



Artigo disponibilizado *on-line*

Revista Ilha Digital

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



DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO ELETRÔNICO PARA O MONITORAMENTO ONLINE DA UMIDADE DO SOLO UTILIZANDO OS PRINCÍPIOS DE IOT

Diogo Justen¹, Hugo Marcondes²

Resumo: Este artigo apresenta o projeto e o desenvolvimento de um protótipo de produto para o monitoramento da umidade do solo focado no mercado de jardinagem doméstico. Este produto usa o conceito de Internet de Coisas (IoT) para realizar a disseminação de dados monitorados e alertar o usuário sobre a necessidade de irrigação do solo. Durante a fase de projeto do produto, foi realizada uma pesquisa através do método Kano, bem como um Benchmark para definir as principais características do produto que irão suportar o projeto conceitual. Um protótipo de baixo custo foi implementado como prova de conceito para a validação do produto. Através da implementação do protótipo, foi possível também realizar uma análise preliminar do custo de produção e estimativas de consumo de energia, a fim de validar a viabilidade do produto concebido.

Palavras-chave: Internet das Coisas. Sensoriamento. Comunicação sem fio. Umidade do solo.

Abstract: *This paper presents the design and development of a product prototype for the monitoring of soil moisture focused on the domestic gardening market. This product uses the concept of Internet of Things (IOT) to perform the dissemination of monitored data and alert the user to the need for soil irrigation. During the product design phase, a Kano based research was conducted, as well as a Benchmark to define the key features of the product that will support the conceptual design. A low-cost prototype was implemented as proof of concept for product validation. Through the implementation of the prototype, it was also possible to carry out a preliminary analysis of the cost of production and estimates of energy consumption, in order to validate the feasibility of the designed product.*

Keywords: *Internet of Things. Sensing. Wireless communication. Soil moisture.*

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

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

1 INTRODUÇÃO

As plantas estão entre os maiores grupos de seres vivos da Terra, com cerca de 400.000 espécies conhecidas, incluindo uma grande variedade de ervas, árvores, arbustos e plantas microscópicas (CANHOTO, 2010).

Grande parte da população utiliza a jardinagem e o cultivo de plantas como um forma de tornar o seu ambiente de convívio mais agradável. Mas para que isso seja possível é fundamental manter um desenvolvimento saudável das plantas, para que as mesmas se mantenham viçosas e bonitas. Neste aspecto, a hidratação do solo é um dos fatores mais importantes para a manutenção das plantas, contudo, muitos proprietários de plantas acabam

negligenciando esta tarefa devido ao acúmulo de atividades que a vida moderna pode propiciar. Desta forma, a concepção de um produto que possa auxiliar os donos de plantas na hidratação do solo é relevante para o mercado atual.

Este trabalho visa desenvolver um produto eletrônico para auxiliar na tarefa de irrigação manual, utilizando um sensor de umidade para monitorar o solo e emitir alertas quando a umidade do solo está abaixo do ideal para a planta. Este sistema irá utilizar o princípio de Internet das Coisas para se conectar e emitir os alertas ao seu usuário.

As possibilidades de conexão entre objetos eletrônicos comuns e a internet é conhecida como a Internet das Coisas, do termo inglês *Internet of*

Things (IoT), que permite a comunicação de dados entre dispositivos e representa a evolução tecnológica a partir do uso de sensores, atuadores, comunicação wireless e nanotecnologia. Dessa forma, a Internet das Coisas atribuiu aos objetos do dia-a-dia a capacidade de interagir entre si e com o meio onde estão inseridos, tudo isso sem a participação direta do homem. Para que isso seja possível, diversos protocolos, modelos e arquiteturas estão surgindo e sendo estudados cuidadosamente, de modo a suportar o grande volume de possibilidades de serviços e aplicações que essa inovação trará para as nossas vidas. Um dos protocolos de mensagens mais utilizados é o MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) (BARROS, 2015).

Automação residencial, rede de energia inteligente, cadeias logísticas, mobilidade urbana e a medicina preventiva, mediante o monitoramento remoto de pacientes, são apenas alguns dos vários cenários que podem fazer o uso da Internet das Coisas. Todas essas possibilidades tornam fácil visualizar os grandes benefícios que essas aplicações podem trazer para a nossa sociedade.

Para definição dos requisitos do produto foi efetuado o levantamento das necessidades dos possíveis clientes através da realização de uma pesquisa de mercado, pesquisa de possíveis concorrentes e a definição dos requisitos propriamente dita. O produto deverá ter uma interface web para configuração, ser capaz de conectar à internet, informar a um sistema na nuvem sobre o valor da umidade do solo e ser um produto portátil para ser possível a instalação em qualquer lugar/solo. O usuário final, a partir de um aplicativo móvel, pode visualizar as informações referentes à umidade do solo, permitindo o seu monitoramento remoto.

Atualmente, a baixa disponibilidade de produtos similares no mercado (principalmente brasileiro), acaba tornando difícil de ter uma solução inteligente em casa.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção será apresentado a fundamentação teórica utilizada para a realização deste trabalho. Inicialmente será apresentado os conceitos de IoT além dos conceitos utilizados para a concepção do produto.

2.1. Internet das Coisas (IoT)

Simplificando a Internet das Coisas, nada mais é que uma extensão da atual Internet, na qual proporciona às “coisas” do cotidiano, quaisquer que sejam, a capacidade de se conectar, comunicar à

Internet, sentir e atuar sobre ambientes por meio de sensores e atuadores.

O termo IoT, foi utilizado pela primeira vez em 1999, por Kevin Ashton, durante uma apresentação em que foi proposto o uso da Internet e tecnologias de endereçamento a cadeias logísticas, sem a interferência direta do ser humano, com o objetivo de melhorar o fluxo de produtos, com movimentações mais rápidas e confiáveis, além de permitir a cooperação entre todas as partes da cadeia, com informação compartilhada (ASTHON, 2009).

Segundo SANTOS et al. (2016) a Internet das Coisas pode ser vista como a combinação de diversas tecnologias. Utilizadas em conjunto, permitem identificar um objeto, medir grandezas por meio de sensores, controlar ambientes por meio de atuadores, além de permitir que os objetos atuem de maneira inteligente e controlem o ambiente automaticamente através de lógicas pré-programadas. Essas tecnologias e serviços são descritos abaixo:

Comunicação: se refere a forma que os objetos se comunicam entre si e com o servidor Broker, que recebe as informações de cada objeto. Algumas tecnologias utilizadas para a comunicação podem ser uma rede cabeada, WiFi, Bluetooth ou RFID.

Identificação: cada objeto deve ter um nome. Como estes objetos estão conectados à Internet, faz-se necessário que seja um nome único, seja atribuindo um endereço IP ou uma chave para que o servidor Broker saiba quem é cada dispositivo.

Sensores e Atuadores: sensores são responsáveis por efetuar a coleta das informações do ambiente no qual estão inseridos e encaminhar para a unidade de processamento para ser armazenado ou encaminhado para o servidor Broker. Os atuadores são responsáveis por agir sobre o ambiente, por exemplo: ligando um ventilador ou gerando um alarme sonoro.

Computação: é responsável pela parte inteligente do sistema. Na computação que é realizado o processamento e são centralizadas as informações adquiridas pelos sensores, o controle dos atuadores e a comunicação com a internet. Nela pode ser inserida a lógica para que o sistema atue automaticamente de acordo com os dados obtidos pelos sensores. Para computação é normalmente utilizado um microcontrolador.

Fonte de energia: é responsável por energizar o sistema. Para isso, pode-se utilizar uma conexão direta com a rede de energia ou o uso de baterias. Há a possibilidade de utilizar baterias recarregáveis, que podem ser recarregadas através de energia solar.

A arquitetura básica dos objetos inteligentes é composta por quatro unidades: processamento,

comunicação, energia e sensoriamento. A Figura 1 apresenta uma visão geral da arquitetura de um dispositivo inteligente e a interligação entre seus componentes.

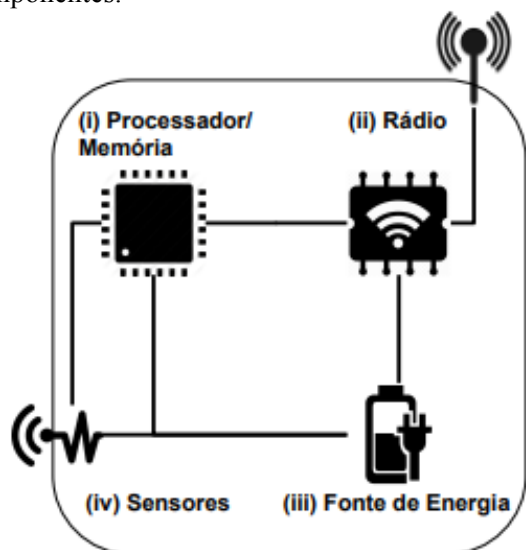


Figura 1 – Arquitetura dos dispositivos
Fonte: Santos (2016)

Alguns estudos mostram que a tendência da Internet das Coisas é utilizar um protocolo de comunicação padrão, baseado em IPv4, buscando um desenvolvimento rápido e padronizado dos conceitos de Internet das Coisas. Faz-se necessário utilizar um padrão de comunicação, para conseguir manter conectividade e compatibilidade entre os dispositivos de diferentes fabricantes. Surgiu então, uma gama de protocolos para atender aos requisitos das aplicações da melhor maneira possível.

O protocolo MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) é projetado para um baixo consumo de banda de rede e requisitos de hardware sendo extremamente simples e leve. O MQTT foi desenvolvido pela IBM e Eurotech e é projetado para enviar dados através de redes intermitentes ou com baixa banda de dados. Para isto o protocolo é desenvolvido em cima de vários conceitos que garantem uma alta taxa de entrega das mensagens. O protocolo é baseado no TCP/IP e ambos, cliente e servidor Broker, necessitam da pilha TCP/IP para o seu funcionamento. O MQTT está na mesma camada OSI que o HTTP, porém a maior diferença entre os dois protocolos é o tamanho do *payload*. No HTTP, o *payload* é maior, o que inviabiliza o seu uso em conexões de baixa qualidade, como GSM por exemplo. O protocolo MQTT pode ser aplicado no segmento de logística e transporte, saúde, energia e segurança.

