

UNIVERSIDADE FERAL DE ALFENAS

ANGELO MELARI GARCIA SELIN

**PROJETO DE *SPINDLE* PARA MONITORAMENTO DE FERMENTAÇÃO
ALCOÓLICA DE BEBIDAS**

Poços de Caldas/MG

2023

Angelo Melari Garcia Selin

**PROJETO DE *SPINDLE* PARA MONITORAMENTO DE FERMENTAÇÃO
ALCOÓLICA DE BEBIDAS**

Trabalho de Conclusão de Curso, como parte dos requisitos para conclusão do curso de Engenharia Química pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Instituto de Ciência e Tecnologia.

Orientadores: Prof. Dr. Marlus Pinheiro Rolemberg.

Coorientador: Prof. Dr. Laos Alexandre Hirano

Poços de Caldas – MG

2023

Angelo Melari Garcia Selin

**PROJETO DE SPINDLE PARA MONITORAMENTO DE FERMENTAÇÃO
ALCOÓLICA DE BEBIDAS**

A Banca examinadora abaixo-assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para conclusão do curso de Engenharia Química na Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Instituto de Ciência e Tecnologia.

Aprovada em: 13 de Fevereiro de 2023

Prof.

Instituição:

Assinatura

Prof.

Instituição:

Assinatura

Prof.

Instituição:

Assinatura

AGRADECIMENTOS

Uma longa jornada até aqui. Foram greves, pandemias e copas do mundo para, enfim, chegar à graduação em Engenharia Química. Se não fosse pelas condições que meus pais me concederam, esse objetivo seria incrivelmente mais difícil de se alcançar. Por isso, gostaria de agradecê-los por toda confiança depositada em mim e todo apoio fornecido até aqui.

Ao olhar para trás, vejo toda transformação durante esse percurso. Foram muitas madrugadas, finais de semana e alguns fios de cabelos a menos que me fizeram amadurecer. E é por todo amadurecimento e conhecimento adquirido que gostaria de agradecer todos os meus professores, principalmente ao Laos e ao Marlus que toparam entrar nesse projeto comigo.

Também não poderia deixar de agradecer ao PET Ciência, grupo que tenho muito carinho e que carregarei no peito pelo resto da vida. Afinal, se não fosse por eles, seria mais difícil conseguir meu primeiro estágio.

E é claro, a toda minha segunda família formada em Poços de Caldas, todos os amigos que estiveram ao meu lado desde o começo dessa caminhada. E, principalmente, a minha namorada que esteve presente nos altos e baixos, ouviu todas as lamentações e permanece junto comigo até aqui.

Muito obrigado!!!

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um protótipo a baixo custo capaz de monitorar o processo fermentativo através da densidade de uma solução de forma remota. Nessa pesquisa, foram utilizados um Arduino Nano, um sensor MPU6050 e um módulo nRF24L0+ visto que possuíam características adequadas ao projeto. A justificativa para esse estudo se dá pelo fato de que cervejeiros de Poços de Caldas – MG sentem a necessidade de se ter um método alternativo para se monitorar a fermentação, podendo monitorá-la de modo contínuo e sem a necessidade de retirada de amostras. Com o intuito de se alcançar as devidas necessidades dos produtores, foram realizadas três etapas de verificações: caracterização dos módulos, caracterização do *spindle* e validação da metodologia. Analisando os testes realizados, atingiu-se bons resultados para os sensores separadamente, garantindo que possuem potencial para serem utilizados como densímetro. No entanto, quando integrados ao *spindle*, algumas dificuldades aparecem, necessitando de ajustes para minimizar o consumo de energia, padronizar a tendência de flutuabilidade e alcançar os melhores resultados nas extremidades de calibração.

Palavras-chave: Concentração alcoólica; Fermentação alcoólica; Arduino; Densímetro.

ABSTRACT

In this research, it has developed a low-cost prototype capable to monitor the fermentation process through the density of a solution with a remote mode. In this study, an Arduino Nano, an MPU6050 sensor and an nRF24L0+ module were used because they had adequate characteristics for the project. The justification for this study is given by the fact that brewers from Poços de Caldas - MG feel the need to have an alternative method to monitor fermentation. For that, it would be necessary to monitor it continuously and without the need to take samples. To meet the producers' needs, three stages of verification were carried out: characterization of the modules, characterization of the spindle and validation of the methodology. Analyzing the tests carried out, good results were achieved for the sensors separately, ensuring that they have the potential to be used as a densimeter. However, when integrated into the spindle, some difficulties appear. This requires adjustments to minimize energy consumption, to meet buoyancy trend patterns and to achieve better results at the calibration ends.

Keywords: Alcohol concentration; Alcohol fermentation; Arduino; Densimeter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Picnômetro	15
Figura 2 - Densímetro com princípio embasado na flutuabilidade.....	16
Figura 3 - Refratômetro	17
Figura 4 - Spindle desenvolvido por Vasconcelos (2019)	18
Figura 5 - Arduino UNO.....	19
Figura 6 - Arduino NANO	19
Figura 7 - Sensor MPU6050.....	20
Figura 8 - Módulo nRF24L01+	20
Figura 9 - Ilustração do nRF24L01+ no modo de recepção	21
Figura 10 - Esquema de ligações para conexão do MPU6050	23
Figura 11 - Diagrama de Blocos para funcionamento do sensor MPU6050.....	24
Figura 12 - Gabarito para calibração do sensor de ângulo	25
Figura 13 - Esquema para comunicação remota (Transmissão de dados)	26
Figura 14 - Esquema para comunicação remota (Recepção de dados)	27
Figura 15 - Diagrama de blocos para transmissão de dados através do sensor nRF24L01+	28
Figura 16 - Diagrama de blocos para recepção de dados através do sensor nRF24L01+	29
Figura 17 - Esquema de ligações entre todos os elementos integrados	30
Figura 18 - Dimensões do spindle com o encapsulamento.....	31
Figura 19 - Validação dos resultados para Solução Alcoólica de 4,2%.....	39
Figura 20 - Validação dos resultados para Solução Alcoólica de 11,0%.....	39
Figura 21 - Validação dos resultados para Solução Alcoólica de 39,0%.....	40
Figura 22 - Validação de dados para Cerveja (4,2%).....	41
Figura 23 - Validação de dados para Vinho (11,0%)	41
Figura 24 - Validação dos resultados para Cachaça (39,0%)	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de bebidas e suas respectivas concentrações alcoólicas.....	13
Tabela 2 – Custos dos equipamentos utilizados na construção do densímetro	22
Tabela 3 - Resultados para calibração do spindle (Configuração A1).....	36
Tabela 4 - Resultados para calibração do densímetro (Configuração A2)	37
Tabela 5 - Validação dos resultados para soluções preparadas em bancada .	38
Tabela 6 - Validação dos resultados para produtos comerciais	38

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVOS.....	12
1.1.1. Objetivo geral	12
1.1.2. Objetivos específicos	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1. CONCENTRAÇÃO DE ÁLCOOL E AS CLASSES DAS BEBIDAS ALCOÓLICAS.....	12
3.2. EQUIPAMENTOS PARA MEDIÇÃO DO TEOR ALCOÓLICO.....	14
3.2.1. Picnômetro	14
3.2.2. Alcoômetro	15
3.2.3. Refratômetro	16
3.3. MEDIDA DE DENSIDADE UTILIZANDO <i>SPINDLE</i>	17
3.4. PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM <i>SPINDLE</i>	18
3.4.1. Microcontrolador	18
3.4.2. Acelerômetro	19
3.4.3. Antena de comunicação	20
4. METODOLOGIA	21
4.1. MATERIAIS.....	21
4.2. MÉTODOS.....	22
4.2.1. Sistema de medição de ângulo	22
4.2.2. Sistema de transmissão e recepção de dados	26
4.2.3. <i>Spindle</i>	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5.1. CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE ÂNGULO.....	33
5.2. CARACTERIZAÇÃO DO SENSOR NRF24L0+.....	34
5.3. CARACTERIZAÇÃO E CALIBRAÇÃO DO <i>SPINDLE</i>	35

5.4. VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA	38
6. CONCLUSÃO	42
7. SUGESTÕES.....	43
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	45
APÊNDICE A: DESCRIÇÃO DOS CÓDIGOS UTILIZADOS.....	48
A.1. Calibração do Sensor MPU6050.....	48
A.2. Calibração sensor nRF24L01+ como transmissor	50
A.3. Calibração do sensor nRF24L01+ como receptor.....	51
A.4. Código para funcionamento do <i>Spindle</i>	52
A.5. Código para recepção de dados enviados pelo <i>Spindle</i>	54

1. INTRODUÇÃO

A indústria de bebidas no Brasil representa cerca de 1,3% da receita líquida de vendas dos produtos fabricados nas principais empresas do país. Dentre as principais classes desse produto (Destilados, Vinho e Cerveja), a produção cervejeira aparece como detentora de 83,8% dessa receita (IBGE, 2020).

O processo de fabricação de bebidas alcoólicas, sejam fermentadas ou destiladas, baseiam-se em transformar carboidrato em álcool e alguns adjuntos. De um modo geral, as bebidas fermentadas passam pelo preparo da matéria-prima, seguindo-se para extração do substrato, fermentação e subsequente maturação (D. Junior, 2009).

De modo semelhante, a bebida destilada passará pelas mesmas etapas, porém será adicionado um processo após a fermentação, que consiste na volatilização pelo aquecimento, seguido de condensação com o objetivo de obter um produto mais puro e de maior teor alcoólico (PINHEIRO, 2017).

Como qualquer outro processo de produção, a fabricação de bebidas alcoólicas também possui suas dificuldades. Dentre elas, principalmente nas bebidas fermentadas, existem a contaminação provenientes da matéria-prima, deterioração a partir da oxidação e da velocidade de ação das leveduras durante a fermentação (D. Junior, 2009).

