



Unioeste - Universidade Estadual do Oeste do Paraná
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
Colegiado de Ciência da Computação
Curso de Bacharelado em Ciência da Computação

**Avaliando o Uso de Acelerômetro para Determinação de Densidade em um
Processo Fermentativo**

Frank Pilloni Tominc

CASCAVEL
2018

FRANK PILLONI TOMINC

**Avaliando o Uso de Acelerômetro para Determinação de Densidade em um
Processo Fermentativo**

Monografia apresentada como requisito parcial
para obtenção do grau de Bacharel em Ciên-
cia da Computação, do Centro de Ciências Exa-
tas e Tecnológicas da Universidade Estadual do
Oeste do Paraná - Campus de Cascavel

Orientador: Prof. Marcio Seiji Oyamada

CASCADEL
2018

FRANK PILLONI TOMINC

**Avaliando o Uso de Acelerômetro para Determinação de Densidade em um
Processo Fermentativo**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação, pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, aprovada pela Comissão formada pelos professores:

Prof. Dr. Marcio Seiji Oyamada
Colegiado de Ciência da Computação,
UNIOESTE

Prof. Me. Edmar André Bellorini
Colegiado de Ciência da Computação,
UNIOESTE

Prof. Dra. Luciane Sene
Colegiado de Farmácia,
UNIOESTE

Cascavel, 11 de dezembro de 2018

DEDICATÓRIA

À minha mãe Edviges (in memoriam) e meu pai Antonio, que tanto fizeram para que eu chegasse aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe Edviges (in memorian) que sempre me apoiou nos momentos difíceis e estará comigo sempre. Ao meu pai Antonio que deu tudo de si para proporcionar a melhor educação para seus filhos. À minha família que respeitou meus momentos de reclusão, obrigado pelo carinho. Agradeço os professores que me orientaram durante a graduação, mestres que se dedicaram a ensinar e compartilhar todo o seu conhecimento. Um agradecimento especial aos professores Marcio, Edmar e Luciane pela paciência na orientação e correção da minha monografia. Aos amigos com quem dividi os laboratórios do bloco F por todos esses anos, obrigado pelos momentos de descontração. Cheguei aqui por causa de vocês.

Lista de Figuras

1.1	Previsão de crescimento do mercado cervejeiro nos próximos anos	3
2.1	Seção meridiana de uma flor de lúpulo	7
2.2	Relação entre o crescimento da levedura, o consumo de açúcar e a produção de álcool	11
2.3	Hidrômetro digital WiFi Brew Perfect	14
2.4	Hidrômetro digital Tilt	15
3.1	Diagrama de fluxo do sistema proposto	16
3.2	Kit de Desenvolvimento NodeMCU	18
3.3	Detalhe dos pinos do Kit de Desenvolvimento NodeMCU	19
3.4	Sensor de Orientação Absoluta BNO055	20
3.5	Bateria de íons de lítio 18650	21
3.6	Regulador de tensão HT7333	21
3.7	Circuito regulador de tensão utilizando o HT7333	22
4.1	Projeto inicial do dispositivo	23
4.2	Invólucro utilizado para os componentes eletrônicos	24
4.3	Metacentro e estabilidade	25
4.4	Eixos do sensor BNO055	26
4.5	Resultados Iniciais	27
4.6	Coletas da versão 2	28
4.7	Coletas da versão 3	31

Lista de Tabelas

4.1	Valores médios das leituras para cada meio	30
-----	--	----

Lista de Abreviaturas e Siglas

IoT	Internet of Things
I ² c	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
RTC	<i>Real Time Clock</i>
NTP	<i>Network Time Protocol</i>
RST	<i>Reset</i>
GND	<i>Ground</i>
SDA	<i>Serial Data Line</i>
SCL	<i>Serial Clock Line</i>

Sumário

Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas	vii
Lista de Abreviaturas e Siglas	viii
Sumário	ix
Resumo	1
1 Introdução	2
1.1 Objetivos	3
1.2 Organização do Trabalho	4
2 Fundamentação Teórica	5
2.1 O processo de fabricação da cerveja	5
2.1.1 Ingredientes	5
2.1.2 Processo de fabricação	8
2.2 Automação na Indústria Cervejeira	11
2.3 Trabalhos Relacionados	13
2.3.1 Hidrômetro digital WiFi Brew Perfect	13
2.3.2 Hidrômetro digital Tilt	14
3 Materiais e Métodos	16
3.1 O Coletor	17
3.2 Componentes	17
3.2.1 NodeMCU	17
3.2.2 Sensor de Orientação Absoluta BNO055	20
3.2.3 Regulador de Tensão HT7333	21

4	Resultados e Discussão	23
4.1	O Protótipo do Coletor	23
4.1.1	Princípio de Operação do Dispositivo	24
4.2	Testes Realizados	25
5	Considerações Finais	33
5.1	Trabalhos Futuros	34
A	Algoritmo utilizado pelo NodeMCU para realizar as leituras	35
	Referências Bibliográficas	40

Resumo

Este trabalho apresenta uma proposta de um dispositivo coletor de métricas para controle de processo fermentativo. Existem poucas opções de dispositivos para automação voltado para o segmento dos cervejeiros caseiros (*homebrewers*), mesmo que esse segmento seja um dos que mais crescem. Foi desenvolvido um protótipo, utilizando componentes de prateleira, com a comunicação via rede sem fio. O protótipo foi utilizado para validar o uso de acelerômetros para medir a gravidade específica de uma mistura. Os testes foram realizados utilizando uma mistura com água pura, uma solução de água e açúcar na concentração de 50g/l e uma superfície plana como grupo de controle e, com base nesses testes, mostra-se que o princípio é válido, porém existem algumas complicações relacionadas a forma de montagem do protótipo que dificultam a reprodução do mesmo, o que impediu a realização de testes mais aprofundados. Uma possível solução para esse problema seria o desenvolvimento de um suporte que permitisse manter o acelerômetro sempre na mesma posição relativa ao centro de gravidade do protótipo.

Palavras-chave: Densímetro, Acelerômetro, Homebrewing.

Capítulo 1

Introdução

A história da cerveja, uma das bebidas mais populares do mundo, remonta ao surgimento da agricultura no oriente médio e vem acompanhando a evolução da humanidade desde então. Durante a maior parte da história, a cerveja foi considerada um alimento, tendo sido conhecida como pão líquido durante a idade média. Além disso, a cerveja está enraizada na cultura ocidental, sendo consumida quase que universalmente por pessoas de todos os gêneros, faixas etárias e classes sociais (MORADO, 2009).

Como negócio, a indústria cervejeira é uma das maiores do mundo e é parte importante da economia de vários países. Segundo a empresa de pesquisa de mercado Zion (ZION MARKET RESEARCH, 2017), o mercado cervejeiro será responsável por movimentar 750 bilhões de dólares em 2022, como mostra a Figura 1.1. Muito embora, grande parte desse valor será movimentado pelas grandes corporações, o movimento das micro cervejarias e cervejarias caseiras vem tomando força, com cada vez mais pessoas aderindo a ideia de fazer sua própria cerveja (STANFORD GRADUATE SCHOOL OF BUSINESS, 2002).

O processo de produção da cerveja é bem documentado e segue uma série de passos, que vão desde a produção do malte através do umedecimento e secagem dos grãos, fermentação, maturação até o envase. Nas grandes cervejarias, a automação do processo é muito grande, ao contrário do que acontece com o cervejeiro caseiro, que possui ao seu dispor quase ou nenhuma automação.

Dentro desse contexto, este trabalho propõe avaliar o uso de acelerômetros para determinação de densidade como uma alternativa que auxilie o cervejeiro caseiro a ter um controle maior de sua produção, trazendo mais qualidade ao produto por ele produzido.

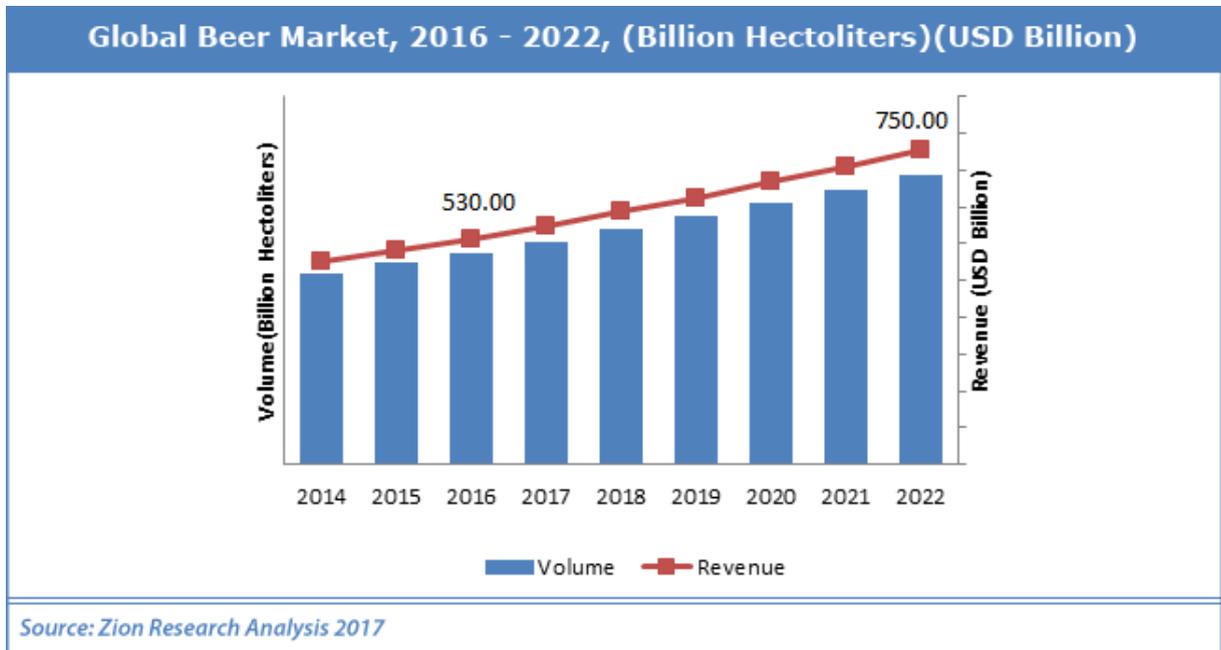


Figura 1.1: Previsão de crescimento do mercado cervejeiro nos próximos anos. Fonte: (ZION MARKET RESEARCH, 2017)

1.1 Objetivos

- Geral: Avaliar o uso de acelerômetros para determinação de densidade em um processo fermentativo.
- Específicos:
 - Estudo do processo de fabricação da cerveja, buscando entender quais as áreas mais carentes de automação;
 - Estudo de dispositivos embarcados disponíveis em prateleira, para escolha de qual será utilizado no desenvolvimento do protótipo;
 - Estudo do princípio do empuxo e sua relação com a densidade;
 - Desenvolvimento de um protótipo;
 - Avaliação da viabilidade do uso de sensores de orientação para inferir a densidade;

1.2 Organização do Trabalho

Esta monografia está organizada da seguinte forma:

- Capítulo 2 - Fundamentação Teórica: apresenta um breve histórico do mercado da cerveja, o processo de fabricação, a automação na indústria cervejeira e os trabalhos relacionados;
- Capítulo 3 - Materiais e Métodos: descreve o protótipo desenvolvido, juntamente com os componentes utilizados em sua construção;
- Capítulo 4 - Resultados e Discussão: apresenta a montagem do protótipo e os testes que foram realizados;
- Capítulo 5 - Considerações Finais: discute os resultados apresentados no trabalho, além de apresentar sugestões de trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Neste capítulo, apresenta-se o histórico do processo de fabricação da cerveja, bem como seus ingredientes e etapas. Também são apresentados alguns dispositivos comerciais que buscam automatizar parte do processo de fabricação de cerveja, destinados a cervejeiros caseiros. Além disso, expõe-se a solução proposta neste trabalho.

2.1 O processo de fabricação da cerveja

A data e local exatos do surgimento da cerveja são desconhecidos. Muitos acreditam que a cerveja tenha surgido por acaso no Oriente Médio ou no Egito, isto porque, em meados do século XIX, arqueólogos que escavavam tumbas de faraós encontraram vasos com resquícios de cevada (MORADO, 2009). Durante a maior parte de sua história, a cerveja foi considerada alimento, sendo conhecida como pão líquido durante a idade média e sendo consumida por pessoas de todas as faixas etárias e classes sociais.