2.2. Conceção de Produto

A concepção de um produto envolve o projeto de produto. Fazem parte do projeto de produto o projeto informacional e o projeto conceitual.

O projeto informacional é responsável por elencar os requisitos do produto, que são as descrições dos serviços propostos pelo sistema com suas restrições operacionais. São obtidas as necessidades dos clientes a partir de pesquisa de mercado. O benchmarking para estudar os possíveis concorrentes, as possíveis soluções técnicas para a implementação do produto e as tecnologias que podem ser empregadas. Por fim é definida a especificação do produto.

O projeto conceitual é responsável pela concepção propriamente dita, nele é definido as funções principais e sub funções do produto e a definição das tecnologias que serão utilizadas.

Após a especificação é possível fazer a implementação do produto, desenvolver a prova de conceito e validá-la.

2.2.1. Projeto Informacional

É a primeira fase do desenvolvimento do produto, também chamado de definição da tarefa ou planejamento do produto. Essa fase inclui o estudo das necessidades do consumidor, a descrição da ideia do produto a ser projetado, a elaboração da lista de requisitos e a transformação dos requisitos em especificações (CARPES, 2014).

Os requisitos são as especificidades exigidas do produto, capazes de definir suas características e limitações.

Para a pesquisa de mercado, pode-se fazer o uso do método Kano, que foi desenvolvido na década de 80 pelo professor Noriaki Kano, o modelo de Kano é baseado nos conceitos de qualidade ao cliente e fornece um esquema simples de classificação que distingue entre os atributos essenciais e de diferenciação. Kano também produziu uma metodologia rigorosa para o mapeamento de respostas dos consumidores para seu modelo. É uma metodologia de captação de requisitos que classifica atributos do sistema em torno de seis categorias. Para satisfazer os clientes, é necessário o entendimento de como os requisitos declarados vão ao encontro às necessidades implícitas que levam à satisfação (ROSAMILHA, 2015).

Segundo ROOS et al. (2009), neste modelo é defendido que, para alguns atributos do produto, a satisfação do cliente é aumentada drasticamente com somente uma pequena melhoria no desempenho, quando para outros atributos, a sua satisfação aumenta pouquíssimo quando o desempenho é melhorado ao extremo. A Figura 2 apresenta o Modelo de Kano. Este modelo teórico se baseia na relação do grau de desempenho (eixo horizontal) com o grau de satisfação (eixo vertical), sendo que cada atributo resultante das diferentes relações entre os graus é descrito na sequência

(exceção para o atributo questionável, que não é representável no modelo teórico).

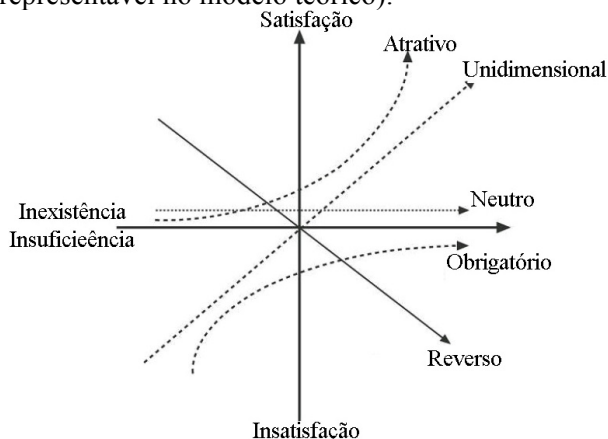


Figura 2 – Modelo Kano
Fonte: Nastaro (2016)

Atributo atrativo (A): este atributo é o mais importante para a satisfação do cliente, quanto mais presente estar no produto, maior será a satisfação do cliente, porém, não gera insatisfação caso não for atendido;

Atributo obrigatório (O): quando não presente no produto, gera insatisfação do cliente, porém, quando presente não traz satisfação;

Atributo unidimensional (U): este atributo é proporcional, ou seja, quanto mais presente no produto mais satisfação proporciona ao cliente, caso contrário mais insatisfação;

Atributo neutro (N): este atributo não gera satisfação nem insatisfação do cliente;

Atributo reverso (R): é o oposto do atributo unidimensional. Quanto mais presente no produto mais insatisfação gera ao cliente, caso contrário mais satisfação.

Atributo questionável (Q): este atributo indica que a pergunta foi formulada incorretamente, ou seja, o cliente não entendeu a pergunta corretamente ou as respostas da pergunta funcional e disfuncional são inconsistentes.

Segundo ROOS et al. (2009), para se detectar os tipos de atributos, as classificações de Kano são identificadas através de um questionário especialmente projetado que contenha um par de perguntas para cada característica do produto. A primeira questão refere-se à reação do cliente se o produto tem uma determinada característica (forma funcional da pergunta); a segunda refere-se a sua reação se o produto não tem a característica (forma disfuncional da pergunta). As possíveis respostas são disponibilizadas nos seguintes graus de satisfação:

- a) Muito Satisfeito;
- b) Desejaria e gostaria (obrigatório);
- c) Isso é indiferente;
- d) Eu posso conviver com isso (conformado);
- e

e) Insatisfeito.

Após a aplicação da pesquisa, a compilação dos resultados, se faz por meio da combinação das respostas para as perguntas funcionais e disfuncionais. Cada resposta dada pelo cliente é classificada como um atributo, de acordo com a Figura 3, podendo ser: atrativo, unidimensional, obrigatório, neutro, reverso ou questionável.

Por exemplo, se a resposta do cliente para a questão funcional for “Insatisfeito” e se sua resposta para a pergunta disfuncional for “Eu posso conviver com isso”, de acordo com a Figura 3, a classificação segundo o cliente é de um atributo reverso, ou seja, quanto mais presente no produto mais insatisfação é gerada ao cliente.

	DISFUNCIONAL Questão Negativa (Insuficiência ou Ausência)				
	Muito Satisfeito	Desejaria e gostaria	Isso é indiferente	Eu posso conviver com isso	Insatisfeito
FUNCIONAL Questão Positiva (Suficiência ou presença)					
Muito Satisfeito	Q	A	A	A	U
Desejaria e gostaria	R	N	N	N	O
Isso é indiferente	R	N	N	N	O
Eu posso conviver com isso	R	N	N	N	O
Insatisfeito	R	R	R	R	Q

Figura 3 - Gabarito do Modelo de Kano
Adaptado de Nastaro (2016)

Outra técnica que pode ser utilizada para o levantamento de requisitos para um produto é o uso de Benchmarking. Segundo CASTRO (2011), o Benchmarking nada mais é do que um processo de investigação em que uma empresa determina, de forma sistemática, quão competitivos são seus processos/produtos frente aos dos concorrentes, através da comparação com outras empresas, integrantes do mesmo meio em que ela está incluída.

Este processo deve ser contínuo, visando sempre a comparação entre produtos/serviços e práticas empresariais, preferencialmente de empresas líderes do seu mercado. É utilizado para identificar as melhores práticas e, posteriormente, adequá-las à realidade da empresa (CASTRO, 2011).

Com os dados dos possíveis produtos concorrentes e as necessidades do cliente, é elaborado a especificação do produto que se deseja desenvolver.

Após o levantamento das especificações do produto é elaborada a casa da qualidade (QFD). Através dela é possível descobrir e quantificar nas

etapas do desenvolvimento do produto, os vários requisitos que vão de encontro às necessidades dos consumidores.

2.2.2. Projeto Conceitual

O projeto conceitual é a fase do processo de projeto em que a equipe de projeto, a partir dos requisitos dos clientes e das especificações meta do produto, cria uma concepção para o produto a qual deve atender da melhor maneira possível estas especificações, sujeita às limitações de recursos e às restrições de projeto (ROZENFELD et al., 2006).

Para encontrar a solução do problema, divide-se o produto em partes e estas são solucionadas separadamente, visando facilitar a solução do problema/projeto como um todo.

É definido a função principal e as sub funções do sistema e criada a Matriz Morfológica, que é uma pesquisa sistemática de diferentes combinações de elementos ou parâmetros com o objetivo de encontrar uma nova solução para o problema.

3. DESENVOLVIMENTO

Na etapa de desenvolvimento, foi efetuado o projeto informacional, pesquisa de mercado, projeto conceitual, especificado o sensor de umidade, unidade de processamento, meios de comunicação, gabinete e desenvolvida a arquitetura de hardware e firmware do produto. A arquitetura de hardware levará em conta principalmente os requisitos de sensoriamento, comunicação, alimentação elétrica através de bateria, monitoração de grandeza e dimensões. A arquitetura de firmware levará em conta principalmente os protocolos de comunicação de dados entre os dispositivos, usabilidade e baixo consumo de energia.

3.1. Projeto Informacional

A determinação dos requisitos foi realizada por meio de pesquisas bibliográficas e possíveis tendências exigidas pelo mercado, definindo-se os seguintes:

Monitorar a Umidade: Possuir um medidor de umidade do solo, item básico para o funcionamento do produto.

Notificação: Como o produto é designado para ficar no solo e emitir alertas quando a umidade do solo estiver baixa, este requisito se torna necessário.

Conectividade: Devido ao seu tamanho reduzido e necessidade de enviar dados para a nuvem, o produto precisa se conectar via rede sem fio para a transferência de dados.

Pequeno: Este requisito se torna importante por haver a necessidade de o produto ser discreto e leve.

Leve: Este requisito envolve a mobilidade do produto. Sendo uma necessidade do cliente quanto ao reposicionamento do produto em diferentes solos ou vasos.

Portátil: Este requisito se torna importante para possibilitar que o produto seja utilizado em qualquer lugar.