Não somente a velocidade de ação das leveduras, mas monitorar o processo fermentativo também se enquadra como uma dificuldade, conforme evidenciado por produtores locais de cerveja em Poços de Caldas – MG. Para tanto é necessário se medir diariamente a concentração de álcool para acompanhamento da fermentação. Além disso, o monitoramento se faz necessário para garantir e padronizar a qualidade do produto.

Algumas técnicas analíticas podem ser utilizadas no monitoramento da concentração do álcool como, por exemplo, o picnômetro, o alcoômetro e o refratômetro. Sendo essas, maneiras comuns de se acompanhar a evolução alcoólica durante o processo fermentativo dentro de cervejarias de pequeno e médio porte.

No entanto, essas análises são realizadas em períodos determinados. Ou seja, cada operador é capaz de realizar uma única verificação por vez e em

espaços de tempo relativamente longos, inviabilizando a detecção de anomalias entre uma análise e outra. Além de possibilitar a contaminação do produto por necessidade de retirada dessas amostras. Caracterizando, desta forma, a principal limitação dos métodos apresentados.

Dentro desse cenário e, embasando-se no “Projeto de densímetro digital para a produção artesanal de cerveja”, escrito por Vasconcelos (2019), foi proposto a construção de um protótipo que possa medir, de forma contínua, a concentração de álcool durante o processo fermentativo. Tornando possível o monitoramento remoto e de diversos fermentadores em um mesmo período.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

O objetivo desse trabalho foi desenvolver um protótipo a baixo custo que fosse capaz de medir a concentração de álcool através da densidade de uma solução de forma remota.

1.1.2. Objetivos específicos

- a) Integração e calibração de um sistema de medição de ângulo utilizando o MPU6050;
- b) Integração e estudo de alcance de um sistema de comunicação sem fios utilizando o nRF24L01+ e;
- c) Integração e calibração do *spindle* em soluções com diferentes concentrações alcoólicas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONCENTRAÇÃO DE ÁLCOOL E AS CLASSES DAS BEBIDAS ALCOÓLICAS

De acordo com o IBGE (2020), a fabricação de bebidas alcoólicas se enquadra ao seguinte padrão: Fabricação de aguardentes e outras bebidas; Fabricação de vinho e; Fabricação de malte, cerveja e chopes.

Dentro dessa classificação, esses tipos de bebidas podem ser distribuídos conforme seu percentual alcoólico, assim como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Tipos de bebidas e suas respectivas concentrações alcoólicas

Bebida	Concentração alcoólica (%_{v/v})
Cerveja	4,5 a 6
Vinho	12 a 16
Vinho do porto	18 a 22
Tequila	36 a 54
Rum	35 a 58
Cachaça	38 a 54
Vodka	36 a 54
Whisky	38 a 54

Fonte: ROSA; COSENZA; LEÃO (2006)

Esses valores ainda podem variar de acordo com a matéria-prima empregada e as variações no processo de fabricação escolhido por cada um dos produtores.

De acordo com o Conselho Regional de Química – IV Região (2022), a cerveja, por exemplo, pode ter sua graduação alcoólica modificada de acordo com o processamento das matérias-primas, as quantidades utilizadas, a duração das etapas de fabricação e, principalmente, a levedura escolhida para o processo de fermentação.

O teor alcoólico da solução tende a aumentar durante o processo de fermentação. Isso acontece porque as leveduras tendem a consumir os açúcares presentes para gerar energia e viabilizar a reprodução de mais células. No entanto, como subprodutos, também são produzidos etanol e gás carbônico. Com o aumento do etanol, a solução passa a ter sua densidade diminuída (CARNEIRO; BOVOLINI, 2020).

É por meio dessa variação de densidade que se torna possível calcular o teor alcoólico das cervejas produzidas, assim como saber se o processo já foi finalizado ou não. Por esse motivo, o processo fermentativo é a fase com maior necessidade de controle sobre a densidade do produto (GOMES, 2018).

3.2. EQUIPAMENTOS PARA MEDIÇÃO DO TEOR ALCOÓLICO

Visto que o álcool e a água possuem densidades diferentes, é comum estipular a concentração alcóolica a partir da variação dessa propriedade. Como mencionado anteriormente, conforme as leveduras consomem o açúcar, a concentração de álcool aumenta.

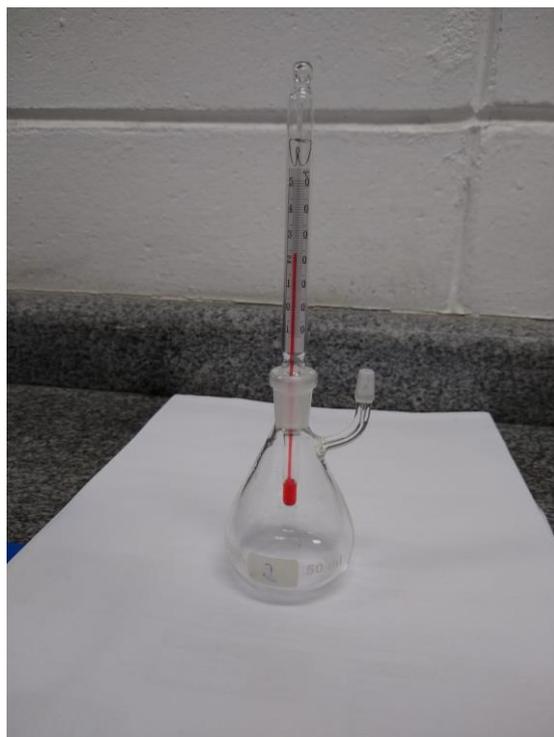
A água possui uma densidade maior do que a do álcool. Sendo assim, durante o processo de fermentativo, à medida que a concentração alcoólica aumenta, a densidade do produto diminui, alcançando um valor de densidade intermediário entre a água e o álcool puro.

Sabendo da existência dessas variações e de suas interferências, são empregados na indústria, principalmente, três equipamentos para se medir a concentração alcoólica, porém com princípios diferentes. O picnômetro e o alcoômetro se baseiam na variação de densidade, enquanto o refratômetro se baseia no princípio de refração da luz.

3.2.1. Picnômetro

O Picnômetro (Figura 1), nada mais é, do que uma câmara de volume conhecido que possui uma tampa com um pequeno orifício, chamado capilar. Para sua aplicação, registra-se a massa do picnômetro vazio, posteriormente ele é preenchido com água destilada e sua massa é anotada. Com a diferença desses valores e conhecendo a densidade da água, obtém-se o volume do picnômetro. O qual servirá de referência para medir a densidade de uma solução de interesse (CÉSAR; PAOLI; ANDRADE, 2018).

Figura 1 - Picnômetro



Fonte: Os autores

Para uma melhor visualização, o procedimento pode ser descrito pela Equação 1.

$$\rho = \frac{m_{cheio} - m_{vazio}}{V} \quad (1)$$

Onde ρ é a densidade da solução de interesse, m_{cheio} é a massa do picnômetro cheio com a solução de interesse, m_{vazio} é a massa do picnômetro vazio e V é o volume calculado do picnômetro.

3.2.2. Alcoômetro

O alcoômetro (Figura 2), por sua vez, utiliza o princípio de flutuabilidade, ou seja, a relação entre o peso gravitacional e o empuxo, força em que o fluido exerce sobre um determinado corpo quando submerso. Esse equipamento tem como construção, um bulbo oco de vidro, preenchido com chumbo ou mercúrio em sua extremidade inferior, possibilitando que seu centro de massa fique

localizado mais abaixo e faça com que ele possa flutuar livremente na vertical. Sendo assim, quanto mais álcool a solução possuir, menos denso o fluido será, e mais o alcoômetro irá afundar. Deste modo, através de uma escala distribuída em seu corpo, é possível determinar a densidade do fluido. Caso a escala utilizada seja a de grau Gay-Lussac, a concentração de álcool, em volume/volume, é obtida diretamente. (OLIVEIRA; MELO FILHO; AFONSO, 2013).

Caso contrário, a concentração de álcool deverá ser calculada de modo indireto através da Equação 2.

$$ABV = (\rho_{inicial} - \rho_{final}) \times 131 \quad (2)$$

Figura 2 - Densímetro com princípio embasado na flutuabilidade



Fonte: OLIVEIRA; MELO FILHO; AFONSO, 2013

3.2.3. Refratômetro

Esse equipamento, utilizado principalmente nas cervejarias, baseia-se no princípio de refração da luz. Para isso, a amostra é colocada no refratômetro, onde a luz irá incidir sobre o líquido e, de acordo com a quantidade de açúcar dissolvida na solução, a luz refrata em uma direção específica, incidindo em uma escala fracionada (GOMES, 2018).

Dependendo da escala utilizada, o resultado poderá ser expresso em grau BRIX (Quantidade de açúcares em 100g de solução) ou em valor de densidade. No entanto, é necessário realizar uma correção de leitura no refratômetro de acordo com a fase que a fermentação se encontra porque o CO₂ e o álcool distorcem a refração da luz.

A Figura 3 representa um refratômetro comumente empregado nas cervejarias.

Figura 3 - Refratômetro



Fonte: GOMES, 2018

3.3. MEDIDA DE DENSIDADE UTILIZANDO *SPINDLE*

Os métodos comumente utilizados na indústria para se medir densidade foram analisados, possibilitando encontrar alguns empecilhos como, por exemplo, necessidade de acesso ao produto para retirada de amostras. Isso acarreta a possibilidade de se contaminar a fabricação, além de não ser possível realizar tal tarefa de modo contínuo.

Através do protótipo apresentado por Vasconcelos (2019), foi possível encontrar uma possibilidade de solução. A proposta construída no trabalho embasado, tinha como intuito medir a densidade de forma digital através do ângulo de inclinação atribuído ao *spindle* quando este estivesse flutuando sobre o líquido.

De acordo com Vasconcelos (2019), os resultados para estimar a densidade durante processos de fermentação foram satisfatórios, mas o consumo de energia era algo que necessitava alguns ajustes. Além disso, o trabalho de Vasconcelos tem como modelo matemático, uma expressão que relaciona a densidade do líquido com o ângulo de inclinação do equipamento desenvolvido, expressão essa que é obtida através da análise matemática do equilíbrio vertical e rotacional do protótipo. Possibilitando, desta forma, caracterizar o comportamento do *spindle*.