2.1.1 Ingredientes

Sendo uma bebida bastante versátil, a cerveja permite uma infinidade de variações quanto aos ingredientes utilizadas, sendo que os ingredientes básicos são água, cereais maltados, lúpulos, lúpulos e adjuntos que são usados para diminuir o custo, tais como o milho (*Zea mays*) e o arroz (*Oryza spp.*) (MORADO, 2009).

Segundo a legislação brasileira, para que uma bebida alcoólica resultante de fermentação seja considerada como cerveja, a mesma deve possuir ao menos 20% de malte de cevada (BRASIL, 2009).

De 1516 a 1993 vigorou na Alemanha a chamada Lei da Pureza. Esta lei dizia que os únicos ingredientes permitidos para a fabricação da cerveja eram água, cevada, levedo e lúpulo. Esta lei ainda é uma referência bastante utilizada pelas cervejarias que desejam indicar a qualidade de seus produtos (MORADO, 2009).

Maltes

Maltes são os grãos de cereal que foram deixados para germinar durante um processo conhecido como maltagem. Nesse processo ocorre a formação das enzimas que convertem os amidos dos grãos em açúcares fermentáveis (HUGHES, 2014).

A cevada (*Hordeum vulgare*) é o cereal mais usado na produção de malte para a cerveja. É naturalmente rica em enzimas, principalmente alfa e beta amilase e por isso produz grandes quantidades de açúcar fermentável. O trigo (*Triticum spp.*) e o centeio (*Secale cereale*) maltados também são muito utilizados na fabricação da cerveja (HUGHES, 2014).

Lúpulos

Lúpulos (*Humulus lupulus*) são flores cônicas da planta fêmea de uma trepadeira. Ricas em ácidos alfa e óleos essenciais, como linalol, geraniol, humuleno e farneseno, essas flores são desidratadas e adicionadas à cerveja para dar amargor, sabor, aroma e combater as bactérias que podem conferir características não desejáveis a cerveja, tais como acidez, turbidez ou fragrâncias não agradáveis (HUGHES, 2014). Como exemplos de tais bactérias temos algumas produtoras de ácidos lácticos, como as das espécies *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus lindneri* e *Pediococcus damnosus*, além de algumas bactérias gram-negativas¹, como por exemplo *Pectinatus cerevisiiphilus*, *Pectinatus frisingensis* e *Megasphaera cerevisiae* (SAKAMOTO; KONINGS, 2003).

Nativo da América do Norte, da Europa e da Ásia, acredita-se que o lúpulo tenha sido usado na produção de cerveja desde o século XI. Era utilizado no lugar de ervas amargas, pois diminuía a probabilidade de a cerveja estragar devido as suas propriedades bactericidas (HUGHES, 2014). A Figura 2.1 mostra o corte meridional de uma flor de lúpulo. As glândulas lupulínicas concentram a maior parte desses ácidos e óleos essenciais.

¹Segundo (BARON, 1996), bactérias gram-negativas são aquelas que não retêm o corante violeta genciana durante o método de coloração de Gram

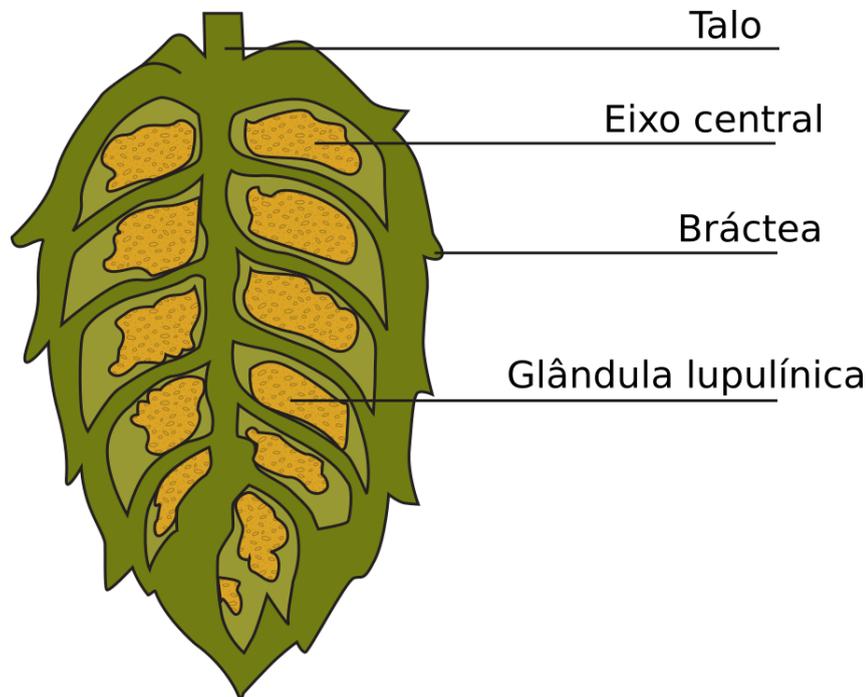


Figura 2.1: Secção meridiana de uma flor de lúpulo. Adaptado de (Wikimedia Commons, 2008).

Água

Este é o ingrediente fundamental de todas as cervejas. Suas propriedades químicas dependem da jornada que ela realiza até chegar a torneira. Como a água da chuva passa pelo solo, pode carregar consigo diversos minerais, dependendo do tipo de rocha da região (HUGHES, 2014).

A quantidade de minerais dissolvidos na água afeta seu pH, tendo efeito direto sobre a cerveja produzida, sendo as águas com alto teor de minerais preferidas para estilos de cervejas mais encorpadas e escuras, enquanto as águas com baixo teor de minerais são melhores utilizadas nas cervejas de estilos mais leves e claras. Isso decorre do fato de que os maltes mais escuros são mais ácidos que os maltes claros, e sua adição ao mosto faz com que o pH diminua. Durante a brassagem, o pH do mosto deve estar entre 5.4 e 5.8 quando medido a temperatura ambiente, fora dessa faixa as enzimas que atuam durante a brassagem extraem taninos da casca dos cereais sendo utilizados, conferindo um sabor adstringente à cerveja (PALMER, 2006).

Leveduras

Este é o ingrediente que transforma em cerveja o mosto doce produzido pelo malte, o lúpulo e a água. A levedura é um tipo de fungo unicelular que é usado na fabricação da cerveja há milhares de anos, mas sua identificação só ocorreu com o advento do microscópio, no século XVII. Antes disso, os cervejeiros simplesmente deixavam o mosto descoberto e a fermentação ocorria graças as leveduras selvagens presentes no ar. Em 1857, o químico e microbiólogo francês Louis Pasteur comprovou a importância da levedura na fermentação e mudou a maneira como a cerveja era produzida, dando aos cervejeiros mais controle sobre o processo de fermentação (HUGHES, 2014).

Podemos dividir as leveduras em dois tipos principais, as de alta e de baixa fermentação. As primeiras, são do gênero *Saccharomyces cerevisiae* e trabalham melhor sob temperaturas mais altas, geralmente entre 16-24 graus Celsius, sendo utilizadas para produção de cervejas do tipo Ale e são assim chamadas porque sobem à superfície do fermentador durante o processo. As de baixa fermentação, do gênero *Saccharomyces pastorianus*, trabalham melhor sob temperaturas mais baixas, geralmente entre 7-15 graus Celsius, sendo utilizadas para a produção de cervejas do tipo Lager e ao contrário das de alta fermentação, decantam no fermentador durante o processo (HUGHES, 2014).

2.1.2 Processo de fabricação

Sendo uma bebida tão antiga, o processo de fabricação da cerveja é bem documentado e segue uma série de passos, como descrito em (MORADO, 2009):

Maltagem

O primeiro passo é a maltagem. Esta etapa pode ser dividida em três etapas: maceração, germinação e secagem.

A maceração consiste no fornecimento de oxigênio e água ao grão, despertando sua dormência, preparando-o para a etapa seguinte. A maceração dura de 6 a 12 horas.

Na germinação, a cevada sofre modificação física e química. Fisicamente, ocorre a formação de radículas e da acrospira (precursora da primeira folha). Quimicamente, ocorre a formação das enzimas que irão quebrar o amido e as proteínas no ponto adequado para o início da produção

da cerveja. A germinação pode ser administrada em diversas intensidades, produzindo assim diferentes tipos de malte. Uma germinação típica dura de 5 a 6 dias.

Na secagem do malte, as radículas são eliminadas. É nessa etapa que ocorre a formação dos aromas típicos do malte. Dependendo da intensidade da germinação e também dos graus de secagem e torrefação, o malte adquire colorações e aromas que vão desde o neutro até o café, passando pelo caramelo, o chocolate e o torrado.

Em geral, esta etapa ocorre fora da cervejaria. No caso dos cervejeiros artesanais, a cevada é adquirida após o processo de maltagem.

Brassagem

A brassagem consiste em uma sequência de procedimentos que transformam o amido e as proteínas contidas no malte em uma solução de açúcar e outras substâncias chamada mosto. Os passos são:

- **Moagem do malte:** O objetivo da moagem é quebrar o grão e expor o amido contido no seu interior.
- **Mostura:** A mostura consiste em adicionar água ao malte moído, submetendo o malte à diferentes temperaturas por períodos de tempo determinados. Tal variação serve para ativar as enzimas que quebram o amido presente no malte em açúcares, através de um processo conhecido como hidrólise. Como resultado obtém-se uma solução adocicada denominada mosto, que a essa altura ainda contém bagaço de malte.
- **Filtração do mosto:** Consiste na separação do mosto líquido do bagaço do malte. Em cervejarias artesanais geralmente se utiliza uma panela com um fundo falso, que segura o bagaço na parte superior, enquanto o mosto é extraído através de uma válvula na parte inferior.
- **Fervura:** A fervura serve para a esterilização do mosto, eliminando micro-organismos que poderiam concorrer com o levedo pelos nutrientes do mosto. Também exerce função importante na definição da cor e do sabor da cerveja, devido a ação da caramelização e a reação com os açúcares e aminoácidos contidos no mosto. Durante a fervura acontece a lupulagem, isto é, a adição do lúpulo ao mosto.

- Separação do *trub*: Durante a fervura, parte das proteínas contidas no mosto passam por um processo de aglutinação. Após a fervura, o mosto passa por um processo de separação da fase proteica, formando o chamado *trub*. Isso pode ser feito de diversas formas, mas o método mais utilizado é a sedimentação. Uma boa separação do *trub* é importante para que a cerveja tenha estabilidade no brilho e um sabor mais suave.
- Resfriamento do mosto: O resfriamento é necessário para que o mosto atinja a temperatura desejada para a fermentação. Em geral, são utilizados trocadores de calor denominados *chillers*. O resfriamento deve ser feito o mais rápido possível para evitar a formação de aromas indesejáveis e minimizar o risco de contaminação. O mosto então é aerado para fornecer à levedura o oxigênio que ela necessita para a multiplicação celular.

Fermentação

O etanol é um produto do metabolismo anóxico de leveduras e algumas bactérias e é formado como parte do metabolismo energético. Pelo fato do crescimento somente ocorrer se ocorrer produção de energia, a formação de etanol se dá em paralelo ao crescimento.

Para a cerveja, podemos dividir a fermentação em três fases, adaptativa, atenuativa e maturação (PALMER, 2006).

Durante a fase adaptativa, a levedura se adapta às condições do mosto e passa por um processo de rápido crescimento consumindo o oxigênio dissolvido no mosto para se reproduzir. Quando o oxigênio acaba, a levedura muda seu processo metabólico e começa a consumir o açúcar presente no mosto para se reproduzir de forma anaeróbica, que é menos eficiente e a taxa de crescimento cai, neste ponto a fermentação entra na fase atenuativa.

A fase atenuativa é marcada por um processo vigoroso de fermentação e sua duração é dependente do estilo da cerveja e outras condições, como a temperatura por exemplo. A maior parte da atenuação ocorre durante esta fase, onde a gravidade da cerveja cai de dois terços a três quartos da gravidade original. Conforme a atenuação ocorre, a levedura começa a flocular, sendo depositada no fundo do fermentador.

