

Proposta de dispositivo vestível, tipo pulseira, com autocarregamento termoelétrico e solar

Douglas Maciel Fagundes¹, Alexandre Zamberlan^{1,2}

¹Curso de Ciência da Computação – Universidade Franciscana (UFN)
Santa Maria – RS

²Laboratório de Práticas da Computação – Universidade Franciscana (UFN)
Santa Maria – RS

douglas.mf10@hotmail.com, alexz@ufn.edu.br

Resumo. *O presente trabalho refere-se ao projeto, implementação e análise de um dispositivo vestível (Wearable Device), tipo pulseira, com captação e armazenamento de energia solar e termoelétrica, situando-se nos campos de Sistemas Ubíquos e energia renovável. Esta pesquisa é exploratória com revisão bibliográfica e é apoiada por estudo de caso (protótipo de uma pulseira). Os resultados alcançados foram os seguintes: projeto esquemático do protótipo utilizando a ferramenta EasyEDA, revisão da literatura e trabalhos relacionados, protótipo captando e armazenando, ineficientemente, somente energia solar, pois as pastilhas termoelétricas não geraram voltagem suficiente para o carregamento da bateria.*

Abstract. *The present work pertains to the design, implementation and analysis of a wristband-type wearable device, with solar and thermoelectric energy harvesting and storage. It pertains to the fields of Ubiquitous Systems and renewable energy. This is an exploratory research with literature review and is supported by a case study (prototype of a wristband). The results were as follows: schematic design of the prototype using the tool EasyEDA, literature review and related works, a prototype harvesting and storing, inefficiently, solar energy only, as the thermoelectric coolers were not able to generate enough voltage to charge the battery.*

1. Introdução

Entende-se que dispositivos vestíveis são um tipo de tecnologia inserida em roupas, acessórios ou até mesmo na pele, pertencente a um movimento conhecido como *quantified self*¹ [Patel et al. 2015].

Sistemas vestíveis, são usados, algumas vezes, para monitorar pacientes e, futuramente, entender e ajudar a modificar hábitos de saúde [Patel et al. 2015]. Podem monitorar atividades comportamentais humanas e são candidatos a serem a próxima fronteira em medicina e saúde personalizada [Son et al. 2014]. Nesse universo, há inúmeros desafios, como a fabricação de sensores e módulos de memória de alto desempenho e com eficiência energética (autonomia) [Son et al. 2014]. Nesse quesito de autonomia

¹Tradução: “eu quantificado”.

energética, encaixa-se este trabalho que visa fornecer e armazenar energia para esses dispositivos, por exemplo.

O objetivo geral do trabalho é pesquisar, projetar, implementar e avaliar um dispositivo vestível, tipo pulseira, com captação e armazenamento de energia solar e termoelétrica.

Os objetivos específicos são: pesquisar e estudar tecnologias de produção e armazenamento de energia alternativa; definir uma arquitetura de hardware para o estudo de caso; pesquisar e criar um protótipo de pulseira como dispositivo vestível que se utilize da energia alternativa produzida e armazenada; avaliar o protótipo.

2. Revisão bibliográfica

Nesta seção, busca-se apresentar e discutir conceitos e aplicações de áreas de pesquisa do trabalho. Também, há uma discussão e análise de trabalhos relacionados.

2.1. Sistemas Pervasivos e Ubíquos

Um sistema pervasivo é um paradigma computacional que define que um ambiente computacional deve estar disponível ao usuário o tempo todo e em qualquer lugar [Yamin 2004]. Um sistema desse tipo pode fazer uso de diferentes dispositivos, os quais devem estar logicamente conectados, visto que compartilharão dados e informações [L'Erario et al. 2004]. As limitações e particularidades de cada dispositivo do sistema devem ser levadas em consideração no desenvolvimento do mesmo, pois apesar de a aplicação precisar ser de simples operação [L'Erario et al. 2004], a computação por trás dos componentes deve, preferencialmente, ser invisível para o usuário [Pires et al. 2005].

Sistemas ubíquos são muito semelhantes aos sistemas pervasivos. Para Regina [de Araujo 2003], sistemas ubíquos são uma junção das computações pervasiva e móvel. Segundo ela, podem ser avaliadas de acordo com sua mobilidade e com seu grau de embarcamento, ou seja, a capacidade que seus dispositivos possuem de acompanhar seus usuários a qualquer lugar e o quão inteligente e autônomo o sistema é, respectivamente. O sistema ubíquo seria a junção das altas capacidades do sistema pervasivo (grau de embarcamento) e do sistema móvel (mobilidade). Um sistema ubíquo, diferentemente de um computador, é projetado para propósitos específicos [de Araujo 2003].

Sistemas pervasivos e ubíquos podem ser projetados e implementados por metodologias ágeis de desenvolvimento de software, bem como, técnicas da engenharia de software tradicional (levantamento de requisitos, análise de requisitos, projeto de software, implementação, testes e entrega). Há, entretanto, sistemas ubíquos que se utilizam da teoria de Sistemas Multiagentes [Zamberlan et al. 2014] e esses sistemas são projetados e implementados com metodologias e técnicas da engenharia de sistemas multiagentes, específicos a esse contexto.

2.1.1. Internet of Things - IoT

Sistemas pervasivos e ubíquos datam da década de 90, a partir dos estudos de Mark Weiser [Weiser 1991] e [Weiser et al. 1999]. Porém, a comunicação desses sistemas era realizada via infra-vermelho e outros meios de comunicação. Com a expansão do Modelo TCP/IP

e da tecnologia ipv6, esses sistemas passaram a comunicar-se por meio dos protocolos de Redes de Computadores, por isso esse conceito IoT, que traz inúmeras facilidades, principalmente mobilidade e conexão.

2.2. Dispositivos vestíveis

Dispositivos vestíveis, também conhecidos como *wearable devices*, fazem parte de uma abordagem da computação conhecida como computação vestível. Ela redefine a interação humano-computador, interligando o usuário a um dispositivo que pode ser facilmente acoplado ao corpo [Fernandes et al. 2017]. Segundo Steve Mann², *apud* [Fernandes et al. 2017], dispositivos vestíveis vão além de aparelhos vestíveis convencionais, como óculos e relógios de pulso, por exemplo, pois, para ele, dispositivos pertencentes à computação vestível devem possuir as funcionalidades de um sistema computacional [Szczuk et al. 2017], como: “ser um sistema destinado à automação de tarefas ou de suporte através de um processamento de informações; possuir ao menos um componente físico (hardware) controlado por um sistema (software); ser um sistema interdependente que realiza operações visando metas específicas”, (página 3 em [Szczuk et al. 2017]).

