

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RAFAEL BALDIN
GUSTAVO MATEUS FERREIRA

IMPLEMENTAÇÃO DE ESPECTROFOTÔMETRO DE BAIXO CUSTO PARA
MONITORAMENTO DE QUALIDADE DE GASOLINA

CURITIBA

2019

RAFAEL BALDIN
GUSTAVO MATEUS FERREIRA

IMPLEMENTAÇÃO DE ESPECTROFOTÔMETRO DE BAIXO CUSTO
PARA MONITORAMENTO DE QUALIDADE DE GASOLINA

Relatório da solução em malha aberta
para monitorar qualidade de gasolina
utilizando espectrofotômetro, do
trabalho de conclusão de curso B, da
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. James Baraniuk
Co-orientador: José Carlos da Cunha
Acompanhamento: Prof. Dr. João da
Silva Dias

CURITIBA
2019

RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso se propõe a produzir, primordialmente, um protótipo de bancada capaz de detectar se a uma solução líquida de gasolina possui acima do limite de 27% de álcool ou não. O sensor utilizado para tal foi um espectrofotômetro comercial, que é capaz de medir o conteúdo espectral de uma amostra (no caso deste projeto, por meio da refletância) de acordo com cada comprimento de onda que o sensor suporta, cada qual referente a uma frequência. Além disso, ele é capaz de comunicar, através de um modem acústico, uma imagem que corresponde ao caso de uma amostra de gasolina estar com teor alcoólico em demasia. Para confecção do projeto, foram feitos: circuito de amplificação sonora, circuito de chaveamento de relés, programação de telecomunicação, integração eletrônica entre o sensor espectrofotômetro, microcontrolador, tocador de áudio e os outros circuitos, confecção de arquivos de áudio, construção de câmara escura e coletas de amostras de combustíveis. Os resultados foram satisfatórios por terem sido baseados a partir de gráficos de várias amostras e interpretando-os e identificando o comportamento do espectro. A partir disso, foi encontrado um ponto crítico que, se ultrapassado, é acionado o modem para que este envie uma mensagem alertando da não adequação ao limite imposto.

Palavras-chave: Espectrofotômetro. Combustível. Telecomunicação. Gasolina. Etanol. Refletância. Espectro.

ABSTRACT

The present work of course conclusion aims to produce, primarily, a bench prototype capable of detecting if a liquid solution of gasoline has above the limit of 27% of alcohol or not. The sensor used for this was a commercial spectrophotometer, which is capable of measuring the spectral content of a sample (in the case of this project, by reflectance) according to each wavelength the sensor supports, each referring to a frequency. In addition, it is capable of communicating, via an acoustic modem, an image corresponding to the case that a sample of gasoline is too alcoholic. To make the project, were made: sound amplification circuit, relay switching circuit, telecommunication programming, electronic integration between the spectrophotometer sensor, microcontroller, audio player and other circuits, making audio files, darkroom construction and fuel sampling. The results were satisfactory because they were based on graphs of various samples and interpreting them and identifying the behavior of the spectrum. From this, it was found a critical point that, if exceeded, the modem is triggered so that it sends a message warning of the non-compliance with the imposed limit.

Keywords: Spectrophotometer. Fuel. Telecommunication. Gasoline. Ethanol. Reflectance. Spectrum.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 – SÍMBOLO DA ANP..... | 11 |
| FIGURA 2 – ILUSTRAÇÃO DA DECOMPOSIÇÃO DA LUZ BRANCA FORMANDO O ESPECTRO VISÍVEL..... | 15 |
| FIGURA 3 – ESPECTRO SOLAR COM RAIAS DE FRAUNHOFER..... | 16 |
| FIGURA 4 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO INTERNO DE UM ESPECTROFOTÔMETRO..... | 17 |
| FIGURA 5 – FOTÔMETRO REAL QUE CAPTA ABSORBÂNCIA DE UMA SUBSTÂNCIA..... | 18 |
| FIGURA 6 - HAMAMATSU C12880MA, O ESPECTROFOTÔMETRO DO PROJETO..... | 19 |
| FIGURA 7 - PINOS DO HAMAMATSU C12880MA..... | 19 |
| FIGURA 8 – ESTRUTURA DO FEIXE DE LUZ MONOCROMÁTICO REFLETE SOBRE UM “PRISMA” CÔNCAVO ATÉ O DETECTOR QUE CAPTA OS FEIXES COLORIDOS..... | 20 |
| FIGURA 9 - ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO ESPECTROFOTÔMETRO APLICADO A FRUTAS..... | 20 |
| FIGURA 10 - DIAGRAMA DE VENN INTRODUIDO POR M. EDWARD MOTAMEDI EXPLICANDO A TECNOLOGIA MOEMS..... | 21 |
| FIGURA 11 - COMPARATIVO DE MEDIÇÃO DE INCIDÊNCIA LUMINOSA ENTRE DOIS ESPECTROFOTÔMETROS DA SÉRIE SM DA HAMAMATSU..... | 23 |
| FIGURA 12 - SPECTROMETER BREAKOUT – MOUNTED DA FUTURA GROUP SRL..... | 24 |
| FIGURA 13 - TIDA-00554 DLP ULTRA-MOBILE NIR SPECTROMETER PARA ANÁLISE QUÍMICA PORTÁTIL COM DESIGN DE REFERÊNCIA DA CONECTIVIDADE BLUETOOTH..... | 24 |
| FIGURA 14 – FEIXE DE LUZ MONOCROMÁTICO ATRAVESSA UM RECIPIENTE..... | 25 |
| FIGURA 15 - POSSÍVEIS PRODUTOS DA DESTILAÇÃO FRACIONADA DO PETRÓLEO..... | 27 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 16 - CADEIA CARBÔNICA DO MELHOR HIDROCARBONETO PARA COMBUSTÃO..... | 28 |
| FIGURA 17 - CADEIA CARBÔNICA DO PIOR HIDROCARBONETO PARA COMBUSTÃO..... | 28 |
| FIGURA 18 - EXEMPLO DE MEDIÇÕES ESPECTRAIS COM AMOSTRAS DIVERSAS DE ETANOL E GASOLINA..... | 29 |
| FIGURA 19 - CONFIGURAÇÃO DE PINOS DO ATMEGA328 USADO NO ARDUINO UNO..... | 32 |
| FIGURA 20 - MÓDULO ESP8266 ESP-32 WI-FI E BLUETOOTH..... | 32 |
| FIGURA 21 - RÁDIO MODEM SCHNEIDER TRIO JR900..... | 33 |
| FIGURA 22 - GATEWAY GPRS..... | 33 |
| FIGURA 23 - VARIAÇÃO DE FASE EM FUNÇÃO DA TRANSIÇÃO DE BIT DO SINAL USANDO MODULAÇÃO BPSK..... | 34 |
| FIGURA 24 - DIAGRAMA EM BLOCOS DO MONITORAMENTO EM MALHA ABERTA DE COMBUSTÍVEL DA DISTRIBUIDORA..... | 35 |
| FIGURA 25 - ESTRUTURA PRINCIPAL DACÂMARA ESCURA MODELADA EM SOFTWARE..... | 37 |
| FIGURA 26 - APARELHO USADO NA TRANSMISSÃO DE ÁUDIO..... | 38 |
| FIGURA 27 - ESQUEMÁTICO DO AMPLIFICADOR SONORO COM O CI TDA7052A NO MEIO..... | 39 |
| FIGURA 28 - PLACA DO AMPLIFICADOR SONORO COM O CI TDA7052A NO MEIO..... | 39 |
| FIGURA 29 - PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO SENDO TESTADA (COM SUCESSO)..... | 40 |
| FIGURA 30 - QUADRO USADO NA TRANSMISSÃO..... | 41 |
| FIGURA 31 – FIGURA 31: CONECTOR USADO NO PROJETO (RETIRADO DO EAGLE)..... | 44 |
| FIGURA 32 – CONECTOR QUE DEVERIA TER SIDO UTILIZADO (RETIRADO DO EAGLE)..... | 44 |
| FIGURA 33 – GASOLINA ADULTERADA EM FORMATO WAV..... | 46 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 34 – GRÁFICO DE AMOSTRA COM CONCENTRAÇÃO ALCOÓLICA DE 27%..... | 47 |
| FIGURA 35 - GRÁFICO DE AMOSTRA COM CONCENTRAÇÃO ALCOÓLICA DE 28%..... | 47 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA | 10 |
| 1.2 OBJETIVO GERAL | 12 |
| 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 12 |
| 1.4 ESTADO DA ARTE | 13 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 14 |
| 2.1 O QUE É ESPECTRO? | 14 |
| 2.1.1 ESPECTROFOTÔMETRO..... | 15 |
| 2.1.2 LEI DE LAMBERT-BEER..... | 24 |
| 2.2 COMBUSTÍVEIS..... | 26 |
| 2.2.1 Gasolina..... | 28 |
| 2.3 O QUE É UM MICROCONTROLADOR?..... | 29 |
| 2.4 MÉTODOS DE COMUNICAÇÃO..... | 31 |
| 2.4.1 Módulo Esp8266 Esp-32 Wi-Fi E Bluetooth | 32 |
| 2.4.2 Rádio Modem Schneider TRIO jr900 | 33 |
| 2.4.3 GATEWAY GPRS | 33 |
| 2.4.4 Modem subaquático..... | 34 |
| 3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO | 35 |
| 3.1 CÂMARA ESCURA..... | 36 |
| 3.2 WAV PLAYER..... | 37 |
| 3.4 PROGRAMAÇÃO E SOFTWARES | 38 |
| 3.4.1.1 TRANSMISSOR BPSK | 40 |
| 3.4.1.2 RECEPTOR BPSK..... | 41 |

| | |
|--|-----------|
| 3.4.2 ATMEL STUDIO 7..... | 41 |
| 3.5 AMOSTRAS..... | 41 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 43 |
| 5 CONCLUSÕES..... | 48 |
| REFERÊNCIAS | 49 |
| APÊNDICE 1 – Gráficos gerados com a câmara escura..... | 53 |
| APÊNDICE 2 – Fotos da câmara escura..... | 66 |
| ANEXO 1 – Datasheet do HAMAMATSU C12880MA | 69 |
| ANEXO 2 – Linha de espectrofotômetros da Hamamatsu..... | 70 |

1 INTRODUÇÃO

Combustíveis sempre tiveram uma grande importância econômica ao longo da história da humanidade. Desde a pré-história, os combustíveis estiveram presentes e sempre foram primordiais para sobrevivência e conforto durante milhões de anos. Isso por que as funções principais desse tipo de recurso foram as de geração de luz e calor através do fogo. A partir dele, o homem conseguiu primeiramente: aperfeiçoar métodos de caça e defesa, proteger-se do frio e desenvolver culinária (prevenindo doenças e atizando a criatividade no desenvolvimento de novos sabores). Com o passar do tempo, o fogo foi manipulado de modo a aprimorar a metalurgia (através da fundição) e alvenaria; também serviu como método de telecomunicação por alguns povos através da fumaça.

O fogo se manifesta através da combustão, reação química exotérmica onde se possui um combustível a ser queimado e oxigênio como reagentes e onde se consegue o dióxido de carbono e água (ambos gasosos) como principais produtos. Atualmente, esse princípio é aplicado através de faíscas e arcos elétricos para ignição em vez do fogo.

Os combustíveis, conforme o desenvolvimento tecnológico, passaram a ser usados para geração de energia. Isso aconteceu de tal modo que, qualquer substância com potencial energético, através de diferentes reações químicas e por fissão ou fusão nuclear, pode ser considerada combustível (BARSA, 1982). No melhoramento tecnológico de processos químico-industriais, também tem se preocupado com a qualidade dos combustíveis que estão sendo usados para obter maior rendimento e eficiência, a ponto de máquinas de combustão serem concebidas para determinados tipos de combustíveis com determinadas qualidades.

1.1 JUSTIFICATIVA

Na atualidade, as máquinas de combustão podem ser usadas tanto como geradores quanto como motores. Os geradores podem ser usados na geração consistente e confiável de energia elétrica, o que é muito importante em indústrias e

hospitais que precisam de energia ininterrupta para evitar prejuízos graves, mesmo que isso acarrete em aumento no custo da energia elétrica e na poluição.

Os motores a combustão possuem uma forte presença na indústria automobilística, que, no Brasil, corresponde a 4% na formação do Produto Interno Bruto (PIB) e 12% na arrecadação de impostos (MEGALE, 2018). Esse setor industrial é economicamente muito relevante no Brasil, já que ele representa 22% do PIB industrial, com o Brasil se classificando em 10º lugar como maior produtor de automóveis, com 1,77 milhões de veículos produzidos dos 72,1 milhões do mundo (BRASIL, 2016). Como boa parte dessa frota é composta de veículos com motores à combustão, ela precisa ser muito bem suprida com combustíveis da qualidade exigida pela legislação vigente no país.

Nesse contexto, um dos combustíveis mais usados no Brasil é a gasolina do tipo C, que possui um certo teor alcoólico que é exigido pela Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (ANP, figura 1). O etanol utilizado é o etanol anidro ou absoluto, por ser quase 100% etanol e ele fornece duas vantagens: aumenta o índice de octanagem da gasolina para evitar diminuição de potência (BARROS et al., 2008) e reduzir poluição do monóxido de carbono.

FIGURA 1 – SÍMBOLO DA ANP



Diante dessa situação, faz-se necessário um melhor monitoramento para fiscalizar a proporção alcoólica em postos. Desse modo, o consumidor poderá evitar pagar mais numa gasolina com álcool em excesso ou acabar comprando uma gasolina muito poluente.

Para fazer a implementação da solução para melhorar o monitoramento, é necessário que se tenha em vista a comunicação entre a parte de sensoriamento que estará dentro do tanque (explicada na parte de metodologia) e banco de dados. Levando em consideração que o projeto lida com substâncias inflamáveis e explosivas, não é adequado colocar cabos condutores no meio do tanque, já que uma corrosão efetuada pelo etanol pode ocasionar contato dele com eletricidade, o que pode gerar acidentes. Outro motivo para não usar cabos condutores é que a parte de vedação fica mais complicada, uma vez que eles vão ter que sair do tanque de alguma forma. Isso também acarreta em alterações na estrutura dos tanques e reservatórios, o que é desinteressante para os postos de combustíveis financeiramente.

Levando em consideração os problemas que os cabos podem ocasionar, torna-se pertinente o uso de uma comunicação sem fio para que o microcontrolador associado ao sensor mande os dados à estação de monitoramento.

1.2 OBJETIVO GERAL

O principal objetivo do presente trabalho é justamente construir um sistema que faça uma leitura de combustível, de modo a informar sobre a quantidade de álcool na gasolina com a utilização de um espectrofotômetro de baixo custo.

O combustível em questão a ser utilizado é a gasolina, que possui um percentual de álcool em sua composição. A partir disso, será analisada a proporção de álcool a partir de amostra de gasolina e com isso identificar se a gasolina está dentro ou fora da porcentagem de álcool prevista na lei.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para construir um protótipo de identificação de qualidade de gasolina, propõe-se alinhar os seguintes objetivos:

- a) adaptar programação para processar dados envolvidos no sensoriamento;
- b) definir e configurar o método de comunicação (sem fio);
- c) testar diferentes amostras de combustíveis para avaliar a confiabilidade do sistema;

- d) montar e calibrar o sistema para averiguar falha ou imprecisão na identificação de qualidade;
- e) utilizar luz ultravioleta visando resultados espectrais satisfatórios;
- f) Comparar duas câmaras escuras, sendo uma impressa e outra improvisada.

1.4 ESTADO DA ARTE

Um aparelho chamado turbidímetro foi utilizado para cultivo de microalgas em tratamento de efluente de esgoto, em que a autora conseguiu realizá-la com sucesso (TORRES, 2014). O turbidímetro possui um princípio de funcionamento semelhante a de um espectrofotômetro, só que mais direcionado para captar turbidez.

Um projeto com foco em desenvolver um monitoramento de mananciais utilizou um espectrofotômetro para tal. A comunicação é feita por modulação sonora BPSK, através de modem acústico, que comunica ao supervisor de uma Estação de Tratamento de Água, através de um microfone receptor, a presença de um contaminante (FERREIRA, KATO, 2019).

O projeto de interface de um espectrofotômetro obteve êxito no funcionamento, comprovando tal através de gráficos que conseguiu plotar em ferramenta de desenvolvimento próprio no seu PC (JUOLA, 2017).

Uma equipe usou um turbidímetro para analisar quantas microalgas havia nos cultivos laboratoriais, conseguindo digitalizar seu sinal, através de microcontrolador e circuitos eletrônicos. Foi feita uma comparação entre o turbidímetro e o espectrofotômetro Shimadzu UVmini 1240 para motivos de calibração (BENAVIDES, MAILIER, HANTSON, 2015).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na fundamentação teórica, objetiva-se detalhar conceitos e ferramentas importantes à concepção do projeto. A espectrofotometria será abordada tanto conceitualmente quanto matematicamente.

Depois serão abordados combustíveis, em especial a gasolina e o álcool. Depois o motor a combustão interna será abordado para compreender melhor como seu funcionamento pode ser interferido por agentes espectralmente reconhecíveis.

Logo após, será apresentado o microcontrolador a ser utilizado no projeto. Em seguida serão abordados alguns tipos de comunicação e qual melhor se adequa ao projeto.

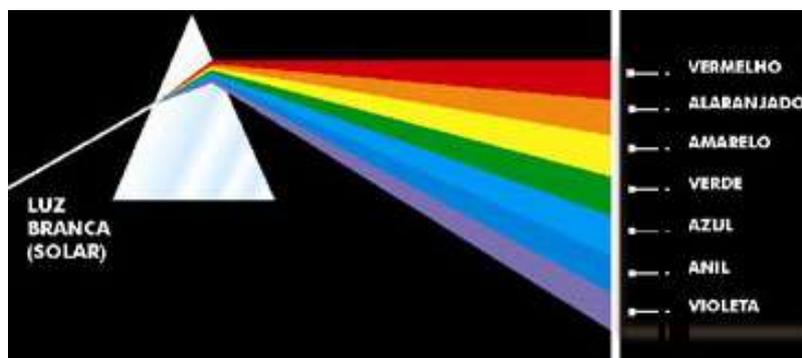
2.1 O QUE É ESPECTRO?

Neste exato momento você pode dizer quais frequências estão sendo emitidas ou absorvidas daquilo que enxerga? Se você é como a maioria das pessoas sua resposta é não. Quando se trata de espectro, normalmente se refere ao espectro luminoso, que é aquele visível pelo ser humano. Há também outros espectros como: raios gama, raios X, ultravioleta, infravermelho, micro-ondas e ondas hertzianas (todas invisíveis). Esses espectros possuem grandes importâncias dentro da física e engenharia elétrica, permitindo desde diagnóstico médico por imagens até telecomunicações (BARSA, 1982).