A Figura 2.2 mostra a fase atenuativa de uma fermentação alcoólica típica, ilustrando a formação de células microbianas, etanol e o consumo de açúcar (MADIGAN, 1996):

Por fim, durante a fase de maturação, a levedura consome o restante dos açúcares facilmente

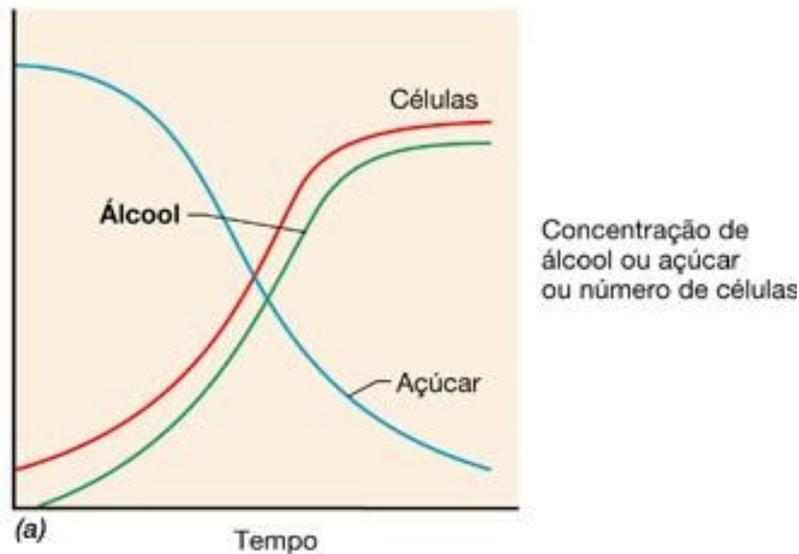


Figura 2.2: Relação entre o crescimento da levedura, o consumo de açúcar e a produção de álcool. Adaptado de (MADIGAN, 1996)

fermentáveis e começa a consumir os mais difíceis, como a maltotriose, além de alguns bi-produtos da fermentação da fase atenuativa que contribuem de forma negativa para o sabor e aroma da cerveja.

Carbonatação e Envase

Nas micro cervejarias esses processos acontecem de forma conjunta, pois para que sejam feitos de forma separada necessitam de equipamentos mais sofisticados. A carbonatação geralmente é feita através do processo de *priming* que nada mais é do que a adição de açúcar à garrafa, para que ocorra uma refermentação, liberando CO_2 e carbonatando a cerveja. O envase é feito em barris ou garrafas que devem ser esterilizados previamente para que se evite a contaminação (MORADO, 2009).

2.2 Automação na Indústria Cervejeira

Segundo (MORADO, 2009), podemos dividir as cervejarias em alguns grupos de acordo com sua capacidade produtiva. São eles:

- Mega cervejarias comerciais: Essas empresas concentram boa parte da produção cervejeira no mundo. São grandes conglomerados capazes de competir globalmente. Essas

empresas produzem mais de 100 milhões de hectolitros/ano².

- Cervejarias grandes e tradicionais: São as cervejarias que produzem acima de 10 milhões de hectolitros/ano.
- Micro cervejarias: A definição de micro cervejaria é controversa, mudando de país para país. Segundo o *Institute of Brewing Studies*, micro cervejarias são aquelas que produzem menos de 17,600 hectolitros/ano.
- Bares cervejarias: Também conhecidos como *brewpubs*, estes estabelecimentos possuem produção menor ou equivalente a de uma micro cervejaria. A diferença é que, em geral, estes estabelecimentos não engarrafam sua cerveja, que é produzida quase que exclusivamente para o consumo no próprio bar ou restaurante.
- Cervejarias caseiras: Este grupo é formado por curiosos e entusiastas por cerveja, que se aventuram a fabricar em casa, utilizando aparelhos domésticos, tais como o fogão e a geladeira. Em geral, a produção é para consumo próprio ou para compartilhar com os amigos.

Ainda segundo (MORADO, 2009), o nível de automação de cada indústria cresce na medida que a escala de produção aumenta, sendo que nas mega cervejarias o processo é automatizado praticamente em sua totalidade.

A automação permite que essas indústrias tenham total controle sobre a qualidade e os processos produtivos, trazendo inúmeras vantagens, tais como a estabilização do produto, a redução de custos, a rastreabilidade, a inovação de estilos e o atendimento estratégico de mercado, permitindo que elas sejam capazes de fornecer produtos de alta qualidade e conformidade em qualquer parte do mundo, sem alterações de sabor e/ou aroma.

No outro extremo do espectro, ainda existem poucos equipamentos disponíveis aos *homebrewers*, sendo em sua maioria equipamentos que auxiliam na brassagem/fervura do mosto.

Segundo (PALMER, 2006), existem três fatores principais que influenciam na atividade fermentativa, sendo eles, a própria levedura e sua viabilidade, os nutrientes presentes no mosto e a temperatura. Os dois primeiros fatores necessitam de uma análise especializada para que se

²1 hectolitro equivale a 100 litros.

consiga determinar seus parâmetros, enquanto que o último pode ser facilmente coletado através de um sensor específico para esse fim.

Além da temperatura, é necessário capturar a densidade do mosto. Este parâmetro indica a quantidade de açúcar ainda presente, o que permite inferir a fase do processo fermentativo que está ocorrendo naquele instante de tempo.

2.3 Trabalhos Relacionados

A busca por trabalhos relacionados foi feita através de portais de lojas varejistas especializadas em equipamentos para cervejeiros caseiros. Tal busca encontrou apenas dois dispositivos voltados a esse segmento e o funcionamento e custo de cada um deles estão elencados a seguir. Como os portais utilizados são internacionais, optou-se por manter os preços em dólar para simplificar a comparação.

2.3.1 Hidrômetro digital WiFi Brew Perfect

Desenvolvido pela Brew Perfect (Brew Perfect, 2018), este hidrômetro não é compatível com todos os tipos de fermentadores e é necessário que se tenha uma conexão de internet sem fio. O dispositivo, mostrado na Figura 2.3, possui uma espécie de pêndulo que é fixado à base do dispositivo e deve ser imerso no fermentador. Os dados são capturados e enviados ao site da empresa, onde podem ser acessados para monitorar o processo de fermentação.

A comercialização é feita pela própria empresa e por revendedores autorizados, sendo realizada utilizando um modelo de concessão, oferecendo como opções licenças mensais ou vitalícias. A licença mensal custa U\$3.99, com uma taxa de assinatura de U\$39.99 enquanto a licença vitalícia custa U\$159.99. Por padrão esse dispositivo não captura a temperatura, porém um termômetro é ofertado pela empresa como um módulo a parte, custando U\$39.99. O fabricante não exibe informações sobre a faixa de medição do dispositivo.



Figura 2.3: Hidrômetro digital WiFi Brew Perfect (Brew Perfect, 2018)

2.3.2 Hidrômetro digital Tilt

Desenvolvido pela Tilt (Tilt, 2018) e protegido por patente (Baron Brew Equipment, 2016), esse hidrômetro flutua livremente no fermentador, sendo independente do modelo em questão. A captura das métricas é feita através de dois sensores presentes no dispositivo, um acelerômetro e um sensor de temperatura enquanto a comunicação é realizada através de uma conexão *bluetooth* (THE BLUETOOTH SIG, 2016). As leituras podem ser realizadas através dos aplicativos do fabricante, que podem ser instalados em qualquer *smartphone* moderno, ou em uma placa *Raspberry pi* (RASPBERRY PI, 2018), sendo que em ambos os casos é necessário que o dispositivo leitor seja compatível com a versão 4.0 do protocolo *bluetooth*.

A empresa oferece o dispositivo em oito cores diferentes, como mostrado na Figura 2.4 e devido a forma como o protocolo *bluetooth* opera, não é possível se comunicar simultaneamente com dois dispositivos diferentes com a mesma cor. O custo do dispositivo é de U\$135.00,



Figura 2.4: Hidrômetro digital Tilt (Tilt, 2018)

sendo que os aplicativos são ofertados gratuitamente. Segundo o fabricante, a faixa de gravidade específica³ que pode ser medida pelo dispositivo é de 0.990 a 1.120. Por ser um modelo independente ao modelo do fermentador utilizado, optou-se por utilizar um modelo similar no desenvolvimento do protótipo.

³A gravidade específica é a razão entre a densidade de uma substância e a densidade da água (WHITE, 2011).

Capítulo 3

Materiais e Métodos

Este trabalho iniciou-se por um levantamento da automação disponível para os *homebrewers*, buscando identificar quais os aspectos do processo mais carentes de soluções automatizadas. Em seguida foi proposto um sistema autônomo que buscasse atender essas lacunas.

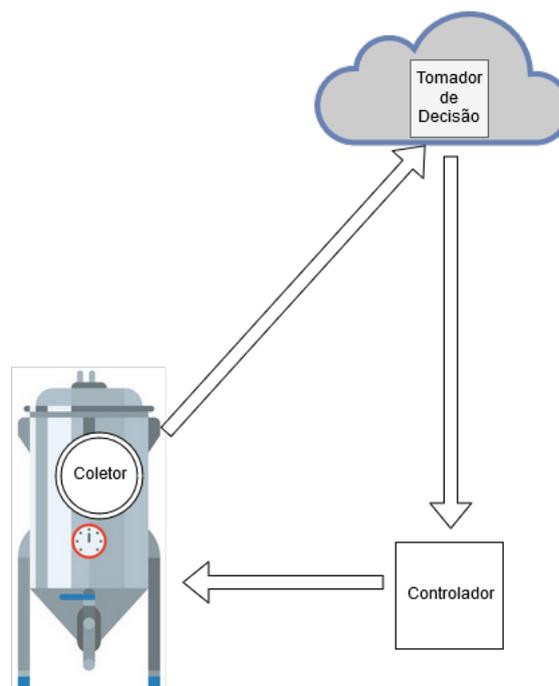


Figura 3.1: Diagrama de fluxo do sistema proposto

O sistema autônomo proposto é dividido em três componentes, coletor, tomador de decisão e controlador, como ilustra a Figura 3.1. O coletor tem o mesmo papel dos hidrômetros apresentados na seção 2.3, devendo coletar as métricas descritas na seção 2.2, alimentando o tomador de decisão, que por sua vez, processa essas métricas e indica ações corretivas para o controlador, tais como reduzir ou aumentar a temperatura de fermentação.

O foco deste trabalho foi a validação do uso de acelerômetro para a construção do coletor enquanto os outros componentes do sistema são discorridos nesta seção para efeito de contextualização.

3.1 O Coletor

Para a construção do protótipo do coletor, buscou-se usar apenas soluções de componentes de prateleira, para diminuir o custo e facilitar a construção do dispositivo por qualquer pessoa que possua conhecimento técnico para replicar o mesmo.

Como passo inicial, foi realizado um estudo do processo fermentativo da cerveja, buscando entendê-lo em sua completude.

Em seguida, foi realizado um levantamento de possíveis placas embarcadas disponíveis em prateleira que possuíssem funcionalidades de comunicação sem fio e fossem de baixo custo, buscando encontrar a que tivesse mais facilidade de acesso para o público em geral e baixo consumo de energia.

Em uma próxima etapa, estudou-se os dispositivos apresentados na seção 2.3, buscando entender o funcionamento, as vantagens e as limitações de cada um. Nessa etapa, foi definido que o modelo a ser seguido deveria ser similar ao modelo utilizado pelo dispositivo desenvolvido pela Tilt (Tilt, 2018), com algumas melhorias e adaptações. Tal escolha deve-se ao fato de ser um modelo que não depende do formato do fermentador que está sendo utilizado.

No próximo estágio, foi desenvolvido um protótipo com base nos itens anteriores e por fim foram realizados alguns testes de validação sobre o mesmo. Tais testes são apresentados no Capítulo 4 deste trabalho.

3.2 Componentes

Nesta seção apresenta-se os componentes utilizados para a construção do protótipo, além de justificar a escolha de cada componente, expondo brevemente o funcionamento de cada um.

3.2.1 NodeMCU

Para o desenvolvimento do protótipo, optou-se por utilizar o kit de desenvolvimento NodeMCU, exibido na Figura 3.2, que contém o microcontrolador ESP8266, desenvolvido pela

empresa chinesa Espressif. O *firmware* do NodeMCU possui código aberto e o *hardware* é baseado no módulo ESP-12, que é proprietário (NODEMCU, 2018). Essa escolha decorre do fato de ser uma placa amplamente disponível, com um custo baixo, podendo ser encontrada por cerca de U\$2.50, já possuindo um módulo para conexão Wi-Fi, não sendo necessário o uso de componentes extras.

Além do módulo Wi-Fi e do microcontrolador, a placa possui 128 kilobytes de memória e 4 megabytes de armazenamento e oferece suporte ao protocolo I²C (NXP Semiconductors, 2014), muito usado para periféricos onde o custo e a simplicidade é mais importante que a velocidade. A comunicação nesse protocolo é realizada a partir de duas linhas de barramento, sendo uma delas para clock (SCL) e a outra para transferência de dados (SDA).