Dispositivos vestíveis têm sido utilizados em diversas áreas para diferentes funcionalidades. Alguns exemplos, conforme Amorim et al. (2017), são: *smartwatches*: relógios inteligentes que se comunicam com o celular por *bluetooth*; HealthKit (para o sistema operacional iOS) e Google Fit (para o sistema operacional Android): pulseiras que monitoram doenças e estado de saúde (batimentos cardíacos, glicose, pressão, dentre outros); *smartglasses*: óculos inteligentes que mostram notificações na visão periférica³; MC10: empresa que fabrica adesivos para monitorar dados biométricos, como por exemplo, batimentos cardíacos e pressão sanguínea.

Amorim et al. (2017) escrevem que 30% dos produtos vestíveis são devolvidos às lojas, tendo, como uma de suas motivações, a baixa autonomia energética, que apresenta-se como um gargalo considerável, apesar do apelo significativo desta área.

2.3. Energias alternativas e fontes renováveis

Energia renovável é o termo usado para descrever o tipo de energia adquirida por meio de fontes inesgotáveis e que não agredem o meio ambiente. É uma alternativa às fontes não-renováveis (petróleo, combustíveis fósseis, etc), as quais, apesar de serem o tipo de energia mais utilizado no mundo, produzem grandes quantidades de carbono e outros gases que colaboram para o efeito estufa e para o aquecimento global [Site Sustentável 2019], [eCycle 2020], [Portal Solar 2015].

Existem diversas formas de se obter energia limpa do meio ambiente, utilizando-se do vento, do sol, de fontes hídricas e de fontes biológicas, por exemplo. Algumas das fontes mais utilizadas são: Energia solar; Energia eólica; Energia geotérmica; Energia hidrelétrica; Biomassa; Energia nuclear.

2.4. Trabalhos relacionados

Nesta seção, há 3 trabalhos que têm relação com esta proposta. Foram elencados, para cada trabalho, o título, autores, objetivos, justificativa, metodologia e resultados

²Considerado “pai” da computação vestível.

³Em um óculos, o centro da lente é utilizado como área de foco, já as regiões periféricas são as extremidades utilizadas para as notificações.

alcançados, bem como algumas imagens (interfaces, arquitetura, casos de uso, hardware).

2.4.1. Why I Don't Use A Smart Phone

Ann Makosinski é uma inventora canadense com descendência filipina e polonesa. Seus pais lhe davam apenas conjuntos de peças eletrônicas em sua infância em vez de brinquedos, o que estimulou sua criatividade desde cedo. Em sua adolescência, descobriu que uma amiga que morava nas Filipinas havia falhado nos estudos por não ter energia elétrica em sua casa, tornando impossível estudar à noite. Isso a motivou a criar uma lanterna alimentada pela energia termoelétrica gerada pela palma da mão [TEDxTeen 2016]. Sua lanterna foi desenvolvida com a tecnologia de pastilhas termoelétricas, pequenos módulos compostos de duas placas de cerâmica em paralelo e cubos de telureto de bismuto entre elas [Danvic 2020], como ilustrado na Figura 1.

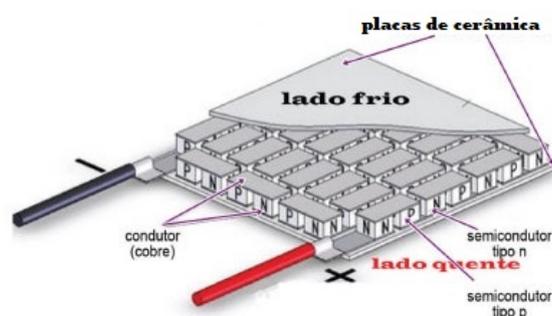


Figura 1. Pastilha termoelétrica, adaptado de [Paulo Roberto de Moura and Danilo Almeida 2014].

Seu funcionamento utiliza-se do efeito *Peltier*, o qual descreve que ao aplicar uma corrente elétrica em seus condutores, o calor presente na placa de cerâmica de um lado move-se para o outro, que deve ser resfriado com um dissipador [Danvic 2020]. O efeito inverso desse procedimento é conhecido como efeito *Seebeck*, ou seja, o deslocamento do calor de um lado para o outro gera uma tensão elétrica proporcional à diferença de temperatura [Ando Junior 2014].



Figura 2. Lanterna de Ann Makosinski [TEDxTeen 2016].

A lanterna de Ann (Figura 2) é composta de um tubo de alumínio com uma parte plana, onde são acopladas as pastilhas termoelétricas, inserido em um cano de PVC com uma abertura que expõe as pastilhas, as quais devem estar em contato com a palma da

mão. Os *Light-Emitting Diodes* (LEDs) presentes em uma das extremidades da lanterna são alimentados pela energia gerada pelo resfriamento das pastilhas termoeletricas pelo ar que circula no interior dos tubos [Henry Ford 2015].

2.4.2. Cogeração de energia através do efeito Seebeck: Um estudo bibliométrico

O artigo exposto por Nunes et al. (2017) apresenta um estudo baseado em uma pesquisa bibliográfica quantitativa de artigos referentes ao sistema de cogeração de energia por meio do efeito *Seebeck*, já discutido na Seção 2.4.1. Assim como o trabalho em desenvolvimento, os autores têm como motivação a busca por meios alternativos de captação de energia, além de servir como base para trabalhos futuros na área de pesquisa, a fim de aprimorar a pesquisa ou utilizar-se dos resultados obtidos. Os autores também explicam os efeitos *Peltier* e *Seebeck*, apresentando sua origem e descobertas feitas por seus sucessores, bem como aplicações e evolução dos processos e materiais utilizados.

A pesquisa apresenta três etapas: Etapa 1: buscas em sites em dezembro de 2016 pelos termos “*Industrial boiler, thermoelectricity e seebeck*”, cujas traduções são Caldeira industrial, termoeletricidade e *Seebeck*, respectivamente, sendo relacionados ao tema do trabalho; Etapa 2: buscas por trabalhos apresentados entre 2010 e 2016 para verificar a evolução dos materiais dos módulos termoeletricos utilizados para a geração de energia; Etapa 3: buscas aprimoradas com a utilização de filtros para exclusão de termos, sendo estes “*solar, rankine, teological e handbook, book, turbine, treating organic, fiber optic e controller*”, cujas traduções são Solar, rankine, teológico, manual, livro, turbina, tratamento, orgânica, fibra óptica e controlador, respectivamente. Os resultados obtidos mostram que apesar de o efeito *Seebeck* possuir um grande potencial, o assunto é pouco explorado, especialmente no Brasil.