Outro ponto levantado por Vasconcelos (2019), é a necessidade de alguns ajustes para que o comportamento do equipamento seja mais previsível e que sua montagem direcione a um modo de fluutuabilidade único, facilitando a interpretação dos dados.

A Figura 4 apresenta uma imagem do protótipo embasado.

Figura 4 - Spindle desenvolvido por Vasconcelos (2019)



Fonte: Vasconcelos, 2019

3.4. PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM *SPINDLE*

3.4.1. Microcontrolador

Diferente dos microprocessadores que são utilizados em projetos de computadores de uso geral, os microcontroladores oferecem aplicações mais simples, mas que também precisam de dispositivos de entrada e de saída (OLIVEIRA, 2017).

Microcontroladores da família Arduino (Figuras 5 e 6), por exemplo, são plataformas que permitem que, através de módulos externos, sejam capazes de captar variações do ambiente, sejam elas: variações de temperatura, de umidade, de peso ou, até mesmo, de ângulo. Com as perturbações captadas por esses módulos, o microcontrolador é capaz de transformar esses dados em informações funcionais para o usuário (LOPES, 2020).

Figura 5 - Arduino UNO



Fonte: Os autores

Figura 6 - Arduino NANO



Fonte: Os autores

3.4.2. Acelerômetro

O acelerômetro, como o próprio nome já diz, é um sensor capaz de medir a aceleração, fenômeno este que pode acontecer com qualquer massa em repouso que sofra algum tipo de deslocamento. Na construção deste sensor, existe uma quantidade de massa conhecida que, quando movimentada, resulta em um sinal elétrico que pode ser convertido em um valor de aceleração (SAUER, 2019).

O sensor MPU6050 (Figura 7) é um exemplo de módulo capaz de medir a aceleração e, de forma indireta, a posição angular através da decomposição dos valores registrados pelos três acelerômetros ortogonais presentes em sua

construção. Além dessas funções, esse sensor pode determinar a velocidade angular por meio de um giroscópio também acoplado em sua estrutura (SAUER, 2019).

Figura 7 - Sensor MPU6050

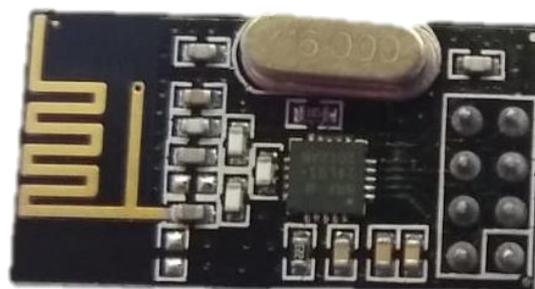


Fonte: Os autores

3.4.3. Antena de comunicação

O módulo nRF24L01+ (Figura 8) é largamente aplicado em projetos que utilizam microcontroladores da família Arduino para transmissão de dados sem a necessidade de fios. Esse módulo é um transceptor via radiofrequência de baixo custo, fácil de encontrar no mercado, com um alcance que pode chegar até 1km (quando utilizado com antena de amplificação de sinal) e um baixo consumo de energia (DORNELAS; OLIVEIRA, 2017).

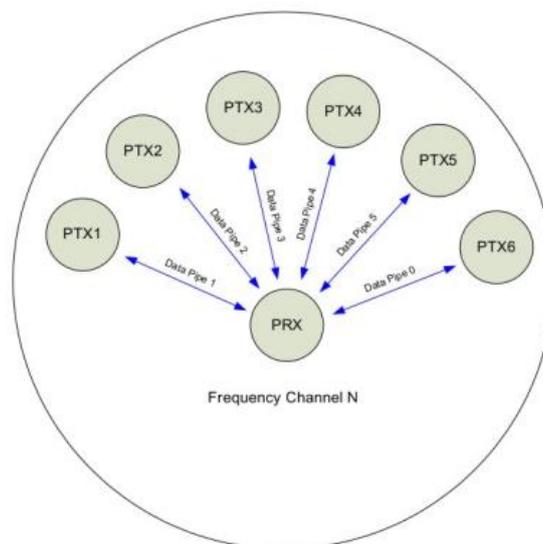
Figura 8 - Módulo nRF24L01+



Fonte: Os autores

Os dados, transferidos entre módulos nRF24L01+, podem ser utilizados em até seis canais de dados (*pipes*). Um pipe é um canal lógico no canal físico RF, ou seja, uma via que transporta informações, na qual existe um receptor e um transmissor de dados em cada uma das extremidades, assim como demonstrado na Figura 9 (ARAUJO, 2016).

Figura 9 - Ilustração do nRF24L01+ no modo de recepção



Fonte: ARAUJO, 2016

Desta forma, esse módulo, quando configurado como transmissor, pode emitir dados para até outros seis receptores. Enquanto, quando configurado como receptor, pode receber dados de até seis outros transmissores. Nos quais, a conexão receptor-transmissor configura um canal específico de dados (*pipe*).

4. METODOLOGIA

4.1. MATERIAIS

A construção do *spindle* foi realizada a partir de basicamente três componentes eletrônicos, sendo eles uma placa de microcontrole do tipo

Arduino Nano, um módulo acelerômetro MPU6050 e um módulo transceptor nRF24L01+.

Com o intuito de possibilitar que o protótipo fosse capaz de se comunicar remotamente, foram utilizados um Arduino UNO e outro módulo nRF24L01+, configurado para receber os dados.

Além desses materiais, cabos jumpers do tipo MxF e MxM, pilhas do tipo A23 12v e pré-formas PET com diâmetro de 4cm foram utilizados para garantir a utilização do protótipo em fluidos.

Na Tabela 2, são apresentadas as variações de preço encontradas no mês de dezembro de 2022, através da plataforma Mercado Livre. Os preços podem variar ainda mais quando consultados em plataformas de importação.

Tabela 2 – Custos dos equipamentos utilizados na construção do densímetro

Equipamentos	Quantidade (um.)	Valor por unidade
Arduino UNO	1	R\$40,00 – R\$136,00
Arduino NANO	1	R\$45,00 – R\$69,00
MPU6050	1	R\$19,00 – R\$33,00
nRF24L01+	2	R\$14,00 – R\$19,90
Pilhas 12v A23	1	R\$3,59 – R\$12,95
Total:		R\$135,59 – R\$290,75

Fonte: Mercado Livre (2022)

Os demais itens são de caráter analítico. Álcool comercial 70 e 46%_(v/v) foram utilizados para calibração do *spindle*. Já para a verificação da metodologia, foram utilizados o álcool etílico absoluto P.A. e as bebidas alcoólicas comerciais.

4.2. MÉTODOS

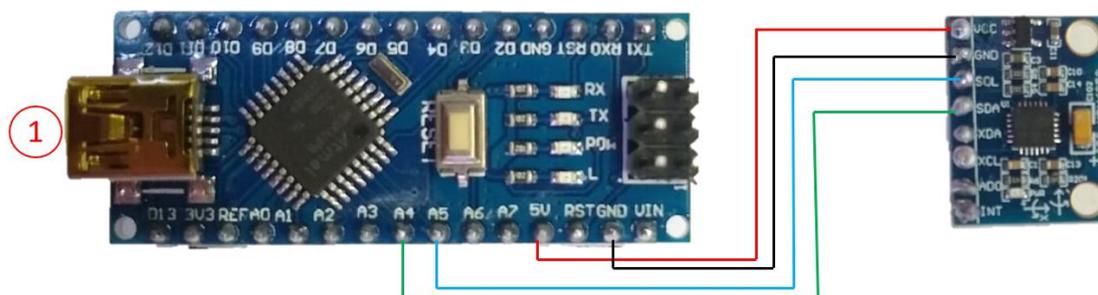
4.2.1. Sistema de medição de ângulo

Montagem:

Um módulo MPU6050 foi utilizado para a finalidade de medir os ângulos do *spindle*. Esse sensor é bem simples de ser montado e necessita apenas de

quatro canais da placa de controle Arduino Nano. A Figura 10 ilustra o esquema de ligações utilizado.