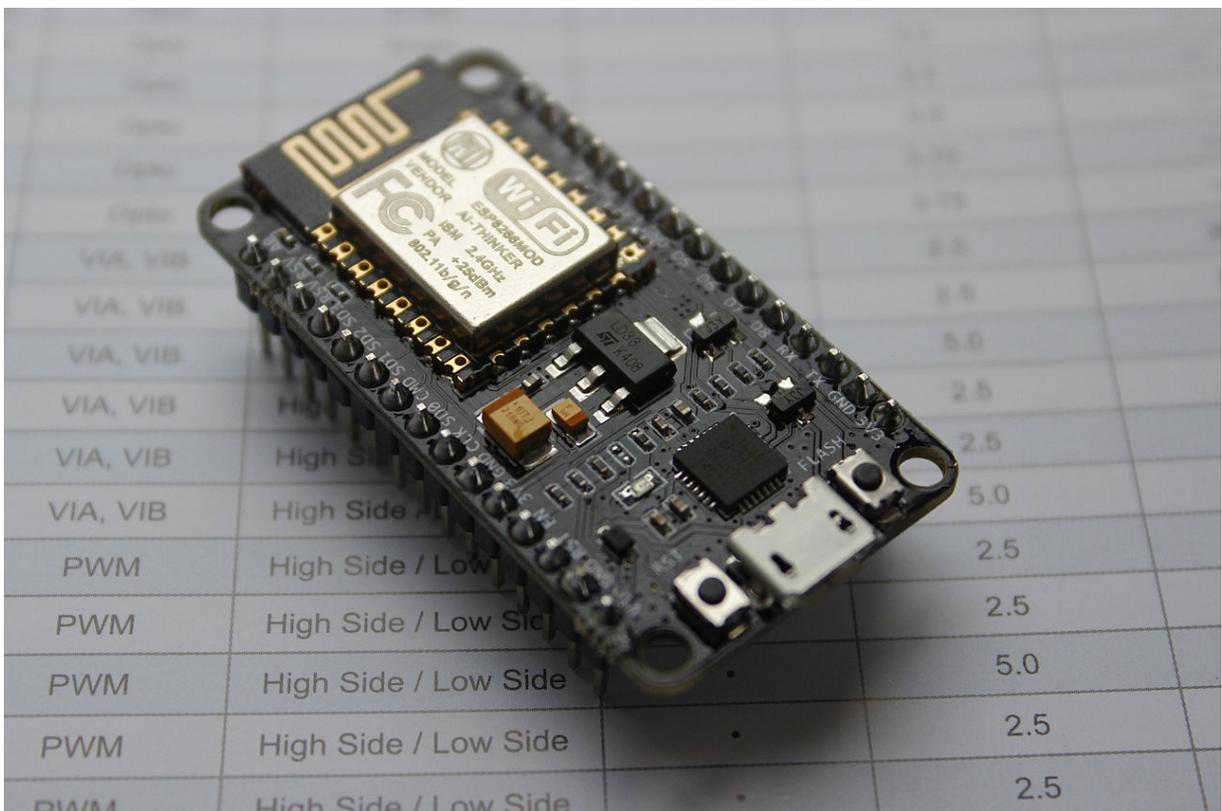


Figura 3.2: Kit de Desenvolvimento NodeMCU. Fonte: (Wikimedia Commons, 2015)

A Figura 3.3 mostra os pinos presentes no kit de desenvolvimento. Para comunicação I²C, os pinos utilizados foram os pinos padrão do NodeMCU, sendo o D1 para clock (SCL) e o D2 para dados (SDA), porém a biblioteca *Wire*, que é a biblioteca padrão para comunicação I²C em dispositivos compatíveis com Arduino, permite que outros pinos sejam utilizados, mais detalhes

podem ser consultados em (ARDUINO, 2018).

A alimentação da placa pode ser feita utilizando fontes de 5V ou 3.3V, sendo que a placa possui pinos específicos para cada nível de tensão. A mesma possui quatro pinos de 3.3V, sendo possível conectar a fonte de tensão a qualquer um deles. Também é possível utilizar esses pinos para alimentar componentes externos, como sensores por exemplo (NODEMCU, 2018).

Para que a placa consuma menos energia, foi utilizado o modo *Deep Sleep* após a leitura dos dados. Para entrar nesse modo é necessário especificar através da chamada padrão da biblioteca qual o período de tempo pelo qual o dispositivo irá hibernar. Enquanto o dispositivo está operando nesse modo, todas as funções do mesmo são desligadas, com exceção do *RTC Time Module*¹, pois esta função é necessária para que o dispositivo seja inicializado ao final do período de hibernação. Também é necessário conectar o pino RST ao pino D0, pois é através desses que o sinal de inicialização trafega (NODEMCU, 2018).

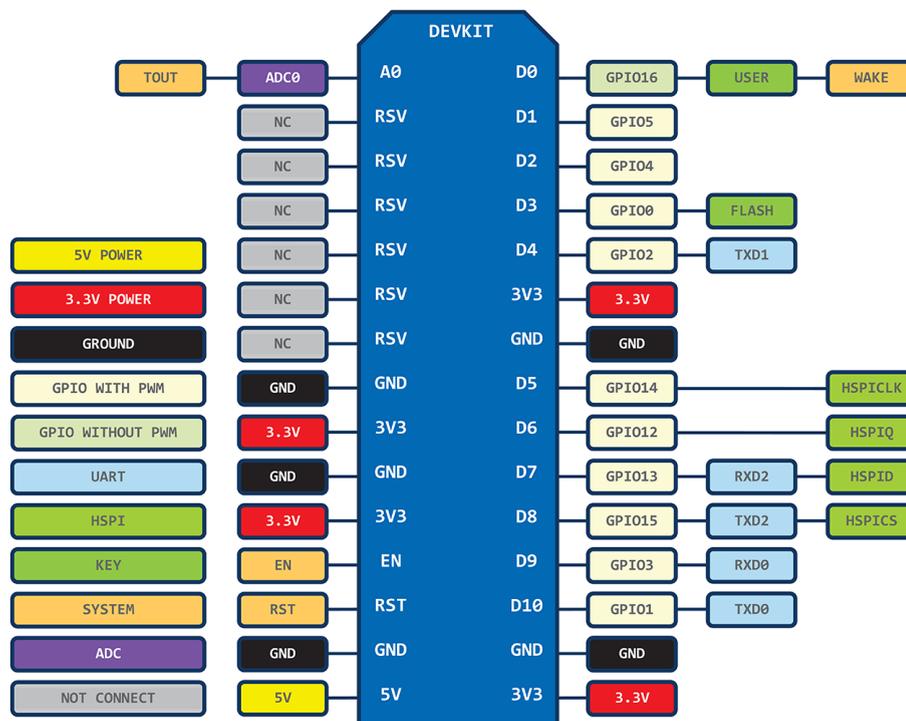


Figura 3.3: Detalhe dos pinos do Kit de Desenvolvimento NodeMCU. Fonte: (IBM, 2018)

¹O kit de desenvolvimento NodeMCU não possui um módulo de *Real Time Clock* (RTC) dedicado. Esse módulo foi desenvolvido para suprir a falta do mesmo e opera em conjunto com o protocolo NTP (NETWORK TIME FOUNDATION, 2018), porém sua precisão é dependente da temperatura do chip (NODEMCU, 2018). Para um RTC mais preciso é necessário incluir um módulo externo.

3.2.2 Sensor de Orientação Absoluta BNO055

Produzido pela Bosch, esse sensor contém acelerômetro, giroscópio, magnetômetro e termômetro (Bosch, 2018). Seu custo é um pouco mais elevado que os demais componentes, sendo encontrado por cerca de U\$35,00. O sensor foi escolhido devido a sua facilidade de uso, pois o mesmo abstrai o processo de junção e conversão dos dados fornecidos pelos sensores, permitindo seu uso direto em vetores, versores ou ângulos, de acordo com a necessidade do projeto.

A versão utilizada é produzida pela Adafruit, e é mostrada na Figura 3.4. A própria fabricante oferece uma biblioteca para uso do sensor, abstraindo as operações de baixo nível.

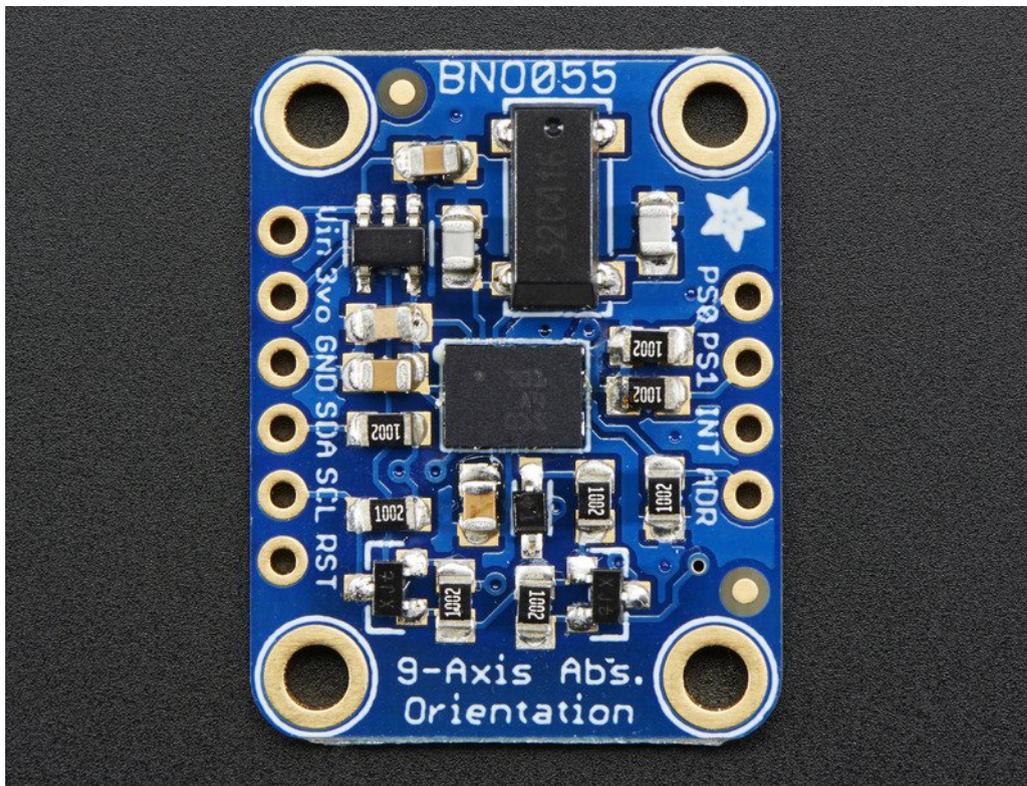


Figura 3.4: Sensor de Orientação Absoluta BNO055. Fonte: (Adafruit, 2018)

Para a comunicação com o NodeMCU, o sensor utiliza o protocolo I²C, sendo que os pinos utilizados pelo protocolo usam a nomenclatura padrão e são identificados como SCL (barramento de clock) e SDA (barramento de dados). Para alimentação do sensor, são utilizados os pinos 3V0, que é a entrada de tensão 3.3V e GND que é o pino terra. O funcionamento dos demais pinos pode ser consultado diretamente no manual do fabricante (Adafruit, 2018).

3.2.3 Regulador de Tensão HT7333

Para alimentar o protótipo foi usado uma bateria de íons de lítio padrão 18650, similar à mostrada na Figura 3.5. Em geral, essas baterias fornecem 3.7V de tensão, o que é acima da tensão necessária para alimentar o NodeMCU, que é 3.3V. Para transformar essa tensão maior na tensão necessária foi utilizado o regulador LDO (*Low-dropout regulator*) HT7333, mostrado na Figura 3.6.



Figura 3.5: Bateria de íons de lítio 18650. Fonte: (SPARKFUN, 2018)

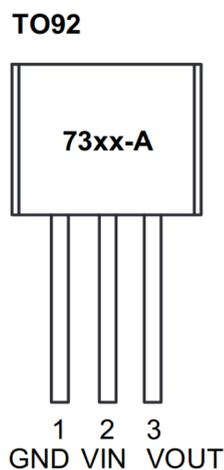


Figura 3.6: Regulador de tensão HT7333. Fonte: (Holtek, 2018)

O circuito regulador é mostrado na Figura 3.7. Segundo (Holtek, 2018), além do HT7333 é necessário utilizar dois capacitores comuns, de 10 μ F, representados no circuito como C1 e

C2, para minimizar a oscilação de corrente. Por não se tratar de um componente complexo seu preço é extremamente baixo, sendo encontrado por cerca de U\$0,05. O polo positivo da bateria deve ser conectado à entrada V_{in} e o polo negativo deve ser conectado à entrada Common. A alimentação do NodeMCU é feita conectando o pino V_{out} do circuito a entrada de tensão 3.3v da placa e o pino Common ao pino terra.