2.4.3. Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica

O trabalho apresentado por Nascimento (2004) apresenta os tipos de célula fotovoltaica já consolidadas no mercado, abordando seu funcionamento básico e eficiência energética, também motivado pela necessidade de fontes alternativas de energia. A conversão de energia solar, conhecida como efeito fotovoltaico, foi observada por Edmond Becquerel em 1839. Ele observou que ao receber luz solar, uma estrutura semicondutora apresentava diferença de potencial em suas extremidades [Nascimento 2004]. De acordo com o autor citado, as primeiras células fotovoltaicas industriais foram construídas em 1956 e, mais tarde, a crise do petróleo, em 1973, impulsionou as pesquisas no ramo da energia solar. Com o fim da crise, as motivações para continuar o desenvolvimento da energia solar foram sendo substituídas por outras, como os movimentos de defesa do meio ambiente e a eletrificação rural. Atualmente, um dos maiores obstáculos para a implementação da captação de energia solar é o alto custo dos sistemas fotovoltaicos.

Conforme apresentado por Nascimento (2004), as células são compostas por duas camadas de um material semicondutor: uma camada P e uma camada N. O silício, inicialmente encontrado em forma de areia, passa por métodos adequados para se obter sua forma pura. Nessa forma, o silício recebe uma porcentagem de outros elementos para alcançar o nível necessário de condução. Uma camada recebe materiais que a tornam

negativa (tipo N) e outra recebe materiais que a tornam positiva (tipo P). Ao unir as duas camadas, um campo elétrico é formado e, ao receber luz solar, os fótons chocam-se com os elétrons, gerando um fluxo de elétrons da camada P para a camada N. Dentre os tipos disponíveis na época da publicação do artigo, destacam-se as células de filmes finos, que são películas de silício amorfo hidrogenado depositadas sobre materiais de baixo custo, como vidro, aço e alguns plásticos. São eficientes com iluminação artificial e, devido ao baixo custo, permitem produção em larga escala.

2.4.4. Análise dos trabalhos relacionados

No trabalho de TEDxTeen (2016), destaca-se a utilização inteligente da energia desperdiçada pela palma da mão, gerando mais oportunidades na captação de energia. Já o trabalho de Nunes et al. (2017) mostrou que, apesar de se ter grande potencial, o efeito *Seebeck* não é tão conhecido e aplicado no ramo de coleta de energia limpa, exigindo mais pesquisa sobre o tema, não somente pelo Brasil, mas também por todo o mundo, visto que diversas situações do dia a dia propiciam o desperdício de calor, seja de origem humana ou não. O trabalho de Nascimento (2004) elucida as questões sobre o funcionamento do efeito fotovoltaico, que pode ser amplamente utilizado no Brasil, visto que recebe uma grande quantidade de radiação solar anual [Nascimento 2004].

Portanto, esta pesquisa pretende utilizar os conceitos e funcionamento do efeitos *Peltier* e *Seebeck* apresentados no trabalho de TEDxTeen (2016), sendo a maior inspiração, a motivação gerada pelo trabalho de Nunes et al (2017) de ampliar a utilização do efeito *Seebeck* mais amplamente para a geração de energia e os conhecimentos sobre o funcionamento do efeito fotovoltaico explicado no trabalho de Nascimento (2004), auxiliando a produção de energia em ambientes com maior exposição solar.

2.5. Ferramentas para Design de Circuitos Eletrônicos

Uma revisão sobre ferramentas para design de circuitos foi realizada e apresentada por [Haroldo Amaral 2016]. Nessa revisão, há informações sobre ferramentas que possibilitam desde o desenvolvimento de diagramas e esquemáticos⁴, até o desenvolvimento, simulação e elaboração de *layout* de *Printed Circuit Boards*⁵ (PCBs). De acordo com [Haroldo Amaral 2016], “desenhar circuitos ou esquemáticos torna-se mais fácil a partir da prática e também da escolha das ferramentas para design adequadas”.

Na revisão realizada em [Haroldo Amaral 2016], são apresentadas diversas ferramentas com funcionalidades muito semelhantes, porém, destaca-se a ferramenta EasyEDA, que está disponível para utilização *online* e permite a criação de diagramas esquemáticos, simulação utilizando o simulador elétrico SPICE e *layout* da PCB. Possui esquemáticos prontos. Além de permitir a criação de projetos privados, permite também compartilhar com outros usuários. Possui grande compatibilidade com diferentes sistemas e permite a exportação de arquivos em diversos formatos. Também é possível a fabricação de PCBs por um preço baixo. A ferramenta é de utilização fácil e prática e é especialmente conveniente por permitir a criação de componentes que não estão disponíveis em

⁴Diagrama contendo os componentes do circuito e suas ligações representados através de símbolos padronizados e legendas.

⁵Tradução: “Placas de circuito impresso”.

suas bibliotecas. Segundo [Vinícius Roggério da Rocha 2020], na simulação de circuitos elétricos é comum o uso de uma *protoboard* (também conhecida como *breadboard* [de Robótica 2012]) para montar o protótipo de um circuito eletrônico sem a necessidade de soldagem. Esse autor sugere a utilização de duas ferramentas para a realização de testes com uma *protoboard* virtual: Fritzing e Tinkercad. Ambas são muito semelhantes e representam os componentes de forma bastante fiel. O Fritzing, porém, é um executável para desktop, sendo uma ferramenta paga, enquanto que o Tinkercad é disponibilizado em ambiente online de forma gratuita. Pelos motivos citados, decidiu-se utilizar o Tinkercad para montar os protótipos de circuitos eletrônicos e realizar testes com componentes neste trabalho, bem como o EasyEDA para elaborar o circuito esquemático.

3. Proposta do trabalho

Este trabalho tem como foco projetar, implementar e avaliar uma pulseira com captação e armazenamento de energia solar e termoeétrica. Ele justifica-se, conforme também já apresentado na Seção 2.2, pois dispositivos vestíveis têm problemas de autonomia energética. Além disso, há o trabalho apresentado em TEDxTeen (2016) e Ford (2015) que dá suporte à realização desta pesquisa.

A pulseira como protótipo do estudo de caso foi composta de componentes agregados, tendo como fonte de energia pastilhas termoeétricas para a captação da energia oriunda do efeito *seebeck*, visto em 2.4.1, haja contato com a pele do usuário, e uma placa fotovoltaica para auxiliar na captação de energia durante a exposição solar.