Mas afinal, o que é o espectro? O espectro é um conjunto de frequências emitidas que resultam em ondas. As ondas também podem ser identificadas por seus comprimentos, que denotam a característica física delas. Pode-se citar o experimento de Isaac Newton, em que ele percebeu que a luz branca, ao passar por um prisma, revela todo o espectro visível, também conhecido como espectro solar. Quando uma luz branca passa por um prisma, luzes coloridas saem refratadas do mesmo. Quanto mais curto o comprimento de onda, mais ela refrata. Assim, a onda de luz violeta (370nm) desvia mais do que a onda de luz vermelha (750nm) ao sair do prisma (BARSA, 1982), como mostra a figura 2.

O espectro de emissão se refere ao espectro visível de um corpo que irradia

FIGURA 2 – ILUSTRAÇÃO DA DECOMPOSIÇÃO DA LUZ BRANCA FORMANDO O ESPECTRO VISÍVEL



FONTE: ESEQ@RTES (2010).

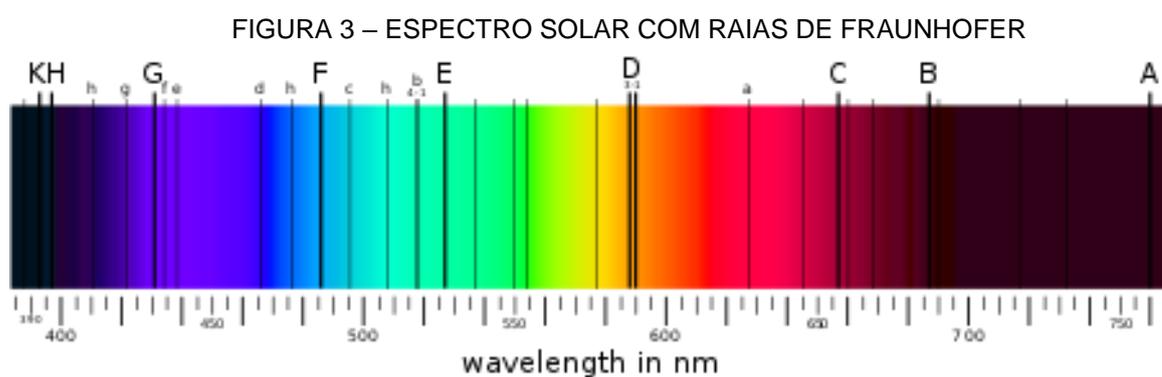
ondas. O espectro de emissão contínuo se refere a um corpo que irradia várias frequências, enquanto o espectro de emissão descontínuo se refere a um corpo que irradia apenas algumas frequências (EXITUS, 1982). Esses espectros são os espectros importantes a serem detectados pelo espectrofotômetro, por delinearem características das substâncias analisadas.

2.1.1 ESPECTROFOTÔMETRO

Materiais de todos os tipos podem ser identificados pelo homem, seja pelo olfato, textura/tato, paladar, visão/aparência e até mesmo pela audição. Mas quando as amostras começam a ficar muito rarefeitas, os sentidos naturais do ser humano não conseguem mais identificá-las. Por isso, o espectrofotômetro é uma ferramenta que pode ser usada para identificar, ao menos visualmente, substâncias de acordo com sua característica espectral. Ele mede a luminosidade absorvida de uma amostra de substância. Conforme a absorção de cada amostra varia de acordo com cada comprimento de onda que a amostra emite, assim dar-se-á a característica espectral do material em questão. Por exemplo, se uma solução analisada possui uma coloração muito avermelhada, isso significa que ela absorve ondas mais curtas (próximas ao violeta) e reflete ondas mais longas. O espectrofotômetro capta esse comportamento espectral. A partir disso, pode-se sugerir, segundo a literatura, que essa substância avermelhada está associada à absorção do oxigênio (EXITUS, 1982).

As raias de Fraunhofer (figura 3) servem para catalogar e correlacionar cores (já que cada grupo de raias constitui uma banda no espectro) com elementos

químicos, já que cada elemento absorve e emite diferentes ondas de luz. Segundo essas raias, a amostra avermelhada exemplificada estaria localizada dentre as raias A, B e C conforme a pureza da amostra e condições na captação. Dessa forma, uma substância desconhecida pode ser reconhecida através de seus comprimentos de onda predominantes, que vão denotar a raia em que a substância se encontra (EXITUS, 1982).



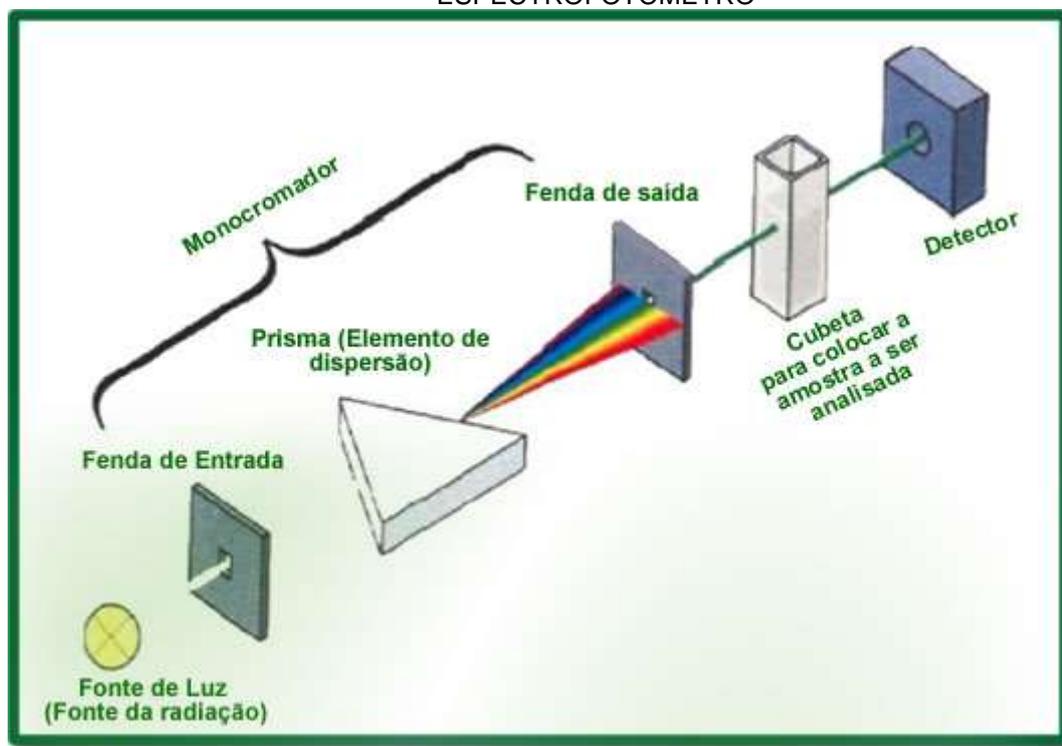
FONTE: UNIVERSO (2012).

O espectrofotômetro funciona, em parte, como o experimento de Isaac Newton. Uma luz monocromática (branca) passa por um monocromador, constituído basicamente por fendas de entrada e saída e de um prisma. Ao sair do monocromador, um feixe de luz de determinada cor passa por uma amostra (líquida de preferência) dentro de um recipiente transparente, evitando absorção indesejada (BARSA, 1982). Um detector avaliará essa penetração, quantificando logaritmicamente o quanto a amostra em questão absorveu para determinado comprimento (cor) de onda. A ilustração do funcionamento de um espectrofotômetro convencional pode ser vista na figura 4.

Para coletar a característica espectral, será utilizado o espectrofotômetro Hamamatsu C12880MA (figura 6), que possui várias características (informadas pelo fabricante), dentre elas estão (ANEXO 1):

- a) ultracompacto (tamanho de uma moeda: 20,1 x 12,5 x 10,1 mm);
- b) massa: 5 g;
- c) alcance espectral: 340 até 850 nm;
- d) alta sensibilidade;
- e) resolução espectral máxima: 15 nm;

FIGURA 4 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO INTERNO DE UM ESPECTROFOTÔMETRO



FONTE: MARTINEZ (2019).

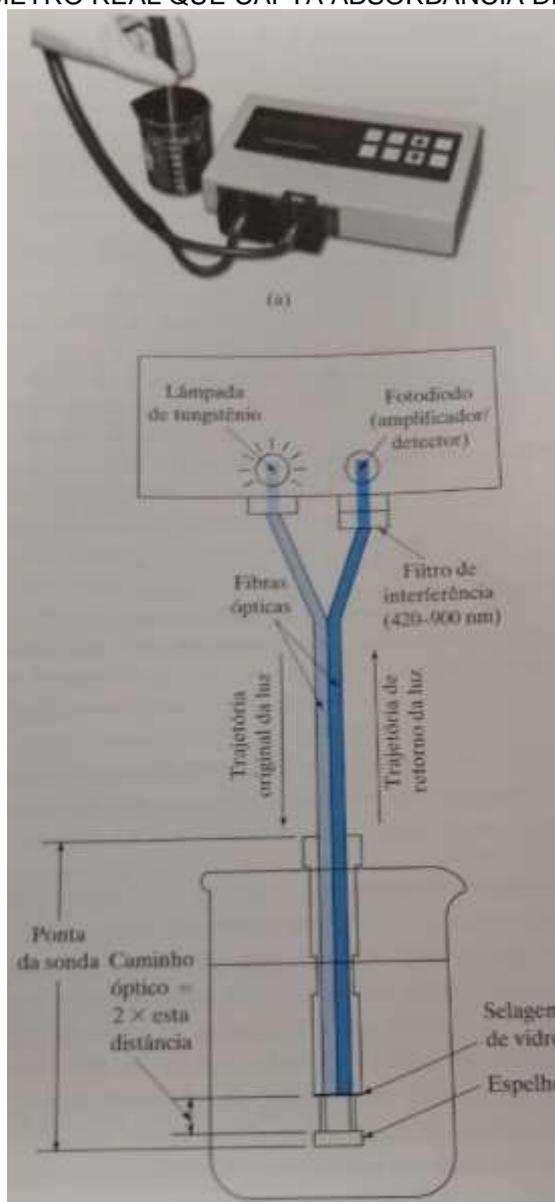
- f) Suporta integração sincronizada;
- g) alta confiabilidade contra humidade;
- h) integração com equipamento de medição móvel.

A figura 5 mostra um exemplo real de um aparelho que mede absorvância de uma substância. A fonte de luz passa por um líquido que por sua vez reflete num espelho para uma sonda que encaminha o feixe para o detector.

A figura 7 mostra os pinos do espectrofotômetro e cada um deles tem o seguinte nome e significado (ANEXO 1):

1. Tensão de alimentação: entrada do sensor de potência de alimentação de 5V.
2. Terra: sensor de terra.
3. Tensão de alimentação: entrada do sensor de potência de alimentação de 5V.
4. Pulso de relógio: entrada do sensor de pulso de relógio.
5. Cápsula: conexão da cápsula.
6. Pulso de início: entrada do pulso de início.
7. Pulso de gatilho: saída do pulso para capturar sinais de sensor de vídeo.

FIGURA 5 – FOTÔMETRO REAL QUE CAPTA ABSORBÂNCIA DE UMA SUBSTÂNCIA



FONTE: HOLLER et al. (2009).

8. Pino de fixação: não se conecta eletricamente.
9. Fim do scan: saída do sensor de scan.
10. Saída de vídeo: saída do sensor de vídeo.

Áreas aplicáveis:

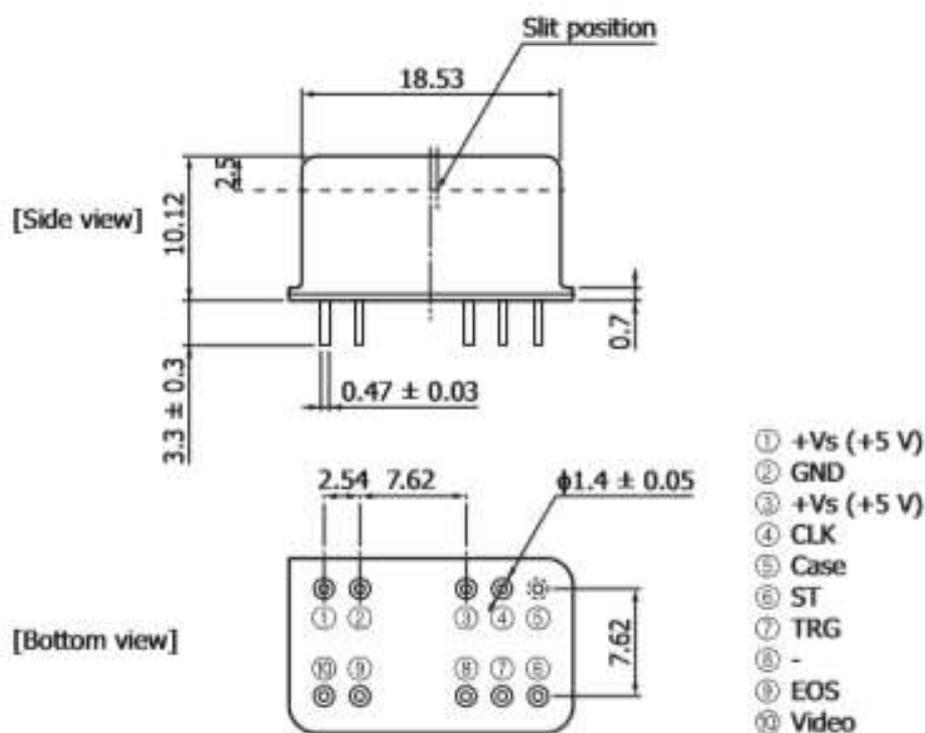
- a) inspeção alimentícia;
- b) biometria;
- c) testador de luzes, LEDs, etc.

FIGURA 6 - HAMAMATSU C12880MA, O ESPECTROFOTÔMETRO DO PROJETO



FONTE: HAMAMATSU (2018)

FIGURA 7: PINOS DO HAMAMATSU C12880MA



FONTE: HAMAMATSU (2018).

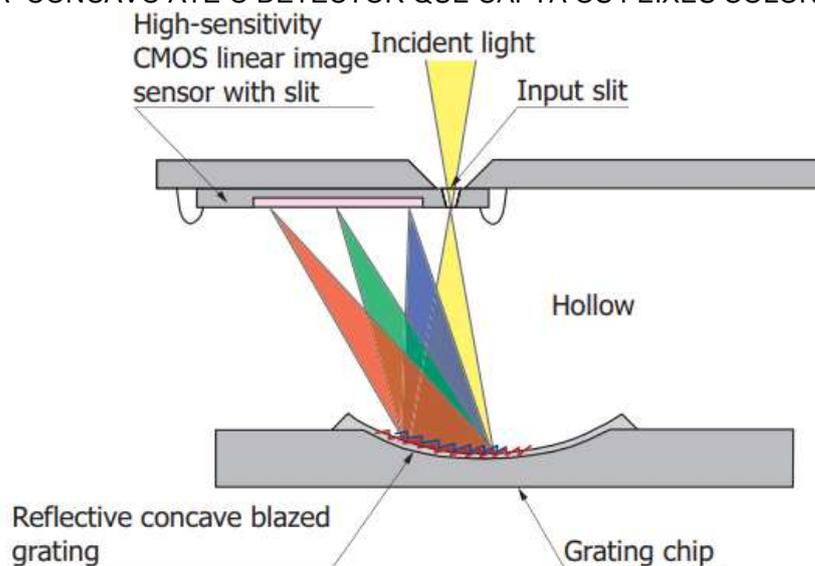
d) controle de monitoramento da qualidade da água e outros instrumentos de medição ambiental;

e) vários níveis de medição luminosa.

No caso do Hamamatsu C12880MA, o esquema de funcionamento é um pouco diferente do que o mostrado na figura 4. Como ele é um espectrofotômetro compacto (na ordem de milímetros) a ser introduzido em um sistema, ele possui o detector embutido no próprio sensor e possui apenas uma fenda. Ele ainda possui

uma grade côncava reflexiva resplandecente que, além de funcionar como um prisma, ela ainda direciona o feixe de luz para o detector (ANEXO 1). Na figura 8 pode-se ver esse esquema de funcionamento.

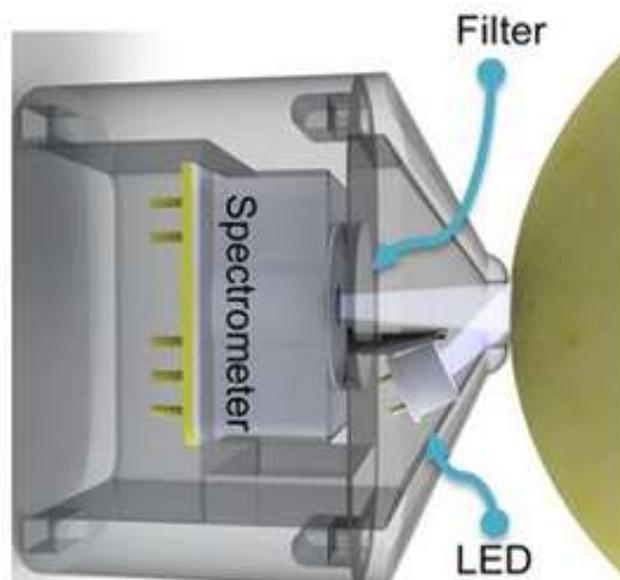
FIGURA 8 – ESTRUTURA DO FEIXE DE LUZ MONOCROMÁTICO REFLETE SOBRE UM “PRISMA” CÔNCAVO ATÉ O DETECTOR QUE CAPTA OS FEIXES COLORIDOS



FONTE: HAMAMATSU (2018).

O esquema de funcionamento do C12880MA segue o padrão apresentado na figura 9.

FIGURA 9: ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO ESPECTROFOTÔMETRO APLICADO A FRUTAS



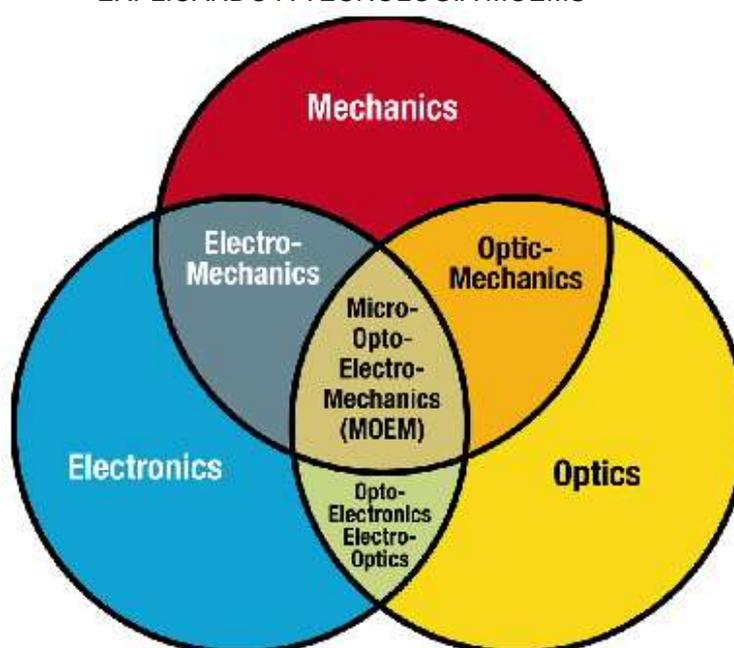
FONTE: ANSHUMAN et al, (2016).