Compatibilidade: Como é um produto que fará o registro da umidade e emissão de alertas, o mesmo deve ter alta compatibilidade com diversos sistemas operacionais para ser possível integrar os dados com aplicativos móveis.

Barato: Investimento ao cliente, requisito que garante melhor custo-benefício no mercado com as mesmas funções similares do concorrente.

Histórico: Se faz necessário para gerar relatórios e gráficos das grandezas medidas.

Autonomia: Entrega de suas funcionalidades com tempo mínimo de uso acima de 6 meses sem recarregar a bateria, garantindo um longo tempo de uso sem “manutenção”.

Intuitivo: Como o produto é designado para ser operado por qualquer pessoa, é requisitado que o mesmo seja de fácil operabilidade. Para que isso aconteça, há a necessidade da utilização de uma forma fácil de configurar o produto.

Definidos os requisitos iniciou-se a aplicação da pesquisa de mercado utilizando o método Kano.

3.2. Pesquisa de mercado

A pesquisa de mercado foi aplicada online utilizando o serviço de formulário do Google que foi divulgado através de redes sociais, afim de atingir o maior número de pessoas possíveis.

No total 74 pessoas responderam, estas dos mais diversos estilos de vida, escolaridades, idade e profissões, visando obter de forma heterogênea os gostos, desejos e necessidades dos clientes.

As 22 perguntas (funcionais e disfuncionais) aplicadas no questionário são ilustradas pelas próximas 11 tabelas (Tabela 1 a Tabela 11) desta seção. As mesmas estão devidamente acompanhadas do resultado do atributo que foi definido para cada característica. Para uma melhor visualização da importância de cada característica, foi definido que os atributos atrativo, unidimensional e obrigatório são atributos que agradam os usuários, os atributos reverso e questionável desagradam e o atributo neutro não afeta os usuários. Os resultados são exibidos na terceira coluna de cada tabela com a porcentagem de usuários que se sentem agradados ou desagradados se o produto ter uma determinada característica.

Para a característica medir umidade foram utilizadas as seguintes perguntas:

Como você se sente se o produto medir a umidade da terra?

Como você se sente se o produto NÃO medir a umidade da terra?

Tabela 1 – Resultado atributo medir umidade

Atributo	Respostas	Agrado
Atrativo	21,62%	
Unidimensional	47,30%	86,49%
Obrigatório	17,57%	
Neutro	12,16%	12,16%
Reverso	1,35%	1,35%
Questionável	0,00%	

Através da pesquisa, constatou-se que 86,49% das pessoas terão interesse no produto se o mesmo medir a umidade.

Para a característica notificação foram utilizadas as seguintes perguntas:

Como você se sente se o produto avisar quando precisar regar a planta (umidade do solo baixa)?

Como você se sente se o produto NÃO avisar quando a umidade do solo estiver baixa?

Tabela 2 – Resultado atributo notificação

Atributo	Respostas	Agrado
Atrativo	9,46%	
Unidimensional	60,81%	89,19%
Obrigatório	18,92%	
Neutro	8,11%	8,11%
Reverso	0,00%	2,70%
Questionável	2,70%	

Se o produto emitir alertas de notificação quando a umidade do solo estiver baixa, 89,19% dos entrevistados ficarão satisfeitos com o produto.

Para a característica conectividade foram utilizadas as seguintes perguntas:

Como você se sente se o produto avisar da necessidade de regar a planta, somente quando você está próximo ao (produto/planta)?

Como você se sente se o produto avisar você a necessidade de regar a planta independente de onde você estiver (perto, longe, outra cidade)?

Tabela 3 – Resultado atributo notificação

Atributo	Respostas	Agrado
Atrativo	6,77%	
Unidimensional	1,35%	12,17%
Obrigatório	4,05%	

Neutro	22,97%	22,97%
Reverso	50,00%	64,86%
Questionável	14,86%	

Com essa pergunta definiu-se a necessidade de o produto notificar o usuário em qualquer lugar que ele esteja, caso a notificação for emitida somente quando o usuário estiver perto, 64,86% dos entrevistados ficariam insatisfeitos com a característica.

Para a característica portátil foram utilizadas as seguintes perguntas:

Como você se sente se o produto for um vaso portátil com tamanho/diâmetro fixo?

Como você se sente se o produto for portátil e você puder utilizar em qualquer vaso/solo?

Tabela 4 – Resultado atributo portátil

Atributo	Respostas	Agrado
Atrativo	1,35%	
Unidimensional	0,00%	2,70%
Obrigatório	1,35%	
Neutro	12,16%	12,16%
Reverso	75,68%	85,14%
Questionável	9,46%	

Através desta pergunta, foi possível definir que os entrevistados não desejam o produto um vaso com tamanho e diâmetro fixo, ou seja, desejam o produto portátil, que possa ser instalado em qualquer lugar, sendo um produto portátil 85,14% dos entrevistados terão interesse no produto.

Para a característica dimensão foram utilizadas as seguintes perguntas:

Como você se sente se o produto for um vaso pequeno (~15 cm de diâmetro)?

Como você se sente se o produto for um vaso grande (~40 cm de diâmetro)?

Tabela 5 – Resultado atributo dimensão

Atributo	Respostas	Agrado
Atrativo	6,76%	
Unidimensional	6,76%	20,28%
Obrigatório	6,76%	
Neutro	68,92%	68,92%
Reverso	6,76%	10,80%
Questionável	4,04%	

Se o produto for um vaso com tamanho fixo, o mesmo não alteraria o interesse dos entrevistados.

Para a característica conectividade foram utilizadas as seguintes perguntas:

Como você se sente se o produto se comunicar com o seu celular?

Como você se sente se o produto NÃO comunicar com o seu celular?

Tabela 6 – Resultado atributo conectividade

Atributo	Respostas	Agrado
Atrativo	27,03%	
Unidimensional	37,84%	79,73%
Obrigatório	14,86%	
Neutro	18,92%	18,92%
Reverso	0,00%	
Questionável	1,35%	1,35%

Definiu-se que 79,73% dos entrevistados ficarão contentes se o produto se comunicar com o celular.

Para a característica postar nas redes sociais foram utilizadas as seguintes perguntas:

Como você se sente se o produto ter/postar nas redes sociais?

Como você se sente se o produto NÃO ter/postar nas redes sociais?

Tabela 7 – Resultado atributo postar nas redes sociais

Atributo	Respostas	Agrado
Atrativo	2,70%	
Unidimensional	4,05%	9,46%
Obrigatório	2,70%	
Neutro	54,05%	54,05%
Reverso	35,14%	
Questionável	1,35%	36,49%

Definiu que essa característica não interfere na satisfação dos entrevistados.

Para a característica preço foram utilizadas as seguintes perguntas:

Como você se sente se o produto custar até R\$ 50,00?

Como você se sente se o produto custar entre R\$ 50,00 e R\$ 100,00?

Tabela 8 – Resultado atributo preço

Atributo	Respostas	Agrado
Atrativo	51,35%	
Unidimensional	0,00	52,70%
Obrigatório	1,35%	
Neutro	20,27%	20,27%
Reverso	2,70%	27,02%

Questionável 24,32%

Para 52,70% das pessoas, é satisfatório que o produto possua um preço menor que R\$ 50,00.

Para a característica histórico foram utilizadas as seguintes perguntas:

Como você se sente se o produto mantiver um histórico da umidade medida?

Como você se sente se o produto NÃO mantiver um histórico das medidas de umidade?

Tabela 9 – Resultado atributo histórico

Atributo	Respostas	Agrado
Atrativo	28,38%	
Unidimensional	27,03%	71,62%
Obrigatório	16,22%	
Neutro	27,03%	27,03%
Reverso	1,35%	
Questionável	0,00%	1,35%

As pessoas desejam que o produto mantenha o histórico, conforme 71,62% dos entrevistados.

Para a característica utilizar pilha foram utilizadas as seguintes perguntas:

Como você se sente se o produto utilizar pilha?

Como você se sente se o produto for ligado à rede elétrica (220V)?

Tabela 10 – Resultado atributo utilizar pilha

Atributo	Respostas	Agrado
Atrativo	0,00%	
Unidimensional	0,00%	6,76%
Obrigatório	6,76%	
Neutro	29,73%	29,73%
Reverso	55,41%	63,52%
Questionável	8,11%	

Dos entrevistados 63,52% desaprovaram que o produto seja alimentado através de pilhas comuns.

Para a característica bateria recarregável foram utilizadas as seguintes perguntas:

Como você se sente se o produto tiver bateria recarregável?

Como você se sente se o produto NÃO tiver bateria recarregável?

Tabela 11 – Resultado atributo bateria recarregável

Atributo	Respostas	Agrado
Atrativo	18,92%	
Unidimensional	27,03%	79,73%
Obrigatório	33,78%	

Neutro	17,57%	17,57%
Reverso	2,70%	
Questionável	0,00%	2,70%

Definiu-se que o produto deverá obrigatoriamente ter bateria recarregável, com isso agradando 79,73% dos entrevistados.

3.2.1. Benchmarking

Os projetos selecionados que mais se equiparavam em questão de qualidade e possuíam a solução do problema esquematizado foram os fabricados pelas empresas Edyn, Xiaomi Inc. e Parrot.

Edyn é uma empresa americana localizada em Oakland na Califórnia, a Figura 4 ilustra o seu produto desenvolvido e abaixo as principais características:

- Fonte de energia solar;
- Bateria (LiFePO4) interna não removível;
- Conexão Wi-Fi;
- Possui aplicativo para Smartphone;
- A prova d'água;
- Possui sensor de luminosidade, umidade do AR, temperatura, umidade do solo e nutrição do solo
- Gera relatórios e gráficos;
- Possui uma base de dados com 5000 espécies de plantas;
- Dimensões (cm) 7,28 x 7,28 x 30,78;
- Possibilita controlar uma bomba de irrigação via aplicativo;
- Preço \$99;
- Emite alerta quando a bateria está baixa;
- Pode ser instalado em qualquer tipo de solo e vaso; e
- Faz a leitura do sensor a cada 20 minutos.