Figura 10 - Esquema de ligações para conexão do MPU6050



Fonte: Os autores

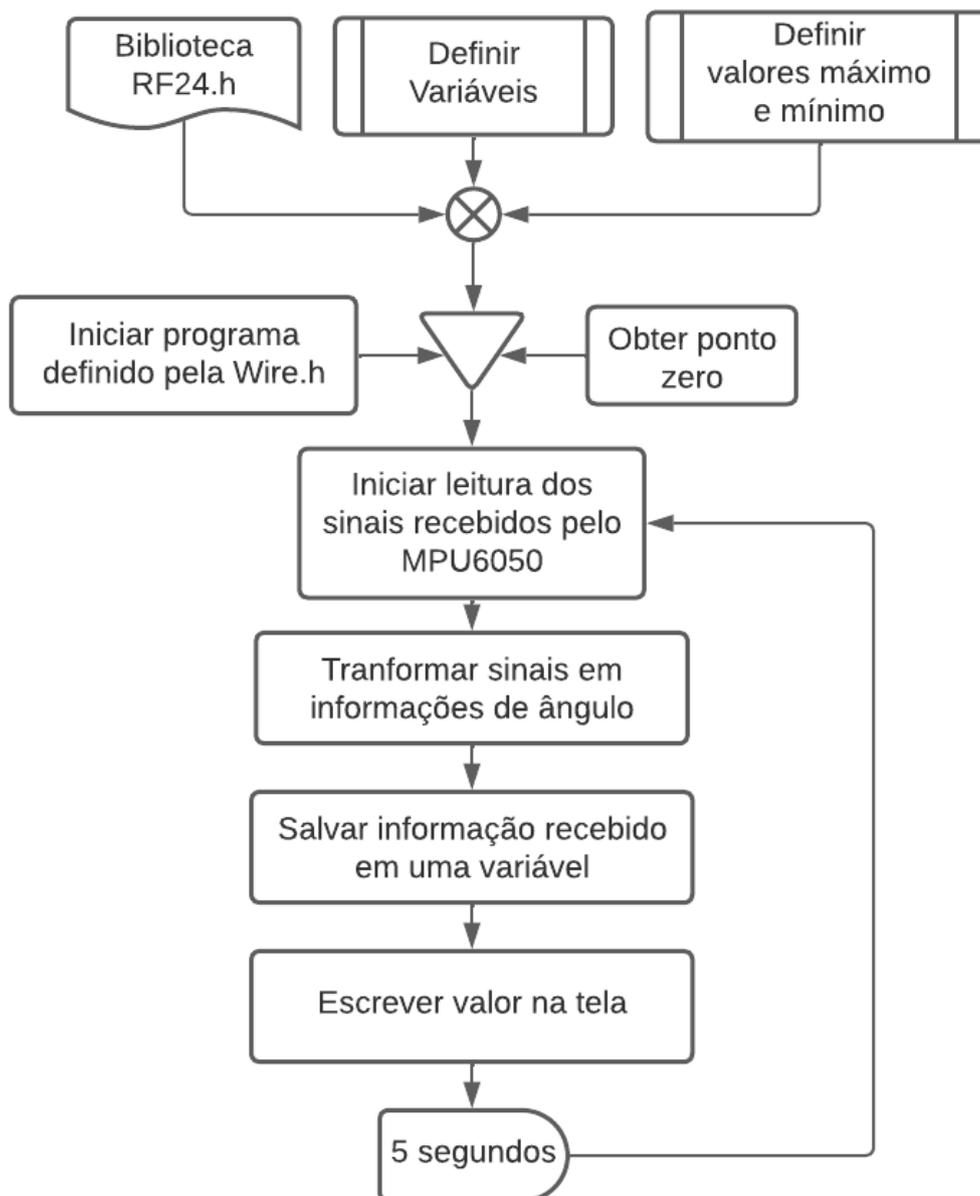
No esquema de ligação apresentado na Figura 10, as portas VCC e GND do módulo ficam responsáveis por receber os 5 Volts e o negativo da placa, respectivamente. Já as portas SCL e SDA, estas ficam responsáveis por realizar a comunicação I2C com a placa de controle. Neste caso em específico, essas portas devem estar ligadas exclusivamente nas portas A4 e A5.

Além das ligações demonstradas, ainda é necessário fazer a alimentação da placa de controle que, nesse caso, é realizada através da porta micro USB (1), a qual é conectada por um cabo ao computador do usuário.

Programação:

A Figura 11 mostra a sequência de tarefas executadas para que o sensor MPU6050 possa realizar sua função.

Figura 11 - Diagrama de Blocos para funcionamento do sensor MPU6050



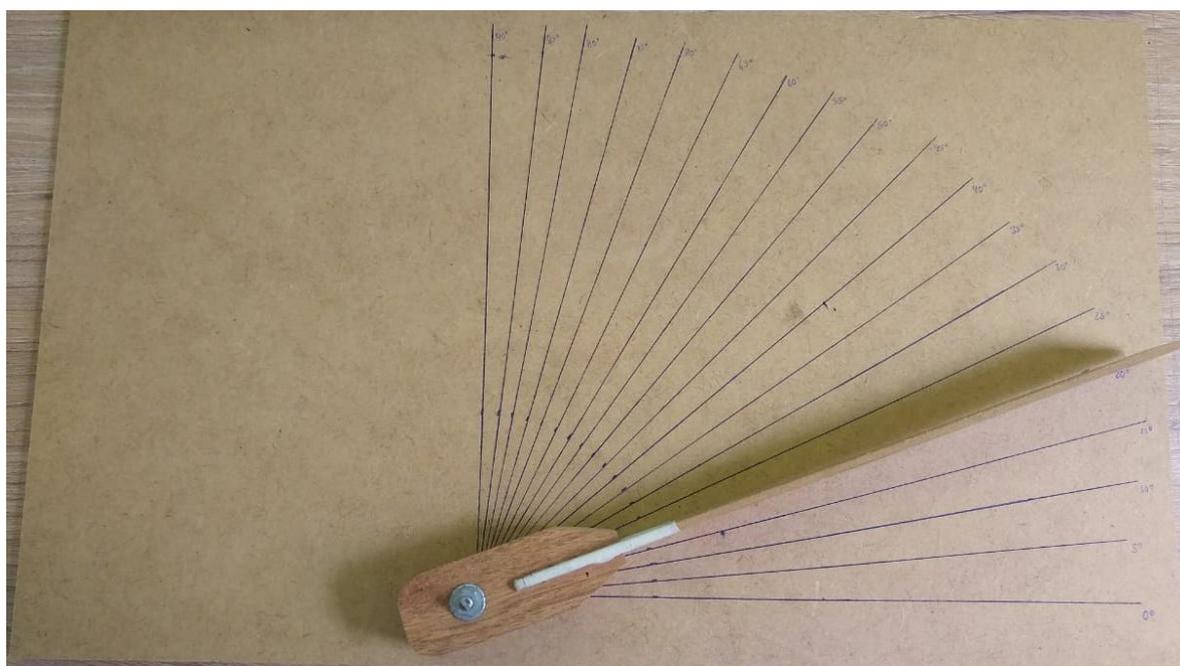
Fonte: Os autores

De um modo geral, o módulo MPU6050 fica responsável por perceber as variações de ângulo. Essas variações são transformadas em sinais elétricos, que são enviados à placa de controle. Esta fica responsável por realizar a leitura desse sinal e transformá-lo, a partir de um cálculo programado, em informação de ângulo e escrevê-lo na tela. Posteriormente, se repete a mesma sequência de tarefas. A verificação do código utilizado pode ser feita através do Apêndice A.1.

Calibração:

Com o intuito de validar se os valores entregues pelo sensor estavam corretos, foi construído um gabarito, no qual uma régua de madeira foi presa a um eixo rotacional conectado a uma placa, também de madeira. Nessa placa e com a ajuda de um transferidor escolar, foram feitas demarcações de 0 a 90°, variando de 5 em 5°. A Figura 12 ilustra a construção do gabarito.

Figura 12 - Gabarito para calibração do sensor de ângulo



Fonte: Os autores

Com o gabarito em mãos, o sensor foi fixado à régua por meio de abraçadeiras de Nylon e, para cada uma das posições demarcadas, foram coletados cerca de 116 pontos, o que representa um minuto e trinta segundos de coleta.

Tratamento estatístico:

Com os dados coletados, foram calculados a média e o desvio padrão para cada um dos agrupamentos de 116 pontos. Isso possibilitou que se encontrasse um valor único com sua respectiva incerteza para cada uma das demarcações do gabarito.

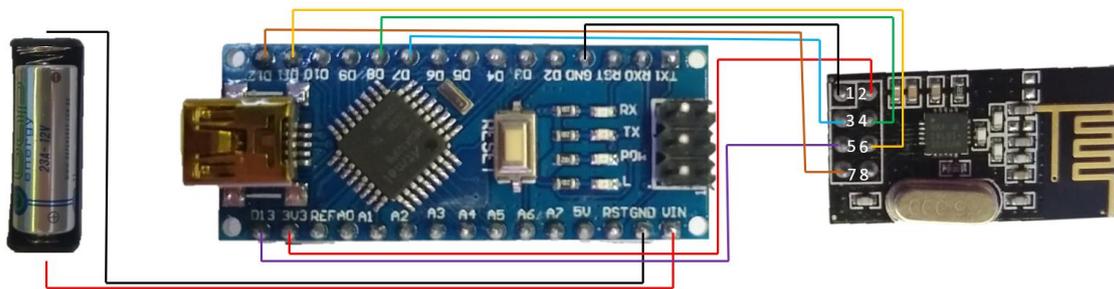
O Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) foi utilizado para a linearização do gráfico e, o método do X^2 reduzido, para a verificação da qualidade desta linearização.

4.2.2. Sistema de transmissão e recepção de dados

Montagem:

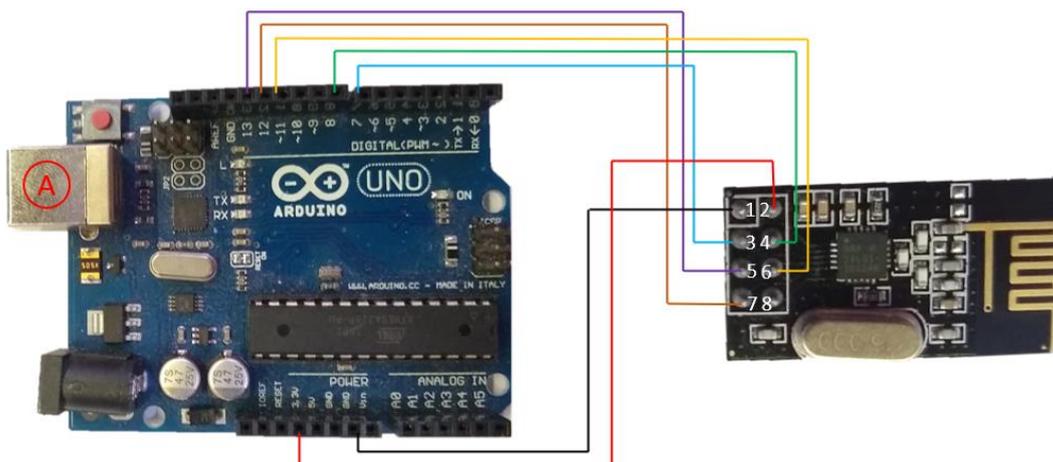
A comunicação remota do densímetro só foi possível a partir da utilização de dois módulos nRF24L01+. Um conectado ao Arduino Nano, o qual foi configurado como transmissor de dados. E o outro, conectado ao Arduino UNO que, por sua vez, foi configurado como receptor e conectado diretamente ao computador do usuário. As figuras 13 e 14 fornecem as ilustrações de como esses sistemas foram montados.