O espectrofotômetro C12880MA possui um LED próprio em sua placa que colima na mesma direção que o sensor, mas com certa angulação que faz com que o feixe de luz percebido seja feito através da reflectância. A reflectância é a razão entre a intensidade de feixe de luz refletido e a intensidade de feixe de luz incidente.

2.1.1.1 Principais Parâmetros Técnicos

O espectrofotômetro Hamamatsu C12880MA possui parâmetros técnicos semelhantes ou comparáveis à série em que pertence, chamada de *MS series* (ANEXO 2). Essa série é baseada em tecnologia MOEMS (*Micro-Opto-Electro-Mechanical Systems*) que é a aplicação de sistemas eletrônicos, mecânicos e ópticos em miniatura, como mostra a figura 10. Essa tecnologia envolve essencialmente a extração e manipulação de sinais ópticos em escala microscópica utilizando sistemas elétricos e mecânicos.

FIGURA 10: DIAGRAMA DE VENN INTRODUZIDO POR M. EDWARD MOTAMEDI EXPLICANDO A TECNOLOGIA MOEMS



FONTE: MOTAMEDI (2011).

A série *MS series* também possui sensor de imagem integrado CMOS (*Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*), que é uma tecnologia de semicondutor

muito empregada na eletrônica (ANEXO 2). A tabela 1 mostra os principais parâmetros dentro dessa série. Como pode ser constatado, o C12880MA assim como os outros, contém o sensor de imagem CMOS, mas é o único com o diferencial de ter alta sensibilidade. Além disso, o CMOS do C12880MA tem uma larga carga-tensão em conversão de ganho. Isso faz com que ele seja mais indicado para situações em que o nível de incidência de luz se encontra baixo, pois ele vai desempenhar uma boa medida na relação sinal/ruído (ANEXO 2). A comparação de incidência de luz entre o C12666MA e o C12880MA pode ser vista na figura 11. Isso torna o C12880MA mais indicado em ambientes escuros como no caso de reservatórios de combustível em distribuidoras, pois elas se comportariam como câmaras escuras.

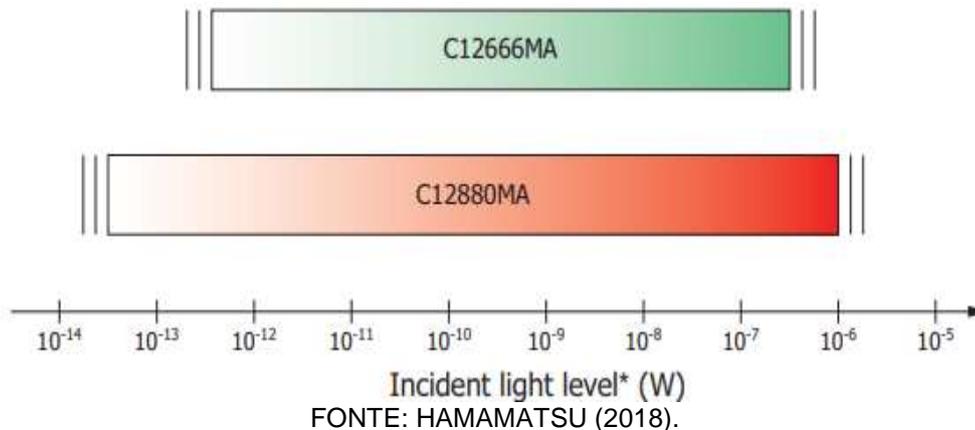
TABELA 1: HAMAMATSU MINI-SPECTROMETERS (ANEXO 2)

| Parameter | Micro-spectrometer | | MS series | Unit |
|--------------------------------------|--|--|---|--------|
| | C12666MA | C12880MA | C11708MA | |
| Photo |  |  |  | - |
| Type | Spectrometer head Wide dynamic range | Spectrometer head High sensitivity | Spectrometer head For near IR | - |
| Spectral response range | 340 to 780 | 340 to 850 | 640 to 1050 | nm |
| Spectral resolution (FWHM)*1 | 15 max. | | 20 max. | nm |
| Wavelength reproducibility*2 | -0.5 to +0.5 | | | mm |
| Wavelength temperature dependence | -0.1 to +0.1 | | -0.05 to +0.05 | nm/°C |
| Spectral stray light*1 *3 | -25 max. | | | dB |
| Dimensions (W x D x H) | 20.1 x 12.5 x 10.1 | | 27.6 x 16.8 x 13 | mm |
| Weight | 5 | | 9 | g |
| Image sensor | CMOS linear image sensor | High-sensitivity CMOS linear image sensor | CMOS linear image sensor | - |
| Number of pixels | 256 | 288 | 256 | pixels |
| Slit (H x V)*4 | 50 x 750 | 50 x 500 | 75 x 750 | µm |
| NA*5 | 0.22 | | | - |
| Operating temperature*6 | +5 to +50 | | | °C |
| Storage temperature*6 | -20 to +70 | | | °C |
| Trigger compatible | - | | | - |
| Evaluation circuit (sold separately) | C14465-10 | C13016 | C14465 | - |

FONTE: HAMAMATSU (2018).

Outra vantagem do C12880MA é que ele ainda conta com um número maior de pixels, o que lhe confere uma maior resolução dentre os demais.

FIGURA 11: COMPARATIVO DE MEDIÇÃO DE INCIDÊNCIA LUMINOSA ENTRE DOIS ESPECTROFOTÔMETROS DA SÉRIE SM DA HAMAMATSU



2.1.1.2 Comparação com outras Marcas

Outras duas marcas foram levadas em consideração na escolha do espectrofotômetro: a italiana Futura Group Srl e a americana Texas Instruments. Eles não foram selecionados por apresentarem certas limitações que serão relatadas a seguir e que poderiam comprometer o projeto.

O Spectrometer breakout – mounted da Futura Group Srl, é um espectrofotômetro de muito baixo custo, cerca de 40 euros a unidade sem frete e taxa de importação. Isso não é necessariamente um ponto positivo, já que, em relação aos demais, o custo chega a ser muitas vezes menor, questionando-se assim a qualidade dos componentes do sensor.

Outro ponto desfavorável é a falta de dados técnicos do espectrofotômetro. No site de venda terceirizado do fabricante até são citados os principais sensores de luz que são usados no Spectrometer breakout – mounted: AMS AS72651, AS72652 e AS72653. Entretanto, não há alguma documentação (*datasheet*) presente no site, nem do fabricante nem da loja terceirizada. Isso pode ser prejudicial para compreender o espectrofotômetro como um todo para outras aplicações. Na figura 12, pode ser visto como é esse espectrofotômetro.

O espectrofotômetro da Texas Instruments, o TIDA-00554, é um espectrofotômetro muito sofisticado, mas que não atende à demanda do presente projeto. Apesar de possuir conectividade Bluetooth de baixo consumo e ser de alto desempenho, ele possui a limitação de se focar em demasia em infravermelho, pois

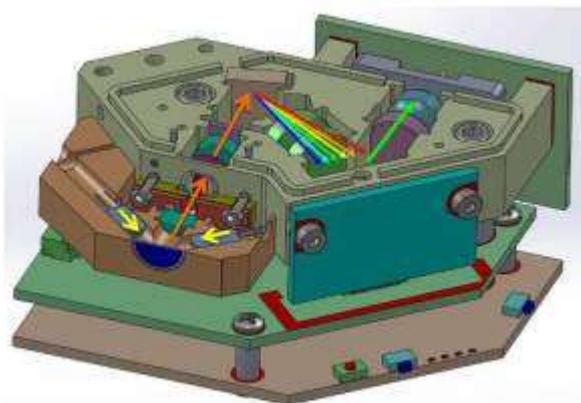
FIGURA 12: SPECTROMETER BREAKOUT – MOUNTED DA FUTURA GROUP SRL



FONTE: FUTURA ELETTRONICA (2019)

os comprimentos de onda dele vão de 900nm até 1700nm, o que não abrangeria líquidos combustíveis. Seu preço, apesar de ser considerado de baixo custo, chega a 999 dólares americanos sem frete nem taxa de importação. Assim acaba sendo mais caro do que o Hamamatsu C12880MA, que custou por volta de 300 dólares americanos sem frete nem taxa de importação. Outra vantagem do C12880MA é sua documentação. Por ser mais sucinta e concentrada em poucos arquivos (4), acaba sendo mais prático na compreensão do que o TIDA-00554 que possui seus dados técnicos distribuídos em cerca de 26 arquivos. Na figura 13, pode ser visto uma ilustração interna do espectrofotômetro da Texas Instruments.

FIGURA 13: TIDA-00554 DLP ULTRA-MOBILE NIR SPECTROMETER PARA ANÁLISE QUÍMICA PORTÁTIL COM DESIGN DE REFERÊNCIA DA CONECTIVIDADE BLUETOOTH



FONTE: TEXAS INSTRUMENTS (2019).

2.1.2 LEI DE LAMBERT-BEER

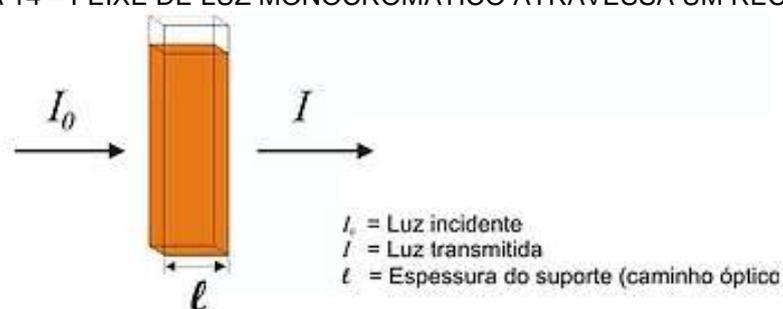
Para entender os dados que o espectrofotômetro capta, é necessário entender algumas fórmulas matemáticas pertinentes à bioquímica.

Como já supracitado, existe uma luz monocromática que atravessa uma solução absorvente (de concentração c) em um dado recipiente. Essa é dividida em dois feixes: o feixe incidente (de intensidade I_0) e o feixe emergente (de intensidade I). Evidentemente, o feixe incidente será maior que o feixe emergente, já que a ideia é que parte da luz seja absorvida pela substância para que esta possa ser identificada. Isso está ilustrado na figura 14.

A partir disso, extrai-se a transmitância T pela equação 1, que mede a capacidade de um material de transmitir um feixe de luz monocromático.

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (1)$$

FIGURA 14 – FEIXE DE LUZ MONOCROMÁTICO ATRAVESSA UM RECIPIENTE



FONTE: URUCUM (2017).

Porém, a absorvância é um parâmetro mais adequado (para caracterizar uma substância) porque existe uma relação linear entre ela e a concentração de uma substância absorvente em solução, o que não ocorre com a transmitância (BRACHT, ISHII-IWAMOTO, 2003, p.29), a absorvância pode ser definida como o logaritmo negativo da transmitância (equação 2).

$$A = -\log T = -\log \frac{I}{I_0} = \log \frac{I_0}{I} \quad (2)$$

A lei de Lambert-Beer é uma combinação de duas leis. A lei de Lambert diz que cada camada sucessiva, dx , do meio absorve uma fração igual, dI/I , da radiação de intensidade I incidente sobre ela (equação 3) (BRACHT, ISHII-IWAMOTO, 2003, p.29).

$$\frac{dI}{I} = -adx \quad (3)$$

Onde a é uma constante de proporcionalidade. Integrando a equação 3 de 0 a l , consegue-se a equação 4.

$$I = I_0 e^{-al} \quad (4)$$

A equação 4 é válida para uma concentração constante da substância absorvente da substância na solução. Em seus estudos sobre a influência da concentração sobre a transmitância, Beer chegou a uma equação parecida (equação 5) (BRACHT, ISHII-IWAMOTO, 2003, p.29).

$$I = I_0 e^{-bc} \quad (5)$$

Em que b é uma constante característica da substância em solução e função da espessura. Combinando as equações 4 e 5, tem-se equação 6.

$$I = I_0 e^{-\varepsilon'lc} \quad (6)$$

Em que ε' é uma constante combinada das constantes a e b. Para obter uma relação linear, deduz-se a equação 7.

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \frac{\varepsilon'}{2,303} lc = \varepsilon lc \quad (7)$$

Na equação 7, ε é o coeficiente de extinção molar, que está intimamente associada com o comprimento de onda de cada material. É a partir daí que se revela a relação entre absorvância, concentração e, indiretamente, comprimento de onda. A equação 8 mostra toda essa relação.

$$c = \frac{A}{\varepsilon l} \quad (8)$$

2.2 COMBUSTÍVEIS

Quimicamente, os combustíveis convencionais são compostos de carbono, hidrogênio, combinação de carbono e hidrogênio, combinação de carbono e oxigênio ou a combinação dos três (BARSA, 1982). Esses elementos podem ter várias origens, tais como:

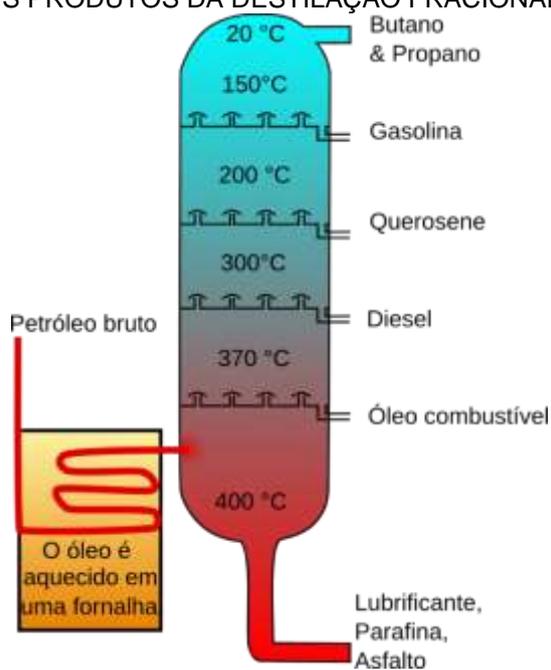
- animais e vegetais fossilizados (petróleo);
- agricultura (como arroz, milho e cana-de-açúcar);
- lixo.

Os primeiros combustíveis a serem usados eram de origem vegetal, como madeira e seus derivados. Eram usados em estado sólido para fins descritos na introdução deste trabalho. Atualmente, eles são usados em larga escala na indústria para geração de energia elétrica com máquinas de combustão externa. Com o passar do tempo, principalmente com o advento da destilação fracionada, foi possível usar combustíveis em estados líquido e gasoso. Isso foi um avanço industrial, pois tornou-se possível controle de injeção por meio de válvulas e distribuição por meio de tubulação, além de otimizar o armazenamento, já que líquidos e gases tendem a ocupar o meio em se encontram baseado no formato do mesmo (BARSA, 1982).

A figura 15 mostra os possíveis combustíveis que podem ser produzidos pela destilação fracionada do petróleo, com exceção da base da torre, que mostra produtos de manutenção e infraestrutura. Do óleo combustível até a gasolina, são combustíveis líquidos, enquanto o butano e propano são combustíveis gasosos.

Uma outra vantagem da implementação do combustível líquido em relação ao combustível sólido é que combustíveis líquidos possuem um poder calorífico maior. O poder calorífico é o valor energético (caloria) desprendida de cada massa consumida de combustível (grama). Isso viabilizou o motor de combustão interna, que é utilizado em automóveis.

FIGURA 15: POSSÍVEIS PRODUTOS DA DESTILAÇÃO FRACIONADA DO PETRÓLEO



FONTE: QUEVEDO (2016).

2.2.1 Gasolina

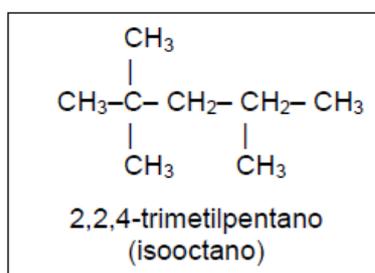
A gasolina é considerada um combustível não renovável, por ter sua origem no petróleo, que demora milhões de anos para se regenerar. Ela é uma mistura de hidrocarbonetos saturados, contendo de quatro a doze átomos de carbono por molécula (BARSA, 1982). Os motores a combustão têm sua eficiência limitada pelo fenômeno de *knock*, que é uma ligeira explosão que ocorre no fim da combustão. Para combater esse fenômeno, foi criado o índice de octanagem que estabelece uma escala do pior (0) ao melhor (100) hidrocarboneto para combustão. O melhor hidrocarboneto está representado na figura 16, que é conhecido como iso-octano.

O pior hidrocarboneto para combustão é o heptano, que está representado na figura 17. Como a gasolina é quimicamente complexa, esses dois hidrocarbonetos apresentados servem apenas como referência para classificar a qualidade da gasolina (BARSA, 1982).

Usada especialmente como combustível automobilístico, a gasolina é dividida em vários tipos. No caso de gasolina automobilística convencional, esses tipos podem ser divididos em:

- gasolina C comum;
- gasolina C aditivada;
- gasolina Premium.

FIGURA 16: CADEIA CARBÔNICA DO MELHOR HIDROCARBONETO PARA COMBUSTÃO



FONTE: MUNDO RESPUESTAS (2011).

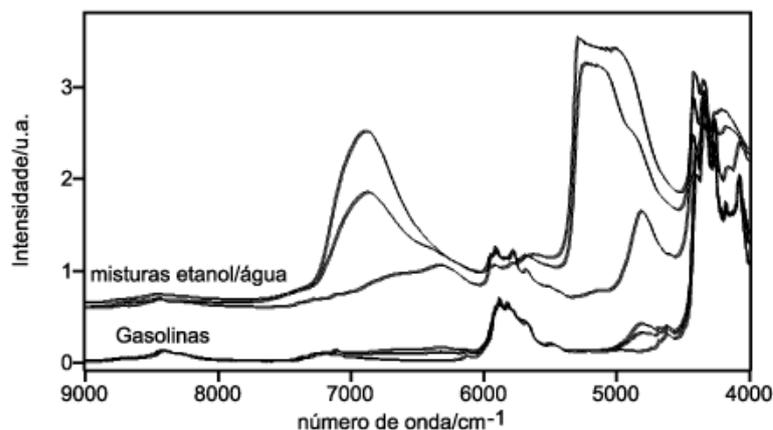
FIGURA 17: CADEIA CARBÔNICA DO PIOR HIDROCARBONETO PARA COMBUSTÃO



FONTE: NOP (2019).