3.1. Materiais e métodos

O trabalho é uma pesquisa exploratória com revisão bibliográfica e apoiada com estudo de caso (protótipo de dispositivo vestível). A metodologia utilizada no projeto e no desenvolvimento do sistema, foi a SCRUM (encontros semanais; prototipação frequente) com a técnica Kanban (ferramenta Trello) para as atividades de escrita do TFG e de desenvolvimento do sistema.

As ferramentas utilizadas foram: Trello - gestão de atividades da metodologia SCRUM; Astah - ambiente de diagramação de aspectos estruturais e funcionais de um sistema; EasyEDA - ferramentas de design de circuitos eletrônicos.

A Figura 3 mostra os componentes utilizados no projeto. São eles: pastilha termoeétrica tipo TEC (A) para a captação de energia termoeétrica (anteriormente apresentada em 2.4.1); mini placa fotovoltaica (B) para captação de energia solar; bateria Li-Po com capacidade de 1000mAh (C) para armazenar as energias solar e termoeétrica captadas; módulo regulador de tensão MT3608 (D) para ampliar a tensão de entrada gerada pela mini placa fotovoltaica e pelas pastilhas termoeétricas, caso parte da tensão regulada pelo componente F seja perdida no processo; porta USB (E) para carregamento de um dispositivo externo; regulador de tensão 7805 (F) para ajustar a tensão gerada pelas fontes de energia para aproximadamente 5V; voltímetro indicador de bateria (G) para exibir o nível de carga; botão tic tac de três pinos (H) para acionar o voltímetro indicador de bateria e interromper os carregamentos solar e termoeétrico e módulo carregador de bateria (I) para gerenciar a carga e a descarga da bateria.

O módulo carregador de bateria é um circuito integrado utilizado para carregar baterias de lítio e utilizar a carga das mesmas para carregar outro componente. É com-

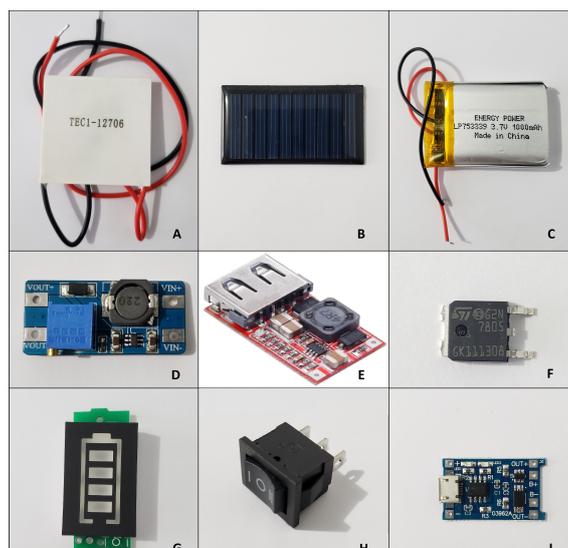


Figura 3. Componentes do projeto.

posto de LEDs para indicação de estado de bateria (vermelho para carregando e verde para carregado), uma entrada micro USB para carregar a bateria, entradas para uma fonte alternativa de energia, um resistor para ajustar a corrente, podendo ser substituído de acordo com a corrente desejada, saídas para conectar a bateria e saídas para conectar o componente que será carregado pela bateria. A tensão de entrada permitida pelo módulo é de aproximadamente 5V e a tensão utilizada para a carga da bateria é de 4,2V [Corp. 2018].

A Figura 4 ilustra a disposição dos componentes no módulo carregador.

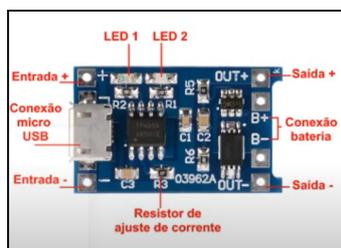


Figura 4. Módulo carregador de bateria com o esquema de interfaces [SOS CONTROLE 2019].

Existem dois tipos de pastilhas termoelétricas: TEG (*Thermoelectric Generator*) e TEC (*Thermoelectric Cooler*). A pastilha do tipo TEC é projetada para o resfriamento de superfícies, podendo ser utilizada como dissipador de calor para diversos dispositivos. Já a pastilha do tipo TEG é projetada especificamente para a geração de energia. Ambas possuem a capacidade de gerar energia elétrica, havendo diferença de calor entre seus lados quente e frio, sendo que a pastilha TEG suporta temperaturas maiores que a TEC [Nesarajah and Frey 2016]. Visto que o projeto desejado utiliza a pele humana como fonte de calor, cuja temperatura é de aproximadamente 36°C, sendo muito menor que a temperatura mínima suportada pela pastilha de menor capacidade térmica (TEC), decidiu-se utilizar a pastilha TEC, pois, como apresentado em [Nesarajah and Frey 2016], em baixas temperaturas, possui capacidade de geração igual ou até maior que a pastilha TEG, além de ser de mais fácil acesso e possuir baixo custo.

3.2. Modelagem e projeto do sistema do estudo de caso

A metodologia SCRUM é tida como ágil e customizável (flexível às necessidades e peculiaridades de cada projeto). Entretanto, ela exige constantes encontros (*sprints*) para discussão e aprovação de funcionalidades modeladas e/ou implementadas (protótipos). Dessa forma, os encontros semanais entre aluno e orientador caracterizam os *sprints* e todo o processo de escrita do texto mais a modelagem do sistema proposto formam a compreensão e mapeamento das funcionalidades e requisitos do trabalho. Destaca-se que toda a gestão de atividades foi realizada via a técnica Kanban pela ferramenta Trello.

3.2.1. Modelagem aspectos funcionais

Em relação à modelagem da proposta, dividiu-se em duas categorias: aspectos funcionais ou comportamentais; aspectos estruturais. Para os aspectos funcionais ou comportamentais da proposta, os diagramas de Caso de Uso (Figura 5) e de Atividades (Figura 6) foram usados nesta etapa do trabalho.