Figura 4 - Edyn Smart Garden
Fonte: Edyn (2017)

Xiaomi Inc. é uma empresa chinesa de propriedade privada de produtos eletrônicos com sede em Pequim, na China. A Figura 5 ilustra o seu produto desenvolvido e abaixo suas principais características:

- Alimentação 1 Pilha do tipo moeda;

- Conexão Bluetooth 4.1 BLE;
- Possui aplicativo para Smartphone
- A prova d'água;
- Possui sensor de luminosidade, temperatura, umidade do solo e nutrição do solo;
- Possui uma base de dados com 3000 espécies de plantas;
- Dimensões (cm) 12 x 2,45 x 1,25;
- Preço \$12;
- Pode ser instalado em qualquer tipo de solo e vaso; e
- Duração bateria até 1 ano.



Figura 5 - Xiaomi Huahuacacao
Fonte: Xiaomi (2017)

Parrot é uma empresa francesa de fabricantes de produtos sem fio com sede em Paris na França. A Figura 6 ilustra o seu produto desenvolvido e abaixo suas principais características:

- Alimentação 1 Pilha (AAA);
- Conexão BLE 4.0;
- Possui aplicativo para Smartphone
- A prova d'água;
- Possui sensor de luminosidade, temperatura, umidade do solo e nutrição do solo;
- Gera relatório;
- Possui uma base de dados com 7000 espécies de plantas;
- Dimensões (cm) 9,14 x 27,94 x 8,89;
- Preço \$75;
- Faz leitura do sensor a cada 15min e envia ao aplicativo a cada 2hrs; e
- Duração bateria até 6 meses.



Figura 6 - Parrot Flower Power
Fonte: Parrot (2017)

Tabela 12 – Especificação do produto

Requisito	Especificação	Unidade	Valor Desejado	Edyn	Xiaomi	Parrot
Leve	Peso	gr	200	498	130	198
Barato	Preço	R\$	50,00	312,00	38,00	236,00
Autonomia	Tempo	Meses	6	∞	12	6
Compatibilidade	Sistema Operacional	Quantidade	2	2 (IOS e Android)	2 (IOS e Android)	2 (IOS e Android)
Conectividade	Meio/Tipo	S/N	Sem fio	Sem Fio (Wi-Fi)	Sem Fio (BLE 4.1)	Sem fio (BLE 4.0)
Notificação	Meio/Tipo	S/N	Sim	Sim (celular)	Sim (celular)	Sim (celular)
Pequeno	Dimensões	Cm	11,00 x 3,00 x 2,00	7,28x7,28x 30,78	12,00x2,45x 1,25	9,14x27,94 x 8,89
Intuitivo	Interface	S/N	Sim	Sim (Web)	Sim (Web)	Sim (Web)
Histórico	Local	S/N	Sim	Sim (Nuvem)	Sim (Nuvem)	Sim (Nuvem)
Monitoramento	Quant. sensor	-	1	5	4	4

3.2.2. Especificação

Efetuada a pesquisa dos produtos concorrentes no mercado, iniciou-se o levantamento das especificações do produto a ser desenvolvido, as especificações são ilustradas na Tabela 12. Para a conversão monetária foi utilizada uma taxa de conversão do dólar de R\$3,15.

Após o levantamento dos requisitos foi elaborada a casa da qualidade (QFD). Por meio dela, foi possível verificar a importância de cada especificação na **Tabela 13**, enumerando e colocando em ordem cada fator.

Tabela 13 – Importância de cada especificação

Importância	Especificações
1	Preço
2	Dimensões
3	Tempo de Bateria
4	Conectividade sem fio
5	A prova d'água
6	Peso
7	Quantidade de grandezas monitoradas
8	Quantidade de Sistemas Operacionais
9	Quantidade de dados armazenados

3.3. Projeto Conceitual

Iniciou-se o projeto conceitual, definindo as funções e sub funções do sistema.

3.3.1. Função principal e sub funções

A principal função do produto é monitorar a umidade do solo, a qual é conectada por tecnologia sem fio à nuvem, utilizando os princípios de Internet das Coisas, comunicando com o celular e enviando notificações quando a umidade estiver baixa.

As sub funções do produto contemplam:

- Carregar e armazenar energia, pois trata de um equipamento portátil.
- Conectar à internet para efetuar a troca de dados com a nuvem e consequentemente com aplicativos para smartphone.
- Medir a umidade do solo pois através dessa grandeza é possível realizar o monitoramento.
- Interface de configuração, para configurar os parâmetros de funcionamento para a conexão com a nuvem.

A Figura 7 ilustra a síntese de funções do produto.

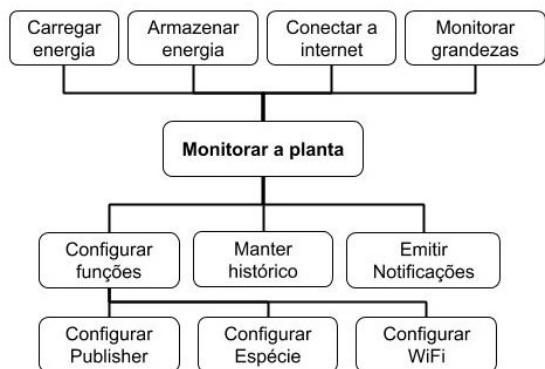


Figura 7 – Funções e sub funções

Após definida as sub funções, iniciou-se a construção da Matriz Morfológica.

3.3.2. Matriz Morfológica

O método utilizado para solucionar os problemas e gerar alternativas foi a pesquisa bibliográfica e possíveis tendências tecnológicas. As alternativas de solução para o projeto levantadas estão apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 - Matriz Morfológica com Resultados

	Opção 1	Opção 2	Opção 3
Monitorar umidade	Passivo	Piezoeléctrico	Reflexão
Notificar	Buzzer	Led	Notificação no celular
Conectar Internet	Sem fio (Wi-Fi)	Cabo	Sem fio (GSM)
Armazenar energia	Bateria Litium Íon	Super capacitor	Bateria Litium Polímero
Carregar energia	USB	Solar	Trocar bateria
Configuração	Interface Web	Serial	IHM
Histórico	Local	Nuvem	-

Definida as características do sistema foi possível descrever o sistema como um todo.

3.4. Descrição do sistema

A proposta deste projeto é de criar um produto eletrônico que visa auxiliar quanto a necessidade de irrigar uma planta, baseado nos conceitos da Internet das Coisas. Esse sistema será composto por um sensor, responsável por medir a umidade do solo, alimentado por uma bateria, capaz de conectar à internet, informar a um sistema na nuvem sobre o valor da umidade do solo, ter uma interface web para configuração do sistema e o usuário final poderá visualizar as informações referentes a umidade do solo remotamente a partir de qualquer

lugar, utilizando um aplicativo móvel ou um aplicativo para computador. Para ter uma visão geral sobre o sistema, a Figura 8 mostra a arquitetura dos principais módulos do sistema.

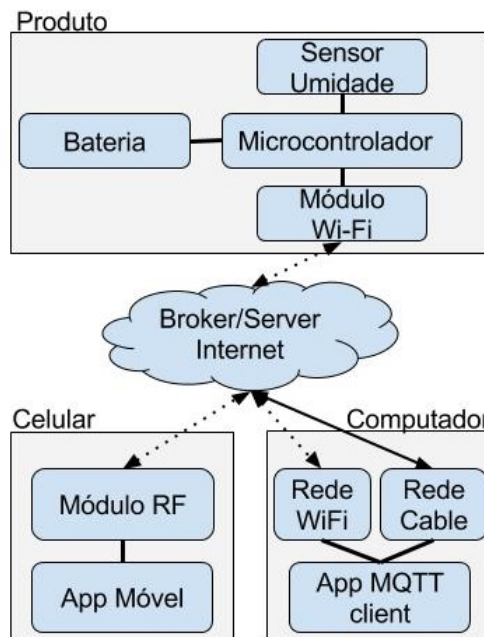


Figura 8- Visão geral do sistema

3.5. Sensor de umidade

Para sentir o ambiente em que o produto está inserido, foi utilizado um sensor de umidade de solo, que é responsável por determinar qual a umidade do solo onde o produto se encontra instalado. Efetuando pesquisas em busca de um sensor que fosse de baixo custo e que possuísse uma interface de dados comum, concluiu-se que o conjunto, sensor HL-69 e módulo HL-01, atendem aos requisitos e objetivos deste projeto, a Figura 9 ilustra o conjunto.

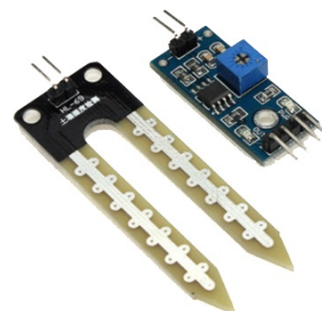


Figura 9 - sensor HL-69 e módulo HL-01 Adaptado de SparkFun (2017)

Segundo SparkFun (2017) o sensor HL-69 é um sensor passivo e intrusivo que deve ser fincado no solo que se deseja monitorar e através da medição de sua resistência, é possível obter a umidade do solo onde ele se encontra. A medição da resistência e conversão é feita pelo módulo HL-01 que opera em conjunto com o sensor passivo. O módulo é alimentado por uma tensão de 3,3V e

oferece duas saídas. Uma saída digital que pode ser calibrada utilizando um potenciômetro que é embutido no módulo e outra saída analógica. Neste projeto foi utilizado a saída analógica.

O seu comportamento é simples, a tensão de saída varia de 0V (GND) a 3,3V (VCC) de acordo com a umidade, sendo 0V o valor máximo de umidade, ou seja, 100% e 3,3V o valor mínimo de umidade (0%) em uma escala de precisão de 0,1%. O conjunto sensor e módulo é encontrado à venda por aproximadamente \$0,75 (ALIEXPRESS, 2017).