Esses três tipos de gasolina possuem certo teor de álcool na composição para aumentar o índice de octanagem, sendo que a gasolina *Premium* possui esse teor um pouco reduzido para atender mais especificamente carros com motores exclusivos à gasolina de forma a melhorar ainda mais a potência. A gasolina aditivada, assim como a *Premium*, possui aditivos que supostamente limpam e melhoram a eficiência do motor (LOBO, 2002). Esse teor alcoólico pode ser medido espectralmente, já que o comprimento de onda do etanol difere da gasolina. A figura 18, ilustra um gráfico de ensaio laboratorial em que amostras de gasolina com diferentes teores de etanol, de diferentes teores de água, tiveram seus espectros absorvidos por infravermelho.

FIGURA 18: EXEMPLO DE MEDIÇÕES ESPECTRAIS COM AMOSTRAS DIVERSAS DE ETANOL E GASOLINA



FONTE: OLIVEIRA et al. (2003).

2.3 O QUE É UM MICROCONTROLADOR?

Microcontrolador é essencialmente um computador em um único chip. Ele possui um microprocessador integrado a um circuito com diversos periféricos, porém compacto e pré-montado de fábrica. Em termos de hardware, ele é extremamente inferior a um computador pessoal (PC), mas oferece diversas possibilidades de aplicações e funcionalidades específicas a baixo custo. A essência de um microcontrolador, como o nome já sugere, é de controlar o meio externo para determinada finalidade. Por meio externo, entende-se outros circuitos, diretamente integrados ou não, que corroboram para direcionar certas ações. Ações essas que são regidas virtualmente por arquivos programáveis. Assim,

o microcontrolador gerencia e implementa a lógica de programação para o funcionamento do programa.

Há a possibilidade de utilizar circuitos periféricos em microcontroladores como: sensores, relês, resistências, display de cristal líquido (LCD) e displays em geral, diodo emissor de luz (LEDs), dentre outros. Conforme o número de portas, velocidade de processamento, memória, etc, mais possibilidades de utilização existem. Há casos de microcontroladores com *hardwares* tão avançados que permitem ter um sistema operacional instalado neles, como é o caso do *Raspberry PI* – ou seja, beirando à tecnologia de um computador pessoal.

O Hardware de um microcontrolador pode ser segmentado da seguinte forma:

- a) Pinos de entrada e saída: onde se estabelecem comunicações de dados entre o microcontrolador e periféricos.
- b) Memória: é responsável por armazenar dados do programa como variáveis que podem ser usadas.
- c) Registradores: são posições de memória extremamente rápidas que possuem funções próprias.
- d) Temporizadores: realizam operações relacionadas ao tempo. Pode ser considerado um registrador.
- e) Comparadores: comparam a entrada e a saída a fim de gerar uma interrupção.
- f) PWM: gerador de onda retangular a uma dada frequência. É comumente utilizado para controle de motores.
- g) Conversor A/D: converte sinais entre analógicos e digitais.
- h) Interface serial: usada para comunicação serial, em que dados são enviados bit a bit.
- i) Unidade central de processamento (CPU): onde ocorrem as operações lógicas com a ajuda dos registradores.
- j) Memória aleatória de acesso (RAM): memória que perdura enquanto houver energia. Serve para auxiliar a CPU.
- k) Gerador de *clock*: serve para sincronizar a operação de um circuito.

A placa eletrônica a ser utilizada neste projeto é o Arduino Uno. Ela é uma placa muito simples, recomendada até para quem é iniciante na montagem de circuitos e

programação envolvendo microcontroladores. A tabela 2 mostra as características técnicas e estruturais dessa placa de desenvolvimento.

O Arduino possui 28 pinos dos quais 23 podem ser usados como I/O. A figura 19 mostra como é a disposição desses pinos.

TABELA 2 - PARÂMETROS TÉCNICOS DO ARDUINO ATMEGA328P

| | |
|---|-----------------------------------|
| Microcontrolador | ATmega328P |
| Tensão de operação | 5V |
| Tensão de entrada recomendada | 7-12V |
| Tensão limite de entrada | 6-20V |
| Pinos digitais de entrada e saída (e/s) | 14 (dos quais 6 são PWM de saída) |
| Pinos digitais PWM de e/s | 6 |
| Pinos analógicos de entrada | 6 |
| Corrente contínua por pino de e/s | 20mA |
| Corrente contínua para pino de 3,3V | 50mA |
| Memória <i>Flash</i> | 32kB |
| SRAM | 2kb |
| EEPROM | 1kb |
| Velocidade de <i>clock</i> | 16MHz |
| Comprimento | 68,6mm |
| Largura | 53,4mm |
| Massa | 25g |

Fonte: BAÚ DA ELETRÔNICA (2018).

2.4 MÉTODOS DE COMUNICAÇÃO

Nesta seção são analisados tipos de comunicação sem fio que poderiam satisfazer o projeto. Cada um possui vantagens e desvantagens para a aplicação em tanques de distribuidoras de combustíveis. Eles constituem soluções normalmente utilizadas em telecomunicações, cada qual para uma situação que melhor atenda a quantidade e tipo de informação nos locais onde se encontram.

2.4.2 Rádio Modem Schneider TRIO jr900

Destinado a links de comunicação via rádio, dependeria de poste ou torre para implantação de uma antena omni ou yagi. Possui custo mais elevado e ainda sofre com interferências nas zonas de Fresnel pelos mesmos motivos do método anterior (*Wi-Fi* e *Bluetooth*). Ele está representado na figura 21.

Para o funcionamento desse sistema, ainda seria necessária uma antena de *Wi-Fi* junto ao microcontrolador para comunicação com a torre que estaria na superfície. Essa antena não fecharia um enlace com o sensor interno no tanque. O consumo de energia elétrica seria maior com essa abordagem levando em conta ainda a infraestrutura construtiva adicional. A qual ainda não seria portátil.

FIGURA 21: RÁDIO MODEM SCHNEIDER TRIO JR900



FONTE: OMNICON (2011).

2.4.3 GATEWAY GPRS

Trata-se de um modem GSM industrial, ou seja, um modem que usa sinal de operadoras de telefonia celular. Tal tecnologia não foi abordada mais profundamente pois as áreas em potencial em que se encontram aplicação ao projeto não seriam adequadas. Isso se deve pelo fato de um sinal GPRS não penetrar no subsolo. Ele está representado na figura 22.

FIGURA 22: GATEWAY GPRS



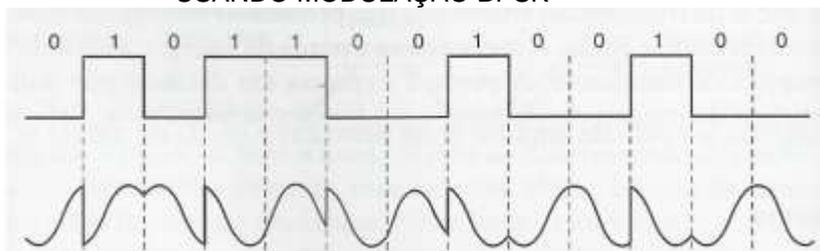
FONTE: LANDIS (2018).

2.4.4 Modem subaquático

Também chamado de modem submarino ou modem acústico, o modem subaquático é um método de baixo custo que permite comunicações em líquidos, independente do seu nível, mas também em qualquer outro meio favorável à disseminação de ondas mecânicas. Ele pode converter dados em ondas sonoras e vice e versa (GONÇALVES et al., 2017). Esse processo de telecomunicação foi implementado pela primeira vez pelos americanos em seus submarinos no contexto da primeira guerra mundial. Pois havia uma demanda de codificação e modulação visando proteção dos dados transmitidos. É usado com sucesso até hoje em submarinos de diversas marinhas ao redor do mundo.

Neste caso foi utilizado modulação BPSK para que o computador em terra firme receba os dados do sensor para posterior tratamento no *MATLAB*. A modulação BPSK funciona pela lógica binária, variando o ângulo de fase de 0° até 180° da portadora a cada alteração de bit entre 0 e 1 a cada pulso de *clock* (MALBURG, 2004, não paginado). A figura 23 ilustra esse funcionamento.

FIGURA 23: VARIAÇÃO DE FASE EM FUNÇÃO DA TRANSIÇÃO DE BIT DO SINAL USANDO MODULAÇÃO BPSK



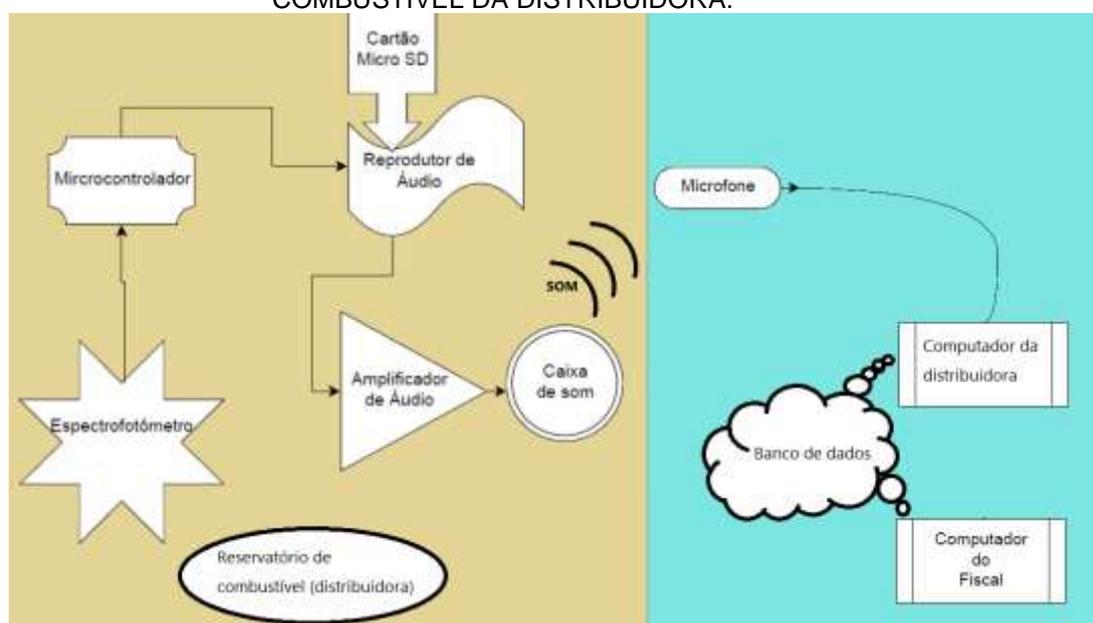
FONTE: MALBURG (2004).

3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Está sendo desenvolvido um projeto para assistir procedimentos de coletas de dados que podem abranger áreas da biologia, química, agronomia e áreas afins.

Na Figura 24 se pode observar o diagrama em blocos do sistema, na qual a região dentro do reservatório de combustível apresenta um detalhamento maior sobre a conexão entre o espectrofotômetro, o microcontrolador e o computador.

FIGURA 24 - DIAGRAMA EM BLOCOS DO MONITORAMENTO EM MALHA ABERTA DE COMBUSTÍVEL DA DISTRIBUIDORA.



FONTE: O AUTOR.

O funcionamento de cada bloco será detalhado na sequência:

- Reservatório de combustível: representa o local em que a amostra de combustível é coletada. Como este projeto se trata de um protótipo, o reservatório é representado por uma caixa que se comporta como uma câmara escura, o que é ideal para comparar a entrada de dados do espectrofotômetro com padrões pré-estabelecidos.
- Espectrofotômetro: sensor responsável em captar e enviar ondas e suas características ao microcontrolador. Ele se encontra dentro do tanque de combustível.
- Microcontrolador: faz as operações necessárias tanto para encaminhar os dados para o computador usando comunicação sem fio SDR (Software Defined

- Radio) BPSK (Binary Phase-Shift Keying) com linguagem C no Atmel Studio 7. O microcontrolador também se encontra dentro do tanque de combustível.
- d) Computador: recebe os dados coletados na distribuidora em tempo real pelo fiscal, que pode os encaminhar para nuvem. O computador se encontra fora do reservatório de combustível, mas dentro do perímetro da distribuidora.
 - e) Nuvem: representa o banco de dados onde se armazena os dados recebidos. Pode ou não estar atrelado a um serviço de nuvem propriamente dito e poderá ser acessado por uma agência reguladora para rastrear reservatórios que não estejam de acordo com a norma, porém sem o intuito de penalizar diretamente e sim indicar onde a fiscalização deva ser melhor direcionada.

O WAV *player* da figura 23 vai ficar encarregado de reproduzir a faixa sonora referente a determinado espectro de onda capturado pelo espectrofotômetro. O cartão SD armazena os arquivos de som referentes a esses padrões espectrais. O amplificador de áudio aumenta o ganho do sinal emitido pelo *player*. A caixa de som é o componente de saída do diagrama da figura 24. A partir do som emitido, parte-se do pressuposto de que o computador da figura 24 possui um microfone para recebê-lo.

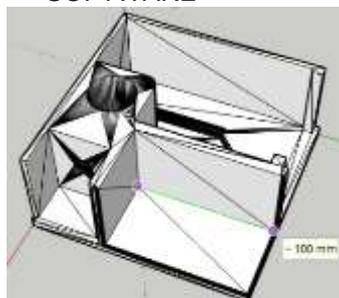
3.1 CÂMARA ESCURA

O espectrofotômetro está embutido dentro de uma câmara escura para captar cor sem interferência de outras fontes de luz, de acordo com a substância a ser analisada. A câmara também serve para dar um suporte adequado para os componentes que ficam dentro dela: microcontrolador, sensor e, em especial, o tubo de amostra em questão.

A câmara foi construída através de uma impressora 3D, com design adaptado de outro trabalho (VERSEK et al., 2017, não p.). A figura 25 mostra como ficou a câmara escura em *software*. A maior área interna da câmara dedica-se ao microcontrolador e ao sensor, sendo este último posicionado mais ao fundo da câmara. A região cilíndrica deve conter o tubo com a amostra. O menor compartimento, logo após a região cilíndrica, se destinaria a uma fonte de luz, o que

não se aplica ao projeto e por isso foi inutilizado. As dimensões da câmara ficaram: 15,5cm de largura, 15,5cm de comprimento e 7,5cm de altura (APÊNDICE 2).

FIGURA 25: ESTRUTURA PRINCIPAL DACÂMARA ESCURA MODELADA EM SOFTWARE



FONTE: VERSEK et al. (2017).

O espectrofotômetro envia 288 pontos amostrados (da curva de absorbância *versus* comprimento de onda) da luz captada para o Arduino fazer cálculos para próxima etapa.

3.2 WAV PLAYER

O *WAV player* funciona como um tocador de áudio. Ele tem que ser acionado pelo Arduino pela porta 7, de onde o player recebe o pulso para iniciar reprodução de áudio, com base nos cálculos feitos pelo microcontrolador.

Caso esse valor estatístico atinja determinado valor, o microcontrolador envia um comando até o *player* para que este reproduza o áudio associado a esse valor. O áudio é originalmente gerado como modulação BPSK, como arquivo WAV no *MATLAB*, onde é gerado o respectivo WAV. Esse arquivo é armazenado num cartão *microSD* do *player*. O tocador WAV escolhido para o projeto pode ser visto na figura 26.

3.3 AMPLIFICADOR DE ÁUDIO COM TDA7052

O amplificador foi usado para regular o volume do som de acordo com as condições ambientes ideais. As figuras 27 e 28 mostram como foi montado o circuito num programa chamado EAGLE (CIRCUITS TODAY). Itens usados na construção do circuito:

FIGURA 26: APARELHO USADO NA TRANSMISSÃO DE ÁUDIO



FONTES: O AUTOR.

- C4: capacitor de 100 μF de 16V eletrolítico;
- C3: capacitor de 10 μF de 16V eletrolítico;
- C1: capacitor de 0,1 μF mks;
- PC16S: Potenciômetro de 1k Ω ;
- Sp1: *Speaker* de 100W;
- J1: conector Jack P2;
- Fonte de tensão variando de 3 a 12V.

A figura 29 mostra como ficou a placa impressa do circuito com os componentes em uma fase de testes. Essa versão da placa é a versão sem malha de terra. Nota-se que foram necessárias adaptações, já que o *software* previu peças que não estiveram de fácil acesso.

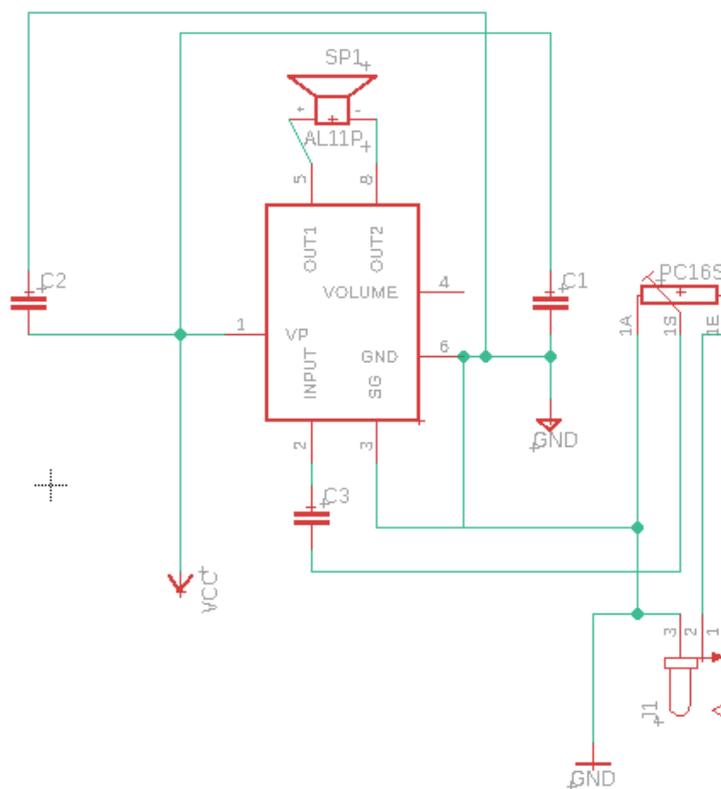
3.4 PROGRAMAÇÃO E SOFTWARES

Nesta seção serão abordados os softwares de desenvolvimento do projeto. Desde a parte de geração do sinal amostrado até conversão de arquivo de áudio.