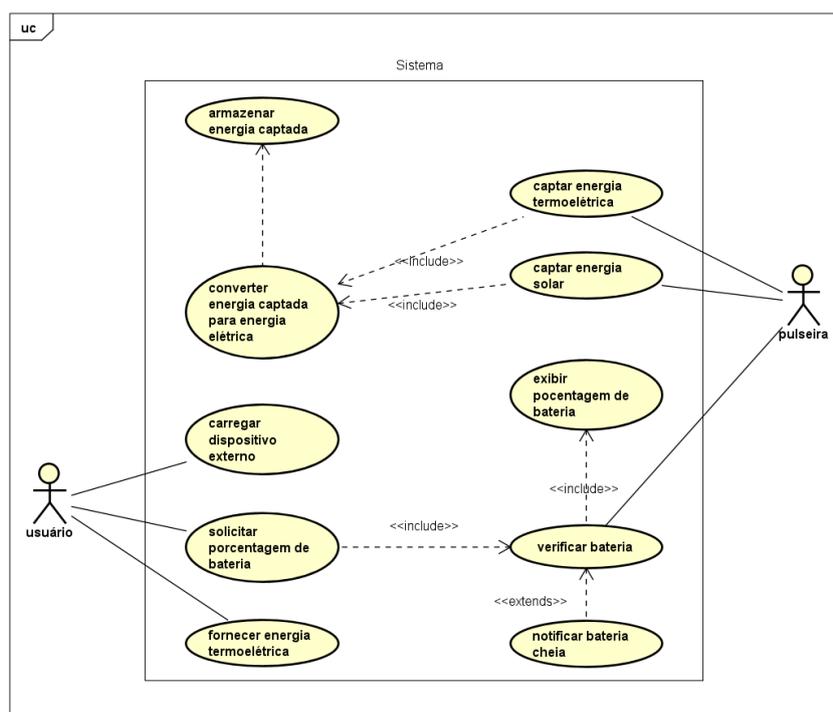


Figura 5. Diagrama de Casos de Uso da proposta.

Os atores do sistema são o usuário e o dispositivo, neste caso uma pulseira digital. Das funcionalidades mapeadas destacam-se: converter energia captada para energia elétrica (interação da pulseira com o hardware); fornecer energia termoeétrica (interação do usuário com o hardware); captar energia termoeétrica; captar energia solar; solicitar porcentagem de bateria. Essas funcionalidades elencadas são baseadas, principalmente, na experiência descrita em TEDxTeen (2016) e Ford (2015).

No sentido de detalhar as funcionalidades de software e de hardware, é necessário mapear os requisitos funcionais (RF) e não funcionais (RNF). Sendo um dispositivo pro-

jetado para a captação e armazenamento de energia, as funcionalidades são focadas no hardware, tendo funcionalidades de software primariamente passivas, voltadas para a visualização de dados por parte do usuário. Entretanto, neste trabalho não houve esta implementação, por se utilizar de um voltímetro indicador de bateria.

Outro papel do software seria a gestão da energia, controlando a captação da mesma por meio de uma placa fotovoltaica (solar) e de pastilhas termoeletricas (termoeletrica), e o armazenamento dos tipos de energia captada em pelo menos uma bateria. Neste trabalho, devido ao foco em hardware, optou-se por realizar essa gestão por meio de botões físicos.

Como a metodologia SCRUM é focada em funcionalidades, a lista de requisitos foi gerada tendo como referência cada um dos casos de uso do diagrama da Figura 5: RF1: o dispositivo deve possuir uma bateria para armazenar a energia captada; RF2: o dispositivo deve possuir pelo menos uma pastilha termoeletrica para a conversão da energia termoeletrica captada; RF3: o dispositivo deve possuir pelo menos uma placa fotovoltaica para a conversão da energia solar captada; RF4: o dispositivo deve possuir um componente para a conversão da energia solar captada; RF5: o dispositivo deve possuir uma interface apropriada para o carregamento de energia; RF6: o dispositivo poderia possuir um alerta visual ou sonoro para situação de bateria cheia; RNF1: o dispositivo poderia possuir uma interface visual e gráfica para a porcentagem de bateria.

Na Figura 6, buscou-se mostrar o fluxo de funcionamento desta proposta.

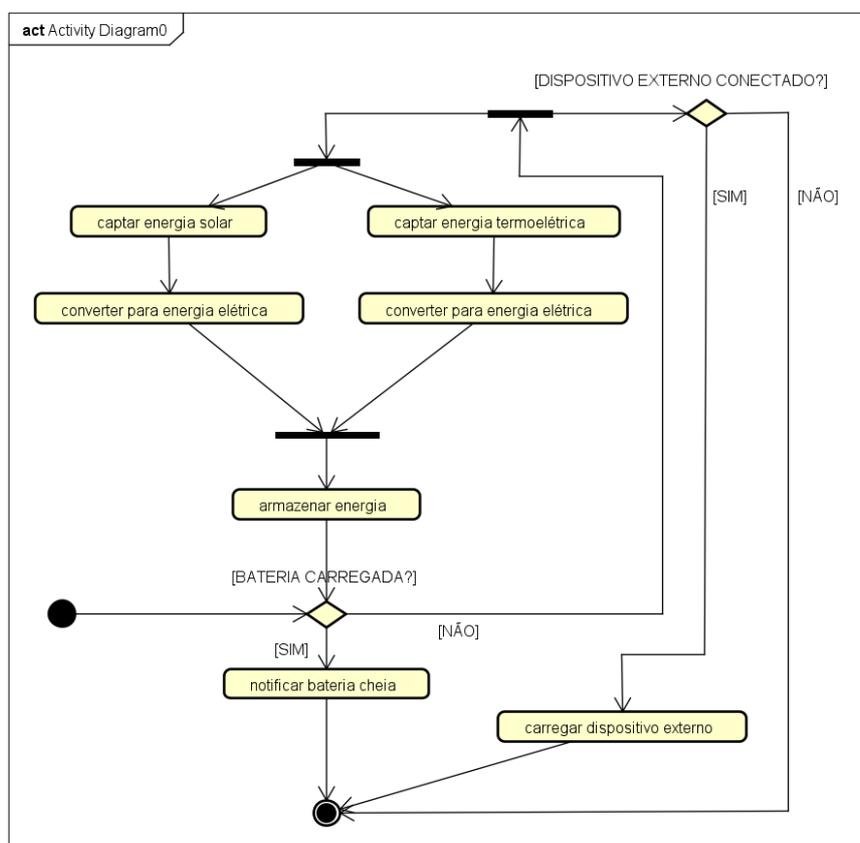


Figura 6. Diagrama de Atividades.

3.2.2. Protótipos iniciais

Novamente, como a metodologia SCRUM é iterativa e incremental, é necessária a criação de protótipos iniciais de partes do sistema.