3.6. Microcontrolador e módulo RF

Para efetuar a leitura do sensor de umidade e enviar os dados para a nuvem, fez-se necessário o uso de um microcontrolador e de um módulo Wi-Fi. Com o avanço das tecnologias, muitos fabricantes já estão fabricando MCU (Microcontrolador) com módulo Wi-Fi embutido, reduzindo o custo e o tamanho do hardware. Buscou-se uma solução de baixo custo, um microcontrolador não só com potencial para se conectar na rede sem fio doméstica do usuário, mas também com poder de processamento para atender à execução do firmware do produto. A Tabela 15 apresenta os três microcontroladores que mais se aproximaram dos requisitos e especificação deste projeto. Os preços na Tabela 15 foram convertidos utilizando a taxa de conversão de dólar em R\$3,15.

Tabela 15 – Comparativo microcontroladores

	ESP-12F ¹	PSF-A85 ²	RTL8711A M ³
Preço	R\$5,04	R\$6,61	R\$12,60
Wi-Fi Module	Esp8266	ESP8285	RTL8711
Padrão Wireless	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n/d/e/i/k/r	802.11 b/g/n
Intervalo de frequência	2.4GHz-2.5GHz	2.42GHz-2.484GHz	2.412GHz-2.484GHz
Tensão de operação	3.0 ~ 3.6V	3.3V	3.3V
Temperatura de operação (°C)	-40 ~ 125	-40 ~ 125	0 ~ 70
Processador	Tensilica L106 80 ~ 160 MHz	Tensilica L106 80 ~ 160 MHz	ARM Cortex M3 166MHz
Memória RAM	36kB	50kB	2.5MB
Certificação	FCC CE RoHS	FCC CE TELEC	FCC CE KCC

		SRRC	TELEC
Flash	4MB	1MB	8MB
Dimensão (mm)	16 x 23.99	13.72 x 13.46	19 x 22.25
Interface	SPI UART I2C I2S IRDA PWM GPIO ADC	UART I2C PWM GPIO ADC	UART SPI I2C PWM GPIO ADC

1. Fonte: Electrodragon (2017)
2. Fonte: Itead (2017)
3. Fonte: Aliexpress (2017)

Conforme pode ser verificado na Tabela 15 o microcontrolador que melhor atende aos requisitos do projeto é o ESP-12F que possui como núcleo principal o ESP8266 fabricado pela Espressif, além de possuir o menor preço e as características necessárias para este projeto, como um conversor ADC (Analogico-Digital).

Outro requisito muito importante é a necessidade de o equipamento ser portátil, para isso se faz necessário o uso de bateria, buscou-se fazer um comparativo entre os mesmos três modelos com o foco no consumo de energia de cada um. A Tabela 16 mostra os resultados.

Tabela 16 – Comparativo consumo energia

	ESP-12F ¹	PSF-A85 ¹	RTL8711AM ²
<i>Deep-sleep</i>	10uA	10uA	15uA
<i>Sleep</i>	15uA	15uA	43uA
Ativo recebendo	~56mA	~56mA	~70mA
Ativo transmitindo	~145mA	~145mA	~227mA

1. Fonte: Espressif (2017)
2. Fonte: Apm (2017)

Mais uma vez se verificou que o ESP-12F atende às necessidades deste projeto. É importante ressaltar que este componente vem sendo utilizado em grande escala pelos desenvolvedores de produtos para Internet das Coisas. A Figura 10 mostra o diagrama de blocos deste MCU.

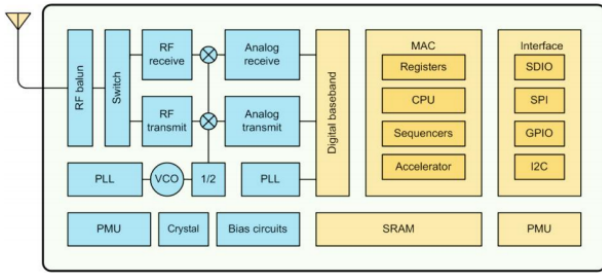


Figura 10 – Diagrama de blocos ESP8266
 Fonte: Espressif (2017)

Para fazer a leitura do sensor de umidade, fez-se o uso do conversor analógico-digital interno ao ESP8266 acessado através do pino ADC. Esse conversor possui uma resolução de 10 bits e o sinal de entrada a ser convertido deverá variar de 0 a 1,1V, o que exige um ajuste na tensão de entrada visto que o sensor de umidade de solo opera ente 0 e 3,3V.

Portanto é necessário reduzir a tensão do sinal para 1/3, para isso se faz o uso de um divisor de tensão resistivo para essa adequação. Um resistor de 200KΩ é ligado na saída do sensor de umidade, e a tensão sobre outro resistor de 100KΩ é então a entrada para o conversor analógico-digital do microcontrolador.

3.7. Desenvolvimento do esquema elétrico

A Figura 11 ilustra o módulo de carregamento da bateria, esta que é controlada através do CI MCP73831 da Microchip. O led CHG acende quando a bateria está sendo carregada e apaga quando a mesma chega em carga total, o resistor R11 define o controle de carga em 1000mA e o conector X1 é para conectar a bateria. Este componente tem uma corrente média de operação de 1uA em standby.

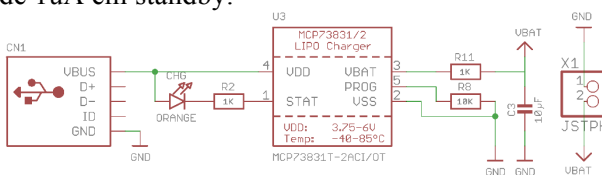


Figura 11 – Módulo carregamento da bateria

A Figura 12 ilustra o regulador de tensão SPX3819 fabricado pela Exar que tem uma corrente parasita média de operação de 90uA.

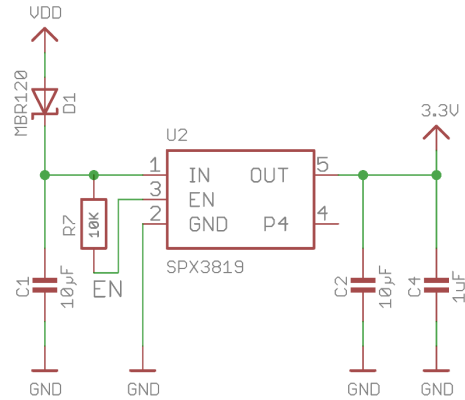


Figura 12 – Módulo regulador de tensão

A Figura 13 ilustra as configurações do microcontrolador e conectores. O LED D3 é utilizado para informar quando o microcontrolador está operando como *Access Point* (modo de configuração para o usuário), o GPIO2 é utilizado para alimentar o sensor de umidade no momento que se deseja fazer a leitura, os pinos CH_PD e GPIO15 foram colocados resistores de *pull-up* e *pull-down* para forçar o módulo inicializar no modo desejado, a escolha do modo de inicialização é feita através do conector J3 com o uso de um jumper, colocando o GPIO0 em modo alto (3,3V) o microcontrolador inicia e modo normal e quando o GPIO0 é colocado em nível baixo (GND) o microcontrolador inicia em modo programável. O conector J1 é o conector para o sensor de umidade e abaixo está o divisor de tensão.

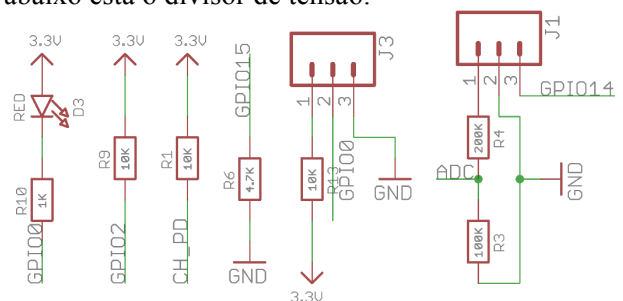


Figura 13 – Módulo configuração e conectores

A Figura 14 ilustra o módulo do microcontrolador. Onde B2 é o botão para resetar o módulo, B1 é o botão para restaurar a configuração de fábrica, para que isso ocorra o módulo deve ser energizado com o botão B1 pressionado, J2 é o conector para efetuar a programação do microcontrolador através de um conversor serial e o GPIO16 é ligada no pino RESET para “acordar” o microcontrolador para retornar do modo *deep-sleep*.

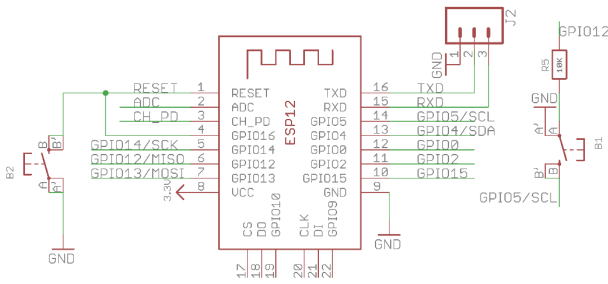


Figura 14 – Módulo microcontrolador

Para efetuar a prova de conceito foi utilizado a placa fabricada pela Adafruit (2017), modelo Feather HUZAH ESP8266 Wi-Fi que utiliza o ESP-12F como microcontrolador a Figura 15 ilustra a placa.

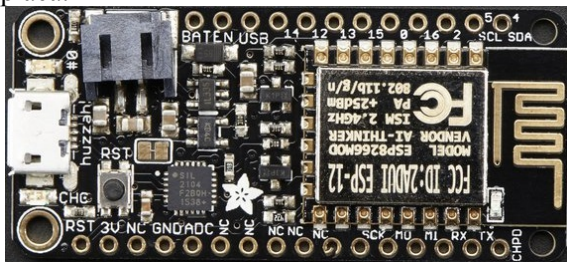


Figura 15 – Adafruit Feather HUZAH Esp8266

Fonte: Adafruit (2017)

3.8. Bateria

Para definição da capacidade ideal da bateria para esse projeto fez-se o cálculo teórico de quanto o microcontrolador escolhido consome para conectar à rede Wi-Fi, efetuar a leitura do sensor e transmitir os dados para a nuvem.