3.4.1 MATLAB

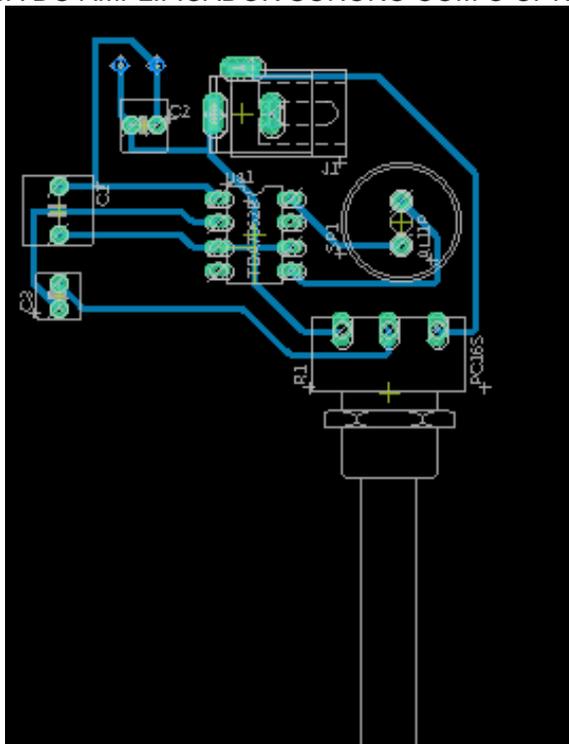
O MATLAB é uma ferramenta computacional de manipulação matemática, a qual se mostrou de suma importância, na geração de padrão sonoro (BPSK de 11

FIGURA 27: ESQUEMÁTICO DO AMPLIFICADOR SONORO COM O CI TDA7052A NO MEIO



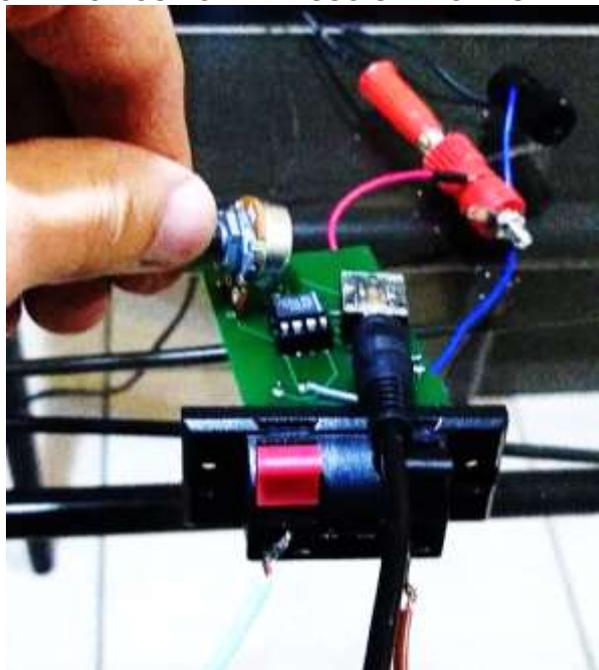
FONTE: O AUTOR (2018).

FIGURA 28: PLACA DO AMPLIFICADOR SONORO COM O CI TDA7052A NO MEIO



FONTE: O AUTOR (2018).

FIGURA 29: PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO SENDO TESTADA (COM SUCESSO)



FONTE: O AUTOR.

segundos no formato WAV), sendo que um microcontrolador de baixo custo não seria capaz de gerar, visto que dispõe de pouca capacidade de processamento, no caso dos filtros, bem como de pouca memória para armazenamento. Armazenamento este, que se delegou a um cartão *microSD*, que recebeu o arquivo de áudio WAV, gerado previamente com esta ferramenta matemática computacional.

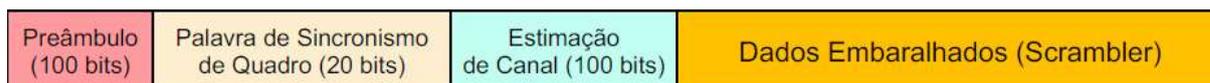
A recepção é feita por um segundo script, também em *MATLAB*, e que permite decodificação do sinal, bem como amostragem do resultado na tela do usuário, indicando quando há excesso ou falta de álcool. Foi estabelecido um padrão de cálculo estatístico para cada tipo de amostra de combustível.

3.4.1.1 TRANSMISSOR BPSK

Conforme parâmetros, que se seguem no código comentado e indentado do *MATLAB*, a imagem formada por “zeros” e “uns”, é redimensionada de forma a se tornar um vetor, que compõem o quadro a ser transmitido, seguido do preâmbulo, palavra de sincronismo e estimação de canal. A figura 30 ilustra este *frame*.

Este sinal é passado a “+ e – uns” para que seja imputado no filtro cosseno levantado, donde se obtém o sinal em banda base. O qual é multiplicado pela portadora complexa e, após ser novamente filtrado, gera o arquivo WAV, transmitido em banda passante.

FIGURA 30: QUADRO USADO NA TRANSMISSÃO



FONTE: O AUTOR.

3.4.1.2 RECEPTOR BPSK

O script do *MATLAB* referente ao receptor BPSK, em resumo, faz a demodulação do sinal enviado pelo transmissor através de um filtro Costas *loop*, e do acesso a um arquivo de parâmetros pré-registrados pelo transmissor.

Observa-se basicamente que o receptor faz as mesmas operações que o transmissor, porém em sequência inversa.

3.4.2 ATMEL STUDIO 7

Compilador utilizado para depurar o código em linguagem C e fazer a placa do Arduino Uno processar esse código em C.

3.5 AMOSTRAS

Foram elencadas 20 amostras oficiais e 4 extra oficiais para verificar a exatidão do sistema. A tabela 3 mostra como são as amostras. Foram utilizadas duas amostras puras de etanol e de gasolina puros para analisar primeiramente como são as formas espectrais dessas substâncias. As outras 18 amostras oficiais são misturas de gasolina e etanol puros, com a porcentagem daquela diminuindo em 3% por amostra, enquanto desta aumentando em 3% por amostra. As amostras extra oficiais contornam o limite de 27% de etanol imposto pela ANP, sendo elas de: 25%, 26%, 28% e 29%.

TABELA 3 - AMOSTRAS COLETADAS COM SUAS RESPECTIVAS FRAÇÕES DE GASOLINA E ETANOL

| Amostra | Gasolina | | Etanol | |
|---------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|
| | Porcentagem [%] | Volume [mL] | Porcentagem [%] | Volume [mL] |
| 1 | 100 | 20 | 0 | 0 |
| 2 | 97 | 19,4 | 3 | 0,6 |
| 3 | 94 | 18,8 | 6 | 1,2 |
| 4 | 91 | 18,2 | 9 | 1,8 |
| 5 | 88 | 17,6 | 12 | 2,4 |
| 6 | 85 | 17 | 15 | 3,0 |
| 7 | 82 | 16,4 | 18 | 3,6 |
| 8 | 79 | 15,8 | 21 | 4,2 |
| 9 | 76 | 15,2 | 24 | 4,8 |
| 10 | 73 | 14,6 | 27 | 5,4 |
| 11 | 70 | 14,0 | 30 | 6,0 |
| 12 | 67 | 13,4 | 33 | 6,6 |
| 13 | 64 | 12,8 | 36 | 7,2 |
| 14 | 61 | 12,2 | 39 | 7,8 |
| 15 | 58 | 11,6 | 42 | 8,4 |
| 16 | 55 | 11 | 45 | 9,0 |
| 17 | 52 | 10,4 | 48 | 9,6 |
| 18 | 49 | 9,8 | 51 | 10,2 |
| 19 | 46 | 9,2 | 54 | 10,8 |
| 20 | 0 | 0 | 100 | 20 |
| +1 | 75 | 15,0 | 25 | 5,0 |
| +2 | 74 | 14,8 | 26 | 5,2 |
| +3 | 72 | 14,4 | 28 | 5,6 |
| +4 | 71 | 14,2 | 29 | 5,8 |

FONTE: O AUTOR.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Originalmente, uma das demonstrações para averiguar a eficiência da solução proposta foi a tabela 2x2 (matriz de confusão), que serve para entender o comportamento do sensor para diferentes tipos de amostra. Seriam utilizadas de 10 a 20 amostras para verificar essa eficiência, com metade delas sendo consideradas “boas” (dentro da norma) e a outra metade como “ruins” (fora do padrão). No entanto, esta comparação não foi possível, já que o equipamento de espectrofotometria disponível nas instalações do LACAUT possuía funcionamento adverso do primeiramente apresentado por seus responsáveis. Ou seja, pensou-se que funcionava por refletância, porém se certificou que funciona por transmitância e absorvância, não validando testes comparativos, já que o protótipo em questão funciona por refletância.

Esta última etapa se caracteriza pela implementação de informações e componentes para realização do projeto. Logo, boa parte dos resultados advém de muita prática na montagem dos componentes, que envolverão experiências e aprendizagem com os desafios.

Os *hardwares* selecionados foram satisfatórios às necessidades do projeto, como o Arduino Uno, que apresenta requisitos de *hardware* que podem gerar instruções pertinentes no momento programado.

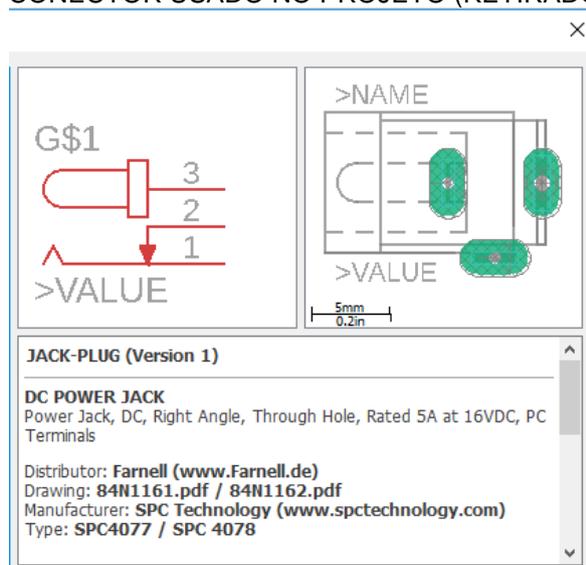
O Hamamtsu C12880MA, como visto no comparativo, possui algumas vantagens que o destaca dentre os demais, em especial os comprimentos de onda que ele é capaz de detectar.

A placa de amplificação de som foi realizada com êxito, mesmo apresentando alguns problemas para soldar componentes na placa de circuito impresso. O projeto originalmente modelado no *EAGLE* como mostrado na figura 28, previa originalmente que todos os componentes fossem colocados na parte superior da placa (deixando as trilhas na parte inferior). Entretanto, isso não foi possível por diversos motivos que serão explicados a seguir.

Primeiro foi o CI TDA7052, que por algum motivo espelha de forma indevida na placa (no *EAGLE*), o que força com que ele seja soldado no lado oposto ao original. Outro problema foi o conector do cabo de som, que diferentemente do que o projeto

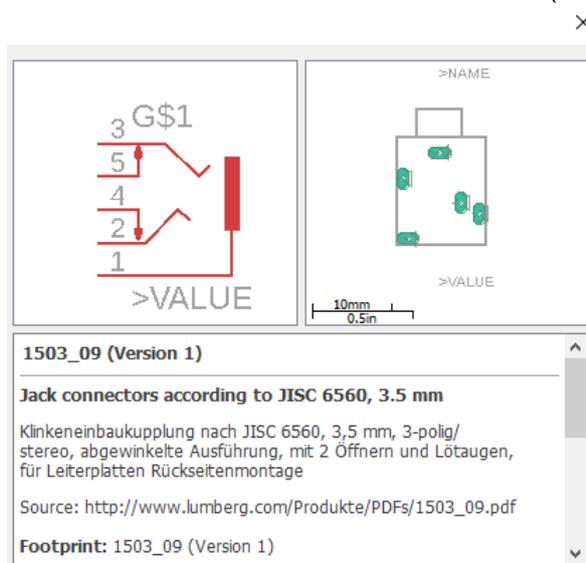
apresenta na PCB (placa de circuito impresso - sigla em inglês), na prática não comporta componentes comerciais, pelo menos de fácil acesso. As figuras 31 e 32 mostram respectivamente o modelo usado e o modelo ideal que deveria ter sido utilizado.

FIGURA 31: CONECTOR USADO NO PROJETO (RETIRADO DO EAGLE)



FONTE: O AUTOR.

FIGURA 32: CONECTOR QUE DEVERIA TER SIDO UTILIZADO (RETIRADO DO EAGLE)



FONTE: O AUTOR.

Para adaptar o conector da figura 32, foram ajustados os pinos para que fosse possível encaixá-lo na placa de maneira funcional. Entretanto, ele não ficou numa

posição tão amigável para conexão de um cabo *Jack P2* macho-macho. Ao menos ele ficou relativamente bem posicionado junto ao conector de áudio, de modo a não atrapalhar o encaixe do cabo Jack P2.

Quanto ao conector de áudio do alto-falante, ele pode não ter sido o mais indicado já que ele possui o mesmo tamanho da placa, praticamente. Novamente, foi pensado de uma maneira no projeto em *software*, mas na hora de montar usando peças comerciais, foram necessárias adaptações para que as peças pudessem ser reposicionadas. O fato da PCB usada no projeto ter furo metálico ajudou muito no posicionamento dos componentes nos dois lados da placa, evitando-se assim o uso de muitos *jumpers*. Contudo, o conector de áudio foi o único componente (sem contar alimentação e terra da placa) que precisou de um *jumper* cinza para poder conectar seu lado negativo à porta 5 do CI como mostra a figura 29. Isso se deve à distância entre o terra e a alimentação de áudio na placa chegar a 2mm, enquanto que no conector chega a ter 10 vezes esse tamanho.

Quanto aos outros componentes, eles não apresentaram necessidade de adaptação e foram soldados conforme a placa foi projetada, com exceção do potenciômetro. O potenciômetro é um caso sem muita relevância pois só mudaria o lado de aumentar e diminuir volume. Foram mantidos os sentidos tradicionais de aumentar virando para direita e diminuir virando para esquerda, tomando como referência a posição do circuito da figura 29.

A caixa de som escolhida foi um alto falante de um *VolksWagen Gol*, que possui uma alta potência que atende as necessidades do projeto.

Quanto ao método de comunicação, pelas comparações técnicas apresentadas, ficou evidente que o melhor método é o modem acústico. Ele é o que não interfere na infraestrutura de telecomunicações numa distribuidora de combustível, além de, e até principalmente, ser o único compatível com ambientes confinados. A ideia é que o modem emita um som para um microfone, de dentro do reservatório. Fora deste reservatório, o microfone transmite para um computador pessoal visando controle de fiscalização. Isso confere confiabilidade, segurança e economia para o projeto. Porém vale ressaltar que há a necessidade de usar um *hardware* com certificação IP68, encarecendo o projeto.

A câmara escura apresentou alguns problemas materiais, pois algumas peças foram impressas na cor azul translúcido, o que permite a interferência de luz. O problema foi satisfatoriamente resolvido aplicando tinta *spray* na cor preta para melhorar o acabamento. Outro problema que demandou correções manuais foi a proporção da impressão da parte do tubo. As dimensões foram triplicadas para o bom condicionamento do microcontrolador em detrimento da parte dedicada ao tubo de amostra. O problema foi corrigido usando-se cola quente e pedaços de plástico.

Os resultados seguiram a implementação do SDR BPSK no *MATLAB*, o qual compõe o receptor dos dados do sensor na sua totalidade. A figura 33 mostra como ficou idealmente a imagem recebida no *MATLAB*.

FIGURA 33: GASOLINA ADULTERADA EM FORMATO WAV



FONTE: O AUTOR.

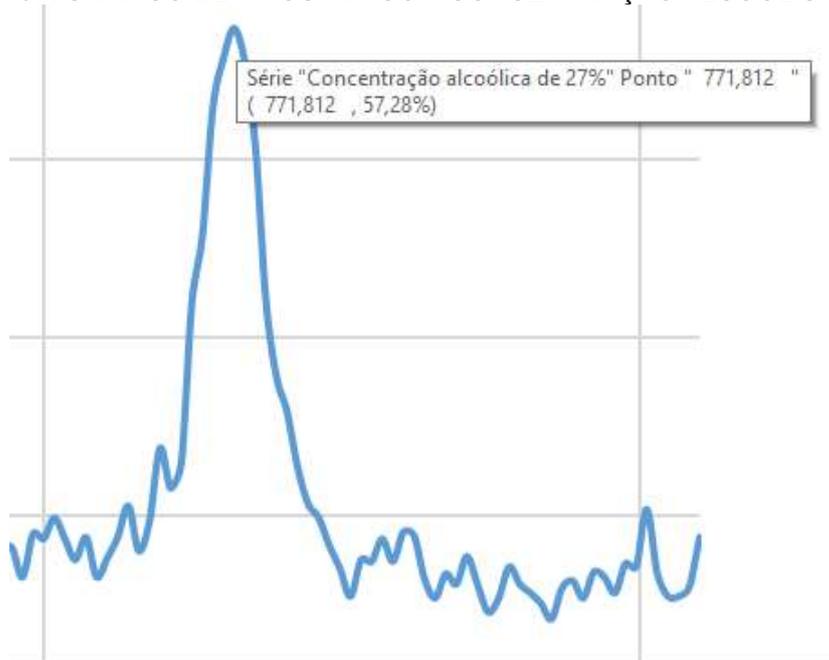
O código do Arduino, em sua fase de desenvolvimento, apresentou *bugs*, de modo a se observar leituras incipientes por parte do sensor. A solução foi substituir *delay* por contadores menos invasivos ao *clock* do sistema, utilizando o Atmel Studio 7, observando o funcionamento normal da ULA assim otimizada.

Finalmente, em relação às curvas espectrais, foram feitos gráficos baseados na leitura do sensor (APÊNDICE 1). Pode-se observar que, conforme vai aumentando o teor alcoólico, existe um pico espectral, por volta do comprimento de onda 771,81nm, que tende a aumentar em termos de refletância. Nesse contexto, vale destacar dois gráficos em particular: concentração alcoólica de 27% e de 28%, representados pelas figuras 34 e 35, respectivamente. Entre esses dois gráficos, observa-se o limiar entre estar dentro da norma ou não, já que 28% de etanol caracteriza inconformidade.

