indutor	6	\$ 2,97	62,37
Transformador	Transformador elevador		1		
Gerador SPWM - corrente	Ajuste Tensão saída	Potênciômetros	3	\$ 4,24	44,52
	Defasador 120	TL082	2	\$ 0,80	5,6
		Resistores	12	\$ 0,14	5,88
		Capacitor	4	\$ 0,77	10,78
	Gerador de onda triangular	LM7171	2	\$ 3,21	22,47
		Resistores	3	\$ 0,14	1,47
		Capacitor	1	\$ 0,77	2,695
	Comparador	LM319	3	\$ 0,57	5,985
	Controlador PI	TL082	2	\$ 0,80	5,6
		Resistores	6	\$ 0,14	2,94
		Capacitor	3	\$ 0,77	8,085
Somador diferença	TL082	2	\$ 0,80	5,6	
	Resistores	12	\$ 0,14	5,88	
Amp. controlado por tensão	THAT 2181	3	\$ 5,05	53,025	
Conversor RMS	Detector de pico	1N4007	3	\$ 0,48	5,04
		Capacitor	3	\$ 0,77	8,085
	Atenuador 1/R2	TL082	2	\$ 0,80	5,6
		Resistores	6	\$ 0,14	2,94
Indutor	Indutor saída corrente	157D	3	\$ 16,78	176,19
				Total	R\$ 964,12

Além dos componentes listados acima, tem-se mais a estimativa dos seguintes custos:

- Placa de Circuito Impresso: R\$ 300,00;
- Caixa metálica: R\$ 400,00;
- Acessórios diversos, como suporte para pino banana, cabos para conexões, botões, parafusos :R\$ 200,00;

- Amperímetros: R\$ 100,00;
- Voltímetros: R\$ 100,00.

Por fim, o último item seria a mala externa de alumínio com rodas, conforme Figura 27, com custo estimado por pesquisa de R\$ 400,00, para transporte e proteção do equipamento. Somando todos os itens chega-se a um custo de materiais de R\$ 2.864,12.

É importante lembrar que os custos dos componentes eletrônicos foram tomados sob preços unitários, um compra em quantidade, por exemplo, para montagem de 20 unidades há redução no custo.

Outro item que não está listado é o carregador de bateria que seria necessário para carregá-la antes de utilizar o produto. O preço deste foi cotado (para o modelo Cbv950 12-90 Ah – Vonder) em alguns sites da Internet e é facilmente encontrado, o seu valor médio ficou em R\$ 360,00.

Para os custos de serviço, ou seja, montagem e testes de funcionamento do equipamento, estima-se que um técnico com formação em eletrônica, levaria 40 horas para uma montagem de um protótipo conforme o projeto. Pelo site www.salariobr.com.br é possível verificar que o salário médio de um profissional com essa formação é R\$ 2.323,66, portanto considerando os encargos e impostos deste profissional chega-se a um custo de R\$ 4.647,32, utilizando o divisor 200 para o cálculo de R\$/hora, chega-se ao valor de R\$ 23,24/hora, no caso do produto proposto o custo para produção seria R\$ 929,46.

Portanto, um valor de R\$ 4.500,00 é uma boa estimativa do custo total do produto já incluindo gastos com energia elétrica, água, aluguel e outras despesas.

O preço de lançamento do equipamento no mercado no valor de R\$ 10.000,00 permite obter um lucro relativamente elevado e ainda teria a vantagem de ser relativamente mais barato que os equipamentos dos concorrentes.

6 CONCLUSÃO

Projetar um produto eletrônico com o objetivo de comercialização a nível nacional e talvez mundial é uma tarefa que depende de várias áreas de conhecimento muitas além de engenharia, como o design de interface, por exemplo, que quando bem projetado vende o produto facilmente, além de proporcionar vantagens como facilidade de uso e segurança.

O custo final de um produto vai muito além de seus componentes eletrônicos e demais itens que o compõem, e tampouco acabam quando comercializado, pois, uma vez que esteja na mão do consumidor final, o fabricante é responsável por fornecer suporte técnico e dar garantia. Dessa forma o custo de manter esse canal com o consumidor deve ser levado em conta para levantar o custo do produto.

O produto proposto foi todo projetado com circuitos analógicos por facilidade de simulação e entendimento, mas para trabalhos futuros sugere-se a substituição da geração dos sinais SPWM de circuitos analógicos para circuitos microcontrolados. Outro ganho que se teria em produzir o produto utilizando circuitos digitais seria a possibilidade de incluir novas funções como a injeção de harmônicos.

Por fim, constatou-se que pode ser produzido e comercializado um produto com mais funcionalidades e inovações, como no caso de alimentação por bateria, do que os produtos correlatos existentes no mercado, por um preço menor ainda, porém mantendo uma margem de lucro elevada. Sugere-se ainda que como modelo de negócio, além da venda do equipamento seja vendida a execução do serviço para o cliente quando desejado e sejam oferecidos cursos sobre o equipamento, pois assim a fonte de receita não seria exclusivamente dependente da venda de equipamentos.

REFERÊNCIAS

DOUCET, J. *et al.* **DC/AC Pure Sine Wave Inverter**. MQP Terms A–B–C 2006-2007.

INFINEON TECHNOLOGIES. **Folha de dados do componente IR2110**. Disponível em: <<https://www.infineon.com/>>. Acesso em: 27. abr. 2018.

MAJHI, B. **Analysis of Single-Phase SPWM Inverter**. Department of Electrical Engineering – National Institute of Technology, Rourkela. 2012.

MTE **Meter Test Equipment – Catálogo do fabricante**. Edição 10. 2010.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Procedimentos de Rede – Módulo 12**. Vigência 01/01/2017, 2017.

RAJU, N.I. *et al.* Sinusoidal PWM Signal Generation Technique for Three Phase Voltage Source Inverter with Analog Circuit & Simulation of PWM Inverter for Standalone Load & Micro-grid. **International Journal of Renewable Energy Research**, v. 3, n. 3, 2013.



DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE SONDA DE NÍVEL HIDROSTÁTICA COM SAÍDA ANALÓGICA

Marcelo Miranda Lima¹, Daniel Lohmann²

Resumo: Este artigo trata do desenvolvimento de um protótipo de uma sonda de nível hidrostática com saída analógica de 4 a 20 mA a dois fios. O dispositivo utiliza um sensor de pressão do tipo diferencial piezoresistivo, no qual a medição de pressão diferencial é usada de forma indireta para medição de nível em líquidos, embora muito simples em seus conceitos, na prática requer artifícios e técnicas avançadas, principalmente para fins operacionais e de custos. O protótipo terá como função principal medir nível de líquidos, através da pressão do processo por meio de um componente chamado de diafragma, que está em contato direto com o fluido. Conforme a pressão se altera, o diafragma é pressionado com intensidade proporcional. O sensor localizado na parte interna do diafragma converte a variação de pressão em uma variação de resistência elétrica equivalente. Um circuito eletrônico transforma essa informação em um sinal de corrente de (4 a 20 mA) compatível com diversos equipamentos de automação, como CLPs, indicadores digitais entre outros. Para tanto, foi realizada uma pesquisa a respeito do atual mercado comercial, aplicabilidade, entre outras informações relevantes que influenciam na viabilidade do produto e para que se obtivesse o máximo de informações, tendo em vista que o produto seja confiável e de fácil aplicabilidade.

Palavras-chave: Sonda hidrostática. Sensor piezoresistivo. Condicionamento de sinais. Transmissor de pressão.

Abstract: *This article deals with the development of a prototype of a hydrostatic level probe with analog output from 4 to 20 mA to two wires. The device uses a piezoresistive differential pressure industrial sensor, in which pressure measurement is different from a linear level measurement, although very simple in its concepts, a technique requires artifacts and techniques mainly for operating and cost purposes. The product has as its main parameter the type of liquid, through the process pressure by means of a component called diaphragm, which is in direct contact with the fluid. As the pressure varies, the diaphragm is pressed with proportional intensity. The sensor located in the internal change of diaphragm converts in the variation of pressure in the variant of the ironic equivalent. A current signal from an information board in a current signal (4 to 20 mA). For this, an opinion survey was conducted on the labour market, applicability, among other information on the influence on the viability of the product and for information to obtain maximum information, since the product is reliable and easy to apply.*

Keywords: *Hydrostatic probe. Piezoresistive sensor. Sign conditioning. Pressure Transmitter.*

¹ Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, IFSC/Florianópolis <marcelotecta@gmail.com>.

² Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <daniel.lohmann@ifsc.edu.br>.

1 INTRODUÇÃO

Processos e sistemas de medida de nível em líquidos têm estado presentes em nosso dia a dia de maneira cada vez mais intensa. Por vezes passam despercebidos, mas estão presentes, e acompanham a evolução de grandezas que representam o estado de determinado sistema.

Este artigo apresenta o estudo e o desenvolvimento de um protótipo de uma sonda para medir nível, utilizada para automatizar em grande parte o setor de saneamento, porém este produto também é muito utilizado em outros setores dos mais diversos segmentos da indústria, com os resultados dessas medições de nível, as empresas conseguem ter mais segurança no controle de processos, elas também conseguem avaliar

seu volume estocado e reduzir suas perdas. Mas por se tratar de um projeto desenvolvido com foco principal para atender empresas do setor de saneamento, vale ressaltar que no Brasil apenas 50,3% dos brasileiros têm acesso à água tratada e coleta de esgoto, o que significa que mais de 100 milhões de pessoas utilizam medidas alternativas para resolver tal desafio, seja captando água em rios e jogando o esgoto diretamente a céu aberto ou outras. Em algumas regiões do país, como o Norte, a situação é ainda mais grave: 49% da população é atendida por abastecimento de água, e apenas 7,4%, por coleta de esgoto. Desta forma, com estes dados é possível ter uma ideia de como um equipamento nestes termos terá utilidade para o desenvolvimento da atividade do saneamento com mais praticidade e baixo custo no Brasil (VELASCO, 2017).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Contextualização

Segundo Aguirre (2013), historicamente, o processo de medição é tão antigo quanto o ser humano. Há alguns séculos, uma pessoa que desejasse trocar uma unidade de cereal por uma dúzia de laranjas enfrentaria o desafio de medir as quantidades envolvidas, a medição de nível não é diferente, precisamos efetuar tais medidas. Para tal função, uma das opções é através de elementos resistivos, que tem por objetivo fornecer uma indicação do peso da coluna do líquido vista por sensor de pressão, que deverá estar em contato com o líquido no fundo do recipiente. Essa pressão corresponde a

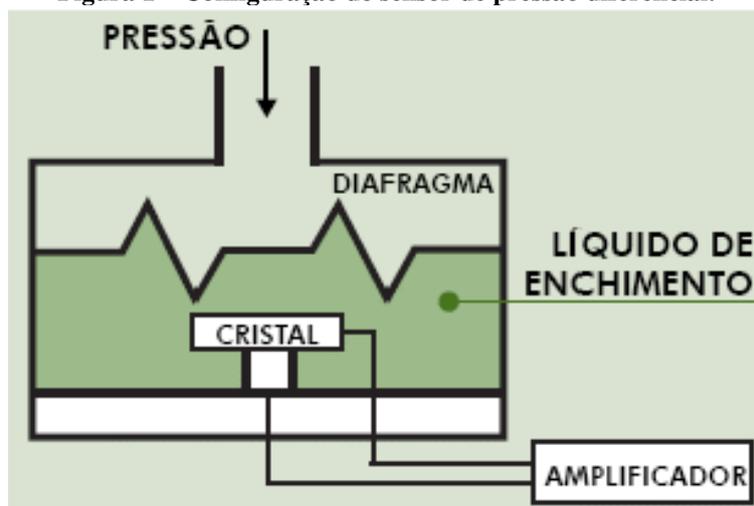
$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (1)$$

onde ρ é a massa específica, g é a constante de gravidade e h é o nível do líquido. Pode-se, portanto, calibrar a indicação do sensor de pressão para indicar o nível se as demais grandezas, isto é, ρ e g , forem constantes (AGUIRRE, 2013).

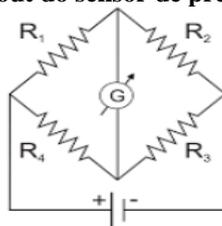
2.2 Sensor de pressão

Entre os sensores de pressão geralmente utilizados, estão os piezoresistivos. O funcionamento desses sensores é similar ao dos transdutores baseados em membranas com extensômetros, apesar de serem geralmente menores e mais compactos. Nos sensores piezoresistivos, o papel da membrana metálica é realizado por um diafragma de silício. São dispositivos semicondutores, que dependendo da pressão correspondente, são usados os termos de pressão absoluta quando a referência é o vácuo, se denomina pressão relativa quando a referência é a pressão atmosférica e o termo “diferencial” é usado quando o sensor tem duas portas para medir duas pressões diferentes. O sensor de pressão diferencial tem a mesma configuração dos sensores de pressão relativa e absoluta onde as pressões de referência são a pressão atmosférica e a pressão de zero absoluto. A Figura 1 ilustra a configuração interna de um sensor de pressão diferencial piezoresistivo. Nesta figura podemos visualizar os elementos piezoresistivo colocado sobre uma membrana de silício protegido por um gel de silicone.

Figura 1 – Configuração do sensor de pressão diferencial.



Este sensor usa uma fina membrana de silício e quatro piezoresistores difundidos com boro organizados numa estrutura de ponte de Wheatstone como ilustrado na Figura 2, o princípio de trabalho do sensor está baseado no efeito piezoresistivo que consiste em variações da resistência de saída do sensor devido à deformação da membrana de silício pela aplicação de uma pressão externa.

Figura 2 – Layout do sensor de pressão diferencial.

A medição de pressão diferencial é usada de forma indireta para medir outras variáveis físicas tais como nível em líquidos.

2.3 Condicionamento de Sinal

Condicionar um sinal é convertê-lo de forma adequada para interfacear com outros elementos. Quando a grandeza a ser medida não é elétrica, utiliza-se de transdutores que geram um sinal elétrico desta grandeza. Os sinais analógicos primeiramente serão condicionados a fim de estarem em condições adequadas de serem aquisitados.

O condicionamento de sinal passa por várias etapas: amplificar, filtrar e equalizar o sinal para que este ganhe níveis de tensão adequados, com boa relação sinal/ruído e distorção harmônica mínima. A aquisição do sinal analógico culmina na sua amostragem e posterior conversão analógica-digital (A/D). Entre as formas de condicionamento mais utilizadas se encontram as que usam técnicas puramente analógicas, baseadas principalmente no uso de redes resistivas, amplificadores operacionais e diodos (GOMES, 2009).

2.4 Amplificador de instrumentação

O CI Amplificador de instrumentação XTR106 (TEXAS INSTRUMENTS, 2003) é utilizado para excitação de ponte e linearização de sinal, podem ser transmissores de corrente, monolítico projetados para sensores de ponte completa com referência de 2,5 V ou 5 V, é um amplificador de instrumentação, utilizado para linearização de sensores e circuitos de saída de corrente.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do circuito eletrônico de condicionamento de sinal, circuito que deve desempenhar a função de conversão de tensão-corrente e gerar o sinal de saída padronizado em (4 a 20 mA) a dois fios, foi necessário a utilização de um CI para linearização. Este CI deve atender aos requisitos de ser amplificador de instrumentação, linearização de sensor em ponte e circuitos de saída de corrente.