Segundo informações obtidas através do suporte da Adafruit a placa Huzzah possui um consumo de corrente médio de 80mA em modo normal e 6,5mA em modo *deep-sleep*, este consumo elevado é devido a mesma não ser projetada para um baixo consumo de corrente, possuindo assim componentes que não estão configurados para este propósito (conversor USB-Serial integrado, resistores de *pull-up* e leds desnecessários).

Espera-se que a conexão à rede Wi-Fi, conexão ao servidor Broker MQTT, leitura do sensor de umidade e transmissão dos dados ao servidor, dure em torno de 6,5 segundos, ou seja, durante 6,5 segundos a placa consome em média 80mA e “dorme” por 3600 segundos até a próxima leitura do sensor, durante este período o consumo de corrente é de 6,5mA. Fez-se então o cálculo por meio da integral dos dois períodos com seus respectivos consumos, e conforme a equação abaixo, o consumo médio é de 6,63mAh.

$$I_{med} = \frac{1}{T} \left[\int_0^T f(t) dt \right] \quad [1]$$

$$I_{med} = \frac{1}{3600} \left[\int_0^{6,5} 80 dt + \int_{6,5}^{3600} 6,5 dt \right] [2]$$

$$I_{med} = 6,63mAh \quad [3]$$

Para o cálculo de bateria deve-se utilizar 70% da capacidade nominal da bateria devido a fatores externos (DIGI-KEY, 2017).

Utilizando uma bateria de 1000mAh o produto consegue operar por aproximadamente 105hrs, ou seja, 4,4 dias.

Para um funcionamento de 6 meses sem a necessidade de recarregar se faz necessário o uso de uma bateria com capacidade muito grande e custo elevado, estudou-se então a possibilidade de utilizar um timer em hardware para reduzir o consumo de 6,5mA em modo *deep-sleep*, que representa o maior tempo de funcionamento neste estado.

Foi utilizado o CI TPL5110 fabricado pela Texas Instrument, que é um timer em hardware, que funciona como uma chave geral do sistema, com consumo de corrente médio de 50nA e pode ser comprado por R\$2,52 (TEXAS INSTRUMENT, 2017). A adição deste componente no esquemático é exibido pela Figura 16. O intervalo de tempo que o timer “acorda” é definido pelo resistor R14, neste caso 130kΩ é aproximadamente a cada uma hora, considerado que a umidade do solo não muda repentinamente (exceto quando chove). O pino DONE é conectado ao GPIO12 do microcontrolador e serve para informar o momento que ele pode desligar o sistema e iniciar a contagem do timer.

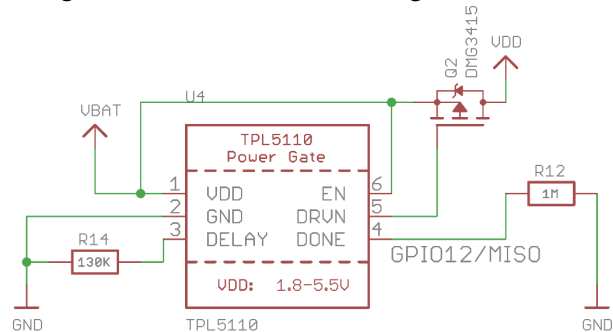


Figura 16 – Módulo temporizador

Com o uso deste timer em hardware o consumo médio de operação do produto ficou em aproximadamente 0,144mA. Para alimentação continua por 6 meses, é necessário o uso de uma bateria de 1000mAh. A bateria pode ser comprada por R\$9,13 (ALIEXPRESS, 2017).

3.9. Gabinete

O gabinete é responsável por acondicionar os componentes eletrônicos e protege-los. É um item essencial que será também responsável por evitar que os usuários tenham contato com componentes energizados.

Neste projeto o gabinete utilizado é da marca Patola, com dimensões de 19 x 40 x 54,4mm, suficiente para o acondicionamento dos

componentes e do sensor de umidade. O gabinete por ser facilmente encontrado por R\$2,28 (ELETROPEÇAS, 2017).

3.10. Firmware

O firmware desenvolvido é responsável por fazer a leitura do sensor, processar a informação e permite ao microcontrolador comunicar-se com o servidor Broker na nuvem.

Conforme já mencionado o protocolo utilizado foi o MQTT, que consiste em um protocolo de mensagens leve, criado para comunicação M2M (*Machine to Machine*). Por exigir muito pouco processamento e banda/consumo de Internet, este é um dos protocolos ideais para dispositivos embarcados.

A comunicação MQTT é uma comunicação cliente/servidor, na qual o servidor é comumente chamado de Broker e normalmente fica disponível na nuvem.

O padrão de troca de mensagens no MQTT é o Publisher/Subscriber (publicador/subscritor). Neste padrão, quando um elemento da rede deseja receber uma determinada informação, ele a subscreve no servidor Broker. Elementos que desejam publicar informações o fazem também através do servidor Broker, enviando-lhe as informações que possuem (BARROS, 2015).

Teoricamente, não há limite especificado de Subscribers e Publishers em uma mesma comunicação MQTT, pois o limite nesse aspecto é do servidor Broker em lidar com as conexões (BERTOLETI, 2015).

A Figura 17 ilustra uma visão geral do funcionamento protocolo MQTT.

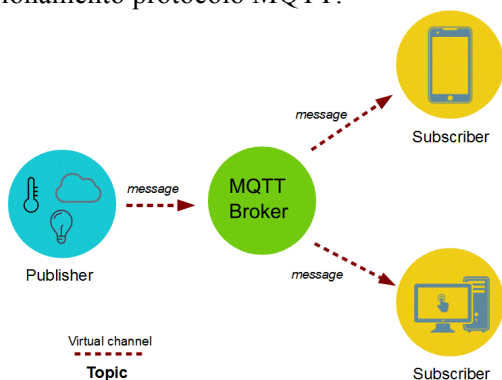


Figura 17 – Visão geral do protocolo MQTT
Fonte: Seneviratne (2016)

A principal variável do sistema é a umidade do solo, a leitura do sensor é realizada a através do conversor analógico digital, enviada ao servidor Broker através de um Publisher e disponível aos usuários que realizam o Subscribe do tópico MQTT, em um intervalo de 1 hora, dado que a umidade do solo não muda abruptamente, exceto quando chove, mas neste caso o solo é irrigado naturalmente.

Neste projeto, o servidor Broker em nuvem está hospedado na Adafruit, que já é uma plataforma consolidada e estável, além de seu uso ser gratuito.

Os tópicos MQTT envolvidos nas comunicações entre clientes e broker são:

`/<id_do_usuario>/feeds/<nome_da_planta>/`: esse tópico possui o valor da umidade relativa captada pelo sensor representado em `<nome_da_planta>`. Sendo publicado pelo produto, uma vez a cada uma hora, toda vez que é realizada a leitura do conversor analógico-digital. O conteúdo é um valor inteiro no intervalo 0-100, representando o percentual de umidade relativa do solo. Os usuários finais podem realizar o Subscribe desse tópico em seus aplicativos móveis para obter a leitura instantânea da umidade do solo.

Ao ligar o produto pela primeira vez ou quando não for possível conectar a uma rede WiFi ou ainda quando for ligado com o botão de “restauração de configuração” pressionado, o microcontrolador inicia como um *Access Point* e instancia uma interface web para configuração. A página de configuração mostra as redes Wi-Fi disponíveis e o usuário deve preencher os dados da rede Wi-Fi que deseja que o produto conecte, os dados do servidor broker e as definições do Publisher. A Figura 18 ilustra a página web de configuração.



Figura 18 – Interface web de configuração

O código fonte encontra-se disponível no GitHub em <https://github.com/djusten/fw-tcc>.

3.11. Aplicativo móvel

O aplicativo móvel é a implementação pública de cliente MQTT e é utilizado nesse projeto como uma prova de conceito das interfaces ideais.

Portanto, o aplicativo móvel é basicamente um cliente MQTT que se conecta ao servidor em nuvem para fazer o Subscribe e obter as informações.

Inicialmente, o usuário deve fazer a configuração do sistema, informado o endereço do servidor Broker, bem como sua porta de operação e em seguida demonstrar interesse por monitorar a umidade do solo, ou seja, realizar o Subscribe em um tópico do servidor Broker.

A Figura 19(esquerda) mostra a interface de configuração onde o usuário faz a conexão com o servidor Broker. Conforme já mencionado, foi utilizado o broker hospedado na Adafruit (io.adafruit.com), utilizando a porta padrão 1883. O usuário deve inserir seu Nome de Usuário, e Senha. A Figura 19(direita) mostra a interface para configurar o Subscribe, onde o usuário registra a sua intenção de receber o valor da umidade contido no servidor Broker, através do caminho para o tópico MQTT que representa cada planta.

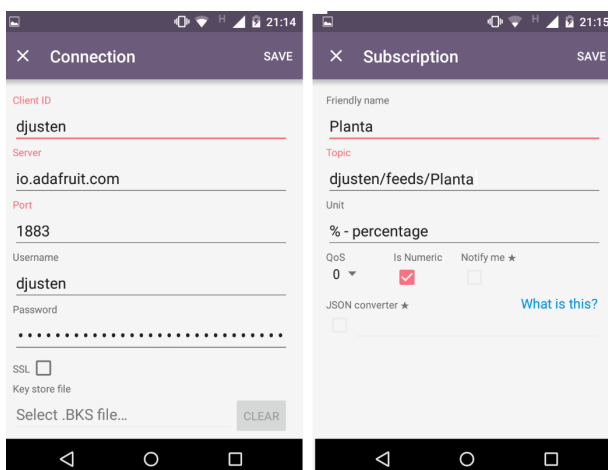


Figura 19 – Interface de configuração do cliente MQTT

Feita as devidas configurações o aplicativo móvel começara a receber as mensagens através do protocolo MQTT e o usuário poderá então visualizar todas as leituras realizadas pelo sensor de umidade que são publicadas pelo microcontrolador, isto se faz através da tela de *History*, a Figura 20, que mostra como as atividades do sistema são exibidas para o usuário através dessa tela.