O gráfico apresentado na figura 34 possui refletância de 57,28% no comprimento de onda de 771,81nm, enquanto o gráfico da figura 35 apresenta 57,58%

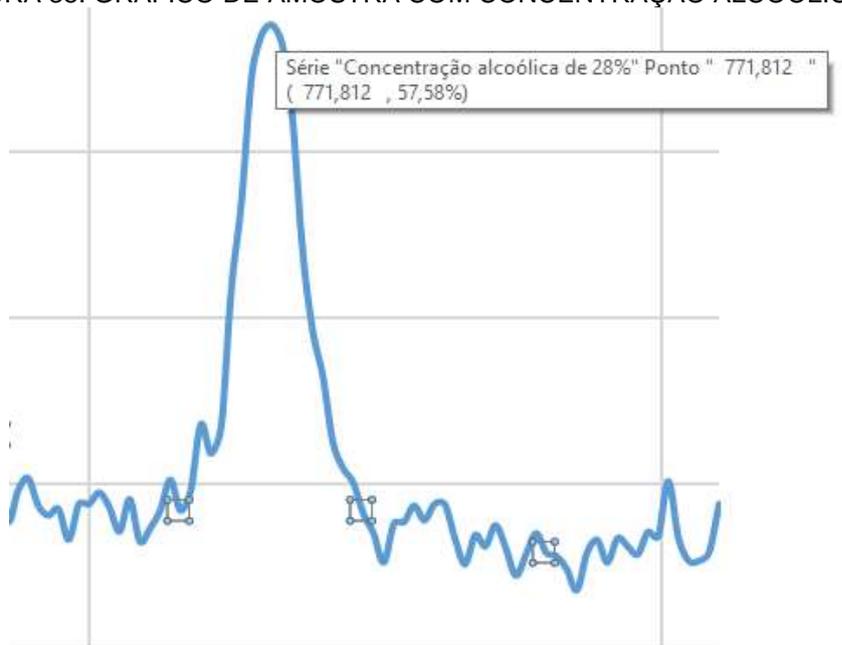
nesse comprimento de onda. Isso se condiz com a transmissão do áudio, em que é transmitida a figura 33 quando chega uma amostra adulterada, como é o caso da amostra de 28% de teor alcoólico, e como não é o caso da amostra de 27% de teor alcoólico.

FIGURA 34: GRÁFICO DE AMOSTRA COM CONCENTRAÇÃO ALCOÓLICA DE 27%



FONTE: O AUTOR.

FIGURA 35: GRÁFICO DE AMOSTRA COM CONCENTRAÇÃO ALCOÓLICA DE 28%



FONTE: O AUTOR.

5 CONCLUSÕES

Nesta etapa, foi feito um aprofundamento em relação ao espectrofotômetro com o intuito de integra-lo no sistema. Visando caracterizar diferentes padrões de gasolina e como esses padrões se comportam no espectro ultravioleta, foi usado cálculo estatístico com sucesso.

A placa de amplificação sonora foi árdua para ser desenvolvida, já cada qual apresentou suas dificuldades para serem realizadas. Entretanto, seu funcionamento foi satisfatório o bastante para transformar som estéreo em mono, além de amplificar e regular volume e receber áudio do tocador por uma entrada Jack P2.

Como este trabalho se baseia em um trabalho anterior, muitas coisas foram reutilizadas, em especial a parte de programação. As linguagens de programação usadas foram C para o microcontrolador, e *MATLAB* para o computador. No escopo do projeto, computador faz a leitura dos dados processados pelo microcontrolador, que tem o espectrofotômetro calibrado, visando cálculo e comparação dos cálculos estatísticos das medidas, para mensurar a qualidade da gasolina e o que deveria ser alertado ao operador da rede de combustíveis, ao consumidor ou até uma agência reguladora (como a ANP, por exemplo).

Em relação aos testes químicos, foram consultadas instruções para realização das medidas e métodos de procedência (YAMAMOTO, 2019). Foram usadas amostras de várias concentrações de álcool anidro, somando 23 amostras mais uma de gasolina pura no totalizando 24 amostras. Foi detectado com sucesso o limiar dos 27% de álcool, sendo que a amostra de 28% já era considerada fora da norma pelo sistema.

Foram gerados gráficos para melhor visualização dos dados coletados pelo sensor. Identificou-se que quanto maior o teor alcoólico, maior é o espectro no comprimento de onda 771,81nm. Além disso, conclui-se também, conforme resultados satisfatórios nas transmissões, que a refletância limite que vai diferenciar entre uma amostra ser adulterada ou não, está entre as refletâncias de 57,28% e 57,58% das figuras 34 e 35 respectivamente.

Para trabalhos futuros, pode ser aprimorada a interface homem-máquina, para que seja possível um uso mais amigável e automático do protótipo.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Cartilha do posto revendedor de combustíveis**. - 6. ed. - Rio de Janeiro: ANP, 2017. Disponível em: <
http://www.anp.gov.br/images/publicacoes/cartilhas/Cartilha_Posto_Revendedor_de_Combustiveis_6a_ed.pdf >. Acessado em: 06 jun. 2019.
- ANSHUMAN, J. DAS; AKSHAT, WAHI; ISHAN, KOTHARI; RAMESH, RASKAR. Ultra-portable, wireless smartphone spectrometer for rapid, non-destructive testing of fruit ripeness. *Nature: scientific reports*. Reino Unido, número 32504, não p., 2016.
- BARROS, D.; OLIVEIRA, V.; SANTANA, M. F. E.; CARVALHO, D. D. Caracterização ambiental dos postos de revenda de combustíveis no rio de janeiro. **XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. 2008
- BAÚ DA ELETRÔNICA. **ARDUINO UNO REV3**. 2018, não p. Disponível em : <
<https://www.baudaeletronica.com.br/arduino-uno-r3.html>>. Acesso em: 28 abr. 2019.
- BENAVIDES, M.; MAILIER, J.; HANTSON A. *Design and Test of a Low-Cost RGB Sensor for Online Measurement of Microalgae Concentration within a Photo-Bioreactor*. **Sensors (Basel)**. Basel, v.15, n.3, não p., 2015. Disponível em: <
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4435131/>>. Acesso em: 24 jun. 2019.
- BRACHT, ISHII-IWAMOTO. **Métodos de Laboratório em Bioquímica**. 1ª ed. Manole. Maringá, 2003, p. 28-31.
- BRASIL. **Ministério da Economia**.
- CIRCUITS TODAY. **Mini Audio Amplifier circuit**. Disponível em: <
<http://www.circuitstoday.com/mini-2w-amplifier-circuit> >. Acesso em: 27 mar. 19.

Encyclopaedia Britannica do Brasil Publicações Ltda. **Enciclopédia Barsa**. Rio de Janeiro - São Paulo, 1982 volume 7, p. 118-120.

Encyclopaedia Britannica do Brasil. **Enciclopédia Exitus de Ciência e Tecnologia**. 7ª ed. São Paulo, 1982 volume 5, p. 140-144.

ESEQ@RTES. **A luz e a cor**. 2010. Disponível em:

<<http://esegartes.blogspot.com/2010/01/cor-e-resultado-da-existencia-da-luz-ou.html>>. Acessado em 07 set. 2018.

EMBARCADOS. **Arduino Uno**. 2013, não p. Disponível em: <extraído do site: <https://www.embarcados.com.br/arduino-uno/>>. Acessado em: 14 out. 2018.

FERREIRA, G. M.; KATO, H. N. **Engenharia de Produtos e Serviços**. Curitiba, 2019. Disciplina de graduação.

FUTURA ELETTRONICA. **Spectrometer breakout – mounted**. 2019, não p. Disponível em: <https://store.open-electronics.org/Spectrometer-breakout-mounted-breakout021?search=spectrometer>. Acessado em 28 abr. 2019.

GONÇALVES, A. M.; LOUREDO, V. R.; TCHEOU, P. M; LOVISOLO, L. Modem Acustico Usando Modulação Multiportadora via OFDM. **XXXV SIMPOSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAC, OES E PROCESSAMENTO DE SINAIS - SÃO PEDRO, SP, SBRT2017**, p. 1, 6 set. 2017. Disponível em: <<http://www.sbrt.org.br/sbrt2017/anais/1570360911.pdf> >. Acesso em 22 nov. 2019.

HAMAMATSU. **Micro-spectrometer**. 2018. Disponível em: <<https://www.hamamatsu.com/us/en/product/type/C12880MA/index.html> >. Acesso em: 20 out. 2018.

HOLLER, F. J.; SKOOG, D. A.; CROUCH, S. R.. **Princípios de Análise Instrumental**. 6ª ed. Bookman. Porto Alegre, 2009, p. 370.

JUOLA, J. **Prototyping electronics and software for a spectrometer module**. 2017. 62 p. Tese (Mestrado em Ciência em Tecnologia) – *School Of Electrical Engineering, Aalto University, Helsínquia*, 2017. Disponível em: <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/28473/master_Juola_Jimi_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 28 ago. 2018.

LANDIS. **GATEWAY GPRS**. 2018, não p. Disponível em:<<https://www.landisgyr.com.br/product/gateway-2/>>. Acesso em: 30 ago 2018.

LOBO. Tudo sobre gasolina. **Cultivar Máquinas**, n. 15, dez. 2002. Disponível em: <<https://www.grupocultivar.com.br/artigos/tudo-sobre-gasolina>> Acesso em 29/04/19.

MALBURG. **TRABALHO FINAL DE REDES I: MODULAÇÃO**. 2004. Não p. Trabalho de graduação em engenharia elétrica – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em <https://www.gta.ufrj.br/grad/04_2/Modulacao/>. Acessado em: 26 nov. 2018.

MARTINEZ, M. **Espectrofotômetro**. Infoescola, 2019. Disponível em: <https://www.infoescola.com/materiais-de-laboratorio/espectrofotometro/>. Acesso em 07 set. 2018.

MEGALE. **Anfavea diz que setor automotivo está otimista com novo governo**. Local: Agência Brasil EBC (São Paulo), 2018. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/politica/noticia/2018-11/anfavea-diz-que-setor-automotivo-esta-otimista-com-novo-governo>>. Acessado em 27 abr. 2019.

MOTAMEDI, EDWARD M. **Micro-Opto-Electro-Mechanical Systems**. 2011, não p. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Micro-Opto-Electro-Mechanical_Systems. Acesso em: 28 abr. 2019.

MUNDO RESPUESTAS. **¿Qué es el octanaje o número de octano?** 2011, não p. Disponível em: <http://www.mundorespuestas.com/2011/11/que-es-el-octanaje-o-numero-de-octano.html>. Acesso em: 20 abr. 2019.

NOP ONLINE. **n-Heptano [142-82-5]**. 2019, não p. Disponível em: <https://www.oc-praktikum.de/nop/es-substance-442>. Acessado em 28 abr. 2019.

OLIVEIRA, C. C. F.; SOUZA, A. T. P. C. de; DIAS, J. A., DIAS, L. C. S.; RUBIM, C. J. Quím. Nova vol.27 no.2 São Paulo March/Apr. 2004, não p. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422004000200009, >. Acessado em 29 abr. 2019.

OMNICON. **Trio J-Series**. 2011, p.1. Disponível em: <<http://www.omnicon.it/public/pdf/DataSheets-Trio-JR-TBU-V014.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2018.

PENIDO; TRINDADE. **Microcontroladores**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Ouro Preto – MG 2013, p. 27-37.

QUEVEDO, R. T. **Destilação fracionada**. 2016, não p. Disponível em:<<https://www.infoescola.com/quimica/destilacao-fracionada/>>. Acessado em 28 abr. 2019.

TEXAS INSTRUMENTS. **DLP Ultra-mobile NIR Spectrometer for Portable Chemical Analysis with Bluetooth Connectivity**. Disponível em:<<http://www.ti.com/tool/TIDA-00554#technicaldocuments>>. Acessado em 28 abr. 2019.

TORRES, H. S. J. de. **Cultivo de microalgas em efluente de tratamento anaeróbico de esgoto**. 2014. 208 p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

Disponível em: <

http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_8129_TESE%20FINAL%20-%20PPGEA.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2019.

UNIVERSO, VENTOS DO. 2012, não p. **Luz e Espectro**. Disponível em:<

http://ventosdouniverso.blogspot.com/2012_02_01_archive.html >. Acesso em: 07 set. 2018.

URUCUM, O. **Análises de pigmentos das sementes de urucum**. 2017, não p.

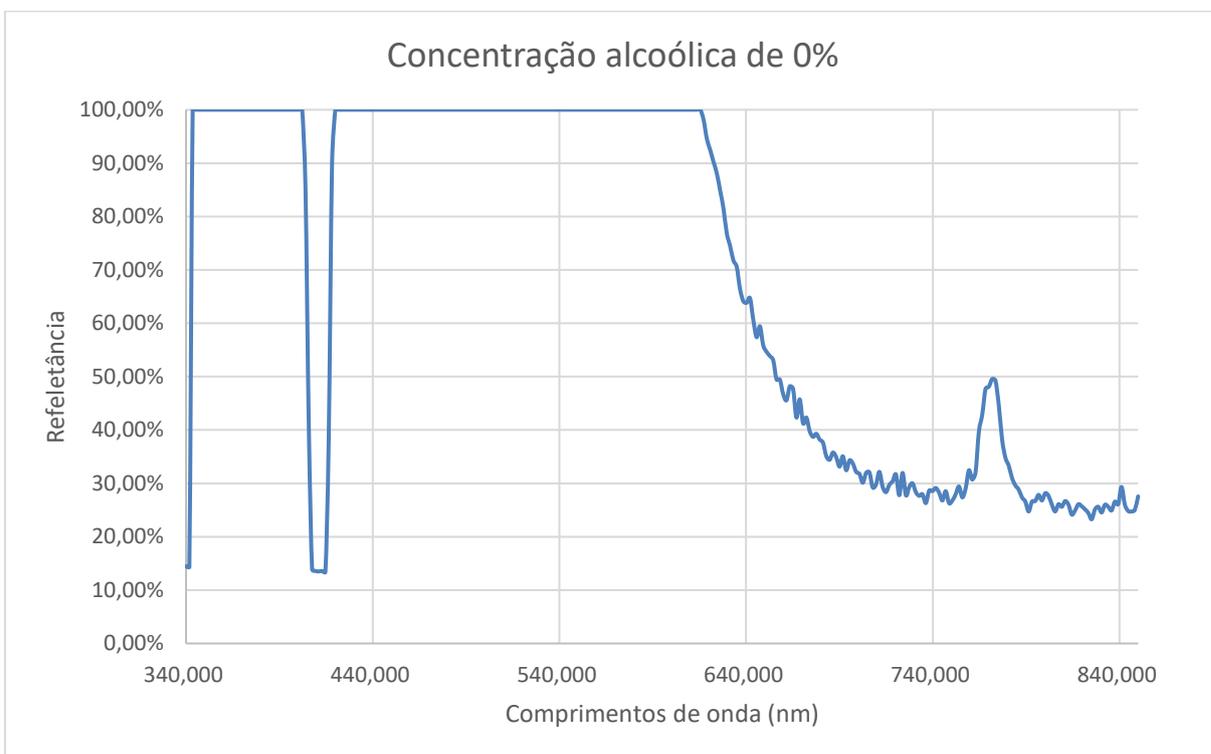
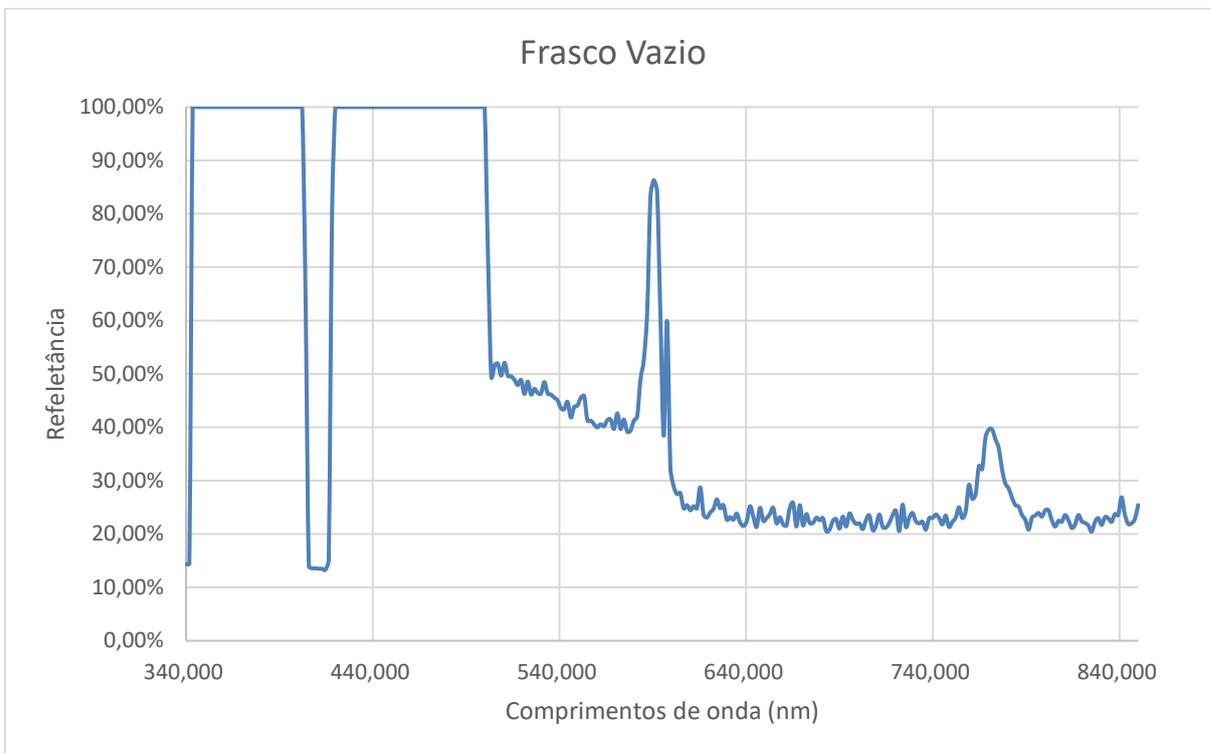
Disponível em: <https://www.ourucum.com.br/analise-de-pigmentos2>. Acessado em 02 set. 2018.