Figura 13 - Esquema para comunicação remota (Transmissão de dados)



Fonte: Os autores

Figura 14 - Esquema para comunicação remota (Recepção de dados)



Fonte: Os autores

Tanto para a recepção de dados, como para transmissão de dados, as ligações acabam sendo as mesmas. O que mudou nesse caso foi a forma como cada uma das placas foram alimentadas. Enquanto o Arduino NANO foi alimentado pela pilha A23, o Arduino UNO (Figura 14) foi alimentado através da conexão entre a entrada “A” e uma porta USB do computador.

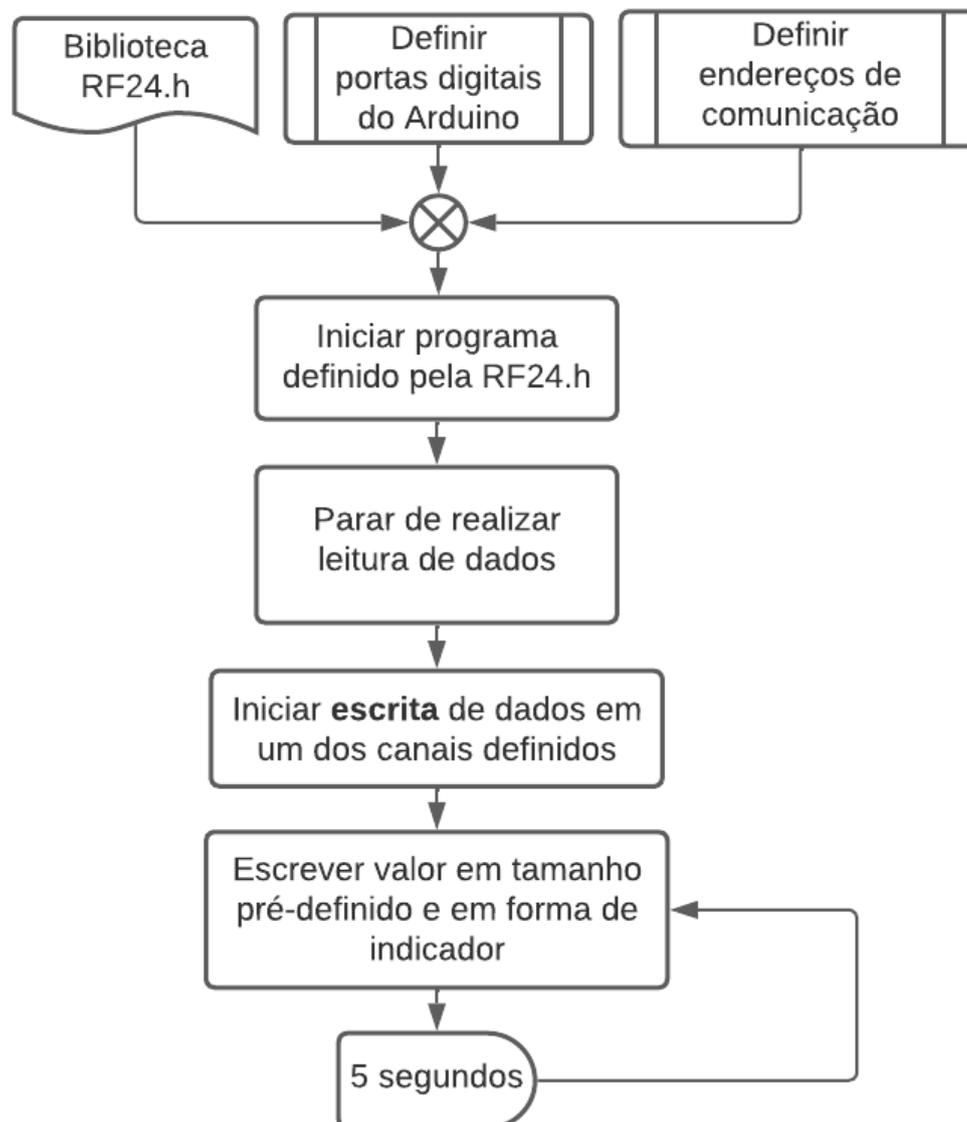
Programação:

A programação utilizada para realizar a comunicação entre as duas placas de controle precisou ser distinta para cada uma delas. Deste modo, o Arduino NANO ficou configurado para transmitir os dados, enquanto o Arduino UNO ficou configurado para recebê-los.

Transmissor:

A Figura 15 mostra a sequência de tarefas executadas para que o sensor nRF24L01+ possa transmitir informações.

Figura 15 - Diagrama de blocos para transmissão de dados através do sensor nRF24L01+



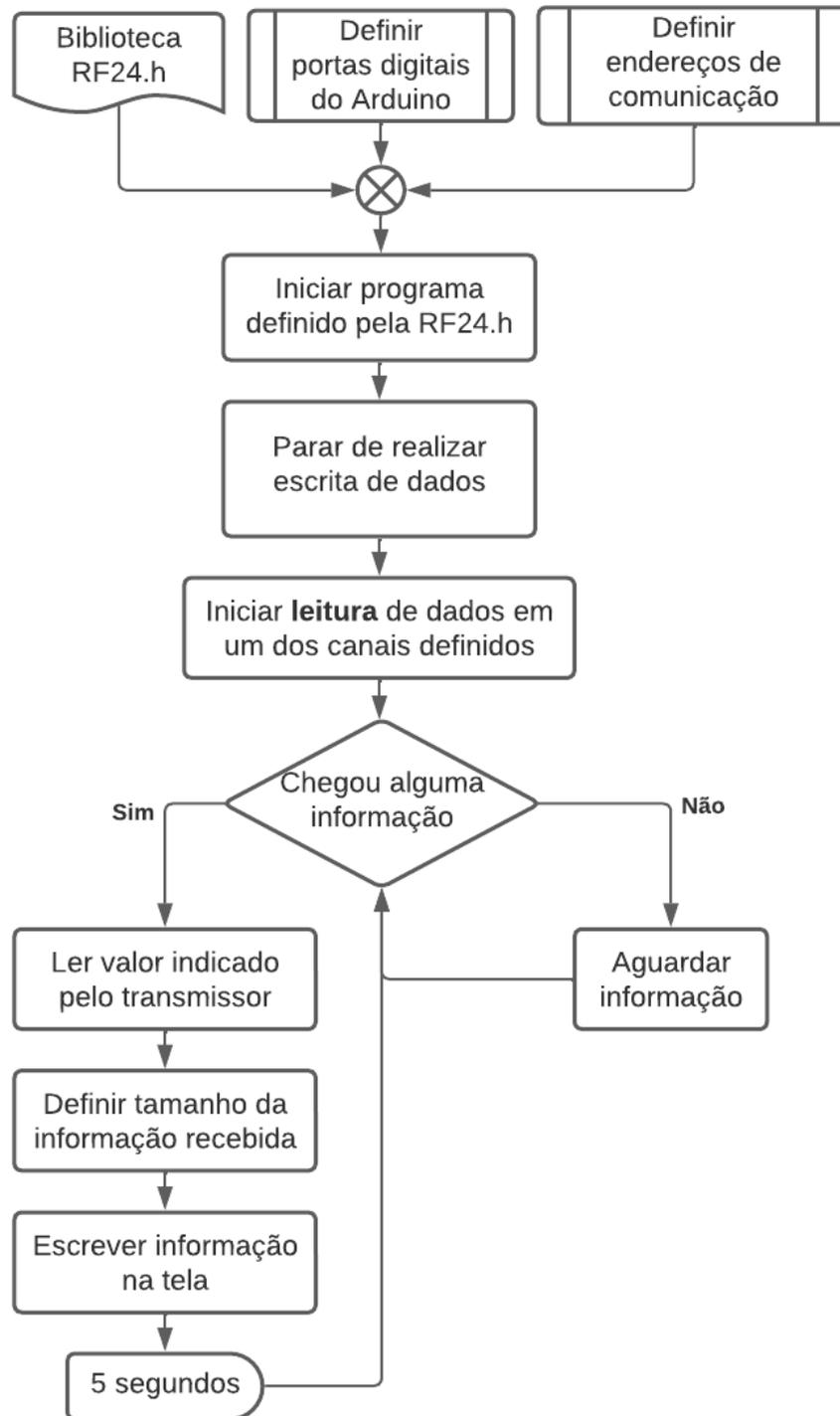
Fonte: Os autores

De forma resumida, a placa de controle irá transmitir uma informação através de um canal de comunicação (*pipe*) configurado na programação. Essa informação é transferida apenas como um indicador, ficando sob responsabilidade da segunda placa de controle interpretar a informação recebida. O código completo pode ser visualizado no Apêndice A.2.

Receptor:

A Figura 16 mostra a sequência de tarefas executadas para que o sensor nRF24L01+ possa receber informações.

Figura 16 - Diagrama de blocos para recepção de dados através do sensor nRF24L01+



Fonte: Os autores

Neste caso, a placa de controle, ficará aguardando a recepção dos dados. Quando este chegar, ela irá interpretá-lo e escrever a informação da tela. A descrição completa do código fica disponível no Apêndice A.3.

Caracterização:

Para entender qual seria a distância máxima suportada para comunicação entre os módulos, foram realizados testes em campo aberto e fechado. Nos quais, os módulos foram colocados para se comunicar de um em um metro até que se encontrasse o ponto em que a comunicação não fosse mais possível.

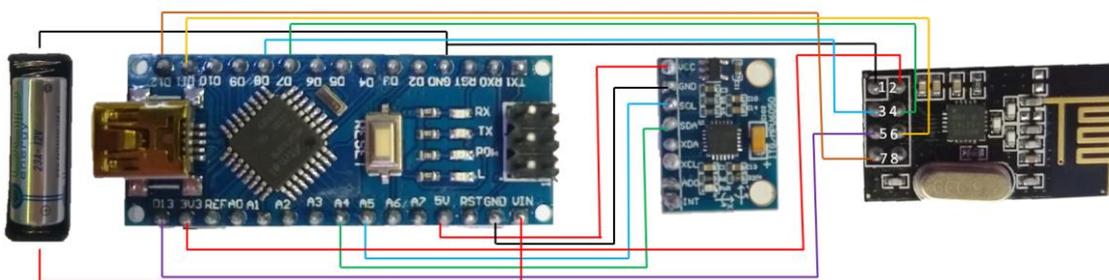
4.2.3. Spindle

Montagem:

Após calibração e caracterização dos sensores, estes foram integrados ao Arduino Nano e fixados, primeiramente em uma placa de fenolite. No entanto, devido à falta de espaço para o encapsulamento dos componentes, foi necessário a utilização de um palito de sorvete, visto que era uma alternativa de fácil acesso e baixo custo.