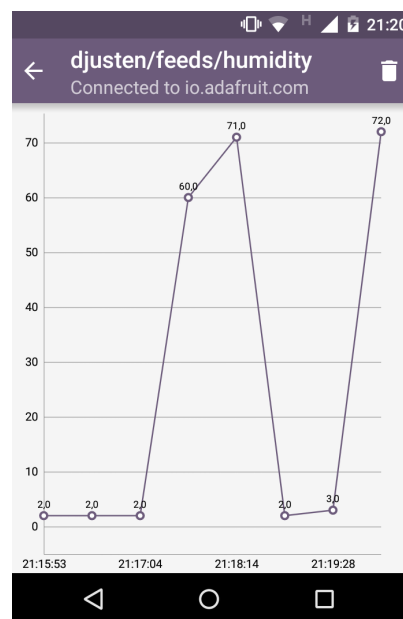


Figura 20 – Histórico medições no App móvel

3.12. Custos

Como um dos objetivos deste projeto é possuir baixo custo, tal balanço é de grande relevância, a cotação de preços foi feita com base em uma produção de 500 unidades do produto e a taxa de conversão de dólar em R\$3,15, os custos de produção para cada unidade são descritos na Tabela 17.

Tabela 17 - Custos

Componente	Preço
Sensor umidade do solo	R\$2,36
Bateria	R\$9,13
Microcontrolador	R\$5,04
Aplicativo móvel	R\$0,00
Componentes eletrônicos ¹	R\$10,13
Gabinete (PB 048) ²	R\$2,28
Montagem PCI ³	R\$1,07
Montagem componentes ⁴	R\$1,60
Embalagem ⁵	R\$0,94
Total	R\$32,55

1. Fonte: Mouser (2017)
2. Fonte: Eletropeças (2017)
3. Fonte: Pcbgogo (2017)
4. Fonte: Pcbcart (2017)
5. Fonte: Aliexpress (2017)

4. RESULTADOS

Na seção de resultados são descritos os procedimentos para a validação do funcionamento

do sistema, bem como a obtenção dos resultados esperados.

Neste experimento, há apenas um conjunto de sensor, microcontrolador e bateria. O sensor de umidade está inserido no solo de um pequeno vaso, o sistema é alimentado por uma bateria de 600mAh, possui acesso à Internet através do *Access Point* da residência, os testes tiveram duração de duas semanas e o protótipo utilizado para prova de conceito é exibido pela Figura 21.



Figura 21 – Protótipo para prova de conceitos

A Figura 22 exibe a interface da plataforma Adafruit, na qual é possível visualizar através de uma interface amigável o histórico de medidas.

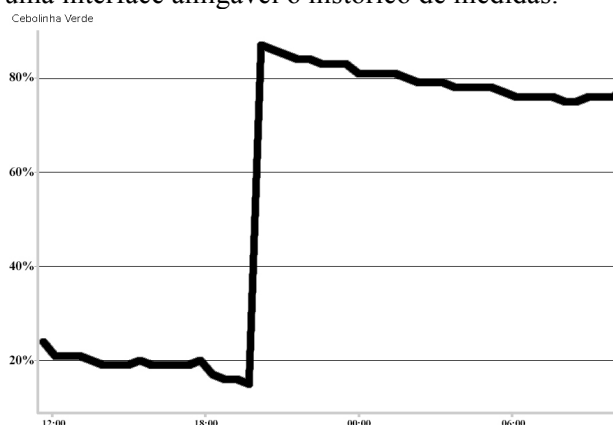


Figura 22 – Histórico de monitoração Adafruit

A Figura 23 exibe uma mensagem de notificação recebida no aplicativo móvel, informando a umidade medida.

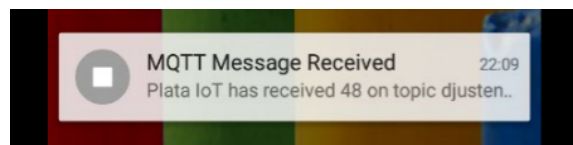


Figura 23 – Mensagem de notificação

Outra característica do produto é a possibilidade de publicar nas redes sociais, para isso, foi utilizado a plataforma IFTTT (*If This Then That*), disponível em <https://ifttt.com/> para publicar as grandes medidas em uma conta no Twitter. Toda vez que é realizado a leitura do sensor e enviada ao servidor Broker da Adafruit, uma postagem no Twitter é incluída, as postagens estão disponíveis na conta https://twitter.com/Vaso_IoT e exibido o nome da planta e a umidade medida pelo sensor. A Figura 24 ilustra as postagens realizadas pela plataforma IFTTT na conta criada exclusivamente para o produto.



Figura 24 - Postagem via Twitter

4.1. Consumo de energia

Os resultados de consumo de energia foram obtidos através de duas etapas, a primeira foi adquirir os pacotes que o produto troca com o *Access Point*, afim de mensurar a quantidade de envios e recepções que ocorre entre os dispositivos. É possível validar que o protocolo MQTT opera com pacotes de tamanhos pequenos, que podem ser verificados na Figura 25. Os pacotes foram adquiridos com o uso do software Wireshark.

REF	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	350 DHCP Discover	- Transaction ID 0xabcd0001
0.00022626	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	350 DHCP Discover	- Transaction ID 0xabcd0001
0.000157797	10.42.0.1	10.42.0.23	DHCP	342 DHCP Offer	- Transaction ID 0xabcd0001
0.008672958	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	350 DHCP Request	- Transaction ID 0xabcd0001
0.008694522	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	350 DHCP Request	- Transaction ID 0xabcd0001
0.067554340	10.42.0.1	10.42.0.23	DHCP	342 DHCP ACK	- Transaction ID 0xabcd0001
0.069745269	Espressi_c6:a9:6e	Broadcast	ARP	42 Who has 10.42.0.23? Tell 0.0.0.0	
0.069752906	Espressi_c6:a9:6e	Broadcast	ARP	42 Who has 10.42.0.23? Tell 0.0.0.0	
0.280306639	Espressi_c6:a9:6e	Broadcast	ARP	42 Who has 10.42.0.23? Tell 0.0.0.0	
0.280314274	Espressi_c6:a9:6e	Broadcast	ARP	42 Who has 10.42.0.23? Tell 0.0.0.0	
0.779208546	Espressi_c6:a9:6e	Broadcast	ARP	42 Gratuitous ARP for 10.42.0.23 (Request)	
0.779227687	Espressi_c6:a9:6e	Broadcast	ARP	42 Gratuitous ARP for 10.42.0.23 (Request)	
0.779252948	10.42.0.23	224.0.0.1	IGMPv2	46 Membership Report group 224.0.0.1	
0.779276008	10.42.0.23	224.0.0.1	IGMPv2	46 Membership Report group 224.0.0.1	
0.979806851	Espressi_c6:a9:6e	Broadcast	ARP	42 Who has 10.42.0.1? Tell 10.42.0.23	
0.979817280	Palladiu_59:e3:a2	Espressi_c6:a9:6e	ARP	42 10.42.0.1 is at 5c:c9:d3:59:e3:a2	
0.979832089	Espressi_c6:a9:6e	Broadcast	ARP	42 Who has 10.42.0.1? Tell 10.42.0.23	
0.982112521	10.42.0.23	10.42.0.1	DNS	75 Standard query 0x00fe A io.adafruit.com	
0.982179477	10.42.0.1	10.42.0.23	DNS	107 Standard query response 0x00fe A io.adafruit.com	
1.009616739	10.42.0.23	52.70.203.194	TCP	58 9554 → 1883 [SYN] Seq=0 Win=5840 Len=0 MSS	
1.176226693	52.70.203.194	10.42.0.23	TCP	58 1883 → 9554 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=288	
1.178197089	10.42.0.23	52.70.203.194	TCP	54 9554 → 1883 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=5840 Len	
1.178223979	10.42.0.23	52.70.203.194	MQTT	111 Connect Command	
1.345709458	52.70.203.194	10.42.0.23	TCP	54 1883 → 9554 [ACK] Seq=1 Ack=58 Win=26883 L	
1.383567641	52.70.203.194	10.42.0.23	MQTT	58 Connect Ack	
1.388694782	10.42.0.23	52.70.203.194	MQTT	97 Publish Message	
1.558574714	52.70.203.194	10.42.0.23	TCP	54 1883 → 9554 [ACK] Seq=5 Ack=101 Win=26883	
4.471925668	52.70.203.194	10.42.0.23	TCP	54 1883 → 8833 [FIN, ACK] Seq=1 Ack=1 Win=268	
5.487925609	52.5.238.97	10.42.0.23	TCP	54 1883 → 24422 [FIN, ACK] Seq=1 Ack=1 Win=26	

Figura 25 – Troca de pacotes entre o ESP8266 e o Access Point

A segunda etapa foi feita através da aquisição da queda de tensão sobre um resistor ligado em série com a bateria que alimenta o produto. Na Figura 26, é possível notar que a troca de pacotes ocorre em aproximadamente 6,5s, possui 80mA de consumo de corrente em regime, com alguns picos que são as transmissões e recepções de pacotes via rede Wi-Fi, por volta do segundo 3 é o momento que a leitura do sensor de umidade é efetuada e ao final do ciclo o microcontrolador entra em modo *deep sleep*.