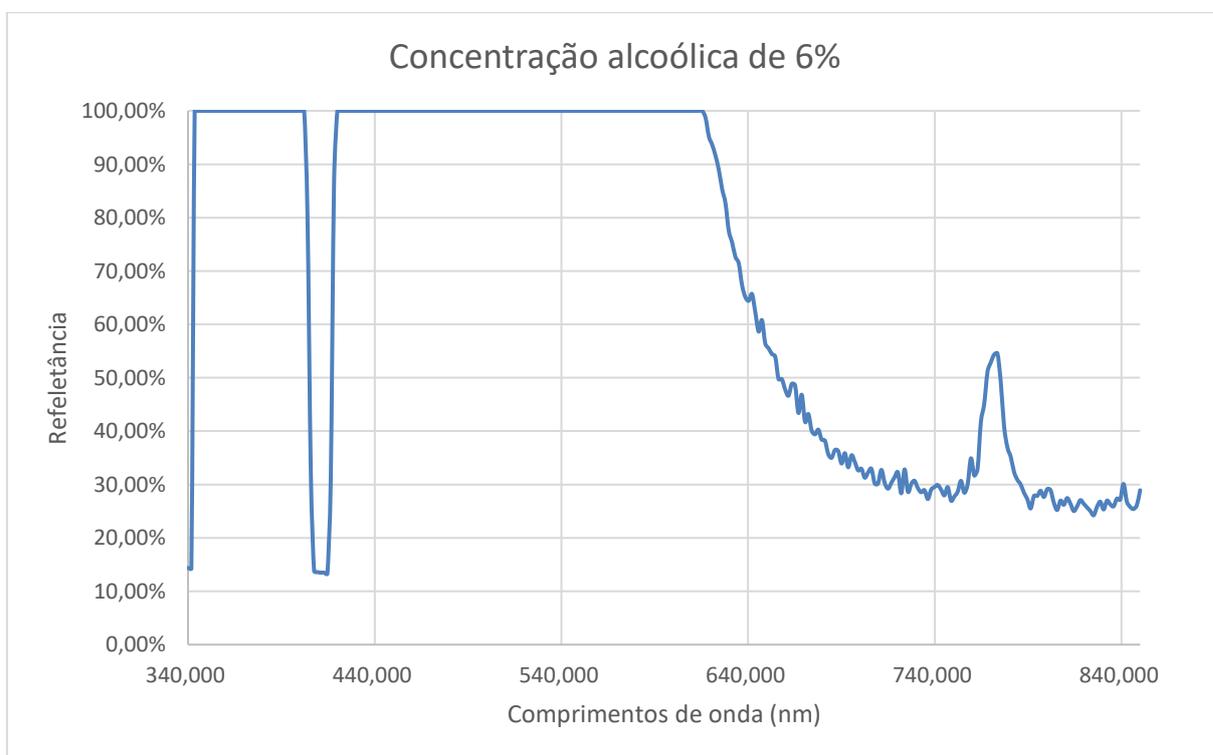
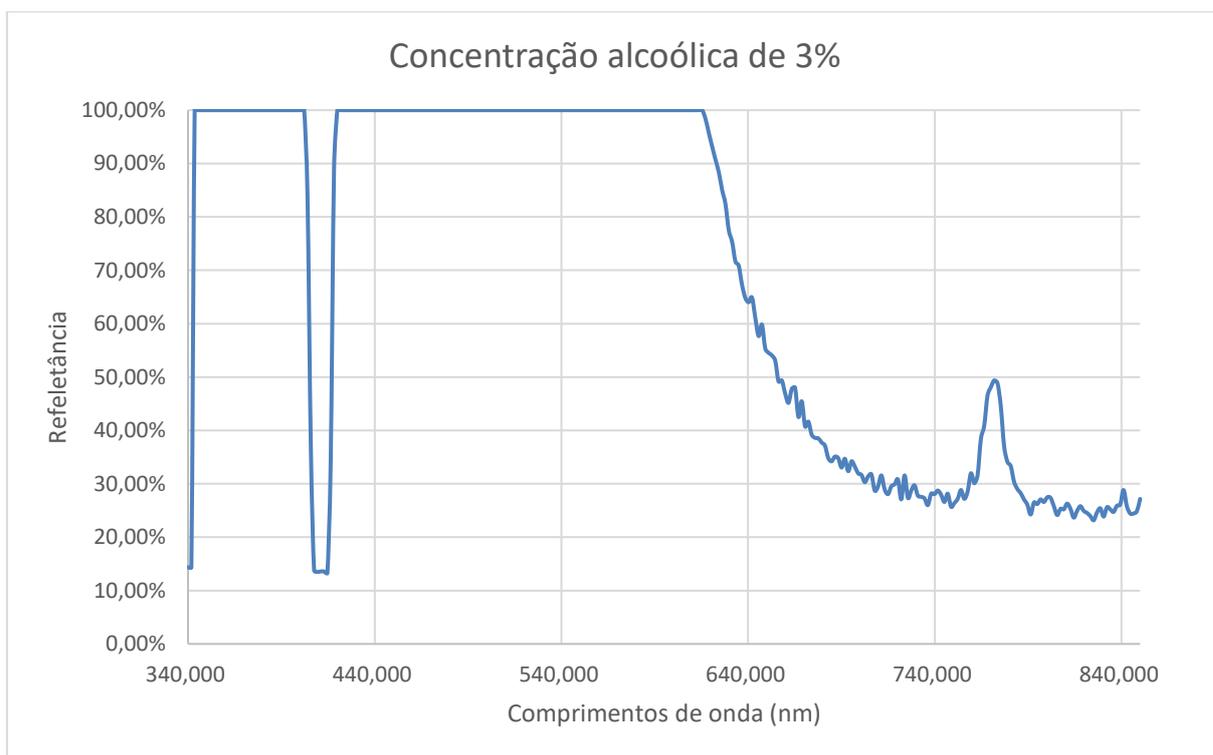
VERSEK, WOODWORTH, MECKES, BLAIR. **Review of Hamamastu C128880 Microspec Module**. 2017, não p. Artigo disponível em:

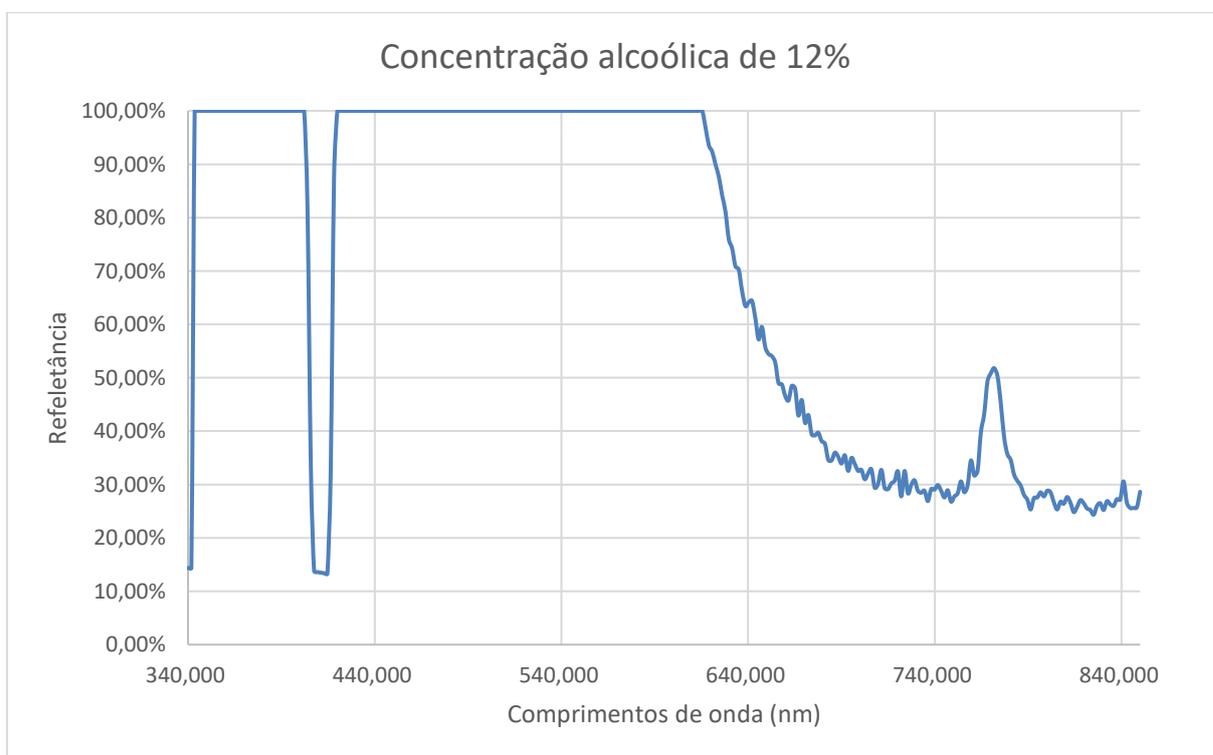
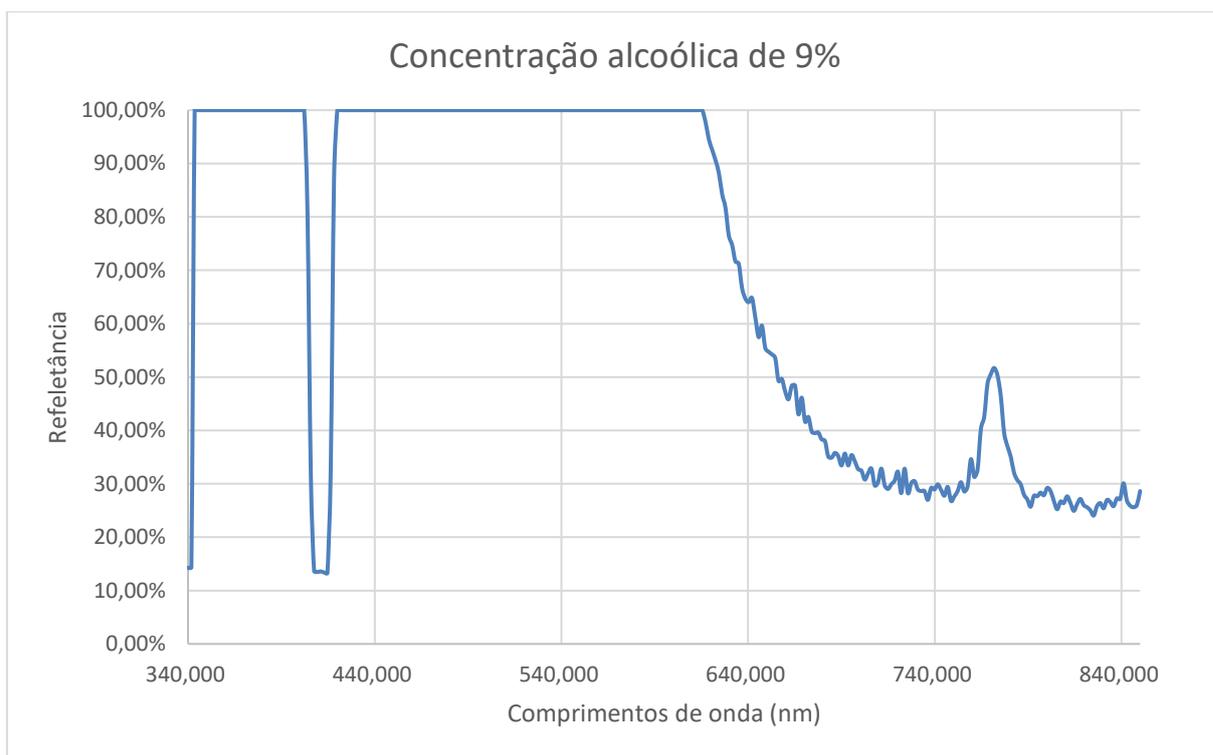
<<https://impfs.github.io/review/>>. Acesso em: 12 dez. 2018.

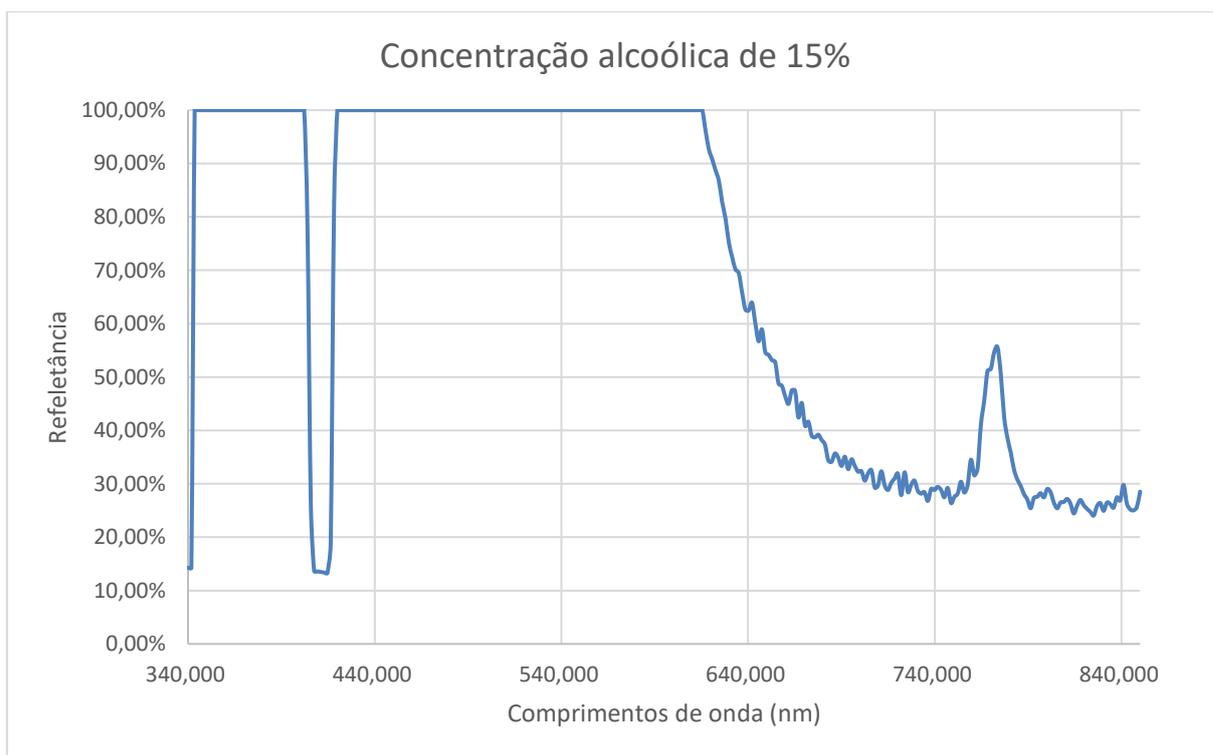
YAMAMOTO, C. I. **Pesquisa no LACAUT**. Curitiba, 2019. Auxílio de pesquisa.

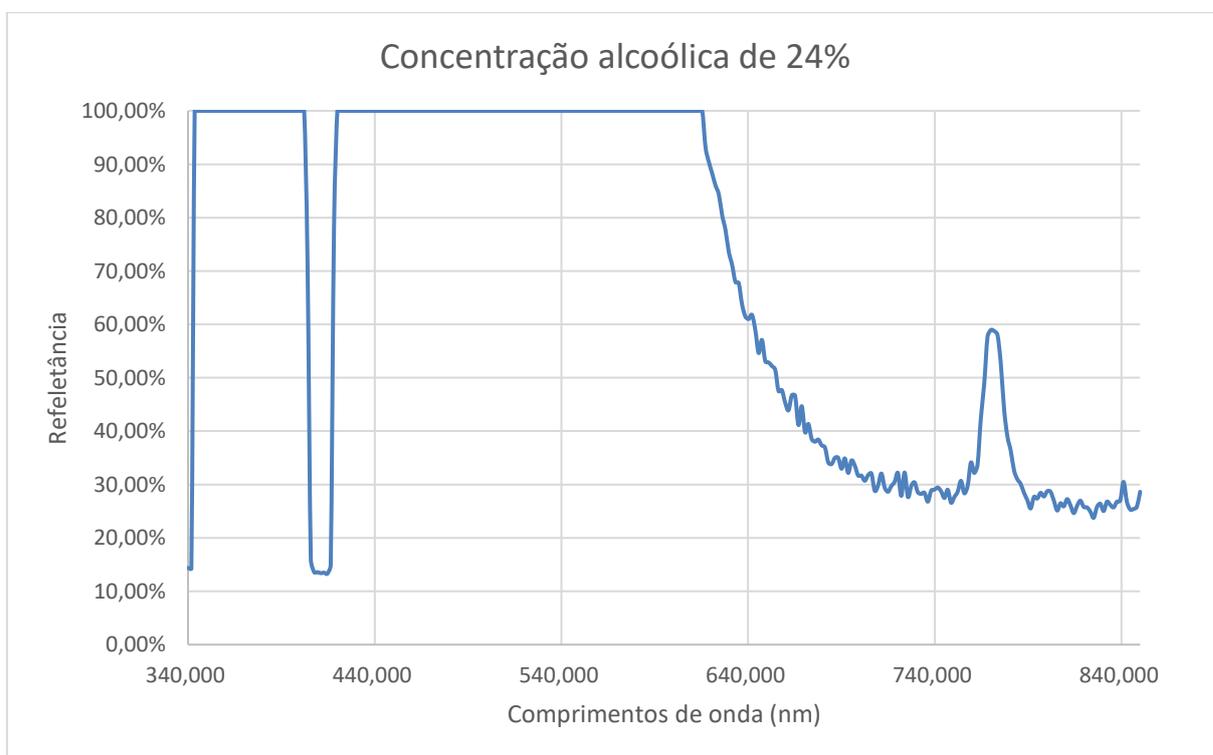
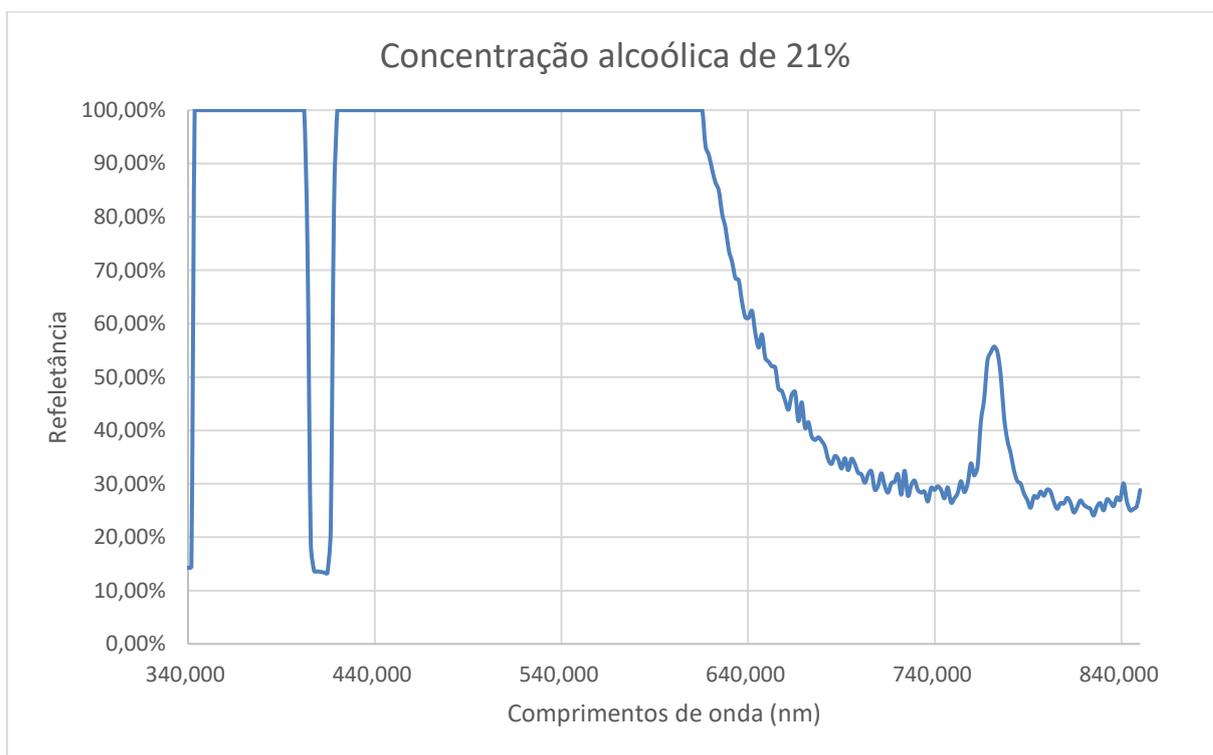
APÊNDICE 1 – Gráficos gerados com a câmara escura