O diagrama apresentado na Figura 7, ilustra o esquemático da proposta. No diagrama é possível perceber organização, disposição e interação dos componentes prototipados. Nessa figura, cada componente gráfico representa um componente de hardware. Destaca-se a mini placa solar e as duas pastilhas termoeletricas⁶, cada uma sendo uma fonte de energia, conectadas a um módulo carregador de baterias individual (representado pelos componentes gráficos “TP4056 - 03962A”). Porém, devido ao módulo carregador de baterias necessitar de uma tensão de entrada de aproximadamente 5V, cada fonte de energia é ligada a um regulador de tensão (LM7805EE) para reduzir a voltagem a esse valor, caso o mesmo seja excedido. O regulador de tensão possui três pinos: *IN*, para entrada de energia em uma dada tensão, *OUT*, pelo qual a tensão sai ajustada para aproximadamente 4,4V, nesse caso, e *GND*, que deve ser ligado ao polo negativo da fonte, uma vez que é o processo de aterramento do componente. Devido à necessidade de a entrada do módulo carregador ser de 5V, não podendo ser um valor inferior, faz-se necessário o uso de outro regulador de tensão do tipo *step up* para elevar e estabilizar a tensão no valor desejado, nesse caso foi utilizado o componente MT3608. Tal componente possui entradas para os polos negativo (*IN -*) e positivo (*IN +*) e saída ajustada para 5V, representada pelos polos *OUT -* e *OUT +*⁷. Os módulos de carregamento são representados conforme visto em sua representação na Figura 4, com entradas (*IN -* e *IN +*) para fontes de energia (mini placa fotovoltaica em um módulo e pastilhas termoeletrica em outro, nesse caso), pinos para ligar à bateria que será carregada (BAT - e BAT +) e pinos de saída de energia (*OUT -* e *OUT +*) por meio dos quais a energia da bateria sairá para carregar um dispositivo externo.

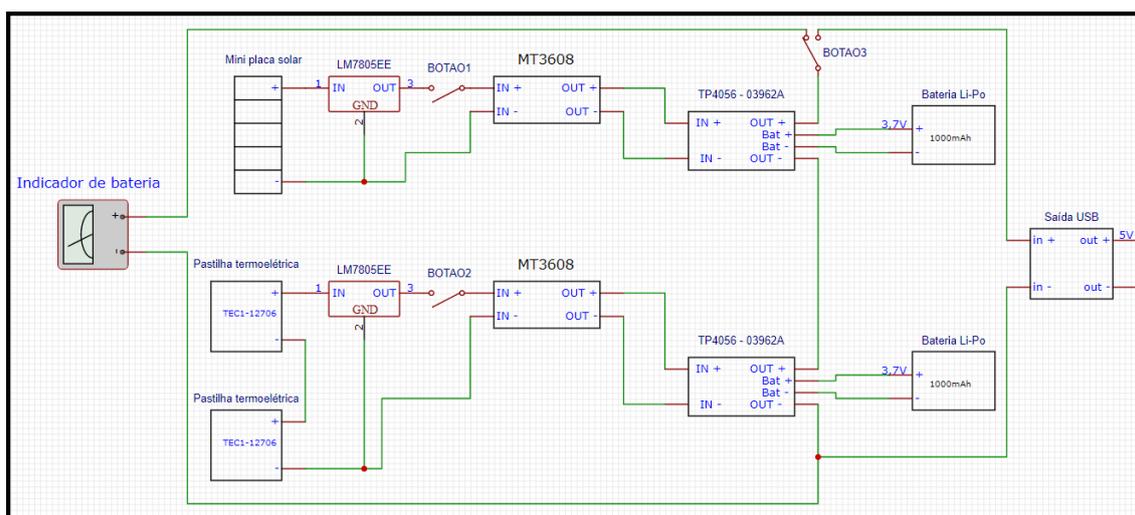


Figura 7. Esquemático da proposta na ferramenta EasyEDA.

Para que os módulos encerrem a carga das baterias, os mesmos utilizam um

⁶As pastilhas estão ligadas em série.

⁷O componente apresenta uma chave para ajustar a tensão de saída para ser igual ou maior à tensão de entrada.

cálculo de corrente. Para que não haja inconsistências nesse cálculo, é necessário que a carga das baterias seja cessada através de botões (*BOTAO1* e *BOTAO2*), que é um processo manual. Isso deve ser feito ao conectar um dispositivo externo à porta USB (*Saída USB*), a qual possui um circuito integrado que regula a tensão de saída para 5V, e sempre que o nível de carga das baterias for verificado através do apertar de um botão (*BOTAO3*), visto que o voltímetro indicador de bateria utilizado para esta finalidade exige que a tensão das baterias esteja inteiramente dedicada a ele para que apresente o nível de carga de forma adequada. Ressalta-se que o voltímetro indicador de bateria utilizado no projeto deve ser ligado a duas baterias lítio de 3,7V em série para que apresente o nível de carga média dessas baterias. Há outros modelos para diferentes quantidades de baterias de lítio. Salienta-se que o botão utilizado nesse projeto permite que a corrente seja direcionada para um componente ou para outro, dependendo de para qual lado é acionado, como é feito pelo componente “*BOTAO3*”, podendo também ser utilizado para interromper o circuito, como nos componentes “*BOTAO1*” e “*BOTAO2*”.

Uma vez que o esquemático foi modelado, projetado e apresentado, surge o protótipo físico. Entretanto, registra-se que o esquema de comunicação entre a pulseira e o usuário pode ser, em vez de um visor, por meio de dois LEDs. Um vermelho, que indica que a bateria está sendo recarregada (pulseira em contato com a pele do usuário ou com raios solares), outro LED verde, que indica que a bateria está com carga plena.

A Figura 8 mostra 4 imagens da pulseira. Na imagem *A*, um LED vermelho na porta USB indica que um dispositivo externo está sendo carregado. Na imagem *B* o voltímetro indicador de bateria mostra que as baterias estão com carga total. As imagens *C* e *D* mostram a visão das partes externa e interna do dispositivo, respectivamente. A imagem *C* mostra a disposição de todos os componentes já apresentados na Figura 3.