Nas Figuras 17 e 18, encontram-se os desenhos esquemáticos de como os elementos foram conectados e como ficaram suas dimensões, respectivamente.

Figura 17 - Esquema de ligações entre todos os elementos integrados



Fonte: Os autores

Figura 18 - Dimensões do spindle com o encapsulamento



Fonte: Os autores

Programação:

A programação utilizada para os dois sensores em conjunto é apenas uma junção dos outros programas já apresentados. Nos Apêndices A.4 e A.5., é possível verificar o código completo para automatização do *spindle*.

Calibração:

A calibração do protótipo pode ser classificada em duas etapas. A primeira diz respeito ao equilíbrio do *spindle* e a segunda é referente ao ajuste dos dados coletados.

Parte 1:

Na primeira parte da calibração, foi determinada a quantidade de esferas de chumbo que seriam utilizadas como lastro do *spindle*. As esferas utilizadas possuem diâmetro de 6 milímetros e servem para deslocar o centro de massa à extremidade inferior do pêndulo. Isso se faz necessário para que sua outra extremidade fique livre para flutuar com maior facilidade.

A quantidade de esferas foi escolhida utilizando três baldes com fluidos de densidades diferentes, porém conhecidas. No *spindle*, as esferas eram adicionadas uma a uma, até que se alcançasse a verticalidade do dispositivo imerso no balde com a solução de menor densidade.

Encontrado esse ponto, o *spindle*, com a quantidade de esferas anteriormente adicionadas, é transportado para o balde com o fluido de maior

densidade, no caso a água ($\rho = 1g/cm^3$). Se o densímetro ficasse na horizontal, este era passado para o balde com solução de água e álcool (1:1), de densidade intermediária. Nesse caso, o dispositivo deveria encontrar uma posição intermediária.

A confirmação era realizada adicionando mais uma esfera para verificar se a amplitude entre as posições, vertical e horizontal, aumentaria ou não. Caso aumentasse, seria escolhida a quantidade de esferas atual. Caso contrário, a última esfera era retirada.

Parte 2:

A calibração dos dados coletados pelo *spindle* foi feita através de sua estabilização em soluções preparadas a partir de álcool comercial, variando sua concentração de forma que se obtivesse a maior quantidade de pontos entre o álcool “puro” e a água. A confirmação das concentrações alcoólicas foi feita utilizando um alcoômetro de escala Gay-Lussac.

Com o intuito de se alcançar uma maior abrangência na movimentação do densímetro nas soluções alcoólicas, foram utilizadas duas configurações de peso. Para as soluções com concentrações mais elevadas, foram utilizadas 3 esferas de chumbo, enquanto para as soluções menos concentradas, foram utilizadas 5 esferas.

Vale ressaltar que esses testes foram realizados prevendo que o usuário já soubesse qual seria o intervalo de graduação alcoólica que sua solução alcançaria. Deste modo, de acordo com o possível intervalo, seria utilizado um tipo de configuração.

Tratamento estatístico:

O tratamento dos dados recolhidos com o *spindle* foi o mesmo daquele utilizado para a calibração do sensor de ângulo. Sendo assim, cada agrupamento de dados teve sua média e seu desvio padrão calculados, possibilitando encontrar pontos específicos para cada uma das soluções.

Esses pontos foram distribuídos em gráficos (Concentração alcoólica x resultado do sensor), linearizados pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) e a qualidade de linearização foi validada pelo método do X^2 reduzido.

4.2.4. Validação da metodologia

Essa última fase da metodologia foi realizada para entender se os resultados entregues pelo *spindle* estavam condizentes. Deste modo, soluções a partir de Álcool Etílico Absoluto P.A. e água destilada foram preparadas, de modo que suas concentrações caracterizassem bebidas comerciais.

O teste foi realizado imergindo o *spindle* nas soluções e deixando-o coletar os dados por cerca de 30 segundos, resultando em, aproximadamente, 55 medições. Para isso, 3 litros de cada uma das soluções foram transferidos a recipientes distintos para que o densímetro pudesse flutuar livremente, sem tocar o fundo.

Como método comparativo, foram adquiridos três tipos de bebidas alcoólicas: Cerveja, Vinho e Cachaça. Esses três tipos foram escolhidos devido à divergência na concentração alcoólica entre eles, sendo de 4,2%, 11,0% e 39,0%, respectivamente.

O tempo de coleta de dados nessa etapa foi o mesmo daquele utilizado com as soluções, acarretando cerca de 55 medições. A quantidade de bebidas utilizada foi a mesma utilizada para o teste com as soluções, possibilitando que o densímetro pudesse flutuar livremente.

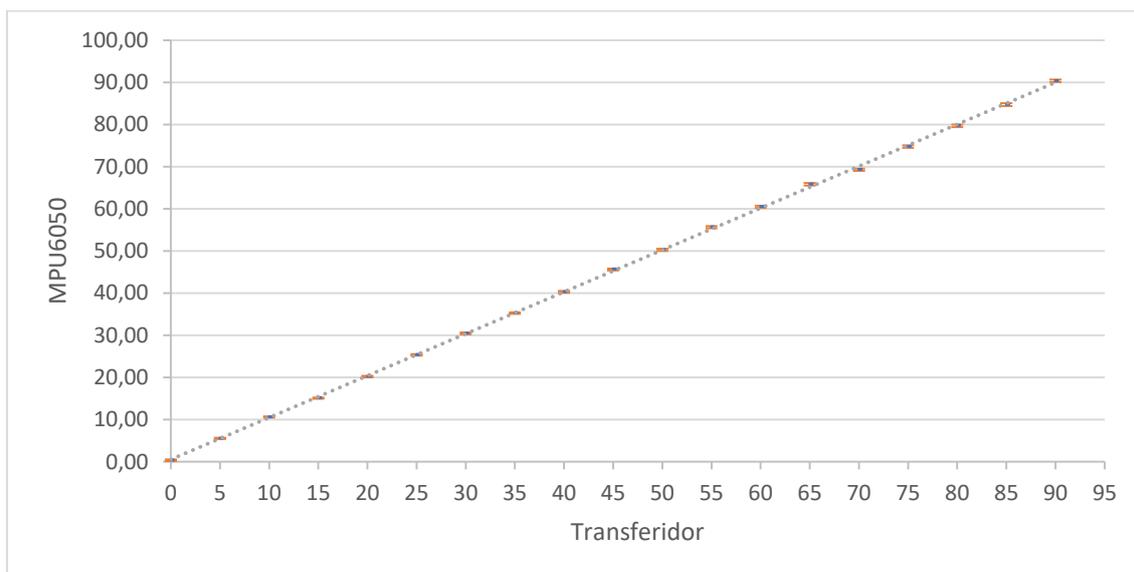
Após realização dos testes, as médias e suas respectivas incertezas foram calculadas para cada uma das soluções/bebidas. Com esses resultados, foi possível utilizar as equações de calibração, adquiridas anteriormente, para obtenção do valor de concentração alcoólica através do *spindle*.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE ÂNGULO

Por meio da metodologia apresentada no item 4.2.1, foi possível construir o Gráfico 1.

Gráfico 1 – Calibração sensor MPU6050



Fonte: Os autores

Por meio dele e, confirmado pelo método de qualidade de ajuste ($X^2 = 0,4128$), é possível garantir que o sensor MPU6050 se comporta de maneira linear, viabilizando o uso da Equação 3.

$$Y = (0,994 \pm 0,005)x + (0,53 \pm 0,24) \quad (3)$$

Analisando os dados obtidos, observa-se que as incertezas encontradas para o MPU6050 (eixo y) são satisfatórias. Isso porque quando se trata de um transferidor comum, esse valor geralmente fica em uma casa decimal. Dessa forma, o sensor garante sensibilidade significativa e é propício para o uso a que se destina nesse trabalho.

5.2. CARACTERIZAÇÃO DO SENSOR NRF24L0+

Através dos testes realizados em ambientes fechados, não foi possível identificar a distância máxima de resposta do módulo. No entanto, os sensores foram testados até uma distância de 7 metros com duas paredes entre eles e, mesmo assim, foi possível realizar a comunicação normalmente. Já para ambientes abertos, sem interferências de obstáculos, a distância máxima de

comunicação foi de, aproximadamente, 88 metros. Confirmando, desta forma, a sua utilização em fábricas de pequeno e médio porte.

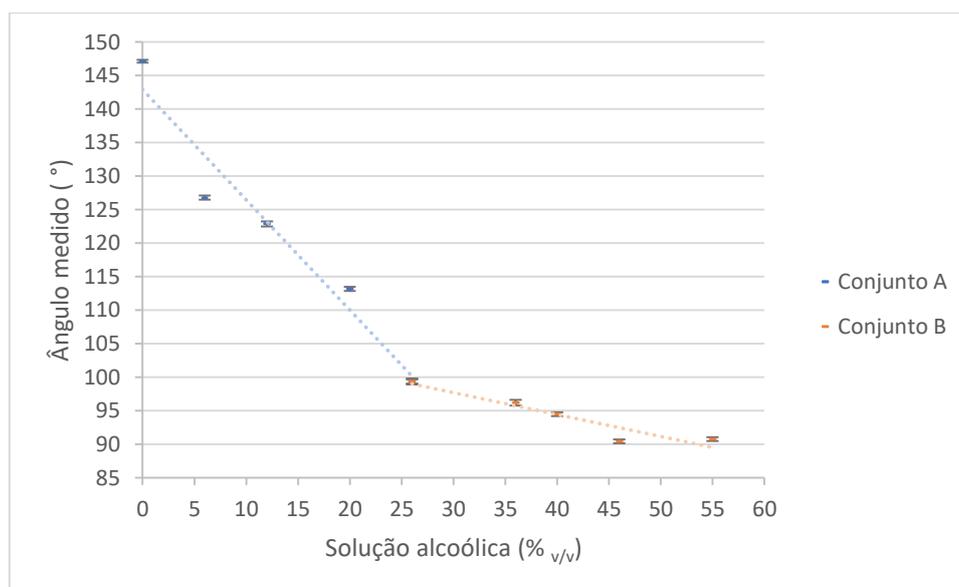
Como método adicional, existem algumas alternativas para aumentar essa distância de resposta como, por exemplo, adicionar um módulo intermediário. Este ficaria acoplado a parede do fermentador recebendo os dados e reenviaria a informações para o sensor acoplado ao computador.