Para o desenvolvimento do invólucro da sonda de nível, foram feitas pesquisas sobre os materiais que melhor desempenham esta função, esta etapa é um ponto crítico do produto, tratando-se de que sondas de nível trabalham submersa em líquido. Para esta função foi necessário a utilização de produtos com grau de proteção IP68, que é um padrão internacional definido pela Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) para classificar e avaliar o grau de proteção de produtos eletrônicos, são fornecidos contra a entrada de poeira e água, o grau de proteção IP 68 garante a proteção total contra poeira e proteção contra penetração de líquidos, atendendo à imersão por longo período e sob pressão.

Sendo o invólucro usinado em material plástico polipropileno (PP), em equipamentos apropriados, prevendo que o invólucro conta com rosca e flange de encaixe com alta precisão.

Foi necessário a utilização de um prensa-cabos que atenda o grau de proteção IP 68, e a utilização do cabo PUR, este além de alimentar a sonda de nível, transmitir o sinal de corrente e compensar a pressão atmosférica através de uma mangueira para passagem de ar, opera como suporte e fixação da sonda de nível, este cabo em PUR está de acordo com a Diretiva de Baixa Tensão 2014/35 UE, que atende o uso para cabo de controle, resistente a óleos minerais e a líquidos de arrefecimento para equipamentos.

4 MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO DA SONDA DE NÍVEL

Visando o desenvolvimento de um protótipo para medição de nível, o presente projeto, foi pensado em fornecer ao mercado brasileiro uma sonda de nível hidrostática de qualidade que venha a concorrer com os equipamentos comercializados atualmente. Com este propósito chegou-se aos seguintes requisitos para o desenvolvimento:

- Definir o sensor de pressão piezoresistivo que irá se adaptar corretamente a sonda de nível, pois há uma grande gama de sensores que o mercado oferece.

- Desenvolvimento do circuito eletrônico para o condicionamento do sinal da sonda de nível, onde será projetado a fonte de corrente que alimenta o sensor, o conversor tensão-corrente que gera o sinal de saída 4 a 20 mA.
- Desenvolver o invólucro da sonda de nível com material que se adapte ao ambiente de trabalho submerso em líquidos.
- Aferir o funcionamento da sonda de nível conectada a um Controlador Lógico Programável (CLP), onde será possível visualizar o seu funcionamento e gerar informações referente ao seu desempenho.

4.1 Sensor de Pressão Piezoresistivo MPM281

Para o desenvolvimento do protótipo da sonda de nível foi utilizado o sensor de pressão piezoresistivo da marca Microsensor, na Figura 3, visualiza-se o modelo utilizado MPM281. Esta escolha se deu pelo motivo do sensor atender aos requisitos de custo e funcionalidade.

O sensor opera em pressão de linha de até 70 kPa, apresenta grande estabilidade e confiabilidade, diafragma isolante feito em aço inox, o que permite ao sensor trabalhar em ambientes agressivos. Internamente a pressão diferencial aplicada é transmitida a uma ponte de Wheatstone piezoresistiva por meio de um óleo de silicone (MICROSENSOR, 2011).

Figura 3 – Especificações de dados básicos do Sensor MPM281.



Na tabela 1 é especificada a faixa de pressão e a característica de exatidão do sensor de pressão. Estas características e custo acessível deste sensor foram os critérios da sua seleção para fabricação da sonda hidrostática.

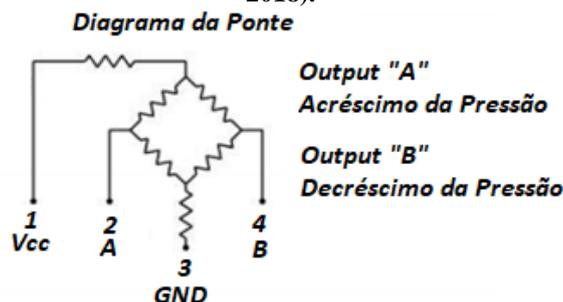
Tabela 1 - Especificações de dados básicos do Sensor MPM281.

Item	Valor	Unidade
Faixa de pressão	0 a 70	kPa
Impedância de entrada	2 a 6	kΩ
Impedância de saída	3,5 a 6	kΩ
Linearidade	0,15 a 0,20	%FS

4.2 Circuito de Condicionamento de Sinal

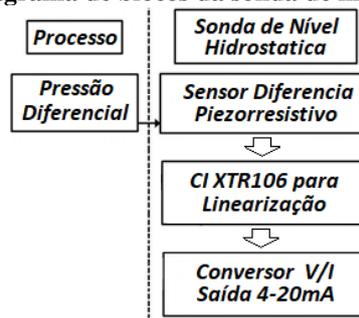
A sonda de nível é composta por um sensor de pressão piezoresistivo, que opera dentro de uma faixa de pressão de 0 a 70 kPa, o circuito eletrônico de condicionamento de sinais é responsável pela excitação da ponte de Wheatstone ou *Strain Gauge*, que apresenta uma resistência elétrica ao circuito eletrônico, esta resistência permite mudanças relativas de resistência que geralmente estão na ordem de 10^{-4} a 10^{-2} Ω/Ω, para que possam ser medidas com grande precisão. Para a determinação do valor absoluto de uma resistência por comparação com uma resistência conhecida ou para determinar as alterações relativas. Estes sensores em ponte podem ter sua representação elétrica visualizada na Figura 4.

Figura 4 – Representação elétrica do sensor de pressão em ponte. (MICROSENSOR, 2018).



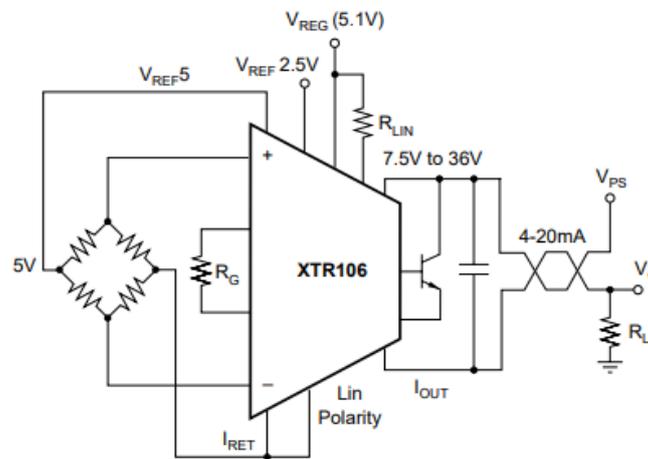
O sinal de saída de corrente de 4 a 20 mA é gerado por uma fonte de corrente controlada por tensão. O diagrama de blocos da sonda de nível é apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Diagrama de blocos da sonda de nível hidrostática.



A partir deste conceito foi aplicado o Circuito Integrado XTR106, apresentado na Figura 6; esta nota de aplicação demonstra o modelo para linearização.

Figura 6 – Nota de Aplicação (TEXAS INSTRUMENTS, 2003)



As variáveis de projeto eram a resistência do ganho R_G e a resistência de carga R_L . A primeira resistência está envolvida com o ganho do sensor, isto é, define a faixa de corrente da saída do sensor e está diretamente relacionada com a saturação do circuito. A Equação 2, que a define, é dada por

$$I_o = 4 + V_{in} \cdot (40/R_g) \quad (2)$$

Sendo:

- V_{in} a tensão diferencial de entrada, e;
- I_o a corrente de saída do circuito

Para se definir R_G , mediu-se a tensão V_{in} para a maior altura possível; o valor encontrado foi 9,1 mV. Após a substituição de valores, considerando I_o máxima de 20 mA, tem-se que $R_G = 22,75 \Omega$. Percebe-se que quanto menor R_G maior ganho. Pode-se traçar dois resultados em relação ao aumento de ganho. O primeiro é um desejável aumento na sensibilidade da medição de nível, ou seja, uma pequena variação de nível causa variação na corrente de saída do circuito.

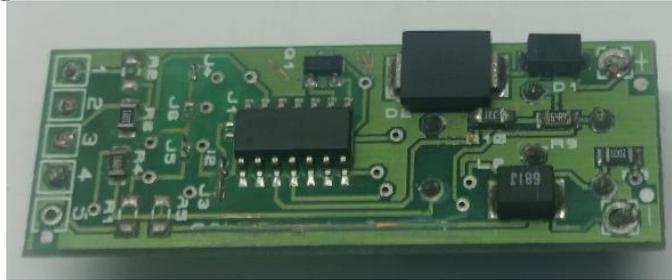
Por outro lado, amplificam-se também os ruídos na saída e pode-se saturá-la. Após a realização de alguns testes, constatou-se que com $R_G = 19,5 \Omega$ não se saturava o sistema. Definiu-se que a informação seria transmitida por um sinal de corrente e a leitura da mesma pelo CLP seria realizada sobre o resistor R_L . Logo, o projeto do R_L envolveu apenas a garantia de alimentação, de no mínimo 7,5 V, do CI. Similarmente ao R_G definido para o projeto, por disponibilidade, definiu-se $R_L = 270 \Omega$.

4.3 Hardware

O hardware do equipamento consiste no desenvolvimento do circuito esquemático e *layout* da PCI. Para tal, foi desenvolvida a fonte de corrente que alimenta o sensor. Para esta etapa, foi fundamental a utilização do software Altium Designer.

Com esta ferramenta, foi possível desenvolver os arquivos *gerber* para produção das primeiras PCIs, até chegar ao projeto final que pode ser visto na Figura 7.

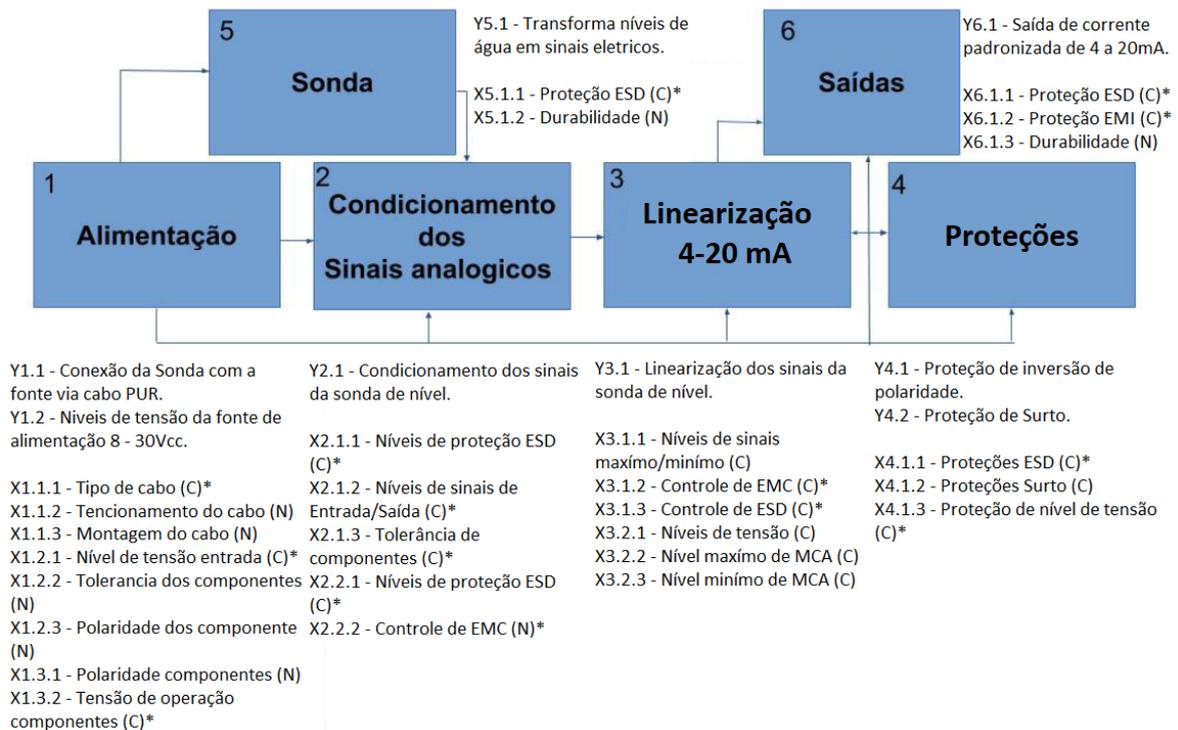
Figura 7 – PCI circuito eletrônico da sonda de nível hidrostático.



Os testes foram possíveis utilizando o XTR106P, o qual é PTH (*Pin Through Hole*); componentes que atravessam o furo da placa eletrônica e de fácil utilização em matriz de contatos para testes iniciais. Foram fabricadas dez (10) unidades da PCI para protótipo. Para a produção em maior escala, será necessário integrar a PCI a um painel, para produção em escala comercial e baixar o custo da PCI. Técnicas estudadas foram muito úteis para desenvolvimento da PCI. Pode-se citar a aplicação do Mapa do produto, apresentado na Figura 8, onde (X) significa entrada, (Y) saída, (C) controlado e (*) significa crítico.

Figura 8 – Mapa do Produto.

Y – Converte pressão da coluna de água em sinais elétricos para medir nível de líquidos



Na Tabela 2, é possível conferir algumas informações da PCI.

Tabela 2 - Especificações da PCI para sonda de nível hidrostática.

Item	Especificação
Tipo do laminado	Fibra de vidro
Espessura do laminado	1,6 mm
Número de faces	Dupla Face
Componentes	SMD e PTH
Acabamento	Hot Air
Cor	Verde e branco
Geração de fotolitos	Sim, primeiro lote

4.4 Calibração da Sonda

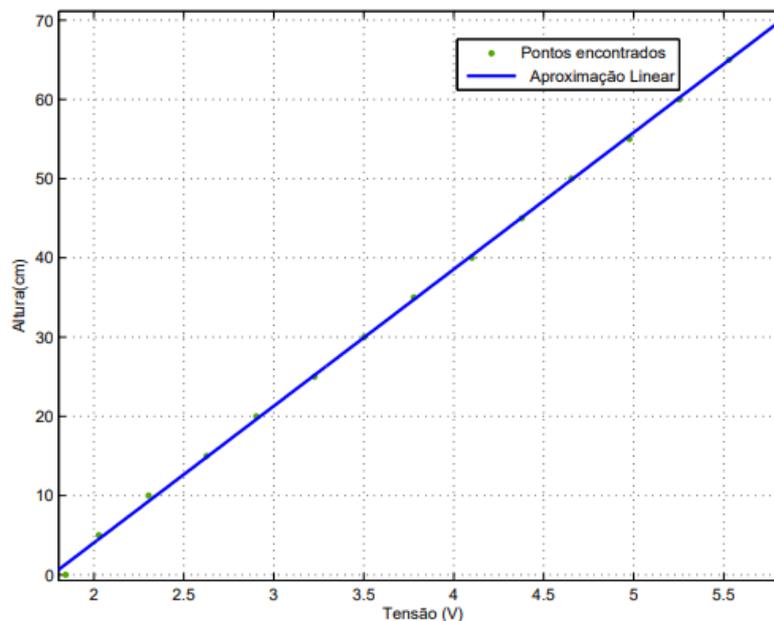
Como já visto anteriormente, a sonda de nível converte um sinal de pressão (diretamente proporcional ao nível) em um sinal elétrico de milivolts, que é convertido em um sinal de corrente. O CLP mede a tensão sobre o resistor R_L . Portanto, o objetivo na etapa de calibração é encontrar a relação entre a variável real, nível de água no reservatório, e a corrente medida pelo CLP. Além disso, é necessário realizar um estudo estatístico responsável por determinar a precisão da medição. Para isso, foi proposta a medição estática da saída do circuito, sinal de tensão, para alguns níveis de água. O resultado é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores encontrados para calibração da sonda de nível.