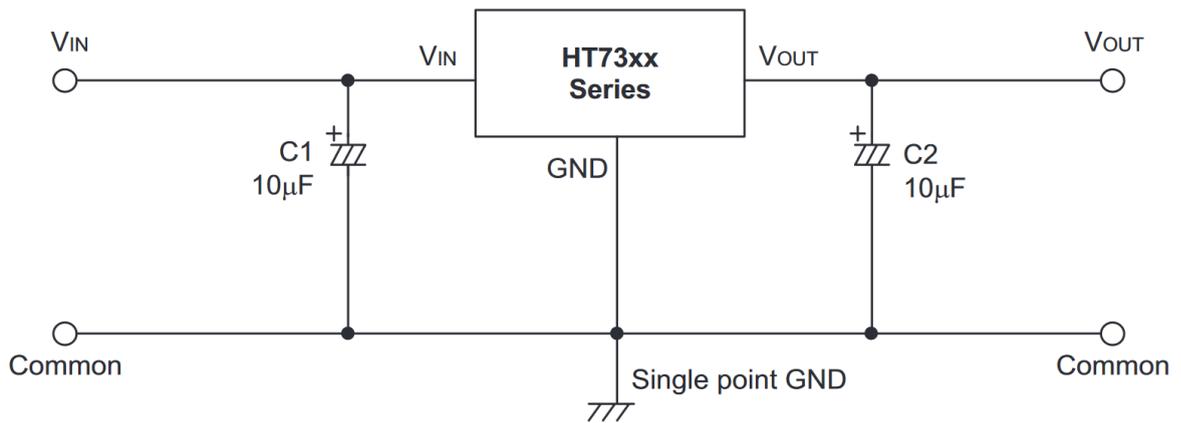


Figura 3.7: Circuito regulador de tensão utilizando o HT7333. Fonte: (Holtek, 2018)

Capítulo 4

Resultados e Discussão

Neste capítulo apresenta-se o protótipo desenvolvido para o coletor, bem como os testes que foram realizados com o mesmo. Durante os testes foi observado que o protótipo explorado não poderia ser replicado devido a variações de montagem. No decorrer do texto são feitas algumas considerações sobre este problema e algumas possíveis soluções são propostas.

4.1 O Protótipo do Coletor

A Figura 4.1 ilustra o protótipo desenvolvido com os componentes apresentados na seção 3.2.

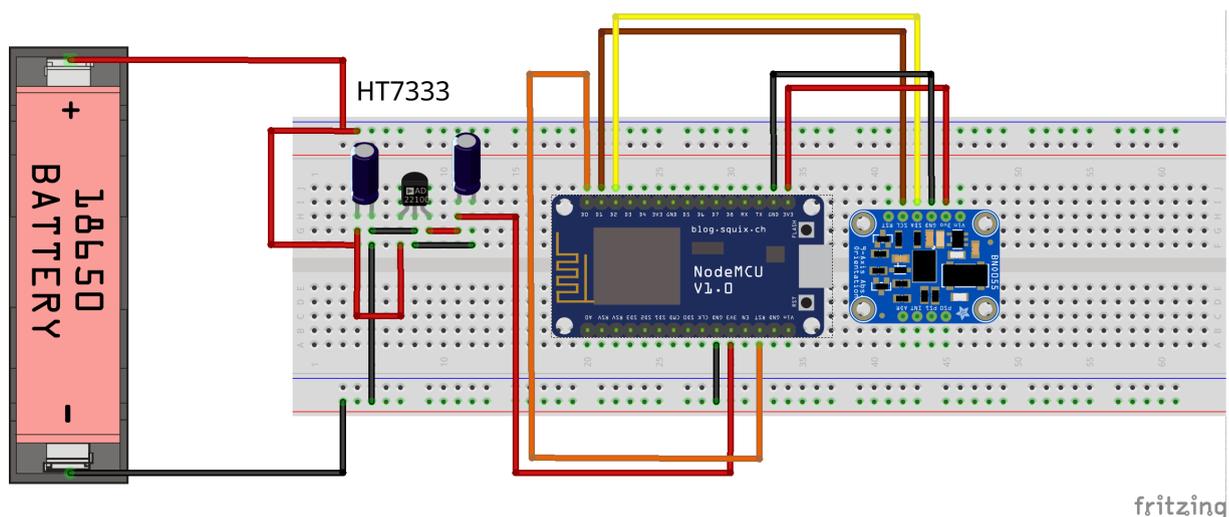


Figura 4.1: Projeto inicial do dispositivo.

Seguindo o modelo utilizado pelo dispositivo produzido pela *Tilt*, foi utilizado um cilindro, mostrado na Figura 4.2, como invólucro para os componentes eletrônicos. É importante ressaltar

que o material utilizado no invólucro não pode ser utilizado em contato com o mosto, pois a barra de metal já está oxidada.

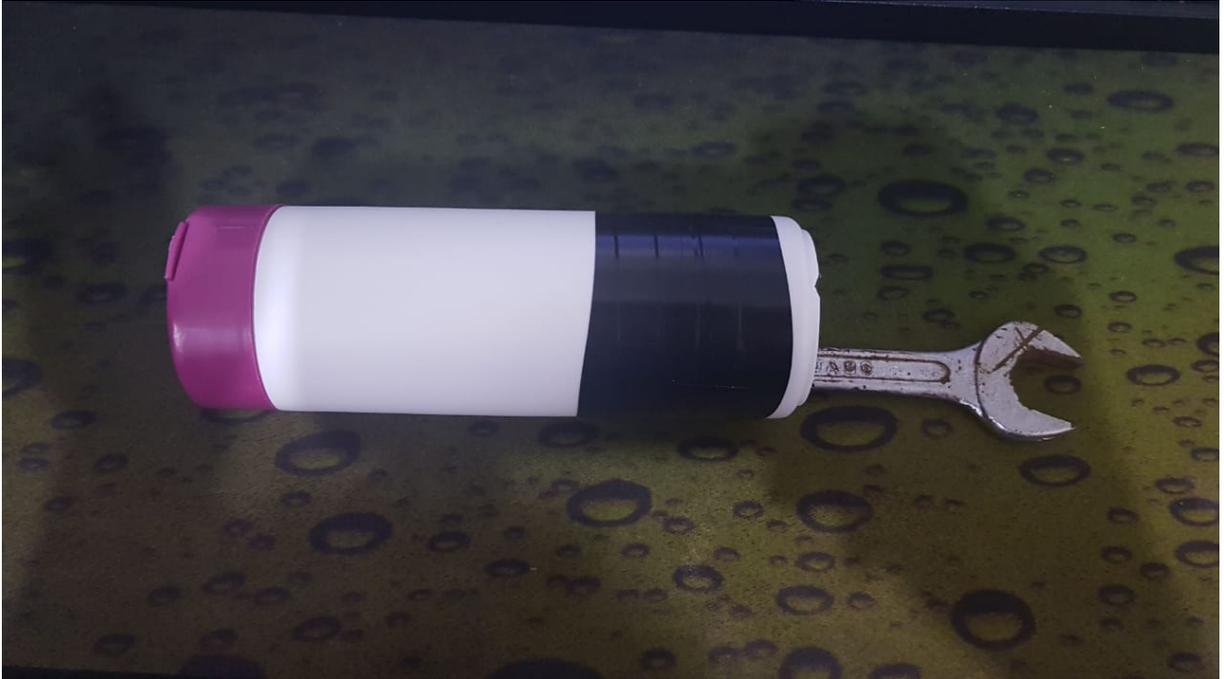


Figura 4.2: Invólucro utilizado para os componentes eletrônicos.

O acelerômetro deve ser fixado na parte interna do cilindro para evitar erros de leitura decorrentes de alterações de posição. A barra de metal vista na Figura 4.2 aumenta a densidade do cilindro, além de mover o centro de gravidade para baixo, evitando que o cilindro role enquanto flutua (WHITE, 2011). Esta propriedade é importante para evitar que os eixos do acelerômetro sejam reposicionados durante a medição, facilitando a interpretação dos dados coletados.

4.1.1 Princípio de Operação do Dispositivo

O princípio de Arquimedes diz que a força de empuxo exercida sobre um corpo imerso em um fluido é igual a massa do fluido deslocada pelo corpo. Para que um corpo flutue, é necessário que haja empuxo suficiente para suportar seu peso, isso só ocorre quando a densidade do fluido é maior que a densidade do corpo.

Caso a densidade do fluido diminua, que é o que ocorre durante a fermentação, um volume maior do fluido deve ser deslocado pelo corpo para oferecer o mesmo empuxo, logo, o corpo deve afundar mais para que esse deslocamento ocorra, o que altera sua posição de equilíbrio (WHITE, 2011).

A Figura 4.3 ilustra o princípio, os vetores \overrightarrow{GP} e \overrightarrow{EF}_E representam respectivamente as forças de gravidade e de empuxo exercidas sobre o corpo, enquanto o ponto M mostra o metacentro do mesmo. Ao variar a densidade do fluido onde o corpo está imerso, o vetor da força de empuxo se desloca, fazendo com que o corpo incline θ graus. Essa alteração é refletida nas leituras subsequentes realizadas pelo acelerômetro, permitindo calibrar o protótipo e usá-lo para monitorar o processo fermentativo.

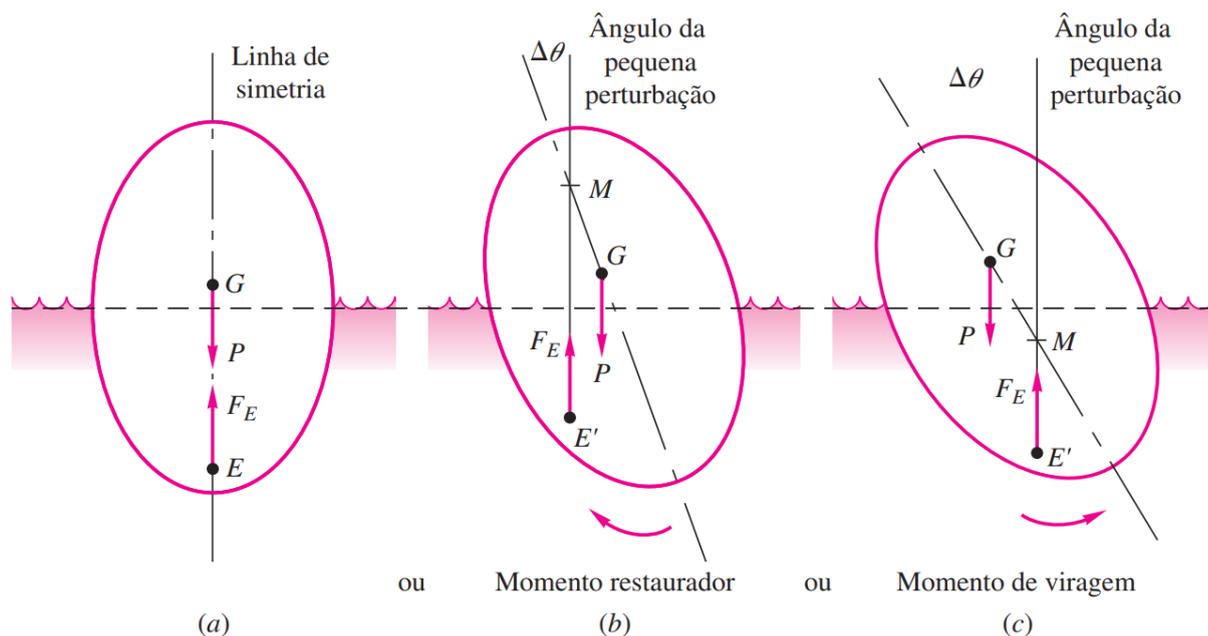


Figura 4.3: Metacentro e estabilidade. Fonte: (WHITE, 2011)

4.2 Testes Realizados

Preparou-se duas misturas com gravidades específicas diferentes, sendo elas com 1000 e 1020. Além disso, foi utilizado uma superfície plana como grupo de controle, as coletas realizadas nessa superfície estão mostradas nos gráficos com o valor flat.

A mistura com 1000 continha apenas água, enquanto a mistura de 1020 continha água e açúcar, na concentração de 50g/L. Para se certificar que a gravidade específica das misturas estava correta, ambas foram submetidas a um teste utilizando um densímetro analógico.