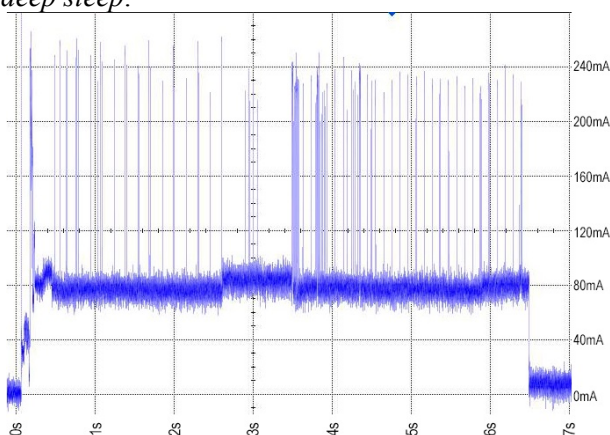


Figura 26 – Consumo de corrente

Conforme já mencionado foi utilizado a placa da Adafruit para a prova de conceito, a mesma não foi projetada para ter um consumo baixo de corrente, com isso sua carga em *deep-sleep* é de aproximadamente 6,5mA.

Fazendo o uso do TPL5110 (timer em hardware), ou seja, ao invés do microcontrolador entrar em modo *deep-sleep*, este componente funciona como uma chave geral do sistema, desligando por completo a placa da Adafruit, permanecendo ligado somente o próprio componente com um consumo aproximado de 100uA conforme mostra a Figura 27.

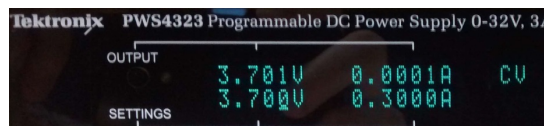


Figura 27 – Consumo de corrente utilizando TPL5110

Adicionado o TPL5110 o consumo de corrente ficou externamente baixo (< 100uA). O projeto eletrônico foi montado em uma *proto board*, o que dificultou obter o consumo real do sistema em modo sleep, devido ao excesso de ruídos nos sinais analógicos. Consequentemente não foi possível obter a forma de onda do consumo de corrente.

Para o teste de duração da bateria, seriam necessários vários meses para obter a duração real, devido à data de entrega deste artigo, o teste não foi realizado.

5. CONCLUSÃO

Internet das Coisas é uma tecnologia que está presente cada vez mais na vida dos seres humanos. Não é mais uma tecnologia acessível apenas para grandes empresas, com isso está havendo um grande investimento em soluções neste ramo afim de oferecer a qualquer tipo de pessoa a possibilidade de ter um objeto em casa que se conecta a internet.

A implementação deste trabalho teve como base o microcontrolador ESP8266, que possui todas as características necessárias para realizar a integração do sistema, como por exemplo, padrões de comunicação sem fio (IEEE802.11) e conversor de sinal analógico para digital.

Foi possível desenvolver o produto e colocar em prática utilizando a placa da Adafruit, idealmente a melhor solução para obter o consumo de corrente do produto proposto seria a construção de uma placa contendo apenas os componentes elétricos necessários, mas por questões de tempo e prazo na execução deste trabalho não foi possível realizar a manufatura da placa.

O ponto principal, que é monitorar remotamente a umidade do solo, usando os conceitos de Internet das Coisas foi satisfeito, mostrando-se eficiente como prova de conceito e como forma de estudo para Internet das Coisas. Obteve-se um produto de baixo custo, pequeno e leve, de acordo com os objetivos propostos.

Foi possível estudar as possíveis soluções para tentar reduzir o consumo de energia, por se tratar de um produto que fica a maior parte do tempo em modo sleep ou desligado, muitas soluções já estão disponíveis para esse tipo de aplicação, mais uma prova que a Internet das Coisas estará cada dia mais presente.

Como proposta de trabalhos futuros para este projeto, indicamos o estudo do processo de produção do produto e manufatura de um projeto piloto, a inclusão de mais sensores para o mesmo, como sensores de temperatura, iluminação e carga da bateria, e também um estudo para o processo de certificação e homologação deste produto para o mercado nacional.

REFERÊNCIAS

ADAFRUIT, **Adafruit Feather Huzzah ESP8266**, 2017. Disponível em: <<https://learn.adafruit.com/adafruit-feather-huzzah-esp8266/overview>>.

ALIEXPRESS. **Loja online**, 2017. Disponível em: <<https://www.aliexpress.com/item/Smart-Electronics-Soil-Moisture-Hygrometer-Detection-Humidity-Sensor-Module-For-arduino-Development-Board-DIY-Robot-Smart/32817518911.html>>. Acesso em 20 Julho 2017.

ALIEXPRESS. **Loja online**, 2017. Disponível em: <<https://www.aliexpress.com/item/22-7-11-5-5cm-paper-pink-boxes-gift-cardboard-boxes-Paper-Boxes-Cake-Gift-cardboard/32641349599.html>>. Acesso em 20 Julho 2017.

APM. **Datasheet RTL8711AM**, 2017. Disponível em: <<http://www.apmcomm.com/images/ds/enrf0063en.pdf>>. Acesso em 10 Junho 2017.

ASTHON, K. *That internet of things – the real world, things matter more than ideas*. RFID Journal, 2009, Disponível em: <<http://www.rfidjournal.com/articles/pdf?4986>>. Acesso em: 20 junho 2017.

ALIEXPRESS. **Battery**. Disponível em: <<https://www.aliexpress.com/item/Wholesale-10pcs-3-7V-1000mah-753050-Lithium-Polymer-LiPo-Rechargeable-Battery-For-Mp3-MP4-MP5-DVD/32381188727.html>>. Acesso em 15 Maio 2017.

BARROS Marcelo. **MQTT - Protocolos para IoT**, 2015. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/mqtt-protocolos-para-iot>>. Acesso em 20 Julho 2017.

BERTOLETI Pedro. **MQTT e Intel Edison**, 2015. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/mqtt-e-intel-edison>>. Acesso em 18 Julho 2017.

CANHOTO, Jorge M. **Biotechnology Vegetal da Clonagem de Plantas à Transformação Genética**.

Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2010. 407p.

CARPES JR., W. P. **Introdução ao projeto de produtos**. Porto Alegre: Bookman, 2014. 232p.

CASTRO, C. H. **O que é o Benchmarking?**, 2011. Disponível em: <<http://www.sobreadministracao.com/o-que-e-o-benchmarking/>>. Acesso em 12 Julho 2017.

DIGI-KEY Electronic. Disponível em: <<https://www.digikey.com/en/resources/conversion-calculators/conversion-calculator-battery-life>>. Acesso em 20 Julho 2017.

EDYN. **Edyn company**, 2017. Disponível em: <<https://edyn.com>>. Acesso em: 20 Maio 2017.

ELETROPEÇAS Comercial Eletrônica, 2017. Disponível em: <<https://www.eletronpecas.com/Produto/caixa-plastica-patola-pb-048>>. Acesso em 20 Julho 2017.

ESPRESSIF. **Smart Connectivity Platform: ESP8266**, 2015, Disponível em: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/ESP8266_Specificatio ns_English.pdf>. Acesso em: 10 Maio 2017.

ESPRESSIF. **Datasheet ESP8266**, 2017. Disponível em: <https://espressif.com/sites/default/files/documentat ion/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf>. Acesso em 15 Abril 2017.

MOUSER Eletronics, 2017. Disponível em: <<http://br.mouser.com>>. Acesso em 20 Julho 2017.

NASTARO Renato. **O método do modelo de Kano**, 2016. Disponível em: <<http://www.sequoiaconsultoria.com.br/o-modelo-de-kano-um-estudo-pratico>>. Aceso em: 10 Julho 2017.

PAROT. **Parot company**, 2017. Disponível em: <<http://global.parrot.com/au/products/flower-power>>. Acesso em: 21 Maio 2017.

PCBGOGO, 2017. Disponível em: <<https://www.pcbgogo.com>>. Acesso em 20 Julho 2017.

PCBCART, 2017. Disponível em: <<https://www.pcbcart.com>>. Acesso em 20 Julho 2017.

ROSAMILHA Nelson. **Satisfação do Cliente - Utilizando o método de Kano em Projetos**, 2015. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/satisfaca%C3%A7%C3%A3o-do-cliente-utilizando-o-m%C3%A9todo-de-kano-em>>

rosamilha?articleId=8539094467714559762>.

Acesso em 10 Julho 2017.

ROOS, Cristiano, Simone Sartori, Leoni P. Godoy. **Modelo de Kano para a identificação de atributos capazes de superar as expectativas do cliente**. Santa Catarina, 2009.

ROZENFELD, H; AMARAL, D.C.; ALLIPRANDINI, D.H.; FORCELLINI, F.; TOLEDO, J.C.; SCALICE, R. SILVA, S.L. **Gestão de desenvolvimento de produto: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SANTOS Bruno P., Lucas A. M. Silva, Clayson S. F. S. Celes, João B. Borges Neto, Bruna S. Peres, Marcos Augusto M. Vieira, Luiz Filipe M. Vieira, Olga N. Goussevskaia e Antonio A. F. Loureiro. **Internet das Coisas: da Teoria à Prática**. Belo Horizonte, 2016.

SENEVIRATNE Pradeeka. **MQTT Protocol Tutorial: Step by step guide**, 2016. Disponível em:

<<https://www.survivingwithandroid.com/2016/10/mqtt-protocol-tutorial.html>>. Acesso em 15 Junho 2017.

SparkFun. **SparkFun Soil Moisture Senso**, 2017. Disponível em:

<<https://www.sparkfun.com/products/13322>>.

Acesso em 27 Agosto 2017.

TEXAS INSTRUMENT. **Datasheet TPL5110**. Disponível em:

<<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tpl5110.pdf>>.

Acesso em 22 Julho 2017 .

XIAOMI. **Xiaomi company**, 2017. Disponível em:

<<https://xiaomi-mi.com/sockets-and-sensors/xiaomi-huahuacaocao-flower-care-smart-monitor>>. Acesso em: 20 Maio 2017.