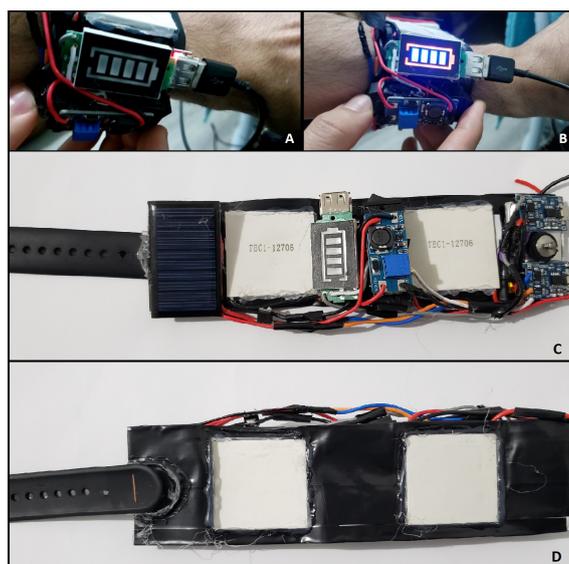


Figura 8. Protótipo inicial da proposta.

3.2.3. Testes realizados

Neste projeto foram realizados testes de medição de corrente e tensão com o multímetro digital FOXLUX FX-MD. Foram testadas a tensão e a corrente da mini placa fotovoltaica por volta das 12h30min com temperatura de 15°C e índice ultravioleta de 3 de 10 (índice moderado)⁸. Durante o teste, a placa apresentou tensão de até 5,92V e corrente de até 30mAh quando ligada aos reguladores de tensão 7805 e MT3608 e ao módulo carregador de bateria, obtendo-se, através da fórmula de cálculo de potência $P = U.I$ (onde P é a potência, U é a tensão e I é a corrente), 0,18W de potência máxima. Também foram testadas as pastilhas termoelétricas associadas em série acopladas às partes superior e inferior do pulso com temperatura aproximada de 31,8°C e em ambiente com temperatura de aproximadamente 17°C sem forte ventilação. A temperatura do pulso e das pastilhas foi medida com o termômetro digital a laser GM400. A tensão gerada se manteve estável em 0,06V com o pulso imóvel e subiu para 0,09V quando em movimento ou exposto a uma maior circulação de ar, apresentando diferença de temperatura entre os lados quente e frio de aproximadamente 4,5°C na primeira situação e 5,8°C na segunda. Devido à baixa tensão, não foi possível medir a corrente.

A corrente gerada pela mini placa fotovoltaica é muito inferior à utilizada pelo módulo carregador de baterias, que é 1000mAh [Corp. 2018], levando tempo considerável para carregar a bateria. Já as pastilhas termoelétricas geraram tensão inferior aos 5V necessários para iniciar a carga.

3.2.4. Proposta de avaliação do protótipo

Esta pesquisa não realizou uma validação do protótipo, mas sim uma avaliação de funcionalidades mínimas, que foram: i) módulo de bateria é recarregado pelas pastilhas termoelétricas? ii) módulo de bateria é recarregado pela mini placa fotovoltaica? iii) a pulseira carrega outro dispositivo eletrônico? iv) em quais momentos do dia e em quais situações de iluminação solar a mini-placa fotovoltaica tem melhor eficiência?

A partir desses questionamentos, foi possível responder que: i) não, a pastilha termoelétrica não gera tensão suficiente; ii) sim, a mini placa fotovoltaica cumpre seu papel no carregamento, porém com baixa taxa de carregamento, devido à baixa corrente elétrica gerada; iii) sim, a pulseira é capaz de carregar outro dispositivo eletrônico; iv) por volta do meio-dia e em dia ensolarado a mini-placa fotovoltaica tem melhor eficiência.

Contudo, registra-se que um processo mais formal seria interessante para validar o protótipo projetado e implementado. A sugestão seria avaliar durante 12 meses, todos os meses aspectos da pulseira, como: i) tempo de retenção de carga das baterias; ii) tempo de carregamento da bateria com ambiente nublado; iii) tempo de carregamento da bateria com ambiente ensolarado; iv) tempo de carregamento da bateria com as pastilhas termoelétricas em contato com o pulso imóvel, bem como em movimento.

4. Conclusões

Ao longo do texto, foram apresentados e discutidos conceitos e definições de sistemas pervasivos-ubíquos e energia renovável. Também foram apresentados alguns trabalhos

⁸Dados do clima retirados do site weather.com para o local de testes

relacionados que trazem conceitos e aplicações de dispositivos vestíveis e de como projetar um sistema de geração de energia renovável, além da importância de buscar formas alternativas de produção de energia. O projeto da proposta foi descrito, em termos funcionais e estruturais. Dessa forma, as principais funcionalidades e requisitos foram mapeados e buscou-se ilustrar como o estudo de caso foi conduzido, com a prototipação da pulseira.

Ao optar por não usar um visor (com capacidade de processamento), esta proposta acabou se distanciando do universo de sistemas computacionais. Porém, abriu espaço para um trabalho futuro, que é incorporar um componente que seja capaz de processamento e de comunicação, já que toda esta pesquisa é para dar alicerce a sistemas ubíquos.

Devido à baixa eficiência da mini placa fotovoltaica utilizada no projeto (modelo NBHWSUN) sugere-se a utilização de outro modelo disponível com maior geração de corrente, inacessível na elaboração desse projeto, ou a associação em série com as pastilhas para a ampliação da corrente, ligando-as a um único módulo carregador de baterias e, logo, a uma única bateria.

Por conta de o EasyEDA não possuir todos os componentes nativamente em suas bibliotecas, foi necessária a criação dos componentes faltantes, dessa forma, essa ferramenta gera os desenhos gráficos, mas não a execução, sendo uma limitação deste trabalho. Outra limitação encontrada foi que as pastilhas termoeletricas não geraram tensão suficiente para carregar a bateria. Isso ocorre porque há pouca diferença de temperatura entre o lado frio e o lado quente das pastilhas termoeletricas, devido à falta de um resfriamento eficiente. Foi encontrada, porém, uma solução para esse problema: utilizar um módulo para ampliação de tensões extremamente baixas para tensões utilizáveis, mais amplamente estudado e produzido pela empresa TXL Group, Inc., especializada na produção e pesquisa de componentes para a captação de energia termoeletrica.

É possível perceber que o protótipo não tem dimensões e talvez funcionalidades desejadas por um usuário de pulseira eletrônica. Porém, a pesquisa que resultou na confecção do protótipo é importante, pois os componentes usados talvez não sejam os mais adequados, mas foram acessíveis tanto para acessar quanto para comprar (totalizando, no máximo, R\$ 300,00).