Os ângulos exibidos nos gráficos representam uma rotação relativa aos eixos do acelerômetro, mostrados na Figura 4.4, o sentido da rotação também é mostrado.

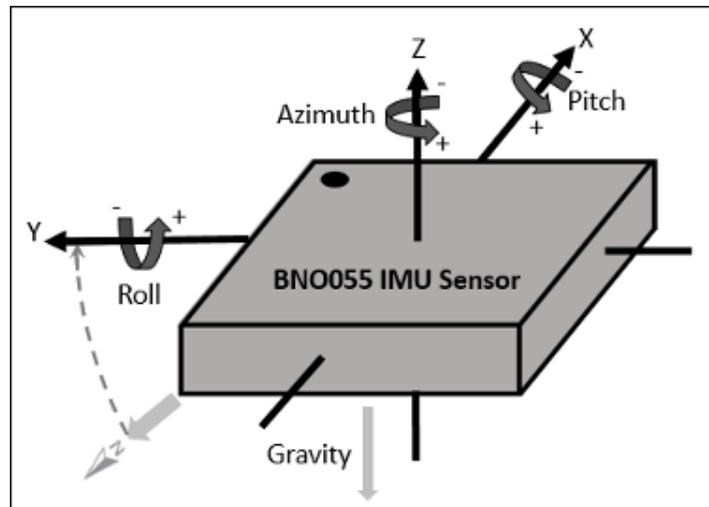


Figura 4.4: Eixos do sensor BNO055. Fonte: (The MathWorks, Inc., 2018).

Foram executadas três iterações sobre o protótipo, realizando melhorias em cada uma das etapas, esse processo está descrito nas seções a seguir.

Versão 1

A Figura 4.5 mostra o gráfico com os dados coletados no primeiro teste. O protótipo realizou uma leitura a cada dez minutos e após cada leitura o NodeMCU entrava no modo de *deep sleep*. As leituras foram executadas apenas na mistura com 1000 de gravidade específica, pois essas leituras exibiram um nível muito alto de ruído, levando a uma investigação do motivo. Ocorre que os capacitores que estavam sendo utilizados no circuito regulador de tensão eram menores do que os especificados no documento do fabricante (Holtek, 2018), o que fazia com que a corrente oscilasse, gerando um ruído no sinal lido. Foram realizadas duas correções para mitigar esse problema.

A primeira correção foi reconstruir o circuito de proteção, substituindo os capacitores por outros de maior capacidade, como especificado pelo fabricante.

A segunda correção foi alterar a forma de leitura dos dados. Inicialmente era feita apenas uma leitura e esse dado era armazenado, após a correção o dispositivo passou a realizar cinquenta leituras por coleta e armazenar a média dessas leituras, mantendo um valor por coleta, minimizando a chance desse valor ser um valor espúrio. Essas melhorias resultaram em uma nova versão do protótipo, discutida na sequência.

Orientação do protótipo ao longo das coletas

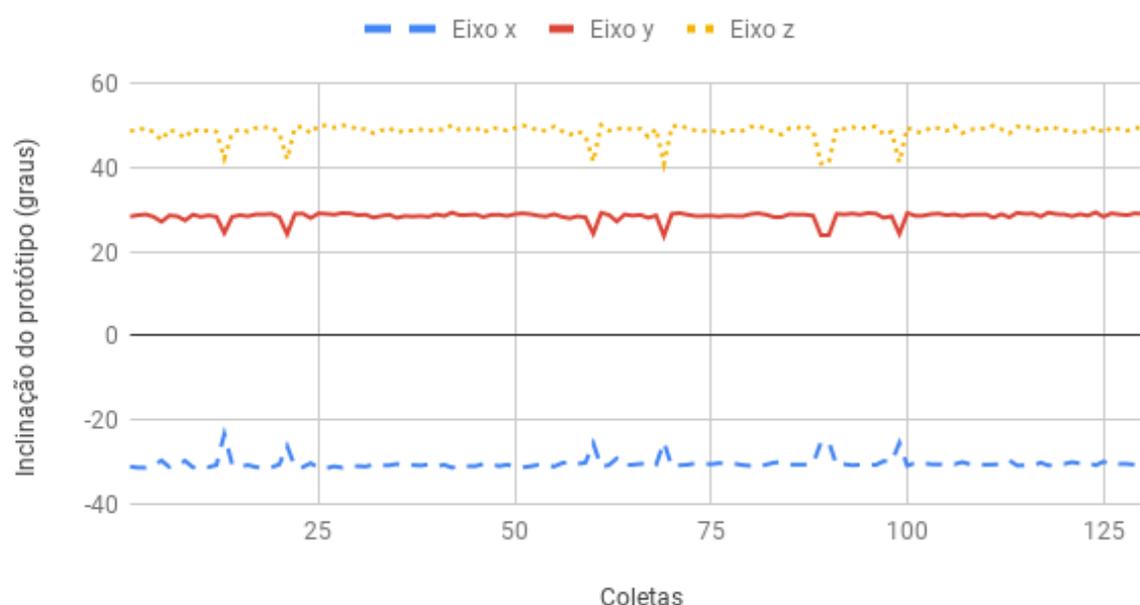


Figura 4.5: Resultados Iniciais

Versão 2

Após a correção no circuito de proteção foram realizados novos testes, cujos resultados estão mostrados nas Figuras 4.6a, 4.6b e 4.6c, para os eixos X, Y e Z respectivamente. De forma similar a Versão 1, o protótipo realizou uma leitura a cada dez minutos e após cada leitura o NodeMCU entrava no modo de *deep sleep*.

Devido a altura metacêntrica do protótipo não ser grande o suficiente, a variação de um meio para outro nos eixos X e Z foi muito pequena, sendo o eixo Y o único eixo a apresentar diferenças significativas. Porém, analisando os dados existe uma tendência de convergência dos valores, o que pode impedir a identificação da faixa de gravidade específica que está sendo medida em um processo fermentativo mais longo.

As seguintes ações corretivas foram aplicadas no protótipo para gerar a Versão 3: (a) Substituiu-se a fita isolante que fixava o acelerômetro por fita acrílica dupla face, visto que a última possui maior aderência, para evitar que o acelerômetro se movesse durante o transporte do protótipo entre os meios de leitura; (b) deslocou-se a barra de metal para baixo, fazendo com que a altura metacêntrica do protótipo aumentasse, o que fez com que o protótipo assumisse

uma posição com maior inclinação, aumentando a amplitude do deslocamento a cada variação da densidade.