Isso se torna plausível de se pensar porque, deste modo, poderia ser adicionado um amplificador (Antena) que aumentaria o campo de resposta para um raio de até 1 km. Além disso, os custos para esse incremento seriam em torno de R\$ 25,00 a R\$ 40,00 mais o custo de aquisição de um novo microcontrolador.

5.3. CARACTERIZAÇÃO E CALIBRAÇÃO DO *SPINDLE*

Após calibrar e caracterizar os sensores a serem utilizados no protótipo, os resultados para esses equipamentos trabalhando em conjunto são apresentados nos Gráficos 2, 3.

Gráfico 2 - Conjunto de dados para *spindle* em Configuração A1 (5 un. de esferas de chumbo)



Fonte: Os autores

No Gráfico 2, são demonstrados os resultados recolhidos com o densímetro em sua Configuração A1, utilizando 5 unidades de esferas de chumbo como lastro. Essa configuração fica especificada para soluções alcoólicas abaixo dos 55% de teor alcoólico. No entanto, ainda são necessárias duas linearizações com equações de retas diferentes.

Contrário ao trabalho de Vasconcelos (2019), optou-se por delimitar os dados em mais regiões com o intuito de facilitar os cálculos e a utilização do *spindle*. Desta forma, o *spindle*, em sua Configuração A1, ficou calibrado de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados para calibração do *spindle* (Configuração A1)

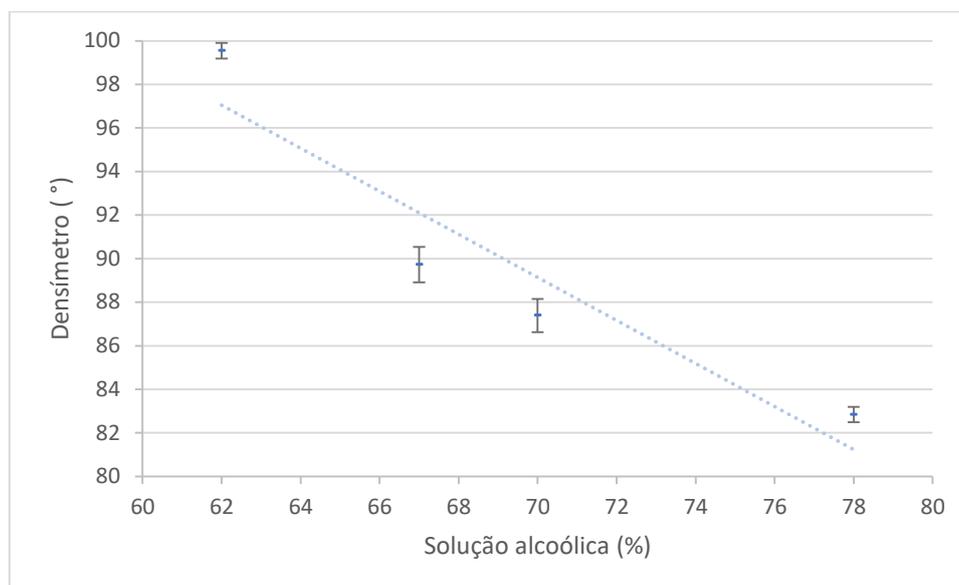
Intervalo de leitura	Equação da reta	Qualidade de ajuste (X^2)
Acima de 0% e abaixo de 26%	$y = (-1,65 \pm 0,08)x + (142,9 \pm 1,3)$	$X^2 = 8,05$
Acima de 26% e abaixo de 55%	$y = (-0,30 \pm 0,02)x + (106,3 \pm 0,9)$	$X^2 = 16,89$

Fonte: Os autores

Com o intuito de abranger a maior quantidade de soluções possível, novos dados foram coletados em uma configuração diferente. No Gráfico 3, ficam demonstrados os dados recolhidos com o densímetro em sua Configuração A2, utilizando 3 unidades de esferas de chumbo como lastro.

Essa configuração fica responsável por recolher medidas em soluções mais alcoólicas, acima de 62% e fica calibrada em apenas uma equação de reta (Tabela 4).

Gráfico 3 - Conjunto de dados para *spindle* em Configuração A2 (3 un. de esferas de chumbo)



Fonte: Os autores

Tabela 4 - Resultados para calibração do densímetro (Configuração A2)

Intervalo de leitura	Equação da reta	Qualidade de ajuste (X^2)
Acima de 62% e abaixo de 80%	$y = (-1,00 \pm 0,08)x + (159,9 \pm 5,4)$	$X^2 = 8,40$

Fonte: Os autores

Como pode-se observar, a região entre 55 e 62% não é abrangida, mas ao analisar as aplicações práticas, em que dificilmente uma cerveja irá ultrapassar os 18% de álcool, o *spindle* ainda se mantém condicionado ao uso.

No entanto, vale ressaltar sobre seu consumo de energia, no qual se demonstrou significativo. Durante a realização dos testes, foi necessária a troca da pilha até então utilizada.

Visto que a ideia principal do *spindle* é realizar leituras contínuas durante um processo de fermentação (entre 7 e 10 dias) seu uso se torna inapropriado. Isso porque, somando as horas de uso, a bateria não foi capaz de suportar mais do que dois dias completos.

5.4. VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA

Após coleta dos ângulos fornecidos pelo *spindle* e conversão de seus dados para concentrações alcoólicas, através das equações demonstradas na Tabela 3, chega-se aos resultados apresentados nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5 - Validação dos resultados para soluções preparadas em bancada

Produto	Concentração preparada (%)	Concentração medida (%)	Variação
Solução 4,2%	4,20	3,41	0,79
Solução 11%	11,00	10,70	0,30
Solução 39%	39,00	38,77	0,23

Fonte: Os autores

Tabela 6 - Validação dos resultados para produtos comerciais

Produto	Concentração apresentada no rótulo (%)	Concentração medida (%)	Variação
Cerveja	4,20	3,24	0,96
Vinho	11,00	10,22	0,78
Cachaça	39,00	38,54	0,46

Fonte: Os autores

As Figuras 19, 20 e 21 mostram os testes realizados com as soluções preparadas em bancada. Para esses casos, a movimentação do *spindle* se mostrou uniforme, com variação consideravelmente baixa e tendendo a flutuar sempre numa mesma direção.

Figura 19 - Validação dos resultados para Solução Alcoólica de 4,2%



Fonte: Os autores

Figura 20 - Validação dos resultados para Solução Alcoólica de 11,0%



Fonte: Os autores

Figura 21 - Validação dos resultados para Solução Alcoólica de 39,0%



Fonte: Os autores

Já para os testes realizados com as bebidas comerciais, o primeiro ponto a ser analisado diz respeito à concentração propriamente dita, na qual o *spindle* adquire maior variação em seus resultados para concentrações menores. Isso também pode ser um reflexo do intervalo definido em sua calibração, no qual o resultado desejado de 4,2% está consideravelmente próximo de seu limite inferior

Um segundo ponto que também pode ser levantado, é a interferência da presença de gás na cerveja e no vinho. O vinho originalmente não possui presença significativa de CO₂, mas nesse caso se trata de uma bebida mista de vinho e fermentado de maçã. Desta forma, a interferência do gás justifica as maiores variações nos resultados para a Cerveja e para o Vinho quando comparadas às soluções alcoólicas de bancada.

Por último, um ponto a ser considerado e que dificultada a interpretação dos resultados trazidos pelo dispositivo, é a não padronização em seu modo de fluatibilidade. Isso porque, conforme as Figuras 21, 22 e 24 mostram, o densímetro pode flutuar para lados independentes.

Figura 22 - Validação de dados para Cerveja (4,2%)



Fonte: Os autores

Figura 23 - Validação de dados para Vinho (11,0%)



Fonte: Os autores

Figura 24 - Validação dos resultados para Cachaça (39,0%)



Fonte: Os autores

Tal característica não seria um problema se o módulo MPU6050 ficasse sempre na mesma posição. No entanto, dependendo da movimentação em que o *spindle* tende a fazer, o sensor pode trazer resultados de ângulos entre 0° e 180°. Quando, na verdade, o disposto foi calibrado para leitura entre 90° e 180°. Devido a este erro, a programação deveria ser corrigida para prever alterações na flutuabilidade, contemplando todo o intervalo de 0 a 180°, e padronizar seus resultados com o intuito de entregar um gráfico contínuo e de melhor interpretação.

6. CONCLUSÃO

Após caracterização e calibração dos módulos utilizados para a construção do *spindle*, foi possível observar que esses sensores são capazes de entregar o que prometem e são aplicáveis para o protótipo de interesse desse trabalho.

De um modo geral, o MPU6050 obteve boa linearidade em seus resultados e se comporta de maneira sensível o suficiente para captar pequenas variações de ângulo. Bons resultados também foram encontrados

para o nRF24L0+, que alcançou comunicações satisfatórias em distâncias de até 88 metros em ambientes abertos e em mais de 7 metros para ambientes fechados.