Em relação a trabalhos futuros, destacam-se algumas sugestões: i) o projeto de hardware desta pesquisa teve tamanho significativo. Dessa forma, acredita-se que um trabalho estendido possa contribuir em experimentar e avaliar outros componentes com tamanhos reduzidos; ii) o projeto de hardware está focado em uma pulseira, principalmente na questão de recarregamento fotovoltaico, contudo, em relação ao recarregamento termoeletrico, pode-se investigar outras regiões do corpo para o uso do processo termoeletrico, como por exemplo, coxa, peito, antebraço, etc; iii) em relação ao projeto de hardware, no que se refere à pastilha termoeletrica, é necessário investigar e testar outras marcas e tipos de pastilhas termoeletricas; iv) o projeto de software, em relação à exibição da porcentagem da bateria na pulseira, não foi concluído. Isso se dá porque é preciso utilizar um outro componente como um microcontrolador Arduino ou um computador reduzido Raspberry Pi, que inviabilizaria a ideia de um dispositivo vestível de pequeno porte; v) solucionada a questão da autonomia energética (com componentes adequados), que foi o foco desta pesquisa, é possível implementar um sistema ubíquo no contexto de IoT, em que esse dispositivo vestível se comunicará com outros dispositivos

utilizando o modelo TCP/IP.

Referências

- Amorim, B., Pinheiro, E., and Caparica, G. (2017). Computação vestível. Trabalho acadêmico de um seminário.
- Ando Junior, O. H. (2014). Protótipo de um microgerador termoelétrico para captação de energias residuais baseado no efeito seebeck com sistema de transferência de calor intercambiável. pages 25–26.
- Corp., N. T. P. A. (2018). *TP4056 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8*. NanJing Top Power ASIC Corp., Nanquim, China.
- Danvic (2020). Introdução ao efeito Peltier. <http://www.peltier.com.br/index.php?url=home>. Acessado em novembro de 2020.
- de Araujo, R. B. (2003). Computação ubíqua: Princípios, tecnologias e desafios. In *XXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, volume 8, pages 11–13, São Carlos, SP, Brasil.
- de Robótica, G. (2012). Introdução ao arduino. *Notas de aula, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul*, page 10.
- eCycle (2020). O que é energia renovável. <https://www.ecycle.com.br/5031-energia-renovavel.html>. Acessado em setembro de 2020.
- Fernandes, F. G. et al. (2017). Uma estratégia para suportar interação humano-computador de crianças com deficiências nos membros superiores por meio de dispositivo vestível. pages 45–46.
- Haroldo Amaral (2016). Ferramentas para design de circuitos eletrônicos. <https://www.embarcados.com.br/ferramentas-para-design-de-circuitos-eletronicos/>. Acessado em Abril de 2021.
- Henry Ford (2015). Hollow Flashlight. <https://www.youtube.com/watch?v=RCWVIDwnpLA>. Acessado em outubro de 2020.
- L’Erario, A., Padro, T., de Mesquita Spinola, M., de Paula Pessôa, M., and Fabri, J. A. (2004). Desenvolvimento distribuído de software para sistemas pervasivos: um estudo de caso. In *Anais do I Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação*, pages 163–170, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Nascimento, C. A. (2004). Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica. *Dissertação Universidade Federal de Lavras*, pages 9–11,13–14,18–20.
- Nesarajah, M. and Frey, G. (2016). Thermoelectric power generation: Peltier element versus thermoelectric generator (tec vs. teg). pages 3–5.
- Nunes, H., Barbosa, A., Jesus-Lopes, J. C. D., and Renda Dos Santos, L. M. (2017). Cogeração de energia através do efeito seebeck: Um estudo bibliométrico. In *VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, pages 1–7, Campo Grande/MS. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais.
- Patel, M. S., Asch, D. A., and Volpp, K. G. (2015). Wearable devices as facilitators, not drivers, of health behavior change. *Jama*, 313(5):459–460.

- Paulo Roberto de Moura and Danilo Almeida (2014). Refrigerador termoelétrico de peltier usado para estabilizar um feixe laser em experimentos didáticos. <https://www.scielo.br/>. Acessado em novembro de 2020.
- Pires, R. P., Redin, R. M., Belusso, R. C., and Augustin, I. (2005). Comunicação entre componentes da aplicação em ambiente pervasivo. *VIII Fórum de tecnologias e XV Seminário Regional de Informática, Santo Ângelo, Brasil*, page 3.
- Portal Solar (2015). Fontes de energia renováveis: Tudo o que você precisa saber. <https://www.portalsolar.com.br/fontes-de-energia-renovaveis.html>. Acessado em Setembro de 2020.
- Site Sustentável (2019). Energia renovável: o que é? vantagens e desvantagens. <https://sitesustentavel.com.br/energia-renovavel-o-que-e-vantagens-e-desvantagens/>. Acessado em setembro de 2020.
- Son, D., Lee, J., Qiao, S., Ghaffari, R., Kim, J., Lee, J. E., Song, C., Kim, S. J., Lee, D. J., Jun, S. W., et al. (2014). Multifunctional wearable devices for diagnosis and therapy of movement disorders. *Nature nanotechnology*, 9(5):397.
- SOS CONTROLE (2019). CARREGADOR DE BATERIA DE LITIO TP4056. <https://www.youtube.com>. Acessado em abril de 2021.
- Szczuk, B. H. P., Pereira, J. A. T., Anschau, J. H., de Britto, P. L. G., and da Silva, I. V. (2017). Uma breve introdução a computação vestível. *Revista Computação Aplicada*, pages 2–3.
- TEDxTeen (2016). Why I Don't Use A Smart Phone. <https://www.youtube.com>. Acessado em outubro de 2020.
- Vinícius Roggério da Rocha (2020). Ferramentas para design de circuitos eletrônicos. <https://www.monolitonimbus.com.br/simulacao-de-circuitos-eletricos/>. Acessado em Abril de 2021.
- Weiser, M. (1991). The computer for the 21st century. In Baecker, R. M., Grudin, J., Buxton, W. A. S., and Greenberg, S., editors, *Human-computer interaction*, pages 933–940. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA.
- Weiser, M., Gold, R., and Brown, J. S. (1999). The origins of ubiquitous computing research at parc in the late 1980s. *IBM Syst. J.*, 38(4):693–696.
- Yamin, A. C. (2004). Arquitetura para um ambiente de grade computacional direcionado às aplicações distribuídas, móveis e conscientes do contexto da computação pervasiva. page 17. Tese de doutorado.
- Zamberlan, A., Perozzo, R., Kurtz, G., Librelotto, G., and Fagan, S. (2014). Integrando agentes AgentSpeak(L) em ambientes pervasivos educacionais. In *WESAAC - Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e Aplicações*, pages 1–13, Porto Alegre. SBC.