Inclinação do protótipo ao longo do eixo X

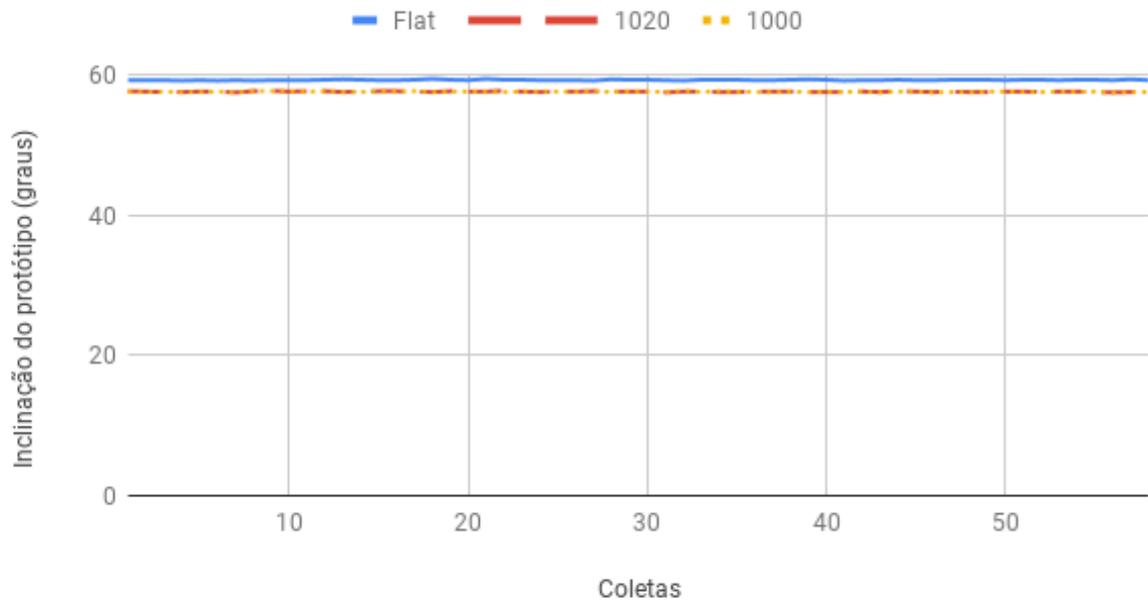


Figura 4.6a: Coletas do Eixo X na Versão 2

Inclinação do protótipo ao longo do eixo Y

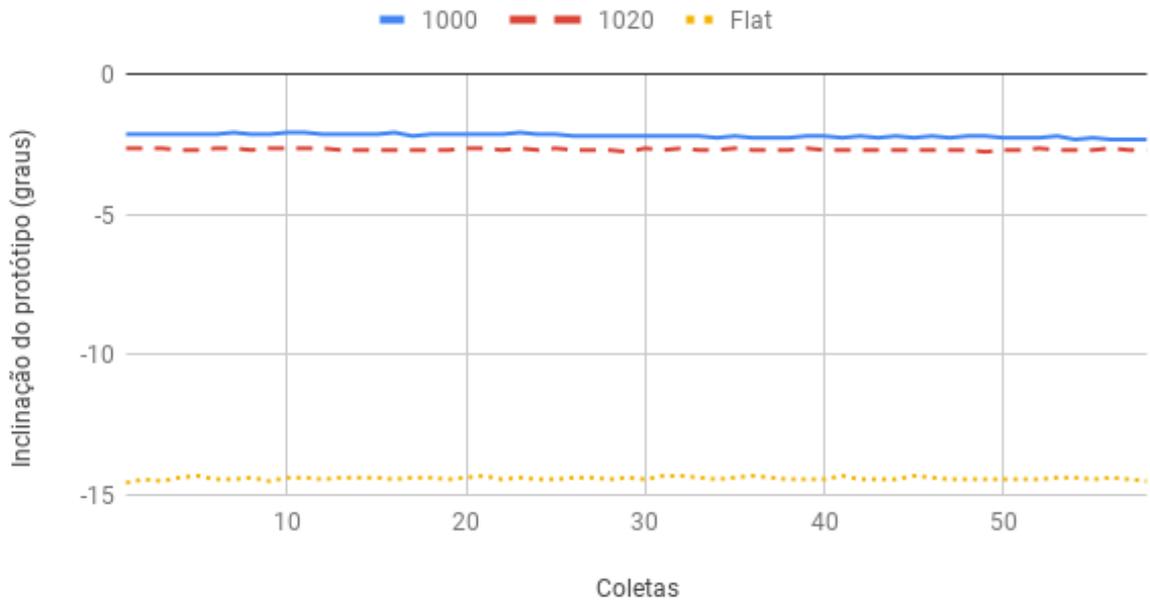


Figura 4.6b: Coletas do Eixo Y na Versão 2

Inclinação do protótipo ao longo do eixo Z

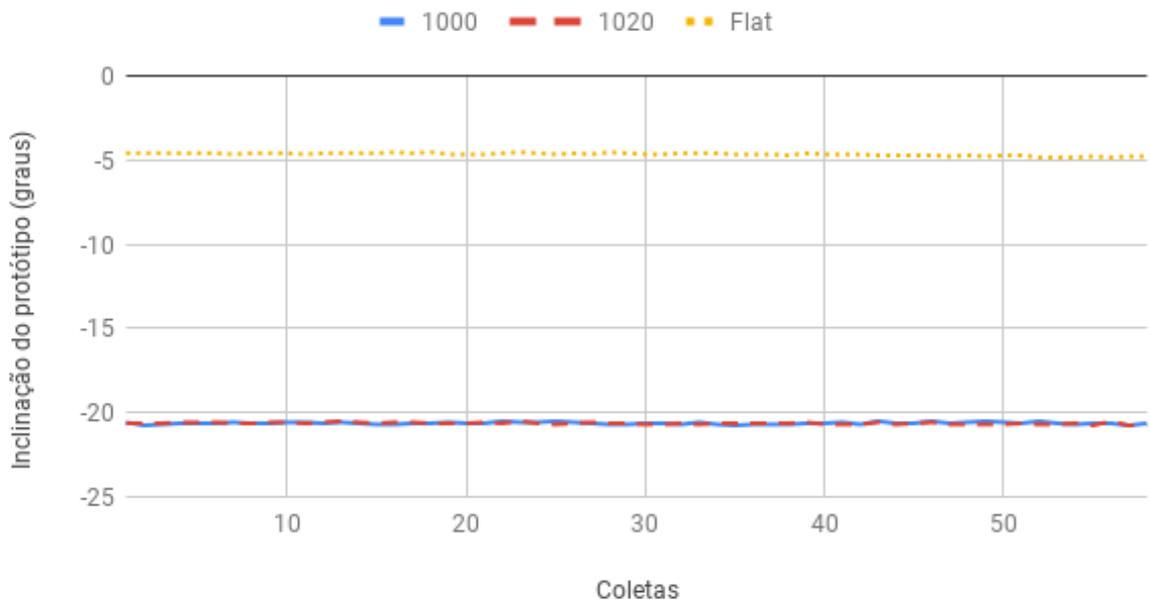


Figura 4.6c: Coletas do Eixo Z na Versão 2

Versão 3

Por fim, os resultados dos últimos testes são apresentados nas Figuras 4.7a, 4.7b e 4.7c para os eixos X, Y e Z respectivamente. Nessa etapa, para acelerar os testes as leituras foram feitas a cada cinco minutos, com o NodeMCU entrando em *deep sleep* entre elas (Apêndice A). Esses testes apresentaram resultados satisfatórios, com os dados bem espaçados em todos os eixos e com pouco desvio, validando o conceito do uso de acelerômetros para inferir densidade. Por falta de tempo não foram explorados outros modelos de protótipo, com formatos variados. É importante ressaltar que os eixos com maior variação e conseqüentemente os eixos que podem ser utilizados para inferir a densidade dependem da posição do acelerômetro na montagem do protótipo. A Tabela 4.1 mostra os valores médios lidos para cada eixo por meio e a diferença entre eles.

Eixo	Meio		Diferença
	1000	1020	
Eixo X	51.16493056°	49.265625°	1.899305556°
Eixo Y	-29.47222222°	-30.140625°	0.6684027778°
Eixo Z	43.54166667°	45.21875°	-1.677083333°

Tabela 4.1: Valores médios das leituras para cada meio

No decorrer destes testes foi observado que, cada vez que era necessário alterar algo no protótipo, ou mesmo carregar a bateria utilizada pelo mesmo, os valores lidos para cada meio tornavam-se diferentes. Este comportamento foi investigado e descobriu-se que o protótipo utilizado nos testes era muito difícil de ser replicado, não sendo possível quantificar em qual eixo a alteração ocorre quando a densidade do meio muda, pois qualquer alteração mínima realizada sobre o protótipo pode interferir no centro de gravidade, que por sua vez interfere no ângulo de equilíbrio do protótipo.

Outro problema identificado foi em relação a manutenção do protótipo, pois era necessário desafixar o acelerômetro para que fosse possível retirar qualquer outro componente, o que reposicionava os eixos do acelerômetro, o que dificultava a fixação do acelerômetro exatamente na mesma posição.

Uma possível solução para o problema do posicionamento do acelerômetro seria imprimir um suporte para o protótipo, que permitisse manter os componentes na mesma posição, fa-

zendo com que os centros de gravidade e de carena não fossem alterados, mantendo a altura metacêntrica constante.

Inclinação do protótipo ao longo do eixo X

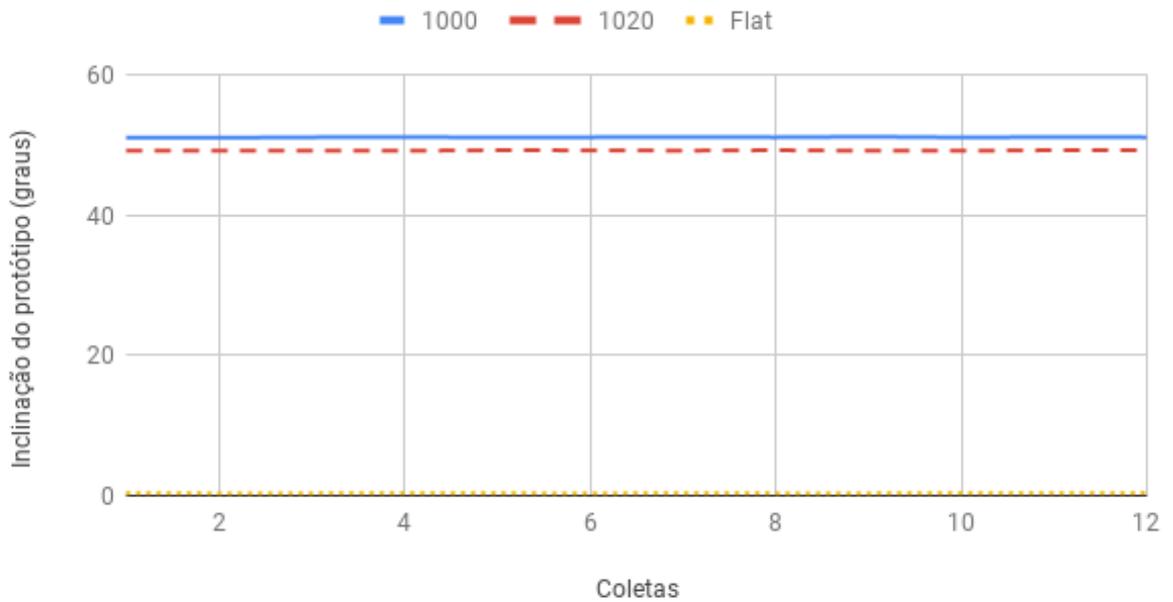


Figura 4.7a: Coletas do Eixo X na Versão 3

Inclinação do protótipo ao longo do eixo Y

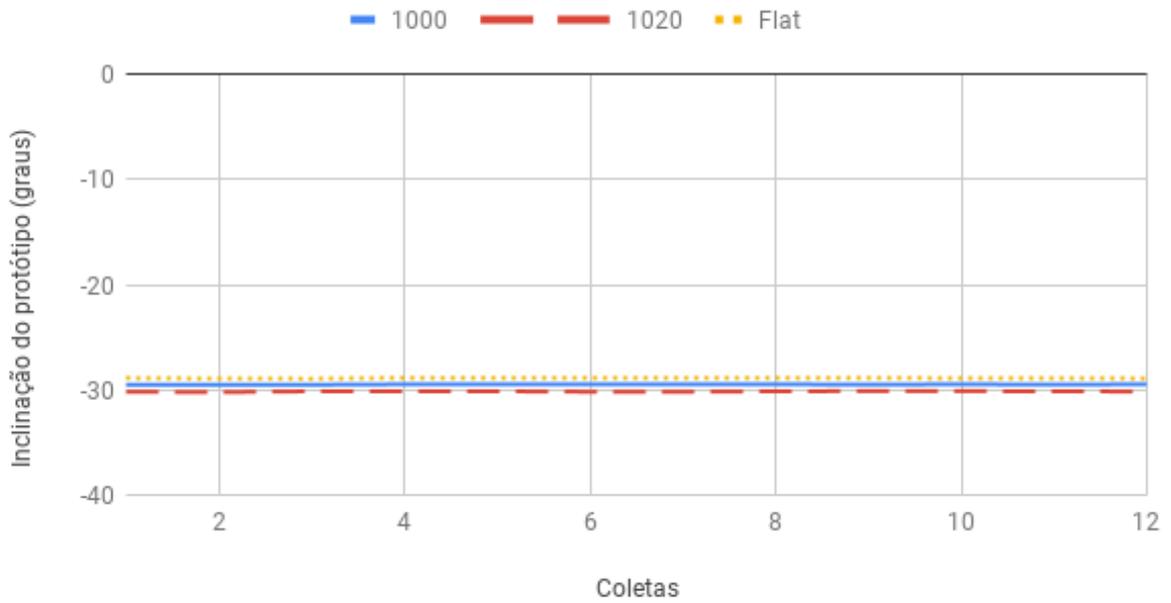


Figura 4.7b: Coletas do Eixo Y na Versão 3

Inclinação do protótipo ao longo do eixo Z

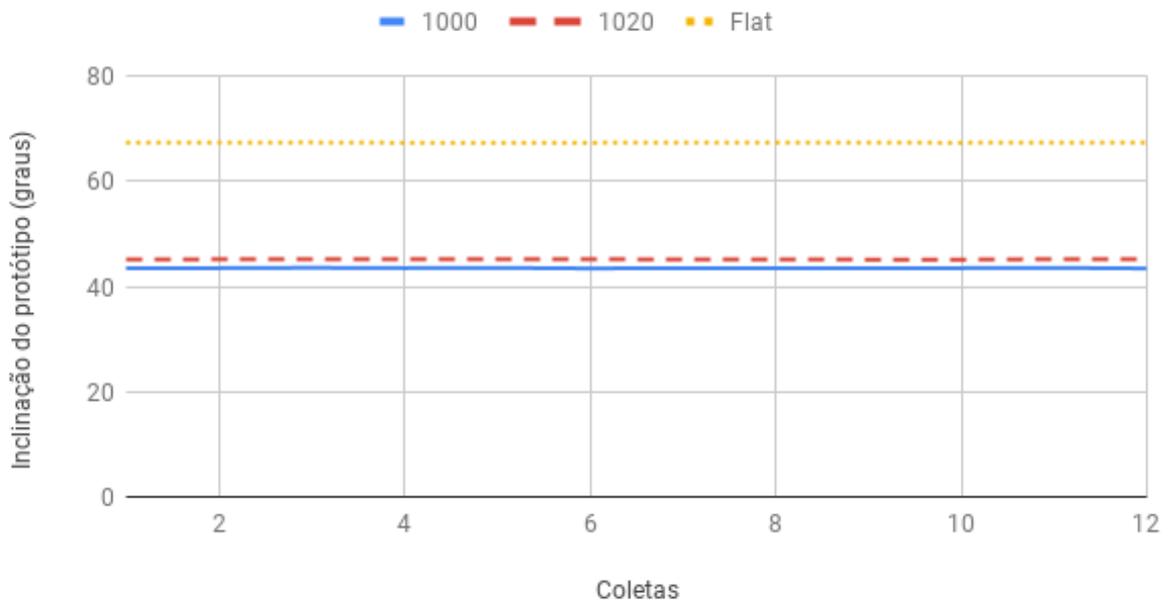


Figura 4.7c: Coletas do Eixo Z na Versão 3

Capítulo 5

Considerações Finais

O mercado da cerveja é um dos maiores do mundo, movimentando bilhões todos os anos. Os cervejeiros caseiros, também chamados de *homebrewers*, fazem parte desse mercado, sendo um dos segmentos que mais crescem, porém, mesmo com todo esse potencial, o mercado de automação ainda não fornece muitas soluções voltadas para esse segmento.

Neste trabalho foi realizado um estudo buscando validar o uso de acelerômetros para medir a gravidade específica de uma mistura de forma que viabilizasse a construção de um dispositivo de baixo custo para preencher a lacuna da automação no segmento de *homebrewers*. Os testes foram realizados utilizando-se duas misturas com gravidades específicas diferentes, ambas à base de água, sendo a primeira composta por água pura e a segunda composta por uma solução de água e açúcar na concentração de 50g/l, além de uma superfície plana como grupo de controle.

Os testes apresentam os problemas encontrados com relação ao ruído de sinal e de que forma eles foram resolvidos. Os resultados mostram a viabilidade da utilização de acelerômetros para monitorar a fermentação de uma mistura.

Muito embora o princípio apresentado tenha sido validado com sucesso, algumas complicações na forma de montagem do protótipo o tornam difícil de reproduzir, inviabilizando os testes de precisão, visto que o centro de gravidade do protótipo e a posição do acelerômetro podem variar, o que gera alterações nos dados coletados, descartando qualquer calibração que seja realizada.

5.1 Trabalhos Futuros

Como mostrado nos testes, a forma de montagem do protótipo influencia diretamente nos dados coletados pelo mesmo. Uma possível solução para o problema de montagem seria desenvolver um suporte que sempre manterá o acelerômetro na mesma posição relativa ao centro de gravidade do protótipo.

Outro possível ponto de melhoria seria explorar mais a fundo o kit de desenvolvimento NodeMCU, avaliando a possibilidade de substituir o NodeMCU pelo ESP-01, visto que esse último consome menos energia.