Altura (cm)	Saída (V)
70	5,8060
65	5,5296
60	5,2531
55	4,9766
50	4,6540
45	4,3776
40	4,1011
35	3,7785
30	3,5020
25	3,2256
20	2,9030
15	2,6265
10	2,3040
5	2,0275
Min	1,8432

Para se encontrar a curva que melhor se ajusta ao conjunto de dados obtidos na calibração, utilizou-se o método dos mínimos quadrados. A função encontrada é mostrada na Figura 9.

Figura 9 – Dados de Altura e Tensão.



Na Equação 3, P_1 , que possui uma incerteza ΔP_1 de 0,225, é igual a 17,26 e P_2 , que possui uma incerteza ΔP_2 de 0,88, é igual a 30,5.

$$H(T) = P_1 \cdot T - P_2 \tag{3}$$

A partir de tais incertezas, é possível calcular a precisão do medidor de nível, utilizando a Equação 4.

$$\Delta h = \frac{\partial h}{\partial P_1} \Delta P_1 + \frac{\partial h}{\partial P_2} \Delta P_2 \quad (4)$$

Deste modo tem-se que:

$$\Delta h = T \cdot \Delta P_1 - \Delta P_2$$

$$\Delta h = T \cdot 0,225 - 0,88$$

$$\Delta h \cong 0,5$$

Portanto,

$$h(T) = 17,26 \cdot T - 30,5 \pm 0,5$$

4.5 Invólucro da Sonda de Nível

O projeto do invólucro da sonda de nível foi baseado em matérias específico descritos a seguir e dimensões apropriadas para os diferentes acessórios conectados ao invólucro, estes acessórios são:

- a) Sensor piezoresistivo;
- b) Prensa-cabos com rosca PG;
- c) Cabo PUR.

O invólucro deve encaixar-se com precisão ao sensor de pressão piezoresistivo através de uma conexão com Anéis de *O'ring* (Vitón). Na Figura 10, pode-se visualizar o Anel de *O'ring*.

Figura 10 – Anel de *O'ring* em material Vitón.



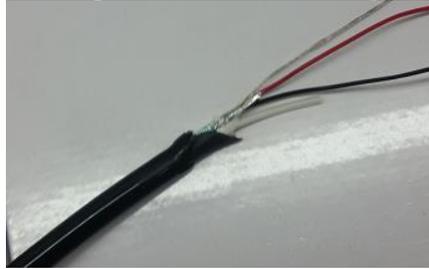
Também será necessário o encaixe com precisão ao prensa-cabos em Nylon e porca com arruela em borracha para vedação, devido a sua especificação ser IP68, que evita a entrada de água e umidade evitando danos ao circuito eletrônico. O prensa-cabos tem como finalidade a fixação e travamento do cabo elétrico ao invólucro da sonda de nível, tendo em vista que o cabo será o suporte da sonda de nível que estará submersa em líquido. O invólucro deve ser confeccionado com rosca na especificação do prensa-cabos, neste caso com rosca PG. Na Figura 11, pode-se visualizar o prensa-cabos que foi utilizado no projeto.

Figura 11 – Prensa cabo IP 68.



O cabo apropriado para o desenvolvimento, trata-se do cabo de controle, extremamente robusto, resistente a óleos minerais e a líquidos. Adequado para instalações de uso flexível e para tensões mecânicas médias, com movimento livre sem esforço de tração ou movimentos forçados. O produto está de acordo com a Diretiva de Baixa Tensão 2014/35 UE. Pode-se visualizar na Figura 12, o cabo especial de dupla camada (Interna PVC e Externa PUR) com as seguintes características, dois condutores 24 AWG, malha de aterramento, manta aluminizada, tubo de respiro (passagem de ar para igualar a pressão externa) e vias internas preenchidas com poliéster para resistência mecânica e sustentação da sonda de nível.

Figura 12 – Cabo PUR para controle e sustentação da sonda de nível.



Por fim, pode-se visualizar, na Figura 13, o invólucro que deve atender a todos os requisitos do produto, este foi usinado por empresa nacional permitindo um resultado mecânico de altíssima qualidade e baixo custo. Este invólucro feito em estrutura de polipropileno (PP) permite trabalhar submerso a líquidos e sua função é isolar o sensor dos ambientes agressivos.

Figura 13 – Invólucro da sonda de nível.



4.6 Testes

Os primeiros testes foram feitos juntamente com uma empresa que atua na área de saneamento e utilizam esta sonda de nível frequentemente, na Figura 14 pode-se visualizar o tanque de água fornecido para os testes, assim, sendo possível aferir os resultados.

Figura 14 – Tanque para aferir a sonda de nível.



Nos testes iniciais, foi conectada a sonda de nível a um Controlador Lógico Programável (CLP); este equipamento geralmente é utilizado em plantas industriais para controle e monitoramento de níveis, estanqueidade e vazão. Assim, foi possível linearizar a sonda de nível e conferir, através da comparação de corrente *versus* valor analógico-digital (A/D) da entrada de um CLP.

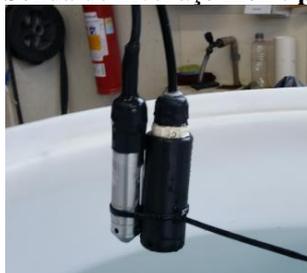
No mundo real, as grandezas físicas raramente são de natureza elétrica. O primeiro passo para trazer esse mundo para o controle processado é o de transformar essas grandezas em sinais elétricos. A sonda de nível é responsável por essa transformação e modificar-se uma grandeza física de pressão em sinais elétricos. No caso da sonda de nível o sinal elétrico a ser linearizado é proporcional à amplitude da grandeza medida. Sua natureza ainda é analógica e contínua no tempo. Para trazer essas grandezas para dentro do seu processador, será necessário realizar mais uma transformação do sinal analógico para digital, de forma que esse possa ser tratado e processado digitalmente. Essa transformação é realizada por um componente conhecido como conversor A/D que neste caso trata-se da entrada analógica do CLP. Um conversor A/D transforma um sinal analógico, contínuo no tempo, em um sinal amostrado, discreto no tempo, quantizado dentro de um

número finito de valores inteiros, determinado pela resolução característica do conversor de 10 bits que o CLP oferece. Neste caso, um conversor de 10 bits, o sinal de entrada é transformado em amostras com os valores entre 0 e 1023.

Com estes critérios estabelecidos para aferir o funcionamento da sonda de nível, foi utilizada em conjunto, uma sonda de nível fabricada por uma empresa de nome consolidado no mercado brasileiro.

Assim, os testes seguiram da seguinte maneira: através de um reservatório de água foi possível instalar as duas sondas em conjunto e aferir os resultados das mesmas, na Figura 15, pode-se visualizar as duas sondas utilizadas, sendo a de aço inox uma sonda já conhecida no mercado nacional e a em plástico polipropileno o protótipo em teste.

Figura 15 – Sonda de nível aço inox e protótipo PP.



Assim, em conjunto com o CLP e com um multímetro, foi possível prosseguir com os testes. Inicialmente foi calibrada a sonda de nível do protótipo ao ar livre, a qual deve medir 4 mA e, se tratando de um CLP de resolução de 10 bits, este deve apresentar 204 contagens de A/D. A sonda de mercado já comercializada deve apresentar os mesmos valores. Na Figura 16, pode-se visualizar a forma como os valores foram lidos.

Figura 16 – Valores lidos sonda de nível protótipo.



Na sequência, as duas sondas foram inseridas em conjunto no tanque, o qual deve apresentar valores relativamente iguais, pois trata-se de sondas da mesma faixa de medição, que é de 0 a 5 MCA e de sinais de corrente iguais 4 a 20 mA. Desta forma, para a profundidade máxima do tanque de 140 cm, deve-se obter os valores calculados e linearizados de 8,47 mA de corrente e após convertido pelo CLP, 433 contagens de A/D. Na Tabela 4, pode-se visualizar os resultados para as sondas submersas.

Tabela 4 - Valores encontrados para medições das sondas de nível.

Altura (cm)	Sonda Protótipo	Sonda Concorrente
140	8,50 mA – 434 A/D	8,49 mA – 434 A/D
130	8,16 mA – 417 A/D	8,15 mA – 416 A/D
120	7,82 mA – 400 A/D	7,79 mA – 398 A/D
110	7,51 mA – 383 A/D	7,48 mA – 382 AD
100	7,18 mA – 367 A/D	7,15 mA – 365 A/D
90	6,87 mA – 351 A/D	6,84 mA – 349 A/D
80	6,56 mA – 335 A/D	6,52 mA – 333 A/D
70	6,22 mA – 317 A/D	6,19 mA – 316 A/D
60	5,91 mA – 302 A/D	5,87 mA – 300 A/D
50	5,60 mA – 285 A/D	5,57 mA – 219 A/D
40	5,27 mA – 269 A/D	5,23 mA – 267 A/D
30	4,95 mA – 252 A/D	4,92 mA – 251 A/D
20	4,62 mA – 235 A/D	4,59 mA – 234 A/D
10	4,30 mA – 219 A/D	4,27 mA – 218 A/D
0	4,03 mA – 206 A/D	3,98 mA – 203 A/D

Após diversas leituras e aferições, os testes foram de grande importância para verificar se todas as funcionalidades do equipamento estavam laborando corretamente. Após referidos testes, foram corrigidos alguns ajustes no *Span* que é a diferença entre o valor máximo e mínimo da saída. Também foram feitas pequenas alterações no circuito de proteção, adicionando um supressor para prevenção de surtos, a fim de proporcionar o melhor desempenho do equipamento.

5 RESULTADOS E TRABALHOS FUTUROS

Com os primeiros testes realizados e corrigidos. O equipamento irá entrar em uma rotina de testes, para que possa realmente ser comercializado. Referida rotina irá envolver testes de confiabilidade dos resultados obtidos, robustez e durabilidade. Foi possível especificar e selecionar o sensor de pressão piezoresistivo que cumpriu com todas as características de exatidão solicitadas na fabricação da sonda de nível.

Foi construído um protótipo da sonda de nível que fornece um sinal de 4 a 20 mA, proporcional a 0 a 5 MCA e a dois fios, o qual foi proposto no início do trabalho.

Para os testes futuros serão produzidas novas sondas de nível, as quais serão expostas aos mesmos ambientes. Os equipamentos ficarão no setor de qualidade da empresa de saneamento que é parceira no desenvolvimento, sendo que, cada equipamento estará submerso em Estações Elevatórias (EE) desta empresa. Os equipamentos também irão enviar as informações obtidas para um Sistema Supervisório Scada (*Supervisory Control and Data Acquisition*), para aquisição de dados das sondas; com os resultados será possível confrontar estes dados com equipamentos comerciais com certificado de calibração.

Os testes irão durar cerca de 3 a 6 meses, e, após os resultados obtidos e corrigidos possíveis defeitos, serão feitos novamente os mesmos testes em ambiente real de operação do equipamento. Caso ainda persista algum defeito, ele será corrigido e reiniciado os testes, até que o equipamento esteja totalmente confiável. Durante referidos testes serão feitos novos estudos, a fim de adicionar melhorias ao produto.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou o estudo e o desenvolvimento de um produto para automatizar em grande parte o setor de saneamento, porém este produto também é muito utilizado em outros setores dos mais diversos segmentos. Porém, com estes dados é possível ter uma base de como um equipamento nestes termos terá utilidade para o desenvolvimento da atividade do saneamento com mais praticidade e baixo custo no Brasil.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, Luis Antônio. **Fundamentos de Instrumentação**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013. 235p.

GOMES, A. F. **Calibração e compensação de sensores de pressão piezoresistivos**. Departamento de Eng. de Sistemas Eletrônicos., São Paulo, (Dissertação de mestrado), 109p. 2009.

MICROSENSOR. **Folha de dados do componente MPM281**. Disponível em: <http://www.microsensorcorp.com/upload/article/190221/5_MPM281datasheet_282018_2e11_2e01_29_1550732894.pdf>. Acesso em: 7. mar. 2019.

TEXAS INSTRUMENTS. **Folha de dados do componente XTR106**. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/xtr106.pdf>>. Acesso em: 5. mar. 2019.

VELASCO, Clara. **Saneamento melhora, mas metade dos brasileiros segue sem esgoto no país**. 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/saneamento-melhora-mas-metade-dos-brasileiros-segue-sem-egoto-no-pais.ghtml>>. Acesso em: 7. mar. 2019.



DESENVOLVIMENTO DE UMA LUVA ELETRÔNICA PARA CONTROLE DE VELOCIDADE DE MÁQUINAS DE COSTURA INDUSTRIAIS ADAPTADAS PARA CADEIRANTES

Luciana Magno de Almeida¹, Anderson Alves²

Resumo: Este artigo apresenta o desenvolvimento de um produto para o controle eletrônico de velocidade de máquinas de costura industriais de forma a permitir a substituição o sistema original, com pedal mecânico, por um sistema controlado por uma luva eletrônica e, assim, permitir a inclusão social de cadeirantes e pessoas com deficiências dos membros inferiores no setor têxtil. Este artigo é composto por sete seções: introdução, *marketing* SAP, pesquisa de conceitos, definição de requisitos, conceito proposto, projeto preliminar e testes e análise dos resultados. Na introdução são apresentados os dados do setor têxtil e a contextualização do problema. A seção de *marketing* SAP (Segmentação, Alvo e Posicionamento) mostra a segmentação do mercado têxtil, mercado alvo e posicionamento de produto, com a finalidade de focar os esforços no segmento determinado por esse método. A pesquisa de conceitos e definição de requisitos visa reunir uma base de dados para o desenvolvimento do projeto. No conceito proposto foram utilizados os mapas de produto e processos para apresentar o conceito do produto de acordo com os requisitos e análises de conceitos. Também, é apresentado o projeto preliminar com lista de componentes, diagrama elétrico e custos relacionados. Por fim, os testes e resultados são detalhados e validados.

Palavras-chave: Produto eletrônico. Máquina de costura. Luva Eletrônica. Adaptação para cadeirantes.

Abstract: *This article presents the development of a product for the electronic speed control of industrial sewing machines in order to allow the original system, by mechanical pedal, to be replaced by a system controlled by an electronic glove and thus to allow the social inclusion of wheelchair users and people with disabilities of the lower limbs in the Textile Sector. This article is composed of seven sections: introduction, STP marketing, concept research, requirements definition, proposed concept, preliminary design and testing and results analysis. In the introduction are presented the data of the Textile Sector and the contextualization of the problem. The STP (segmentation, targeting e positioning) marketing section shows the segmentation of the textile market, target market and product positioning, in order to focus efforts in the segment determined by this method. The concepts research and requirements definition aim to gather a database for the development of the project. In the proposed concept, product and process maps were used to present the concept of the product according to the requirements and analysis of concepts. In addition, the preliminary design with list of components, electrical diagram and related costs is presented. Lastly, the tests and results are detailed and validated.*

Keywords: *Electronic product. Sewing machine. Electronic glove. Adaptation for wheelchair users.*

¹ Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, IFSC/Florianópolis <lucianamagnoalmeida@gmail.com>.

² Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <anderson.alves@ifsc.edu.br>.

1 INTRODUÇÃO

Segundo dados de 2017 da Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT), o Setor Têxtil é o segundo maior empregador nacional da indústria de transformação, ficando aquém apenas do setor de alimentos e bebidas (somados). Além de possuir 1,479 milhão de empregados diretos. Somente no ano de 2017, o Faturamento da Cadeia Têxtil e de Confecção foi de US\$ 45 bilhões, com investimentos de R\$1,9 bilhão em 2017 no setor.

Em Santa Catarina, segundo dados da FIESC/2017, é um dos setores mais expressivos, responsável por 162.845 empregos e 9.243 estabelecimentos, além de R\$ 20,4 bilhões de Valor Bruto da Produção Industrial e 10 bilhões de Valor da Transformação Industrial no estado (FIESC, 2017).

De acordo com o artigo 93 do capítulo II, seção VI, subseção II da Lei 8.213/91: “Art. 93. A empresa com 100 (cem) ou mais empregados está obrigada a preencher de 2% (dois por cento) a 5% (cinco por cento) dos seus cargos com beneficiários reabilitados ou pessoas portadoras de deficiência, habilitadas, [...]” (BRASIL, 1991).

Por isso, com viés de inclusão social, o controle manual de máquinas de costura industriais, em substituição ao original por pedal, tornaria acessível a cadeirantes e pessoas com deficiências dos membros inferiores a operação delas, assim os inserindo na indústria têxtil.

Além disso, segundo dados da FIESC (2017), a principal causa de concessão de benefícios acidentários é por doenças osteomuscular e do tecido conjuntivo, somando 369 afastamentos por um período superior a 15 dias. As costureiras ficam sujeitas a essas doenças pela postura inadequada decorrentes do trabalho muscular estático e movimentos repetitivos. A postura, no exercício da função, é predominantemente sentada com os membros superiores elevados e com o tronco flexionado sobre a máquina de costura. Também, necessita de acionamento do pedal da máquina exigindo movimentos repetitivos do quadril e do pé. Um dos métodos empregados em outros setores fabris têxteis é revezar as posições sentadas e em pé, saindo da posição estática, permitindo também o relaxamento dos quadris, pés e membros superiores.

Tendo como base a visão descrita acima, esse projeto almeja, através da pesquisa e aplicação de métodos, desenvolver um conceito de produto industrializável que permita a adaptação do controle original, com pedal mecânico, por um controle manual.

O trabalho busca, como resultado, garantir o controle da velocidade da máquina de forma segura e dentro das especificações, destacando e enumerando as normas cabíveis. Além disso, deve ser capaz de controlar a velocidade de costura com sistema de entrada e saída originais, removendo apenas o pedal, resguardando os princípios de funcionamento dela.

Em vista desse conhecimento, será construído e operado um novo sistema capaz de realizar esse controle de forma manual.

2 MARKETING SAP

De acordo com Kotler (2000), mercado é o conjunto dos compradores, efetivos e potenciais, de uma oferta ao mercado, seu tamanho depende do número de compradores dessa oferta. A segmentação do mercado é uma necessidade pois é raro que uma empresa consiga satisfazer a todos.

As etapas a seguir baseiam-se no conceito de *marketing* estratégico conhecido como *Marketing SAP* – Segmentação, Alvo e Posicionamento. A ideia central consiste em identificar um determinado segmento e focar esforços para que o produto desenvolvido atenda a esse de forma eficiente e lucrativa.

Três etapas essenciais são necessárias para esse estudo: Segmentação de Mercado, Alvo (Mercado-Alvo) e Posicionamento de Produto.

2.1 Segmentação de Mercado

Esse item visa determinar as variáveis de segmentação, realizar a segmentação em si do mercado e desenvolver os perfis desse segmento.

As empresas consumidoras podem ser classificadas nas seguintes variáveis:

- **Geográficas (tamanho potencial do mercado a ser explorado):** países, regiões, cidades, bairros, entre outros;
- **Características Gerais:** produtos oferecidos, porte da empresa e tipo de máquina de costura, tempo de atuação no mercado etc.;
- **Comportamentais:** benefícios procurados, hábitos de consumo, taxas de uso, padrão de qualidade e segurança exigidos.

Relacionando as variáveis acima com o projeto retornam-se as segmentações:

- **Geográfica:** devido à necessidade de controle de investimento inicial (tamanho da fábrica, quantidade de funcionários, insumos etc.), custos com *marketing* e distribuição do produto, optou-se pela segmentação por estados brasileiros;
- **De Características Gerais:** o tipo de máquina de costura é item essencial pois influencia diretamente no desenvolvimento, características, custo e implementação do projeto. Além disso, o porte da

empresa tem grande peso no preço disposto a pagar, quantidade e aceitação do produto. Por sua vez, a segmentação por produtos oferecidos, tempo de atuação entre outros fatores, percebe-se não haver padrão com o tipo de máquinas de costura empregado e do porte da empresa, logo, não há como associá-los de forma eficiente e optou-se por desconsiderá-los;

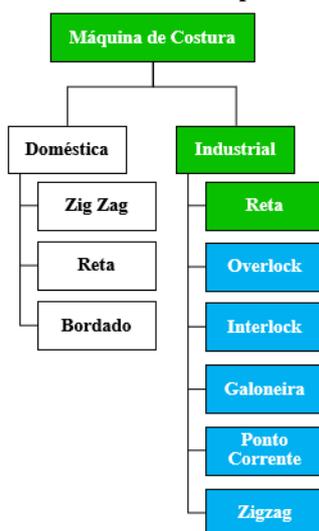
- **Comportamental:** os benefícios procurados são o foco principal desse projeto, procura-se fornecer produto capaz de atender a um benefício específico, como por exemplo, a inclusão social. Além disso, o padrão de qualidade e segurança exigidos deverá ser respeitado, sendo o produto enquadrado nos mesmos.

De acordo com as segmentações acima determinadas foram traçados os perfis dos consumidores desse projeto.

A Segmentação Geográfica tem como alvo as empresas da área têxtil presentes no estado de Santa Catarina, justificando-se com dados do “Santa Catarina em Dados – 2018” (FIESC, 2018) pela sua maior participação dos empregos industriais do Brasil com 33,90% em Santa Catarina contra 20,30% da média brasileira e índice de 26,30% do segundo lugar (RS). Além disso, desta participação a Indústria Têxtil e de Confecção representa o 1º lugar em empregos de SC, com 162.845 empregos (21,8% da indústria de SC).

Com relação a Segmentação de Características Gerais dos Tipos de Máquinas de Costura (Figura 1) diferenciam-se em dois grandes grupos, a máquina de costura doméstica e a máquina de costura industrial. O foco dessa pesquisa é em máquinas de costuras industriais. Dentre essas optou-se pela Máquina de Costura Industrial do Tipo Reta pela sua grande utilização em Confecções Gerais. Além disso, destacam-se em azul na Figura 1, possíveis outros tipos de máquinas que trabalham com sistemas de controle de velocidade similares ao abordado nesse projeto (Pedal Mecânico/Sensor).

Figura 1 – Segmento Alvo Posicionado para Máquina de Costura.



Considerando a Segmentação de Características Gerais quanto ao Porte da Empresa é necessário, primeiramente, classificar o porte das empresas e a análise do Art. 93 em relação ao porte das empresas e o percentual de contratação determinado.

Para o projeto optou-se pelo critério de classificação do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) que utiliza como base o número de funcionários, para fins bancários, ações de tecnologia entre outros. Por sua vez, o art. 93 do capítulo II, seção VI, subseção II da Lei 8.213/91 determina que empresas com 100 ou mais empregados está obrigada a preencher com 2% se empregar até 200, 3% se possuir de 201 a 500 empregados, 4% de 501 a 1.000 e 5% para quantidade maior de 1.001 empregados. Logo, os beneficiários, reabilitados ou pessoas portadoras de deficiência, habilitadas a serem empregados de acordo com o porte está descrito na Tabela 1.

Tabela 1 –Porte de Empresas Industriais e número de beneficiários.

Porte	Nº de Funcionários	Beneficiários
Micro	até 19	Não se aplica – 0%
Pequena	20 a 99	Não se aplica – 0%
Média	100 a 499	2% a 3%
Grande	Mais de 500	4% a 5%

Portanto, de acordo com o art. 93 e o porte da empresa, o público-alvo para a Segmentação Características Gerais serão Média e Grande Empresas.

Finalmente, considerando a segmentação comportamental busca-se por empresas que possuam como benefícios a inclusão social e a inovação, e, que o produto desenvolvido nesse projeto esteja de acordo com o nível adequado do padrão de qualidade e segurança exigidos por essas empresas.

2.2 Mercado-Alvo

Nessa etapa, o objetivo é avaliar as vantagens de cada segmento e selecionar um ou mais segmentos alvo. Com base nas etapas anteriores e nos segmentos definidos, o Mercado-Alvo desse trabalho serão empresas com sede em SC, de médio e grande portes e que se preocupem com a inclusão social e inovação tecnológica.

2.3 Posicionamento de Produto.

A última etapa consiste em identificar os possíveis posicionamentos para cada segmento, determinar e desenvolver o posicionamento escolhido.

A resposta ao mercado-alvo definido será a de desenvolver um produto que atenda aos padrões definidos pelo interesse do consumidor, empresas catarinenses de médio e grande portes. Além de permitir a inclusão de deficientes à indústria têxtil, ao mesmo tempo que garante sua segurança e qualidade do produto.

Pretende-se instaurar sede no Vale do Itajaí para melhor e mais eficiente atendimento e manutenção do produto nas fábricas, uma vez que se trata da região de maior concentração do ramo têxtil em SC.

3 PESQUISA DE CONCEITOS

A pesquisa de conceitos é formada pelas análises em propriedades intelectuais, análise de produtos concorrentes no mercado (*benchmarking*) e novas tecnologias como base de novos conceitos, de forma a obter, além da análise de conceitos em si, também as características funcionais, construtivas, *design*, interface de usuário e preço, quando cabíveis, compilando, assim, a base para o desenvolvimento da proposta de trabalho.

3.1 Propriedades Intelectuais

Esse item reúne resultados de pesquisa nos bancos de patentes nacional e internacionais, com as características, meio de controle e desvantagens de cada dispositivo encontrado.

Os dados obtidos foram enumerados a seguir. Cada subitem contém dados da patente, tabela com análise das desvantagens (realizada pela autora desse projeto), informações pertinentes do produto da analisado e figura expositiva contida no documento da patente.

- Patente PI 0923940-5 A2 (Figura 2);
- **Título:** “Dispositivo Mecânico de Acionamento de Máquina de Costura Utilizando Movimento do Tronco para Portador de Necessidades Especiais: Membros Inferiores” (Tabela 2);
- Banco de Patentes Nacional;
- **Depositante:** SENAI-CETIQT (BR/RJ).

Figura 2 – Dispositivo da Patente 0923940-5 (SENAI-CETIQT, 2009).

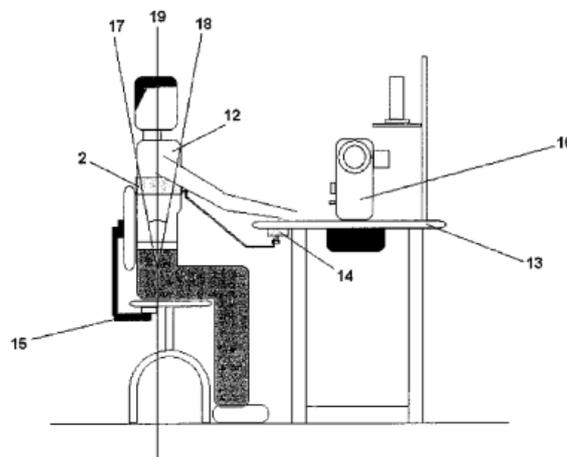


Tabela 2 – Análise da Patente 0923940-5.

Características	Meio de Controle	Desvantagens*
Dispositivo mecânico	Por variação da posição do tronco do usuário	Movimentação do tronco de forma inadequada
Armadura anatômica vestível pelo usuário		Risco à integridade física do usuário, principalmente de seus membros superiores, coluna e visão.
Fixação do dispositivo no usuário através de cinta elástica com velcro		

(*) Determinadas pela autora com base no documento da patente analisada.

- Patente 4.728.812 (Figura 3);
- **Título:** “*Oral Machine Controller*” (Tabela 3);
- Banco de Patentes dos EUA;
- **Autores:** Sheriff *et al.*

Figura 3 – Aparato da Patente 4.728.812 (Sheriff *et al.*, 1986)

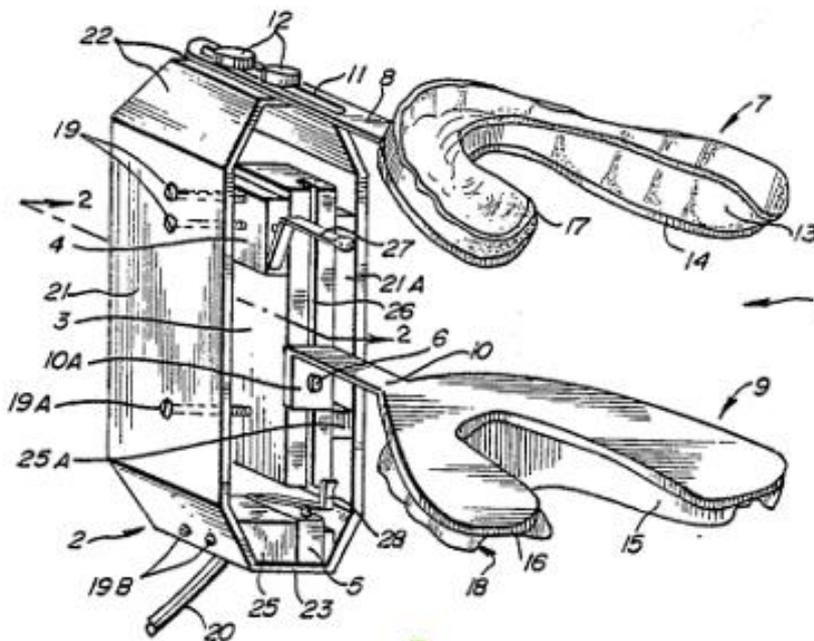


Tabela 3 – Análise da Patente 4.728.812.

Características	Meio de Controle	Desvantagens*
Dispositivo mecânico	Por movimentação de mandíbula e língua	Movimentação da mandíbula de forma constante e exaustiva
Potenciômetro linear gera sinal de tensão para o controle da velocidade de costura		Por falta de informação da Patente, supõem-se que a posição do aparato é fixa, forçando então, a posição inadequada do pescoço e cabeça do usuário
A mordedura do aparato pelo usuário movimenta o potenciômetro linear		

(*) Determinadas pela autora com base no documento da patente analisada.

- Patente MU8701328-2 U2 (Figura 4);
- **Título:** “*Acionador e Controlador Manual de Máquina de Costura Reta Industrial para Cadeirante*” (Tabela 4);
- Banco de Patentes Nacional;
- **Titular:** SENAI-CETIQT.

Figura 4 – Dispositivo da Patente MU8701328-2 (SENAI-CETIQT, 2007).