Em contrapartida, quando esses sensores foram integrados para construção do *spindle* propriamente dito, algumas limitações foram observadas. Suas leituras se tornam pouco confiáveis em suas extremidades de calibração, uma vez que necessita de maiores variações de concentração alcoólica para alcançar pequenas variações angulares. O consumo de energia também se mostrou alto, não conseguindo garantir eficácia nas medidas por mais de dois dias consecutivos.

Outras características que também puderam ser observadas nos testes com amostras de produtos reais é que o *spindle* sofre interferência em seus resultados na presença de gás, causando maior variação entre o resultado real e o medido. Além disso, também foi possível observar uma ausência no padrão de fluabilidade do *spindle*, o que acarreta a dificuldade de interpretação dos dados entregues pelo dispositivo.

No geral, este trabalho mostrou que é possível construir um protótipo que faça leituras de contrações alcoólicas através da densidade de uma solução de forma remota.

7. SUGESTÕES

A partir das conclusões alcançadas, alguns ajustes são pertinentes, sendo a melhora no modelo matemático um ponto importante para minimizar erros de leitura nas extremidades das curvas de calibração.

Outro ponto que deve ser ajustado é a programação, a qual pode ajudar a minimizar o consumo de energia e prever variações no padrão de fluabilidade. Além disso, com o intuito de otimizar ainda mais o protótipo, melhorias na construção devem ser consideradas, uma vez que a fixação mais adequada dos componentes influenciaria na fluabilidade do *spindle* e consequentemente na melhora da interpretação dos dados entregues por ele.

Além das melhorias evidenciadas para o protótipo, algumas análises adicionais também são pertinentes como, por exemplo:

- O acompanhamento de um processo fermentativo com o *spindle* para entender todas as possíveis interferências ocasionadas em um cenário real;
- Testes de estanqueidade e limpeza da cápsula para garantir uma segurança alimentar mais adequada ao uso;
- Testes de transmissão dos dados em cenários semelhantes ao real, visto que os fermentadores funcionam como uma Gaiola de Faraday e
- Testes para acompanhamento de outras variáveis importantes: Temperatura e *Alcohol By Volume* (ABV)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAUJO, Heitor Fonseca de. **Implementação e análise do nRF24L01+ como beacon Bluetooth Low Energy**. 2016. 42 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia da Computação, Centro de Informática, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

CARNEIRO, Lucas G.; BOVOLINI, André G.. **Modelagem matemática do processo de fermentação alcoólica em batelada com alta densidade celular: Efeito da concentração de substrato, células e temperatura nos parâmetros cinéticos**. 2020. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo - Sp, 2020.

CÉSAR, Janaína; PAOLI, Marco-Aurélio de; ANDRADE, João Carlos de. A determinação da densidade de sólidos e líquidos. **Revista Chemkeys**, [S.L.], n. 7, p. 1-8, 17 set. 2018. Universidade Estadual de Campinas. <http://dx.doi.org/10.20396/chemkeys.v0i7.9618>.

CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA - IV REGIÃO (São Paulo - Sp). **Química viva: bebidas**. Disponível em: https://www.crq4.org.br/quimica_viva__bebidas. Acesso em: 19 nov. 2022.

D. Junior, A. A., Vieira, A. G., & Ferreira, T. P. (2009). Processo de Produção de Cerveja. *Revista Processos Químicos*, 3(6), 61-71. <https://doi.org/10.19142/rpq.v03i06.p61-71.2009>.

DORNELAS, Everton; OLIVEIRA, Sérgio Ccampello. Monitoramento de consumo doméstico de água utilizando uma meta-plataforma de IoT. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, Recife, v. 2, n. 2, p. 136-147, 2017.

GOMES, Mariana Jordana da Silva. **Acompanhamento da densidade do mosto durante a fermentação de cerveja produzida em uma cervejaria**

artesanal. 2018. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró - Rn, 2018.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (org.). **PIA Produto - Produção e vendas dos produtos e/ou serviços industriais**. 2020. Disponível em: Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pia-produto/quadros/brasil/2020>. Acesso em: 11 nov. 2022.

LOPES, Glauco Donizeti Pimenta. **Arduino e internet das coisas no ensino de ciências da natureza: aplicações versáteis no cotidiano e inclusão digital**. 2020. 54 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Ensino de Ciências, Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2020.

OLIVEIRA, Bruno de Moura; MELO FILHO, João Massena; AFONSO, Júlio Carlos. A densidade e a evolução do densímetro. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 35, n. 1, p. 1-10, mar. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-11172013000100024>.

OLIVEIRA, Sergio de. Capítulo 1: Introdução. In: OLIVEIRA, Sérgio de. **Internet das coisas com ESP82266, ARDUINO e RASPBERRY PI**. São Paulo: Novatec Editora Ltda, 2017. Cap. 15. p. 17-235.

PINHEIRO, Tânia Brandão. **Processo integrado de produção de uma bebida destilada para a revalorização de drêche de uma microcervejaria**. 2017. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biotecnologia, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2017.

ROSA, Sergio Eduardo Silveira da; COSENZA, José Paulo; LEÃO, Luciana Teixeira de Souza. Panorama do setor de bebidas no Brasil. **Bndes Setorial**, Rio de Janeiro, n. 23, p. 101-150, mar. 2006.

SAUER, Dayane Letícia. **Proposta de utilização de um acelerômetro acoplado ao Arduino como alternativa de ensino de Física**. 2019. 112 f.

TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Física, Universidade Federal Fronteira Sul, Realeza, 2019.

VASCONCELOS, Bruna Barreto de Aguiar Ferraz. **Projeto de densímetro digital para a produção artesanal de cerveja**. 2019. 172 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília - Df, 2019.

APÊNDICE A

DESCRIÇÃO DOS CÓDIGOS UTILIZADOS

A.1. Calibração do Sensor MPU6050

```
#include<Wire.h>
#include <RF24.h>

const int MPU_addr=0x68;
int16_t AcX,AcY,AcZ,Tmp,GyX,GyY,GyZ;

int minVal=265;
int maxVal=402;

double x;
double y;
double z;

RF24 radio(7, 8); //CE, CSN
byte enderecos[6] = "00001";

void setup(){
  Wire.begin();
  Wire.beginTransmission(MPU_addr);
  Wire.write(0x6B);
  Wire.write(0);
  Wire.endTransmission(true);

  radio.begin();
  radio.openWritingPipe(enderecos);
  radio.stopListening();

  Serial.begin(9600);
}
```

```
void loop() {
Wire.beginTransaction(MPU_addr);
Wire.write(0x3B);
Wire.endTransmission(false);
Wire.requestFrom(MPU_addr,14,true);
AcX=Wire.read()<<8|Wire.read();
AcY=Wire.read()<<8|Wire.read();
AcZ=Wire.read()<<8|Wire.read();
int xAng = map(AcX,minVal,maxVal,0,180);
int yAng = map(AcY,minVal,maxVal,0,180);
int zAng = map(AcZ,minVal,maxVal,0,180);

x= (RAD_TO_DEG * (atan2(yAng, zAng)-PI))*(-1);
//y= RAD_TO_DEG * (atan2(-xAng, -zAng)+PI);
//z= RAD_TO_DEG * (atan2(yAng, xAng)-PI)*(-1);

radio.write( &x, sizeof(double));

delay(500);
}
```

A.2. Calibração sensor nRF24L01+ como transmissor

```
#include <RF24.h>

char x = "Teste";

RF24 radio(7, 8); //CE, CSN
byte enderecos[6] = "00001";

void setup() {

    radio.begin();
    radio.openWritingPipe(enderecos);
    radio.stopListening();

    Serial.begin(9600);
}
void loop() {

    radio.write( &x, sizeof(char));

    delay(500);
}
```

A.3. Calibração do sensor nRF24L01+ como receptor

```
#include <RF24.h>

RF24 radio(7, 8); //CE, CSN
byte enderecos[6] = "00001";

void setup() {

    Serial.begin(9600);

    radio.begin();
    radio.openReadingPipe(0, enderecos);
    radio.startListening();
}

void loop() {

    if (radio.available()) {
        char x;
        radio.read( &x, sizeof(char));

        Serial.println(x);

        delay (500);
    }
}
```

A.4. Código para funcionamento do *Spindle*

```

#include<Wire.h>
#include <RF24.h>

const int MPU_addr=0x68;
int16_t AcX,AcY,AcZ,Tmp,GyX,GyY,GyZ;

int minVal=265;
int maxVal=402;

double x;
double y;
double z;

RF24 radio(7, 8); //CE, CSN
byte enderecos[6] = "00001";

void setup() {
  Wire.begin();
  Wire.beginTransmission(MPU_addr);
  Wire.write(0x6B);
  Wire.write(0);
  Wire.endTransmission(true);

  radio.begin();
  radio.openWritingPipe(enderecos);
  radio.stopListening();

  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  Wire.beginTransmission(MPU_addr);
  Wire.write(0x3B);
  Wire.endTransmission(false);
  Wire.requestFrom(MPU_addr,14,true);
  AcX=Wire.read()<<8|Wire.read();

```

```
AcY=Wire.read()<<8|Wire.read();
AcZ=Wire.read()<<8|Wire.read();
int xAng = map(AcX,minVal,maxVal,0,180);
int yAng = map(AcY,minVal,maxVal,0,180);
int zAng = map(AcZ,minVal,maxVal,0,180);

x= (RAD_TO_DEG * (atan2(yAng, zAng)-PI))*(-1);
//y= RAD_TO_DEG * (atan2(-xAng, -zAng)+PI);
//z= RAD_TO_DEG * (atan2(yAng, xAng)-PI))*(-1);

radio.write( &x, sizeof(double));

delay(500);
}
```

A.5. Código para recepção de dados enviados pelo *Spindle*

```
#include <RF24.h>

RF24 radio(7, 8); //CE, CSN
byte enderecos[6] = "00001";

void setup() {

    Serial.begin(9600);

    radio.begin();
    radio.openReadingPipe(0, enderecos);
    radio.startListening();
}

void loop() {

    if (radio.available()) {
        double x;
        radio.read( &x, sizeof(double));

        Serial.print("AngleX= ");
        Serial.println(x);

        delay (500);
    }
}
```