Por fim, sugere-se avaliar a substituição do sensor BNO055(Adafruit, 2018) por um sensor de custo menor, considerando que este é o item de maior valor no protótipo.

Apêndice A

Algoritmo utilizado pelo NodeMCU para realizar as leituras

O Algoritmo A.1 lê os dados do acelerômetro contido no BNO055 e envia para a API do ThingSpeak.

```
1 #include <Wire.h>
2 #include <Adafruit_Sensor.h>
3 #include <Adafruit_BNO055.h>
4 #include <utility/imuMaths.h>
5 #include <ESP8266WiFi.h>
6
7 // Trocar pelo nome da sua rede wifi
8 const char* SSID = "{WiFi SSID}";
9 // Trocar pela senha da sua rede wifi
10 const char* PASSWORD = "{WiFi Password}";
11
12 // Tempo pelo qual o ESP ficara em deepSleep
13 long sleepTimeSeconds = 300;
14 // Endereco da API do ThingSpeak
15 char thingSpeakAddress[] = "api.thingspeak.com";
16 // Trocar pela sua propria chave
17 String writeAPIKey="{Thingspeak API Key}";
18 // Modulo WiFi para enviar os dados
19 WiFiClient client;
20 // Numero de campos que devem ser enviados ao ThingSpeak
21 int numFields = 4;
22
23 /* This driver reads raw data from the BNO055
24
25 Connections
26 =====
27 Connect SCL to analog 5
28 Connect SDA to analog 4
29 Connect VDD to 3.3V DC
30 Connect GROUND to common ground
31
32 History
33 =====
```

```

34     2015/MAR/03 – First release (KTOWN)
35 */
36
37 /* Set the delay between fresh samples */
38 #define BNO055_SAMPLERATE_DELAY_MS (1000)
39
40 Adafruit_BNO055 bno = Adafruit_BNO055();
41
42 /******
43 /*
44     Arduino setup function (automatically called at startup)
45 */
46 /******
47
48 void reconnectWiFi()
49 {
50     if(WiFi.status() == WL_CONNECTED)
51         return;
52
53     WiFi.begin(SSID, PASSWORD);
54
55     while(WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
56         delay(100);
57         Serial.print(".");
58     }
59
60     Serial.println();
61     Serial.print("Conectado com sucesso na rede: ");
62     Serial.println(SSID);
63     Serial.print("IP obtido: ");
64     Serial.println(WiFi.localIP());
65 }
66
67 void initWiFi()
68 {
69     delay(10);
70     Serial.print("Conectando-se na rede: ");
71     Serial.println(SSID);
72     Serial.println("Aguarde");
73
74     reconnectWiFi();
75 }
76
77
78
79
80 void setup(void)
81 {
82     Serial.begin(115200);
83     Serial.println("Orientation Sensor Raw Data Test"); Serial.println("");
84
85     // Initialise the sensor
86     if(!bno.begin())
87     {
88         // There was a problem detecting the BNO055... check your connections

```

```

89     Serial.print("No BNO055 detected ... Check your wiring or I2C ADDR!");
90     while(1);
91 }
92
93 initWiFi();
94
95 delay(1000);
96
97 // Display the current temperature
98 int8_t temp = bno.getTemp();
99 Serial.print("Current Temperature: ");
100 Serial.print(temp);
101 Serial.println(" C");
102 Serial.println("");
103
104 bno.setExtCrystalUse(true);
105
106 Serial.println("Calibration status values:" +
107               "0=uncalibrated, 3=fully calibrated");
108 }
109
110 /* *****
111 /*
112     Arduino loop function, called once 'setup' is complete
113     (your own code should go here)
114
115 /* *****
116 void loop(void)
117 {
118
119     // Possible vector values can be:
120     // - VECTOR_ACCELEROMETER - m/s^2
121     // - VECTOR_MAGNETOMETER - uT
122     // - VECTOR_GYROSCOPE - rad/s
123     // - VECTOR_EULER - degrees
124     // - VECTOR_LINEARACCEL - m/s^2
125     // - VECTOR_GRAVITY - m/s^2
126
127     int n = 50; // Numero de leituras
128     uint8_t systemCal, accCal, gyroCal, magCal;
129
130     bno.getCalibration(&systemCal, &accCal, &gyroCal, &magCal);
131
132     while(!(accCal > 1 || systemCal > 2)){
133         Serial.print("calibrating acc=");
134         Serial.print(accCal);
135         Serial.println(" gyro=" +String(gyroCal) +
136                       " mag=" + String(magCal) +
137                       " sys=" + String(systemCal));
138         delay(100);
139         bno.getCalibration(&systemCal, &accCal, &gyroCal, &magCal);
140     }
141     double x,y,z;
142
143     // Warmup

```

```

144   for(int i = 0; i < 10; i++){
145       imu::Vector<3> euler = bno.getVector(VECTOR_ACCELEROMETER);
146       x += euler.x();
147       y += euler.y();
148       z += euler.z();
149   }
150
151
152   // Leituras reais
153   for(int i = 0; i < n; i++){
154       imu::Vector<3> euler = bno.getVector(VECTOR_ACCELEROMETER);
155       x += euler.x();
156       y += euler.y();
157       z += euler.z();
158   }
159
160   x = x/n;
161   y = y/n;
162   z = z/n;
163   String data[ 8 ];
164
165   data[1] = x;
166   data[2] = y;
167   data[3] = z;
168   data[4] = bno.getTemp();
169
170   /* Display the floating point data */
171   Serial.print("X: ");
172   Serial.print(x);
173   Serial.print(" Y: ");
174   Serial.print(y);
175   Serial.print(" Z: ");
176   Serial.print(z);
177   Serial.println("\t\t");
178
179   HTTPPost( data );
180   delay( 1000 );
181   Serial.println( "Goodnight" );
182
183   // Conversao para milisegundos
184   ESP.deepSleep( sleepTimeSeconds * 1000000 );
185
186 }
187
188 // This function builds the data string for posting to ThingSpeak and
189 // provides the correct format for the wifi client to communicate with
190 // ThingSpeak.
191 // It will post "numFields" worth of data entries, and take the data
192 // from the fieldData parameter passed to it.
193 // Be sure to increase numFields to the number of fields you need, and
194 // activate the fields in your channel view.
195
196 int HTTPPost( String fieldData []){
197
198     if ( client.connect( thingSpeakAddress , 80 )){

```

```

199
200 // Build the Posting data string.
201 // If you have multiple fields , make sure the string
202 // does not exceed 1440 characters .
203 String PostData= "api_key=" + writeAPIKey ;
204
205 for ( int field = 1; field <= numFields; field++ ){
206     PostData += "&field" + String(field) + "=" + fieldData[field];
207 }
208
209 // POST data via HTTP
210 Serial.println( "Connecting to ThingSpeak for update ..." );
211 Serial.println();
212 client.println( "POST /update HTTP/1.1" );
213 client.println( "Host: api.thingspeak.com" );
214 client.println( "Connection: close" );
215 client.println( "Content-Type: application/x-www-form-urlencoded" );
216 client.println( "Content-Length: " + String( PostData.length() ) );
217 client.println();
218 client.println( PostData );
219 Serial.println( PostData );
220 client.stop();
221 }
222 }

```

Algoritmo A.1: Algoritmo utilizado pelo NodeMCU para ler os valores do BNO055

Referências Bibliográficas

Adafruit. *Adafruit BNO055 Absolute Orientation Sensor*. 2018. Disponível em: <<https://learn.adafruit.com/adafruit-bno055-absolute-orientation-sensor>>. Acesso em: 28/10/2018.

ARDUINO. *Wire Library*. 2018. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Reference/Wire>>. Acesso em: 28/10/2018.

Baron Brew Equipment. *Free Floating Tilt Hydrometer*. 2016. US Patent 9, 234, 828. Disponível em: <<https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=US107404595>>. Acesso em: 28/10/2018.

BARON, S. (Ed.). *Medical Microbiology. 4th Edition*. University of Texas Medical Branch at Galveston., 1996. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK7627/>>. Acesso em: 7/12/2018.

Bosch. *BNO055 Intelligent 9-axis absolute orientation sensor*. [S.l.], 2018. Disponível em: <https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST_BNO055_DS000_14.pdf>. Acesso em: 28/10/2018.

BRASIL. *DECRETO Nº 6.871, DE 4 DE JUNHO DE 2009*. 2009. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6871.htm>. Acesso em: 28/10/2018.

Brew Perfect. *Brew Perfect™ WiFi Digital Hydrometer*. 2018. Disponível em: <<https://www.brewperfect.com/product/brew-perfect-wifi-digital-hydrometer/>>. Acesso em: 28/10/2018.

Holtek. *HT73xx Series Low Power Consumption LDO*. [S.l.], 2018. Rev. 1.60. Disponível em: <<http://www.holtek.com/documents/10179/116711/HT73xxv160.pdf>>. Acesso em: 28/10/2018.

HUGHES, G. *Cerveja feita em casa*. 1. ed. São Paulo, SP, Brasil: Publifolha, 2014. ISBN 978-85-7914-533-9.

IBM. *Getting to know NodeMCU and its DEVKIT board*. 2018. Disponível em: <<https://developer.ibm.com/tutorials/iot-nodemcu-open-why-use/>>. Acesso em: 28/10/2018.

MADIGAN, M. *Brock Biology of Microorganisms*. [S.l.]: Pearson/Benjamin Cummings, 1996.

MORADO, R. *Larousse da cerveja*. 1. ed. São Paulo, SP, Brasil: Larousse do Brasil, 2009. ISBN 978-85-7635-394-2.

NETWORK TIME FOUNDATION. *NTP: The Network Time Protocol*. [S.l.], 2018. Disponível em: <<http://www.ntp.org/>>. Acesso em: 28/10/2018.

NODEMCU. *NodeMCU Development Kit*. 2018. Disponível em: <http://nodemcu.com/index_en.html#fr_54747661d775ef1a3600009e>.

NXP Semiconductors. *I²C-bus specification and user manual*. 2014. Rev. 6. Disponível em: <<https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf>>. Acesso em: 28/10/2018.

PALMER, J. *How to Brew: Everything You Need to Know to Brew Beer Right the First Time*. [S.l.]: Brewers Publications, 2006. ISBN 978-09-3738-1885.

RASPBERRY PI. *Raspberry Pi — Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi*. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/>>. Acesso em: 28/10/2018.

SAKAMOTO, K.; KONINGS, W. N. Beer spoilage bacteria and hop resistance. *International Journal of Food Microbiology*, v. 89, n. 2, p. 105 – 124, 2003. ISSN 0168-1605. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160503001533>>. Acesso em: 28/10/2018.

SPARKFUN. *Lithium Ion Battery - 18650 Cell (2600mAh)*. 2018. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/products/12895>>. Acesso em: 28/10/2018.

STANFORD GRADUATE SCHOOL OF BUSINESS. *The Rise of the Mighty Microbrew*. 2002. Disponível em: <<https://www.gsb.stanford.edu/insights/rise-mighty-microbrew>>. Acesso em: 25/07/2018.

THE BLUETOOTH SIG. *Bluetooth Core Specifications*. [S.l.], 2016. Rev. 5. Disponível em: <<https://www.bluetooth.com/specifications/bluetooth-core-specification>>. Acesso em: 28/10/2018.

The MathWorks, Inc. *BNO055 IMU Sensor*. 2018. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/help/supportpkg/arduino/ref/bno055imusensor.html>>. Acesso em: 28/10/2018.

Tilt. *BrewTilt™ Hydrometer and Thermometer*. 2018. Disponível em: <<https://tilthydrometer.com/>>. Acesso em: 28/10/2018.

WHITE, F. *Fluid Mechanics*. [S.l.]: McGraw Hill, 2011. (McGraw-Hill series in mechanical engineering). ISBN 9780073529349.

Wikimedia Commons. *Cross-section drawing of a hop cone*. 2008. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cross-section_of_hop_cone.svg>. Acesso em: 28/10/2018.

Wikimedia Commons. *NodeMCU development board version 1.0 for NodeMCU Firmware*. 2015. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NodeMCU_DEVKIT_1.0.jpg>. Acesso em: 28/10/2018.

ZION MARKET RESEARCH. *Beer Market by Product (Light Beer and Strong Beer), by Production (Micro Breweries and Macro Breweries), by Category (Premium, Super Premium and Normal) and by Packaging (Canned, Bottled and Draught): Global Industry Perspective, Comprehensive Analysis and Forecast, 2016 – 2022*. 2017. Disponível em: <<https://www.zionmarketresearch.com/market-analysis/beer-market>>. Acesso em: 25/07/2018.