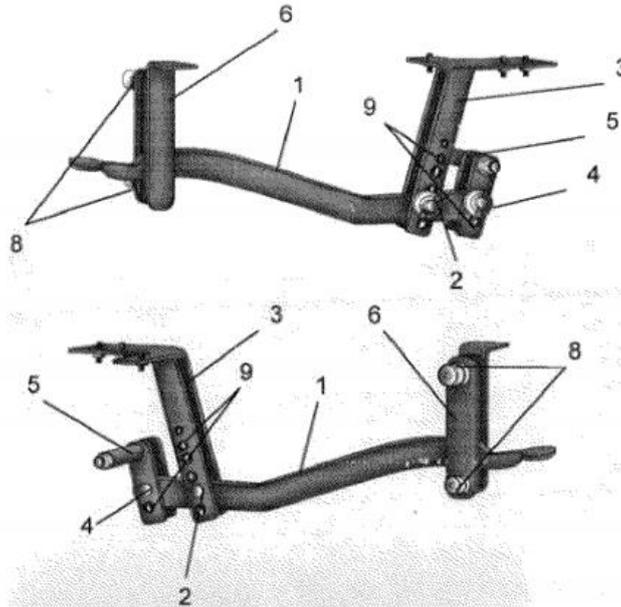


Tabela 4 – Análise da Patente MU8701328-2.

Características	Meio de Controle	Desvantagens*
Dispositivo mecânico	Por posição manual de alavanca	Necessidade do uso de uma das mãos somente para acionamento e controle da alavanca
Alavanca de acionamento		Dificuldade no manuseio de peça durante o ato da costura, especialmente, em operações que exijam o manejo com ambas as mãos
Aciona o mecanismo de formação do ponto de costura		

(*) Determinadas pela autora com base no documento da patente analisada.

- Patente 5,375,063 (Figura 5);
- **Título:** “Apparatus and Method for Voice Controlled Apparel Machine” (Tabela 5);
- Banco de Patentes dos EUA;
- **Depositante:** Clemson University, Clemson, S.C., USA.

Figura 5 – Dispositivo da Patente 5,375,063 (CLEMSON UNIVERSITY, 1993).

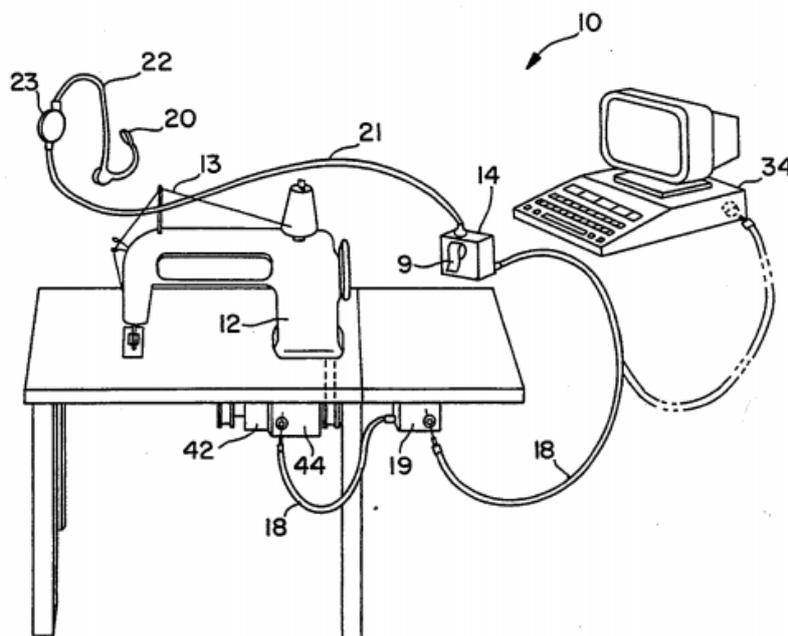


Tabela 5 – Análise da Patente 4.728.812.

Características	Meio de Controle	Desvantagens*
Dispositivo mecânico	Por comando de voz	Em ambiente industrial, devido à presença de ruídos, por questão de segurança não é viável a utilização dessa tecnologia
Captura de voz por Microfone		De acordo com a patente, necessita de computador próximo e dedicado para seu funcionamento
Processamento de Dados		

(*) Determinadas pela autora com base no documento da patente analisada.

3.2 Benchmarking

A pesquisa quanto aos produtos de marcas concorrentes demonstrou um nicho pouco explorado, com adaptações caseiras para uso próprio.

Percebe-se que tais adaptações, assim como no caso da maioria das patentes, são totalmente mecânicas e de forma geral não atende às exigências nacionais de ergonomia no uso do produto pelo usuário. Além disso, pela necessidade e falta de oferta de tais adaptações, apesar de serem soluções simples, permitem ao usuário utilizar a máquina de costura e tirar dela seu sustento.

Analisando os exemplos a seguir, ambas são adaptações mecânicas por movimentação de alavanca e não respeitam a movimentação natural do corpo durante o processo de costura. No primeiro caso (Figura 6), para a adaptação da máquina foi retirado o módulo da alavanca/pedal do lugar original e o mesmo foi fixado na lateral, acima da mesa (Figura 6, destaque 1), a haste original do pedal (Figura 6, destaque 2) foi presa à haste branca (Figura 6, destaque 3) e essa é movimentada pelo movimento do rosto por apoio à base do nariz do usuário.

Figura 6 – Frame do Vídeo: “Tapetes de Fru Fru Feito por um Cadeirante Máquina de Costura Adaptada para Deficiente” (MIRANDA, 2018).



No exemplo da Figura 7, a adaptação ocorre de forma manual, dependendo do uso constante da mão esquerda do costureiro. O controle adaptado do pedal foi feito pelo uso de um cabo de vassoura preso ao pedal da máquina (figura à direita) e chega à mão do usuário através de um furo na mesa (figura superior esquerda), foi colocado, então, um cano de PVC para melhor apoio da mão (figura inferior esquerda).

Figura 7 – Frame do Vídeo: “Como adaptar uma máquina de costura para cadeirante” (CILINHOBB, 2018).



3.3 Novos conceitos

Por meio do estudo de novas tecnologias aplicáveis foi possível compilar ideias ainda não concretizadas, pesquisas não desenvolvidas em produtos comercializáveis e novas abordagens para a operação não convencional de máquinas de costura. As principais serão abordadas nos tópicos a seguir.

3.3.1 Comando por voz

Um dos conceitos encontrados na pesquisa foi o comando por voz e, apesar de ser uma tecnologia relativamente recente, foi encontrada uma pesquisa datada de 1992 que utilizava esse método para o controle de máquinas de costuras adaptadas, chama-se *Voice-Activated Sewing Machine –VAST* (Máquina de Costura Ativada por Voz), desenvolvida por pesquisadores da *Clemson University* (Carolina do Sul – EUA) porém sem indícios de produção comercial.

A pretensão dos pesquisadores era disponibilizar a tecnologia VAST para máquinas caseiras ou comerciais. Através de pesquisa não foi possível determinar o porquê deste método não ter sido implementado de fato. Uma suposição do possível motivo seria a de impossibilidade a utilização desse método em ambientes com ruídos sonoros, como é o caso de ambientes industriais, comerciais e até mesmo domésticos.

3.3.2 Comando por Botão Analógico

A invenção intitulada "Acesse Kit de Adaptação para Máquinas de Costura" ganhou o primeiro lugar na categoria "Inclusão de Pessoas com Deficiências" na final do Desafio Senai 2016.

Desenvolvida por alunos de Friburgo-RJ visava o controle analógico, no estilo de *joystick* utilizado em controles para jogos eletrônicos, o dispositivo é acoplado à máquina de costura e o controle realizado pela movimentação constate e manual, de acordo com a Figura 8.

Figura 8 – Adaptação “Acesse Kit de Adaptação para Máquinas de Costura” (G1 REGIÃO SERRANA, 2016)



Apesar de vencedora da competição de 2016, não se encontrou o *kit* disponível no mercado. Uma vantagem desse método em comparação aos outros mencionados é a possibilidade de movimentação natural do tronco e cabeça. Uma desvantagem a destacar é o fato de a utilização desse método depender da mão do usuário estar na mesa e exatamente em cima do *joystick*, o que impede a realização de operações de costura onde são necessárias ambas as mãos do usuário, por exemplo, união de peças, pregar zíper e entre outras.

4 DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS E ESPECIFICAÇÕES

Os requisitos do projeto definidos nesse tópico servirão de base, limitando as possíveis soluções para o objetivo proposto nesse artigo. Ademais, eles equivalem às condições impostas ao produto pelas necessidades técnicas, operacionais, de segurança e funcionalidade, além de quesitos econômicos, mercadológicos, decorrentes da utilização e de necessidade dos clientes e os previstos por normas.

Entende-se por requisitos tudo o que é esperado pelo consumidor/usuário, considerando, também, sua segurança e qualidade de vida. Além disso, tem por base as qualidades que o produto deve possuir, descritas nos subtópicos a seguir.

Para o dispositivo desenvolvido nesse projeto, foi aplicado o método de Carpes Jr. (2014) e seus conceitos. Esse método visa a resposta de uma série de perguntas dividida em categorias com base nas qualidades que o produto deve possuir, os requisitos resultantes do método acima descrito encontram-se a seguir em subtópicos.

É importante ressaltar que os aspectos econômico-financeiro serão discutidos em outro tópico, juntamente com a análise financeira de viabilidade do produto.

4.1 Requisitos de Segurança

É comum que a segurança de um projeto seja confundida com a confiabilidade e, por isso, não incluídas corretamente ou não valorizadas durante o desenvolvimento. O questionamento aplicado de acordo com o método resultou nos seguintes requisitos, adaptados a esse projeto:

- Projetado para operar em ambiente industrial têxtil/confecção (poeira, vibrações etc.);
- Tempo de pressionamento do botão de 500 ms para proteger o sistema contra o efeito repique (*bounce*) dos botões;
- Sistema de controle de velocidade deve oferecer segurança para a manutenção da qualidade de vida do usuário;
- Deve possuir proteção contra ruídos e interferências eletromagnéticas;
- O produto deve possuir *feedback* visual que indique a conexão entre dispositivos, indicação “ON/OFF”, velocidade de costura e nível de bateria.

4.2 Requisitos de Funcionalidade

Os requisitos de funcionalidade são essenciais para um projeto pois determinam as utilidades e funções de um dado produto, ou seja, seu motivo de existência. A seguir estão os requisitos obtidos para esse subitem:

- O produto deve ser capaz de acelerar, desacelerar e parar o processo de costura;
- O produto deve funcionar por pelo menos 12 horas sem necessidade de interrupções;
- O produto deve ser controlado a uma distância mínima de até 1 metro.

4.3 Requisitos de Ergonomia

A ergonomia em ambiente industrial é cada vez mais importante para a manutenção e prevenção da saúde, produtividade e qualidade de vida do usuário, com o passar dos anos tem ganhado destaque no projeto de produtos e na decisão de adquiri-los. Por isso, aplicando o método, os requisitos para a ergonomia do produto são:

- Leve;
- A operação do produto não deve sobrecarregar, física e psicologicamente, o usuário;

4.4 Requisitos de Sustentabilidade

As pessoas estão cada vez mais consciente quanto a escassez de matérias primas e recursos ambientais, por isso, a sustentabilidade tem ganhado cada vez mais enfoque. Esse projeto visa reconhecer essa necessidade através dos seguintes requisitos:

- Evitar o uso desnecessário de materiais tóxicos, além disso, o descarte correto deve ser indicado;
- Reciclar materiais e componentes no descarte do produto.

4.5 Requisitos de Operacionalidade

Os requisitos de operacionalidade descritos buscam considerar as características dos usuários, do ambiente e da usabilidade do produto.

- Cadeirantes, pessoas com total mobilidade sentadas ou eretas devem ser capazes de utilizar o produto sem qualquer dificuldade ou incômodo;
- Deve ser de fácil entendimento e treinamento;
- Não deve conter escritas e sim símbolos, para melhor atender pessoas com o mínimo nível de instrução, quanto a leitura;
- Deve conter interface visual comunicando o funcionamento e sinalizações necessárias;
- Deve ser protegido quanto aos erros de utilização;
- Se houver falha crítica, ocorrerá a parada imediata da costura.

4.6 Especificações do Produto

Neste item, são definidos, na Tabela 6, as especificações do produto após levantamento dos requisitos e pesquisa de conceitos.

Tabela 6 – Especificações do Produto.

Requisitos	Especificações	Unidade	Valor Alvo ou Máximo
Leve	Massa	g	30
Antirrepique	Tempo	ms	500
Comandos de entrada	Funções	u	3
Autonomia	Tempo	h	12
Alcance mínimo	Distância	m	1
Feedback visual	Informações	u	4

4.7 Normas Pertinentes

Em pesquisa ao banco de dados de normas da ABNT e da IEC, foi possível reunir as seguintes normas pertinentes ao projeto. As principais normas são citadas a seguir, outras normas são referenciadas por essas, completando as normas pertinentes.

- ABNT NBR ISO 12100:2013 – Segurança de máquinas – Princípios gerais de projeto – Avaliação e redução de riscos;
- IEC 60204-31:2013 – *Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 31: Particular safety and EMC requirements for sewing machines, units and systems.*

A Norma ABNT NBR 12100 (ABNT, 2013) é importante para esse projeto pois especifica a metodologia para a obtenção da segurança em projetos de máquinas, sendo possível através do seu uso a identificação, avaliação e redução de riscos do produto.

Por sua vez, a Norma IEC 60204-31 (IEC, 2013) apesar de não possuir correspondente no Brasil, é importante pois se trata de norma da Comissão Eletrotécnica Internacional aplicada a equipamentos eletrônicos e elétricos, máquinas de costura, unidades e sistemas desenvolvidos especialmente para o uso profissional na indústria de costura.

5 CONCEITO PROPOSTO

O conceito proposto para esse projeto tem por objetivo permitir o controle da velocidade de costura da máquina do tipo reta, por meio de acréscimo e decréscimo dessa velocidade, com a substituição do controle original por pedal por novo controle manual. Assim, permitindo a utilização da máquina de costura por pessoas com deficiência nos membros inferiores e evitar a fadiga nas pernas dos usuários causada pela permanência em posição sentada por longos períodos. Além disso, deve atender aos requisitos descritos na Seção 4.

De acordo com os requisitos definidos e análise da pesquisa de conceitos existentes e propostos na literatura definiu-se novo conceito para a utilização da máquina de costura. Logo, o foco desse novo conceito é o de permitir sua utilização sem comprometimento da postura do usuário, não limitando o uso das mãos para as operações de costura e não deve impedir o movimento natural do corpo. Além disso, deve ser capaz de reproduzir o controle de velocidade original, por pedal, com segurança.

Para melhor adequar os requisitos ao projeto, o mesmo foi subdividido em dois subsistemas, o dispositivo acoplado à mão do usuário e o dispositivo fixado à máquina de costura. A funcionalidade do primeiro é de receber o comando do usuário para variar a velocidade de costura da máquina e o segundo dispositivo serve para receber os comandos do primeiro e executar a mudança de velocidade de costura em si.

Na escolha do dispositivo manual, com relação à ergonomia e segurança, decidiu-se utilizar luva ou dedeiras, de tecido leve e respirável, com material composto parcialmente por elastano para melhor fixação sem compressão da mão/dedos do usuário. Ademais de escolher os componentes de acordo com seu peso, buscando um produto leve. A fixação dos componentes será no pulso, com uma munhequeira presa por velcro, permitindo o total movimento do pulso e não sobrecarregando a mão do usuário.

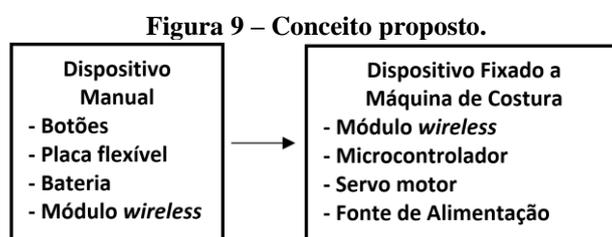
Considerando a segurança, funcionalidade e operacionalidade para a luva/dedeiras, foi escolhido o uso de dois botões de variação de velocidade, o dedo indicador aumenta a velocidade para o nível acima da velocidade atual de costura, até um valor desejado ou máximo de costura e o dedo médio diminui a velocidade até o valor almejado ou atingir a velocidade zero de parada da costura. Para comandar a velocidade é necessário pressionar por tempo maior ou igual a 500 ms, de forma a eliminar acidentes com ruídos ou toques acidentais. O uso da luva/dedeiras, visa também não atrapalhar o procedimento normal de costura. Métodos e operações podem ser aplicados como no sistema da máquina de costura original, por pedal, uma vez que não exige mudança de postura para acionamento da costura, como foi observado no estudo da seção 3 sobre pesquisa de conceitos.

Com um viés de funcionalidade, a luva/dedeiras procurou utilizar bateria com os parâmetros necessários para permitir a funcionalidade do produto por 12 horas ininterruptas e módulo Bluetooth com regulagem de potência e irradiada pelo módulo, sendo capaz de operar a mudança de velocidade em uma distância máxima de um (1) metro sem gasto excessivo da bateria, economizando assim, a energia utilizada para sua utilização e atendendo ainda aos requisitos de funcionalidade.

No desenvolvimento do dispositivo fixo a máquina, considerando os requisitos da Seção 4, destacam-se as considerações a seguir. Decidiu-se colocar no dispositivo fixo a máquina o módulo Bluetooth e o microprocessador, interface visual de usuário e alimentação do servomotor, economizando também a capacidade e quantidade de baterias utilizadas pelo produto, uma vez que ocorrem por alimentação direta na rede elétrica. O módulo Bluetooth utilizado deve ser de baixo consumo e, por isso, considerando os componentes disponíveis no mercado, optou-se por utilizar módulos *Bluetooth Low Energy*, ideal para comunicação de dados com períodos de transferência de dados e baixo consumo, esse tipo de módulo também é capaz de parear e impedir o pareamento com outros dispositivos que não o programado, sendo uma vantagem se comparado com o uso de módulos Wi-Fi. A seguir descreve-se em detalhes o conceito discutido nesse item.

5.1 Descrição do Conceito

O conceito proposto prevê a utilização de um dispositivo manual, acoplado por botões e placa flexível aos dedos e bateria e módulo *wireless* à mão do usuário. Fixado à máquina de costura há outro módulo receptor *wireless*, microcontrolador, servomotor e fonte de alimentação (Figura 9).



Portanto, com a utilização dos módulos *wireless* deseja-se a liberdade de movimento e a segurança do sistema, uma vez que a presença de fios entre o dispositivo manual e a máquina de costura deixaria o sistema exposto a acidentes. A bateria permite autonomia do sistema e os botões indicam as entradas, ou seja, comando de alteração da velocidade de costura pelo usuário.

Por sua vez, o microcontrolador recebe os sinais de comando de alteração de velocidade e os transmite para o servomotor em forma de sinal PWM, permitindo a alteração do ângulo da alavanca do pedal (sistema original), controlando assim a velocidade de costura na máquina de costura. Além disso, outro papel do microcontrolador é o de operar o funcionamento dos LEDs presentes em interface visual de usuário, indicando quando o produto está ligado, quando há conexão entre os dispositivos contidos no produto e indicador de bateria fraca.

5.2 Mapa de Produto

A Figura 10 apresenta os mapas de produto do conceito proposto, respectivamente, do dispositivo de comando manual e do sistema acoplado à máquina de costura. Com estes mapas busca-se documentar o conceito primário, direcionar possíveis melhorias e comunicar de forma clara o funcionamento do produto.

São mostrados nos mapas de produto os componentes de forma genérica, sem especificações ou marcas, sendo que estes serão definidos na seção 6 deste trabalho.

Analisando o mapa de produto, os dois botões de entrada são fixos nos dedos do operador, logo a fixação dos mesmos é uma variável crítica e, portanto, optou-se por treinar o usuário para torná-la controlável. A conexão da bateria adequadamente também é um fator crítico.

No mapa de produto da Figura 10, são variáveis críticas do sistema proposto a programação do receptor e do microcontrolador.

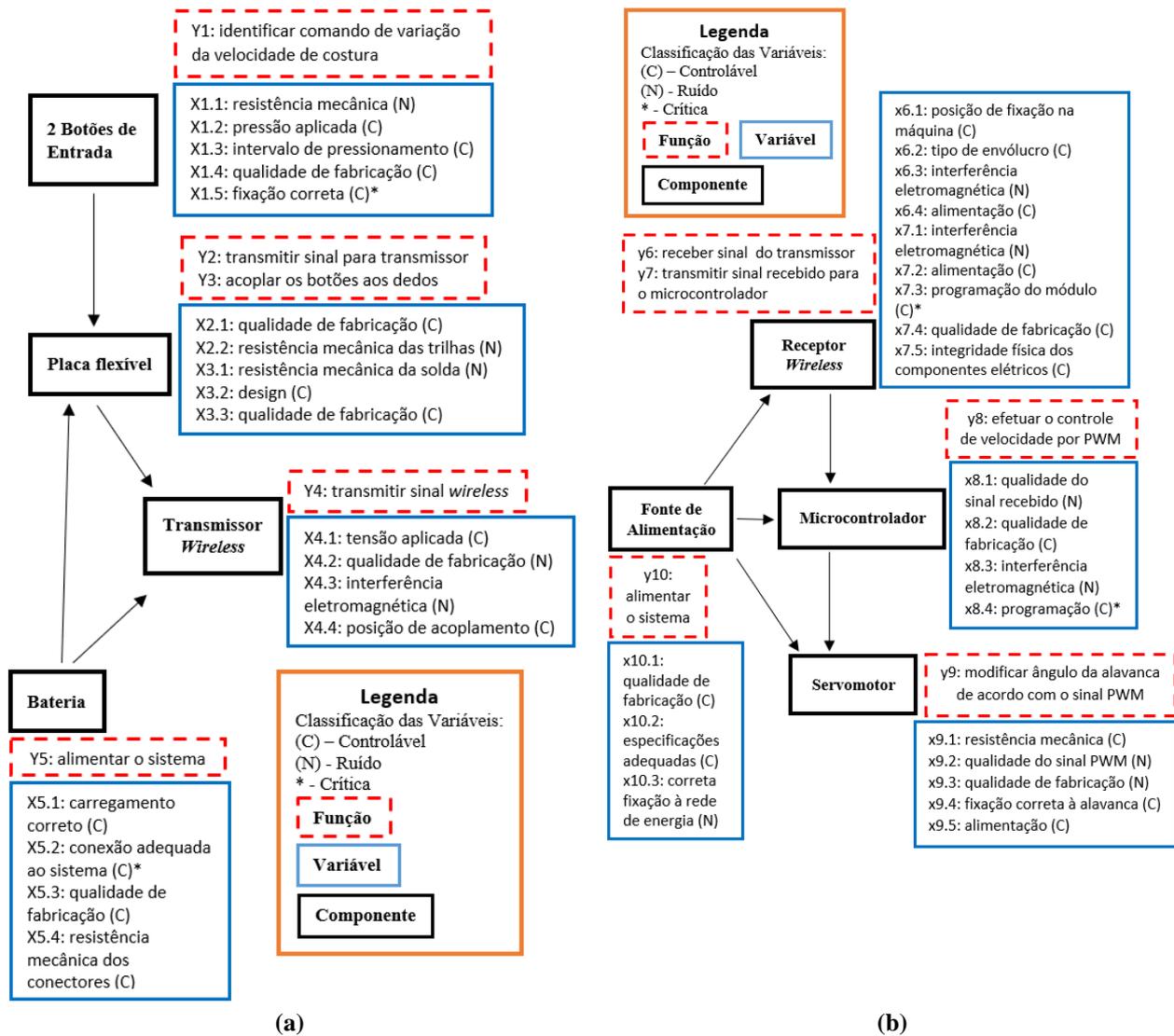
5.3 Mapa de Processo de Uso do Produto

Com o mapa de processo de uso do produto (Figura 11(a)) deseja-se documentar, apontar as variáveis de cada etapa do processo, destacar as variáveis críticas e mostrar com mais clareza o fluxo de utilização do produto pelo usuário.

No produto desenvolvido, o objetivo é o de permitir o controle de velocidade da máquina de costura, o que pode ser percebido no mapa de processo de uso do produto abaixo. Sendo as variáveis críticas: intervalo de pressionamento dos botões de entrada, a correta fixação da luva à mão e a escolha adequada da velocidade

de costura. Todos esses fatores influenciam de forma negativa quando não realizados corretamente, além de serem sensíveis a pequenos erros, logo devem ser operações padrão controláveis.

Figura 10 – Mapa de Produto do Conceito Proposto: (a) Dispositivo Manual, e (b) Sistema de Acoplado à Máquina de Costura.



5.4 Mapa de Processo de Alteração do Sistema

Para a adaptação da máquina de costura é necessário alterar alguns aspectos do sistema original e adicionar os mecanismos descritos anteriormente nesta seção.

O Mapa de Processo de Alteração do Sistema (Figura 11(b) visa destacar as etapas necessárias para a adaptação da máquina de costura para o novo sistema de controle de velocidade de costura.

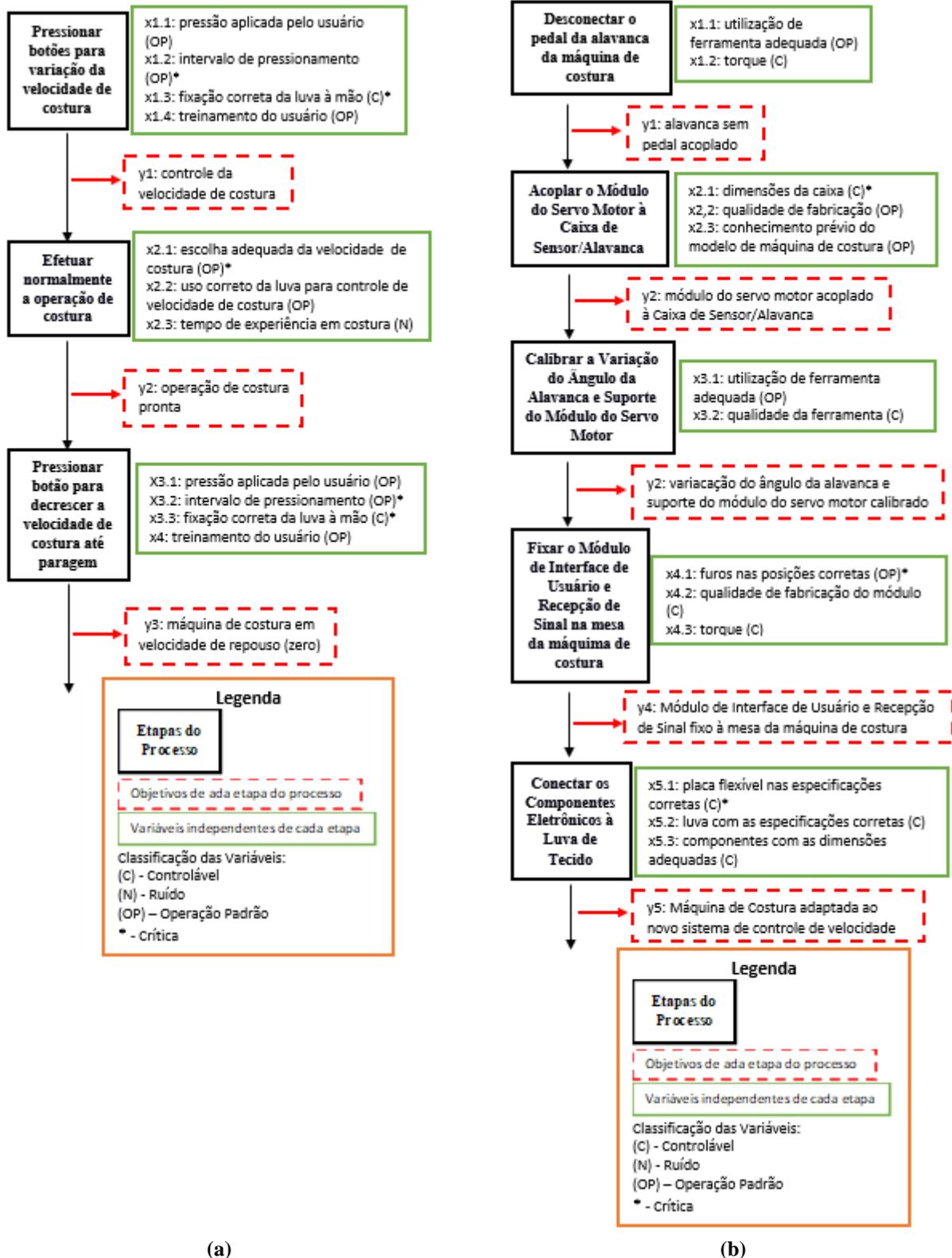
Para realizar a troca de sistemas, do original por pedal e do novo conceito por controle manual, é necessário seguir os passos descritos no mapa de processo da Figura 11(b). Optou-se por não alterar de forma permanente, sendo possível a retirada do produto adaptativo para o original com o uso de ferramentas encontradas facilmente em confecções têxteis, chave de fenda/Philips e alicate.

Além disso, destacam-se as seguintes variáveis críticas: dimensão da caixa de acoplamento do módulo servomotor, furos do módulo de interface do usuário e recepção de sinal nas posições corretas para fixação na mesa da máquina de costura e placa flexível nas especificações corretas para sua fixação na luva eletrônica e soldagem dos componentes (botões, bateria e módulo wireless).

5.5 Justificativa da Tecnologia a ser adotada

No conceito proposto nesta seção, o uso de luva eletrônica permite o uso por usuários deficientes dos membros inferiores sem o comprometimento de sua postura, posição artificial do corpo durante a rotina diária de trabalho e liberdade do uso de ambas as mãos para as operações realizadas. Sendo assim, possível a utilização da máquina de costura sem afetar a saúde do usuário.

Figura 11 – Mapa (a) de Processo do Uso Produto, e (b) de Processo de Alteração do Sistema.



Além disso, o sistema de controle do ângulo da alavanca/sensor permite a adaptação de diversos modelos sem a necessidade de estudo do funcionamento interno da máquina de costura, sendo necessário somente calibração da variação do ângulo da alavanca e suporte de fixação do módulo de servomotor.

A ausência de fios na comunicação entre a luva eletrônica e o módulo de interface e recepção de sinal permite liberdade de movimento nas operações de costura e de serviço.

6 PROJETO PRELIMINAR

Nesta seção será destacado o projeto, de forma preliminar, após análise dos mapas de produto e processo da seção anterior. Além da avaliação financeira do produto e projeto, volume de vendas, viabilidade do produto pelo seu preço alvo e *payback*.

6.1 Produto final

Com o estudo do mapa de produto do conceito proposto e os mapas de processos foi percebida a necessidade de alteração de software para o produto, a adição da possibilidade de aperto de ambos os botões permitindo a parada direta da costura. Essa necessidade foi observada na etapa de parada da costura no mapa de processo do uso do produto. Na utilização da máquina em seu sistema original, a parada em alguns tipos de operação deve ser rápida e contínua, o que não seria possível replicar ao utilizar somente o botão de decréscimo.

6.2 Definição dos componentes do produto.

Reunindo todo o conteúdo e determinando o produto do conceito proposto é possível, neste item, descrever os componentes do produto com mais confiança. O foco desse tópico e dos seguintes será no dispositivo fixado à mão do usuário, uma vez que se trata da interface de usuário mais importante nesse estudo, tendo consequências diretas no atendimento dos requisitos do projeto. Esse também é o dispositivo mais crítico pois possui mais limitações, por exemplo de peso, dimensão e autonomia de funcionamento. Por isso, foi necessário definir o módulo *wireless* e capacidade adequada da bateria.

6.2.1 Módulo Bluetooth

A decisão pelo uso do Módulo BLE 1010 ocorreu por se tratar de um componente homologado pela ANATEL, o que permite sua utilização em produtos com comunicação Bluetooth. Além disso, o módulo é produzido nacionalmente pela Soft Eletrônica (2018) o que traz economia com trâmites de importação de componentes eletrônicos.

6.2.2 Bateria

O cálculo realizado para o dimensionamento da bateria foi baseado no principal componente da luva/dedeiras, o módulo BLE 1010. Abaixo estão descritos os valores de consumo de cada perfil (c_{perfil}) do módulo BLE-1010, com alimentação de 3,6 V. Para cálculo da média do consumo médio foi considerado o intervalo de tempo médio de 1 s e o intervalo de tempo de cada perfil de consumo (Δt_{perfil}) previsto para um (1) segundo.

- Em 0 dBm:
 - $c_0 = 17 \text{ mA}$;
 - $\Delta t_0 = 1,5 \text{ ms}$.
- Modo *sleep*:
 - $c_s = 0,9 \mu\text{A}$;
 - $\Delta t_s = 998,5 \text{ ms}$.
- Comunicação TX:
 - $c_{TX} = 25 \text{ mA}$;
 - $\Delta t_{TX} = 0,5 \text{ ms}$.
- Comunicação RX:
 - $c_{RX} = 17 \text{ mA}$;
 - $\Delta t_{RX} = 0,5 \text{ ms}$.

O consumo médio ($C_{médio}$) do módulo, calculado segundo a Equação 1, é de 47 μA .

$$C_{médio} = c_0 \cdot \Delta t_0 + c_s \cdot \Delta t_s + c_{TX} \cdot \Delta t_{TX} + c_{RX} \cdot \Delta t_{RX} \quad (1)$$

$$C_{médio} = (17 \cdot 1,5 + 0,0009 \cdot 998,5 + 25 \cdot 0,5 + 17 \cdot 0,5) \cdot 10^{-3}$$

$$C_{médio} \cong 0,047 \text{ mA}$$

O cálculo da capacidade da bateria (B), foi realizado de acordo com a Equação 2, considerando o uso de 70% da bateria e duração de bateria (D) igual a 12 horas, requisito determinado na Seção 4.2.

$$B = \frac{D \cdot C_{\text{médio}}}{0,7} \quad (2)$$

$$B = \frac{12 \cdot 0,047}{0,7}$$

$$B \cong 0,8 \text{ mAh}$$

Logo, o valor mínimo da capacidade da bateria para esse projeto deve ser de 0,8 mAh. Comparativamente, uma bateria de 200 mAh, utilizando a Equação 2, seria capaz de prover energia para o sistema por aproximadamente 4 meses (2.978 horas), conforme Equação 3.

$$D = \frac{B \cdot 0,7}{C_{\text{médio}}} \quad (3)$$

$$D = \frac{200 \cdot 0,7}{0,047}$$

$$D \cong 2.978 \text{ h}$$

A escolha da bateria de lítio do tipo moeda ocorreu pela maior segurança fornecida ao usuário, uma vez que esse tipo de bateria é menos propensa ao estufamento e ao super aquecimento. Somente o ato de inversão dos polos de uma bateria recarregável do tipo lítio-polímero pode causar acidentes ao usuário e até incêndios no local. A seguir constam em detalhes os componentes do produto e análises financeiras.

6.2.3 Servomotor

O servomotor escolhido para esse projeto foi o modelo TD-8120MG da marca ReadyTosky, essa escolha baseou-se na durabilidade, precisão e alto torque. As características desse servomotor são descritas na Tabela 7.

Tabela 7 – Principais características Servomotor TD-8129MG.

Característica	Valor
Tensão de operação	4,8 a 6,0 V
Sistema de controle	Controle PWM
Torque (4,8 V / 6,0 V)	17,2 / 20,3 kg.cm
Temperatura de operação	-20 °C a +60 °C
<i>Central point</i>	1.500 μs
Frequência de operação	330 Hz
Engrenagens	Alta precisão de alumínio com anodização dura
Vida útil	> 150.000 (sem carga)
Dimensões (C x L x A)	40,5 x 20,2 x 40,3 mm
Peso	62 g

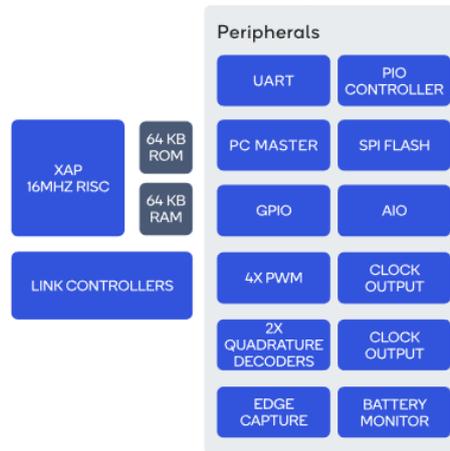
6.2.4 Microcontrolador

O microcontrolador definido para esse projeto foi o CSR1010 (QUALCOM TECHNOLOGIES INTERNATIONAL, 2018) presente no módulo BLE 1010. O CSR1010 possui quatro módulos PWM para padrões de LED e controle de motores (Figura 12). Além disso, a frequência de operação do controle PWM neste módulo é de 64,3 a 16.320 Hz, permitindo o controle do servomotor descrito no item anterior (TD-8120MG).

6.3 Diagramas elétricos funcionais

O diagrama funcional mostra como são as conexões entre o Módulo BLE-1010, a bateria e os botões. As portas de alimentação são 23 e 22, VBAT e GND, respectivamente, e devem ser ligadas à bateria. É recomendado pelo fabricante a conexão do VBAT diretamente à porta VPAD de alimentação das portas do módulo. As portas 9 (PIO5) e 10 (PIO6) do módulo, representam as portas I/O programáveis, alteração nas entradas PIO5 a PIO9 quando em modo “AT+MODE1” (*slave*) provoca o envio de resposta automática para o dispositivo remoto (“AT+MODE2”). Para melhor entendimento foi utilizado representações dos componentes fora de escala, mas com indicação da posição na mão do usuário.

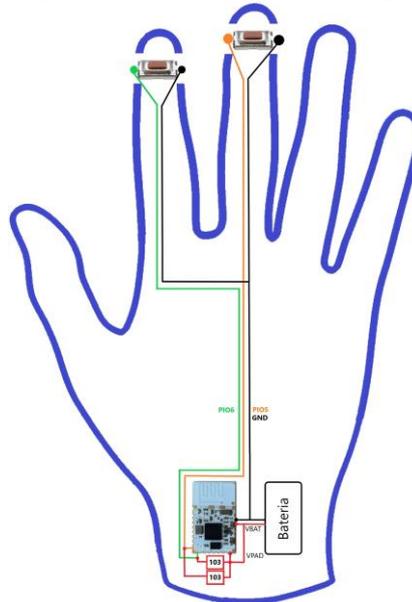
Figura 12 – Diagrama de Blocos Família CSR101x (QUALCOM TECHNOLOGIES INTERNATIONAL, 2018).



6.3.1 Dispositivo Manual

As conexões entre os componentes da Figura 13 será realizada através de placa flexível, pois apresenta melhor moldagem à mão e flexibilidade. Cada botão foi conectado ao GND e ao VPAD do módulo, para isso, foi utilizado um resistor *pull-up* SMD de 10 kΩ em VPAD, como mostra a figura. Dessa forma, quando acionado o botão o estado da porta irá para BAIXO e no estado original permanece em ALTO. Além disso, para leitura do *push-button*, as portas digitais utilizadas, nesse caso PIO5 e PIO6, devem ser configuradas para tensão baixa (*default*), com as conexões adequadas mostradas na Figura 13.

Figura 13 – Diagrama Elétrico Funcional: Dispositivo Manual.

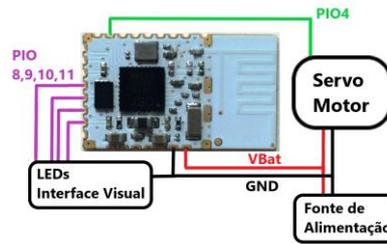


Outra observação importante é a de escolha de conexão direta entre o módulo e a bateria, o que é permitido pois o microcontrolador CSR1010 (utilizado no Módulo BLE-1010) possui regulador interno de tensão, permitindo o uso de baterias com tensão de 1,8 V a 3,6 V.

6.3.2 Dispositivo Acoplado à Máquina de Costura

Na Figura 14 é mostrada por meio de um diagrama funcional as conexões entre os componentes do dispositivo acoplado à máquina de costura. O módulo BLE 1010 é conectado à entrada do servomotor para controle por sinal PWM e esse é alimentado por fonte externa. O módulo é responsável também pela interface visual através do uso de LEDs, como mostrado no diagrama.

Figura 14 – Diagrama Elétrico Funcional: Dispositivo Acoplado à Máquina de Costura.



6.4 Lista de componentes

A Tabela 8 lista os componentes principais necessários para o desenvolvimento desse produto e a quantidade utilizada de cada componente para esse produto.

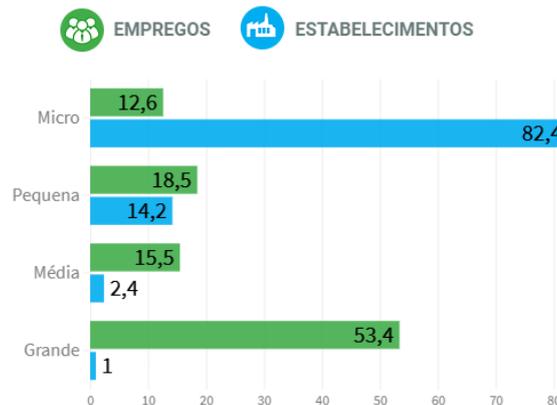
Tabela 8 – Lista de Componentes.

Componentes	Quantidade
Placa flexível	1
Botão micro <i>push-button</i>	2
Servomotor TD8120MG – 20 kg	1
Módulo BLE-1010	2
Bateria de lítio 3 V / 225 mAh (CR2032)	1
Luva de bilhar	1
Suporte para bateria CR2032	1
Resistor 10 kΩ 1/4W SMD	2
Fonte de alimentação	1
Caixa para montagem	2

6.5 Volume de venda

De acordo com os dados coletados nesse projeto e com base na Figura 15 (FIESC, 2017). A indústria têxtil em SC emprega no total 162.845 funcionários (E_{total}). Sendo que empresas de médio e grandes portes (mercado alvo definido para esse projeto) empregam 15,5% e 53,4%, respectivamente, desse valor.

Figura 15 – Estabelecimentos e Empregos segundo o porte (FIESC, 2019).



Com base no conteúdo do art. 93, do capítulo II, seção VI, subseção II da Lei 8.213/91, 2 a 3% para empresas de médio porte e 4 a 5% para empresas de grande porte, considerando os valores mínimos da lei, têm-se a possibilidade dos seguintes volumes de venda.

- Quantidade total de empregos:
 - $E_{total} = 162.845$;
- Porcentagem de empregados em empresas de médio porte:
 - $\%E_{médio} = 15,5$;
- Porcentagem de empregados em empresas de grande porte:
 - $\%E_{grande} = 53,4$;
- Porcentagem mínima de contratação prevista pelo art. 93 para empresas de médio porte:

- $\%C_{m\u00e9dio} = 2$;
- Porcentagem m\u00ednima de contrata\u00e7\u00e3o prevista pelo art. 93 para empresas de grande porte:
 - $\%C_{grande} = 4$;

$$V_{venda\ total} = E_{total} \cdot (\%E_{m\u00e9dio} \cdot \%C_{m\u00e9dio} + \%E_{grande} \cdot \%C_{grande}) \quad (4)$$

Utilizando a Equa\u00e7\u00e3o 4 para o c\u00e1lculo dos volumes de venda total, h\u00e1 a possibilidade de venda de 3.982 unidades de acordo com os valores acima descritos.

6.6 Custos do Produto

Os custos dos componentes do produto desenvolvimento nesse trabalho encontra-se descrito na Tabela 9 juntamente com o valor total do produto e a fonte utilizada para a cota\u00e7\u00e3o dos lotes de cada componente analisado. Logo, o custo do produto, analisando os componentes, ser\u00e1 de R\$ 178,62.

Tabela 9 – Custos do Produto.

Componente (<i>fonte</i>)	Valor por Lote / Qde (R\$)	Valor por Produto (R\$)
Placa flex\u00edvel (<i>PCBWay</i>)	37,90 / 10	3,79
Bot\u00e3o micro <i>push-button</i> (<i>Huaxinxiang Technology</i>)	56,96 / 500	0,23
Servomotor TD8120MG – 20 kg (<i>Sky RC Hobby</i>)	171,53 / 4	42,88
M\u00f3dulo BLE-1010 (<i>Loja Sotudo</i>)	467,81 / 5	93,56
Bateria de l\u00edtio CR2032 (<i>Loja Filipeflop</i>)	29,90 / 10	2,99
Luva de bilhar (<i>Tacol\u00e2ndia</i>)	15,00 / 1	15,00
Suporte para bateria CR2032 (<i>Hondark Electronics</i>)	32,33 / 20	1,62
Resistor 10k Ω 1/4W SMD (<i>Ba\u00fa da Eletr\u00f4nica</i>)	39,12 / 1000	0,08
Fonte de alimenta\u00e7\u00e3o (<i>SmartCoco Store</i>)	67,55 / 10	6,75
Caixa para montagem (<i>Ba\u00fa da Eletr\u00f4nica</i>)	11,00 / 2	11,00
Total		178,62

6.7 Custos do Projeto

Al\u00e9m do custo do produto, h\u00e1 o custo inicial do projeto respons\u00e1vel pelo desenvolvimento do produto. Logo, neste item ser\u00e3o enumerados os custos previstos nesse aspecto.

Para os testes realizadas e descritos na se\u00e7\u00e3o de testes e resultados desse projeto foi necess\u00e1rio adquirir: 2 M\u00f3dulos BLE 1010 5 Pinos (R\$ 45,00 cada), Bateria L\u00edtio 3,7 V 600 mAh Modelo HJ-802540 (R\$ 45,00), Tecido e Velcro (R\$ 15,00), Bot\u00f5es Micro *Push-Button* (R\$ 14,00 / 100 p\u00e7s), 2 Adaptadores USB/TTL (R\$ 8,90 cada) e 10 metros de Fio 30 AWG (R\$ 15,00). Sendo o custo total dessas aquisi\u00e7\u00f5es igual a R\$ 196,80.

Al\u00e9m dos custos acima, o projeto teve o de Recursos Humanos, apenas da autora, Engenheira de Controle e Automa\u00e7\u00e3o, o que gerou custos por horas trabalhadas durante a execu\u00e7\u00e3o desse projeto, sendo uma tarefa subjetiva de mensurar.

Logo, considerando duas (2) horas di\u00e1rias de dedica\u00e7\u00e3o durante 10 meses, t\u00eam-se um total de 400 horas. Se considerado o s\u00e1l\u00e1rio-m\u00ednimo vigente R\$ 4,54/h, um Engenheiro Formado recebe 8,5 s\u00e1l\u00e1rios-m\u00ednimos, logo R\$ 36,32/h. Sendo o custo de RH igual a R\$ 14.528,00 (400 horas a R\$ 36,32/h) mais 30% de encargos, totalizando R\$ 18.886,40.

Com a decis\u00e3o do uso do M\u00f3dulo BLE 1010 foi poss\u00edvel reduzir o custo de *timed to market*, uma vez que se trata de um M\u00f3dulo BLE homologado pela ANATEL, economizando assim, custos de homologa\u00e7\u00e3o, testes, certifica\u00e7\u00f5es e tantos mais. Al\u00e9m disso, o m\u00f3dulo \u00e9 produzido nacionalmente pela Soft Eletr\u00f4nica o que traz economia com tr\u00e2mites de importa\u00e7\u00e3o de componentes eletr\u00f4nicos.

Uma observa\u00e7\u00e3o importante a ressaltar \u00e9 da exist\u00eancia de custos al\u00e9m do calculado acima e que para comercializa\u00e7\u00e3o futura devem ser determinados, s\u00e3o eles: Normas ABNT NBR ISO 12100:2013 e IEC 60204-31:2013, custos de certifica\u00e7\u00f5es, testes, Recursos Humanos da segunda etapa de desenvolvimento do produto, entre outros a serem explorados.

6.8 Avalia\u00e7\u00e3o de Pre\u00e7o-Alvo

O custo do produto alcan\u00e7ado por esse projeto foi de R\$ 178,62, um valor aceit\u00e1vel por se tratar de um produto industrial automatizado. Produtos desse tipo na Ind\u00fas\u00e9ria T\u00eaxtil tem grande valor agregado, por exemplo, Ilhoseira Autom\u00e1tica R\$ 6.000,00, M\u00e1quina de Costura Industrial Reta R\$ 6.985,00 e Caseadeira

Industrial Eletrônica R\$ 39.000,00. Sendo razoável, o preço de venda igual a R\$ 893,10, sendo esse valor 500% do custo do produto.

6.9 Payback

O *payback* simples para esse produto, considera um investimento inicial de R\$ 100.000,00, valor aproximado considerando os custos do projeto, investimento com normas e certificações e capital inicial da empresa. Além disso, considerando o volume de venda mensal igual a 0,5% do volume de venda total, (3.982 unidades), será de 20 unidades.

Para o cálculo do *payback*, têm-se o custo do produto igual a R\$ 178,62 e preço de venda, R\$ 893,10, valores determinados anteriormente.

$$Payback = \frac{Investimento_{inicial}}{[(preço - custo) \cdot Volume_{venda\ mensal}]} \quad (5)$$

Logo, aplicado a Equação 5 com os valores acima, o *payback* é igual a 5,6 meses. Sendo o retorno do investimento, com venda mensal de 20 unidades a R\$ 893,10/unidade, ocorrerá em 168 dias.

7 TESTES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os testes realizados nesse estudo visaram a validação do projeto, além da decisão entre o uso de luva ou dedeiras para o dispositivo acoplado a mão do usuário.

7.1 Teste 1: Luva versus Dedeiras

Nesse teste foi costurada uma dedeira (Figura 16) para teste de fixação, conforto e segurança quando comparados ao uso de uma luva de mesmo material. O material escolhido para ambas foi tecido preto sintético com elastano e fechamento a velcro.

Figura 16 – Dedeira – Teste 1.



Ao simular o uso com movimentos naturais em uma situação de trabalho, (Figura 16), constatou-se que no caso da dedeira a fixação da placa flexível seria exposta e não segura para o que se busca no projeto, sendo possível a desconexão da mesma por acidental enroscamento. A situação crítica citada é evidenciada na figura superior direita da figura abaixo.

No caso da luva, é possível embutir a placa flexível através de costura de canaleta, com o mesmo material da luva e com elastano. Dessa forma, eliminando o problema citado, sendo considerada a melhor opção para esse projeto. Na Figura 17 é mostrado um dos formatos possíveis para a costura da canaleta, à direita da figura, nota-se como ficaria a luva com fios sem esse embutimento, também sujeita a acidentes.

Figura 17 – Luva de Bilhar Teste 1.



Uma observação final importante para esse teste, para simulação do comportamento dos componentes da luva com a movimentação do pulso foram utilizados fios em vez da placa flexível pois apresentam o mesmo comportamento não elástico nesses movimentos. Há também a necessidade de material excedente para a movimentação do pulso.

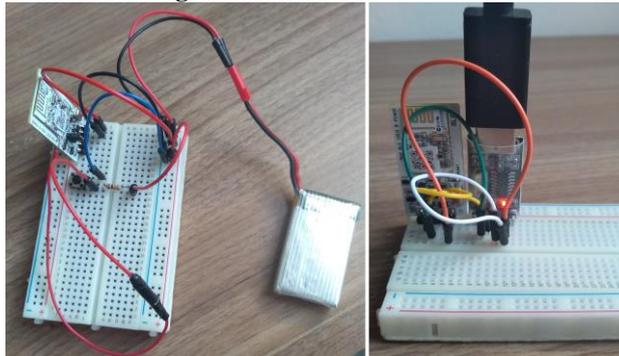
7.1.1 Análise dos Resultados

Com a realização deste teste foi possível determinar que o uso da luva eletrônica é melhor alternativa quando comparada ao uso de dedeiras, pois expõe o produto e o usuário a menores riscos, uma vez que é capaz de embutir a placa flexível.

7.2 Teste 2: Validação de Comunicação entre os Subsistemas

O material utilizado para esse teste foi: 2 módulos BLE-1010, 1 Adaptadores USB/TTL, Bateria 3,7 V/600 mAh, matriz de contatos, *jumpers*, PC e software *Advanced Serial Port Terminal* (Figura 18).

Figura 18 – Material Teste 2.



O adaptador USB/TTL foi conectado a um dos Módulos BLE-1010 (Rx-Tx / Tx-Rx / VCC-VCC / GND-GND) com o uso de *jumpers* e protoboard. Depois conectado ao PC pela porta USB para configuração prévia do módulo utilizado como escravo (*slave*), (Figura 19). Os comandos utilizados foram:

- **AT+NAME=Slave** – define *Slave* como nome do módulo;
- **AT+MODE=1** – estabelece modo de aquisição como modo do módulo;
- **AT+ROLE=0** – define papel do módulo como **ROLE=0** (escravo/*slave*);
- **AT+CYC=01** – determina a taxa de aquisição para 1 s, quando alterado o estado do PIO, o módulo envia **OK+Col:[xx]** ao lado remoto.

Figura 19 – Configuração Módulo *Slave*.

```
AT+NAME?OK+Get:Soft ATm
AT+NAMESlaveOK+Set:Slave
AT+MODE?OK+Get:2
AT+MODE1OK+Set:1
AT+ROLE0OK+Set:0
AT+RESETOK+RESET
.
AT+CYC01OK+Set:1
```

Após configuração do Módulo *Slave*, o mesmo foi desconectado do adaptador USB e conectado à matriz de contatos, bateria, botão ligado a porta PIO5 e um pino da barra de LED. O LED serviu como indicador do uso do *push-button*.

O adaptador USB/TTL foi conectado ao outro Módulo BLE-1010. Depois conectado ao PC para o uso do módulo utilizado como *master* (mestre), (Figura 20). Os comandos de configuração foram similares ao do módulo anterior, diferenciando-se somente na definição do papel do módulo para **ROLE=1** (*master*). Para a conexão entre *master-slave*, foram utilizados os seguintes comandos AT:

- **AT+DISC?** – inicia uma varredura de busca, listando os endereços descobertos;
- **AT+CONN=0** – utilizado para conectar no primeiro item da lista de endereços descobertos por **AT+DISC?**;
- **AT+BATT?** – indica o nível da bateria do dispositivo remoto, 1,8 V = 0% ; $\geq 3,0$ V = 100%.

Figura 20 – Relatório Módulo Master.

```

AT+NAME?OK+Get:Soft ATm
AT+MODE?OK+Get:2
AT+MODE10K+Set:1
AT+ROLE10K+Set:1
AT+RESETOK+RESET
.
AT+DISC?
OK+DISCS
OK+DIS:0:786873630125
OK+DISCE
AT+CONN0
OK+CONN0
OK+Co1:0x184
OK+Co1:0x180
OK+Co1:0x184
OK+Co1:0x180
OK+Co1:0x184
AT+BATT?OK+Get:100

```

Na Figura 20, “OK+Col:0x180” / “OK+Col:0x184” indica a resposta automática do módulo *slave* ao módulo *master* ao perceber mudança na porta PIO5 (0100 - 0000 / PIO 6 5 4 3). Nota-se que não foi necessário o envio de comando pelo master para coleta desses dados. Além disso, ao perceber a alteração, o sinal é enviado no tempo definido por **AT+CYC=01**, ou seja, 1 s. Também, foram testadas três distâncias entre os módulos, 20 cm, 60 cm, 100 cm, obtendo êxito em todas. Observou-se também que em distâncias de até 2,0 metros a conexão ocorreu sem perdas.

Vale ressaltar que, por limitações físicas do espaço disponível para teste, não foi possível atestar a eficácia de comunicação do módulo BLE 1010 em distâncias maiores do que 2,0 metros e tampouco a influência de ruídos eletromagnéticos sobre a comunicação.

7.2.1 Análise dos Resultados

No Teste 2, foi comprovado o cumprimento do requisito, no qual deve operar com usuário a distância mínima de até um metro de distância entre os dispositivos manual e fixado à máquina de costura.

8 CONCLUSÃO

Este projeto teve como objetivo a proposta e desenvolvimento de um novo produto e mostrar na prática a aplicação dos métodos de *marketing* SAP, mapeamento de produtos e processos aplicados ao desenvolvimento de produtos eletrônicos.

Além disso, este trabalho busca validar a ideia de um produto até sua concepção, em forma de projeto preliminar. Por meio de aplicação dos mapeamentos de produto e processos, a segmentação de mercado foi possível analisar de forma objetiva o setor têxtil. Outro importante destaque foi o uso de definição de requisitos e pesquisa de conceitos que serviu como base para o desenvolvimento do produto.

E logo, o novo conceito proposto demonstrou a viabilidade do produto pois teve forte embasamento em pesquisa, aplicação dos principais métodos da área de desenvolvimento de produtos e foram sujeitos a testes de validação e análise de resultados.

Conforme os requisitos definidos neste projeto, a luva eletrônica proposta é capaz de operar em distância de até 1 m por meio de conexão sem fio, possui autonomia de bateria superior a 4 meses de uso constante, superando o requisito de 12 horas de funcionamento ininterrupto. Ademais, o módulo BLE 1010 permite a comunicação *wireless* (Bluetooth) de forma satisfatória ao mesmo tempo que possibilita a programação do microcontrolador, contido no próprio módulo, para o controle do servomotor e de interface visual (LEDs).

O conceito proposto também permite a liberdade de movimento do usuário, uma vez que o controle da operação de costura é realizado somente com o uso das mãos, sem necessidade de controle em local fixo. Sendo possível operar máquina industrial por luva eletrônica em posição sentada ou ereta.

Logo, este produto permite o uso de máquinas de costura industrial por cadeirantes ou pessoas com deficiências nos membros inferiores e incluindo-os no setor têxtil. Além de possibilitar a melhora da qualidade de vida de usuários normais ao permitir o revezamento de posição de trabalho.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12100: resumos**. Rio de Janeiro, 2013. 7p.

- BRASIL. Lei n. 8213, de 24 de julho de 1991. **Da finalidade e dos princípios básicos da Previdência Social**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8213compilado.htm>. Acesso em: 20. jul. 2018.
- CARPES JR, W.P. **Introdução ao Projeto de Produtos**. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- CILINHOB. **Como adaptar uma máquina de costura para cadeirante**. Disponível em: <<https://youtu.be/OIAguc98aI>>. Acesso em: 4. mai. 2018.
- CLEMSON UNIVERSITY. **Apparatus and Method for Voice Controlled Apparel Machine**. Int CI4 H01H 35/00 U.S. 5,375,063. 07 jul. 1986, 1. mar. 1988. USP.
- FIESC. **Santa Catarina em Dados 2017**. Disponível em: <<https://www.observatoriofiesc.com.br/>> Acesso em: 5. dez. 2018.
- FIESC. **Santa Catarina em Dados**. Disponível em: <<http://fiesc.com.br/pt-br/economia/santa-catarina-dados>> Acesso em: 10. dez. 2018.
- G1 REGIÃO SERRANA. **Acesse Kit de Adaptação para Máquinas de Costura**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2016/09/alunos-criam-kit-para-que-deficientes-possam-usar-maquinas-de-costura.html>> Acesso em: 5. mai. 2018.
- IEC – INTERNATIONAL ELECTROTECH-NICAL COMMISSION. **IEC 60204-31: resumos**. Europa, 2013. 27 p.
- KOTLER, P. A. **Administração de Marketing**. 10 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2000.
- MIRANDA, Gelso. **Tapetes de Fru Fru Feito por um Cadeirante Máquina de Costura Adaptada para Deficiente**. Disponível em: <<https://youtu.be/kcL4qAicdY0>> Acesso em: 4. mai. 2018.
- QUALCOMM TECHNOLOGIES INTERNATIONAL. **CSR101x Product Brief CS-232604-DC**. United Kingdom, 2015.
- SENAI-CETIQT (BR/RJ). Rio de Janeiro, RJ. **Acionador e controlador manual de máquina de costura reta industrial para cadeirante**. MU8701328-2 U2. 30 mai. 2007, 09 nov. 2010. Banco de Patentes Nacional.
- SENAI-CETIQT (BR/RJ). Rio de Janeiro, RJ. **Dispositivo mecânico de acionamento de máquina de costura utilizando movimento do tronco para portador de necessidades especiais: membros inferiores**. PI 0923940-5 A2. 30 jun. 2009, 18 dez. 2012. Banco de Patentes Nacional.
- SHERIFF *et al.* **Oral Machine Controller**. U.S. 4.728.812. Honolulu, Hi., Plymouth, Minnesota. 19. nov. 1993. 20. dez. 1994. USA.
- SOFT ELETRÔNICA. **Módulo BLE-1010: Módulo Transceiver Integrado Bluetooth para aplicações de baixo consumo**. Paraná, 2018.