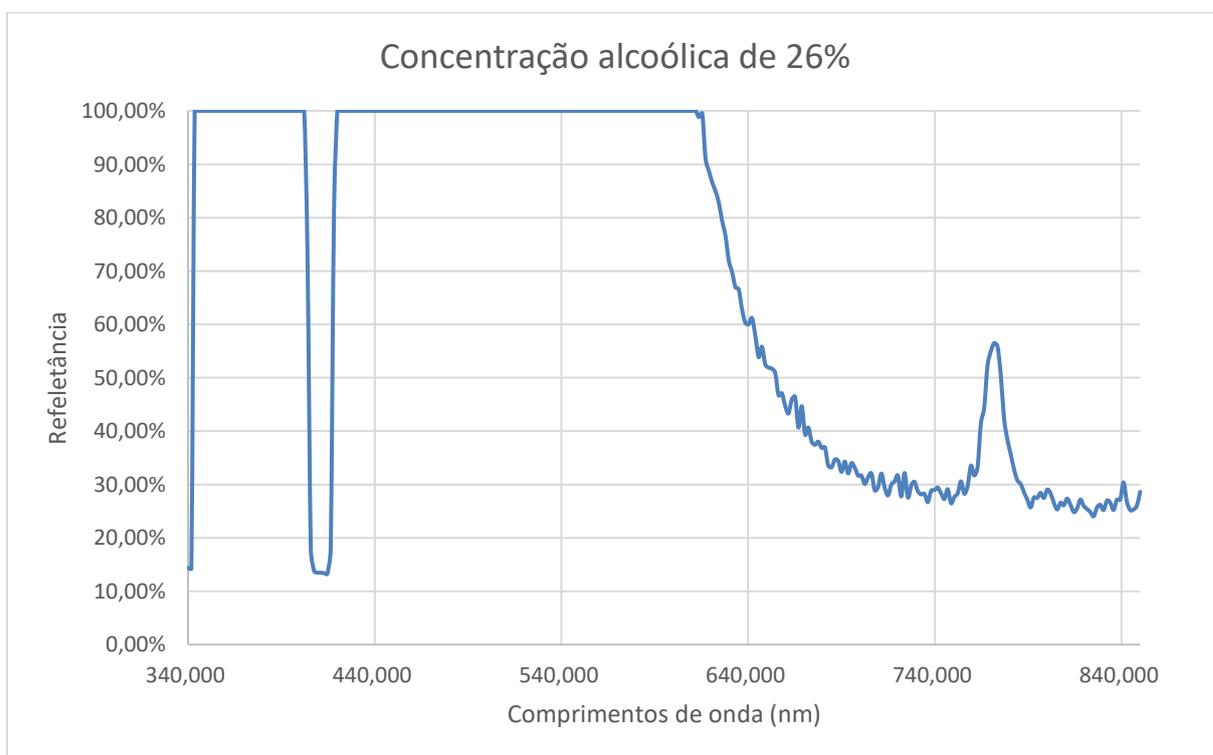
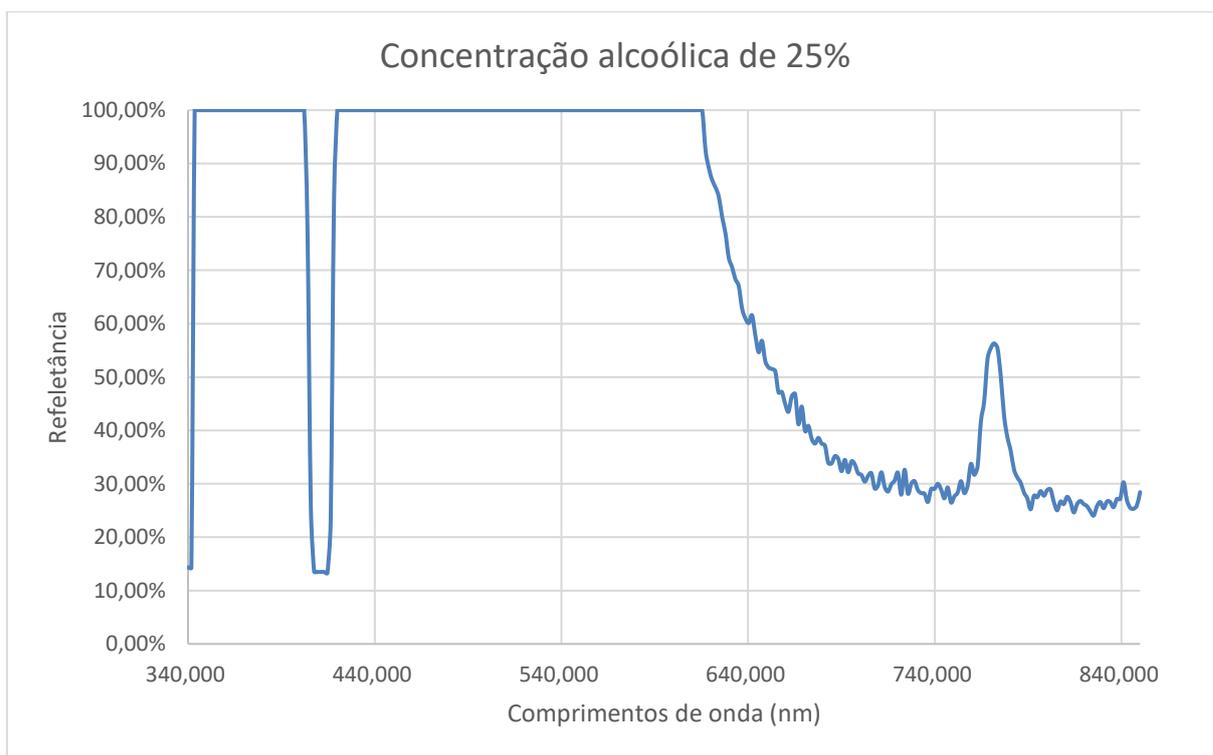


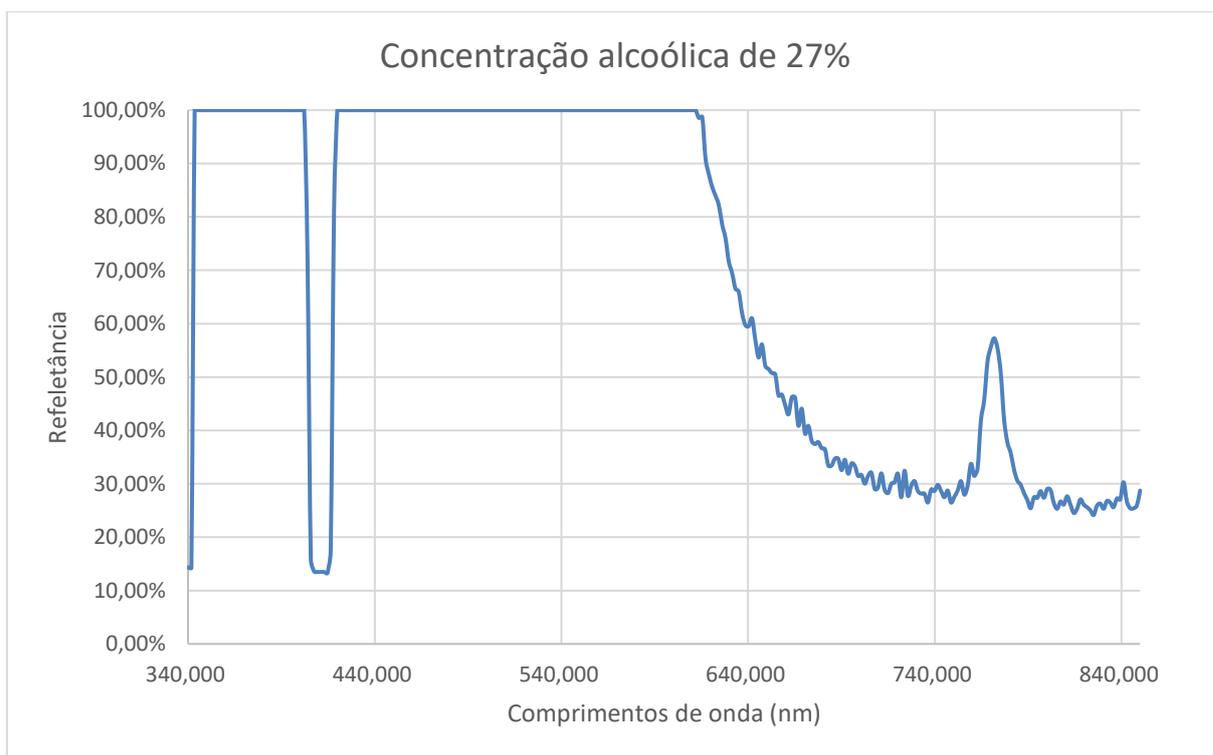


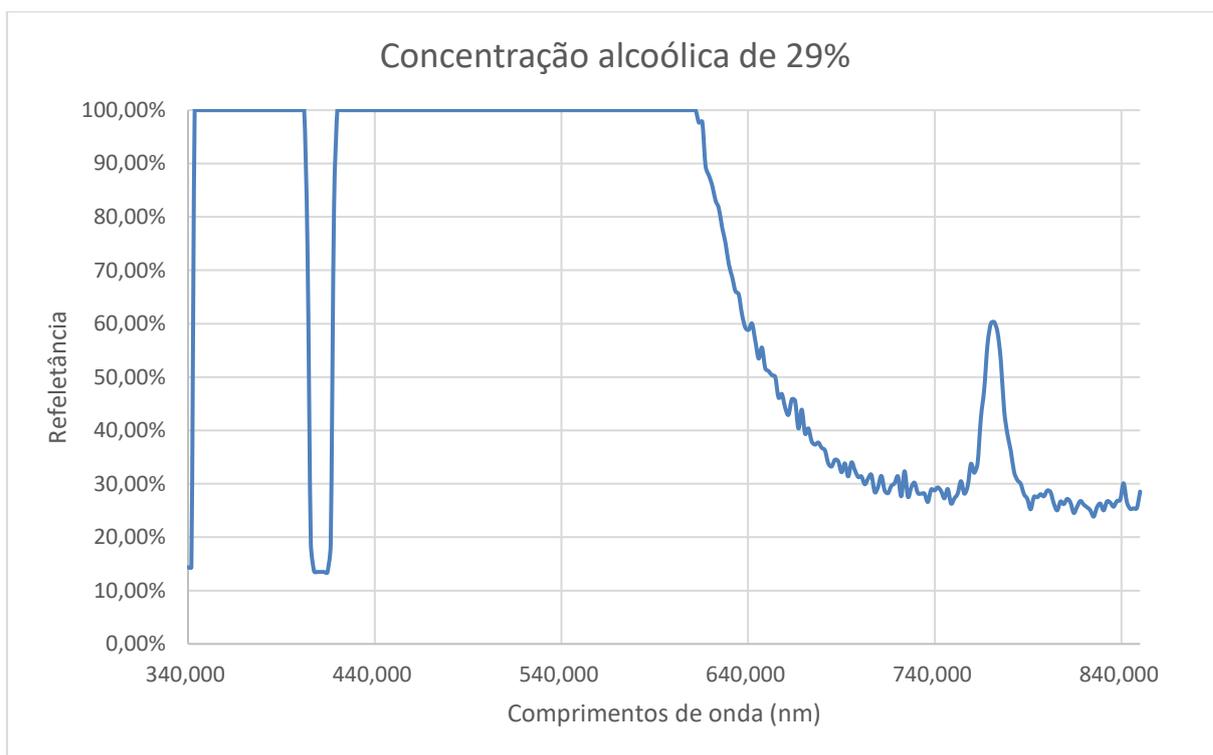


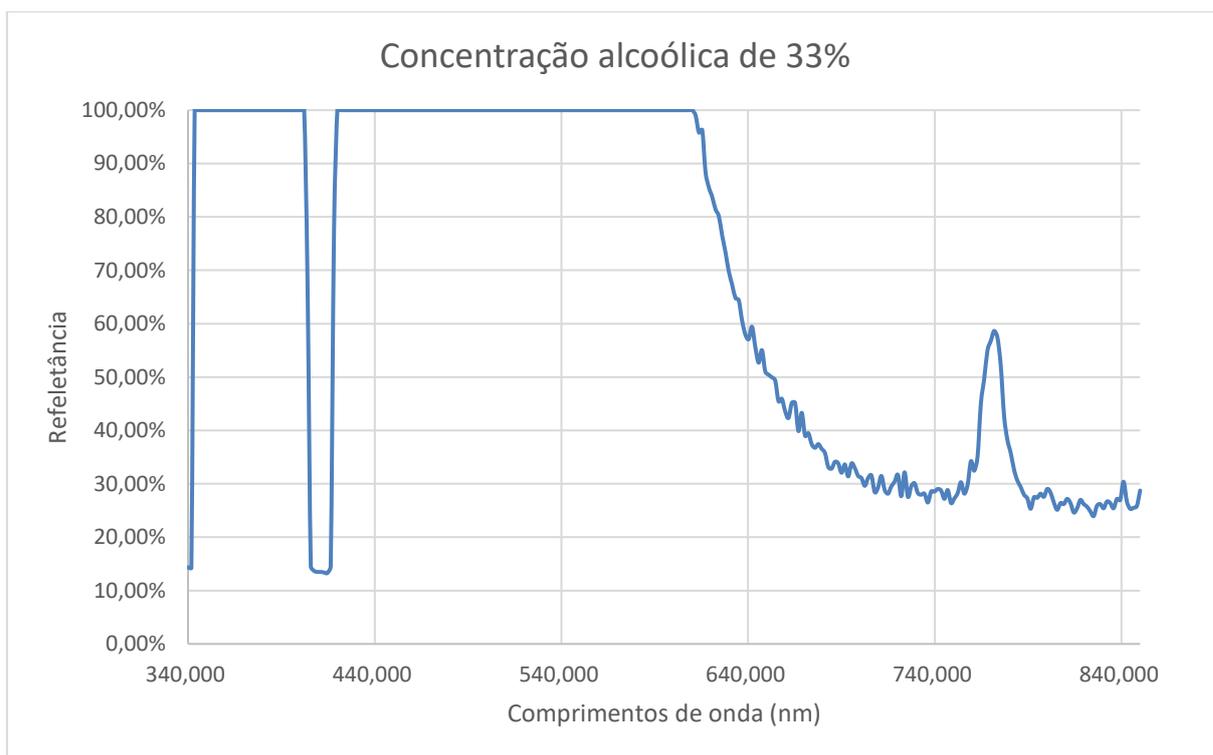


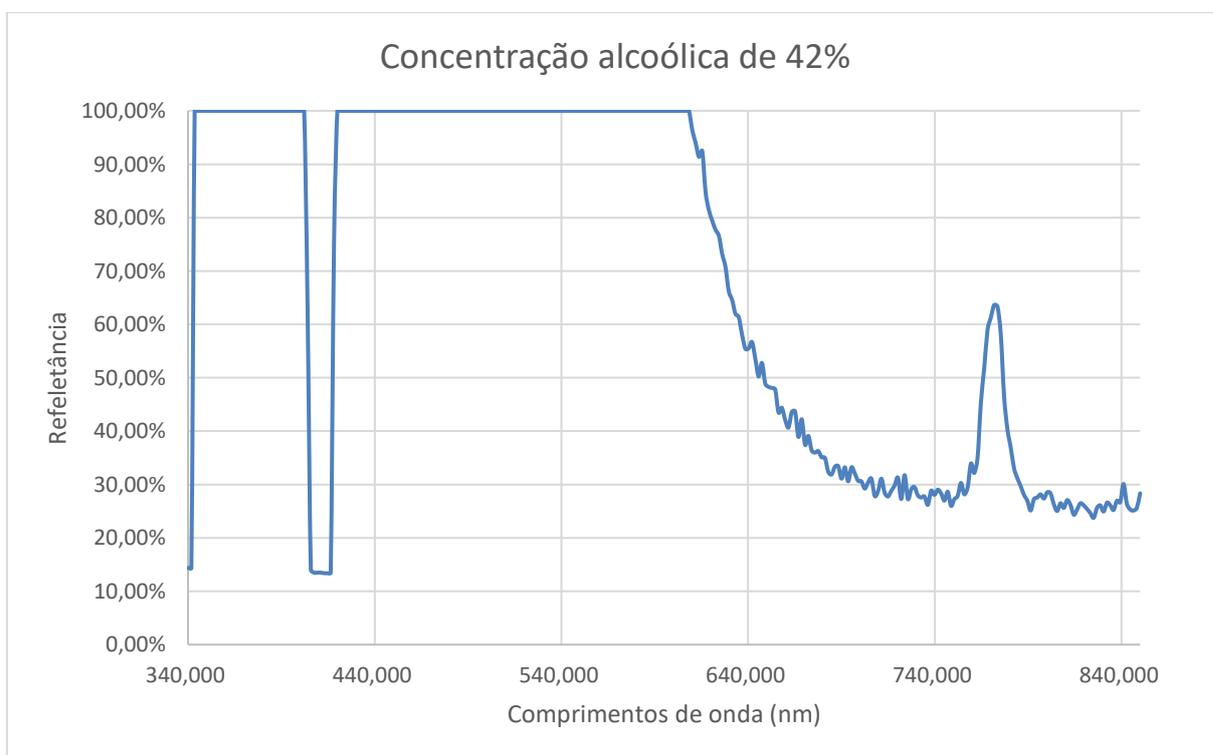
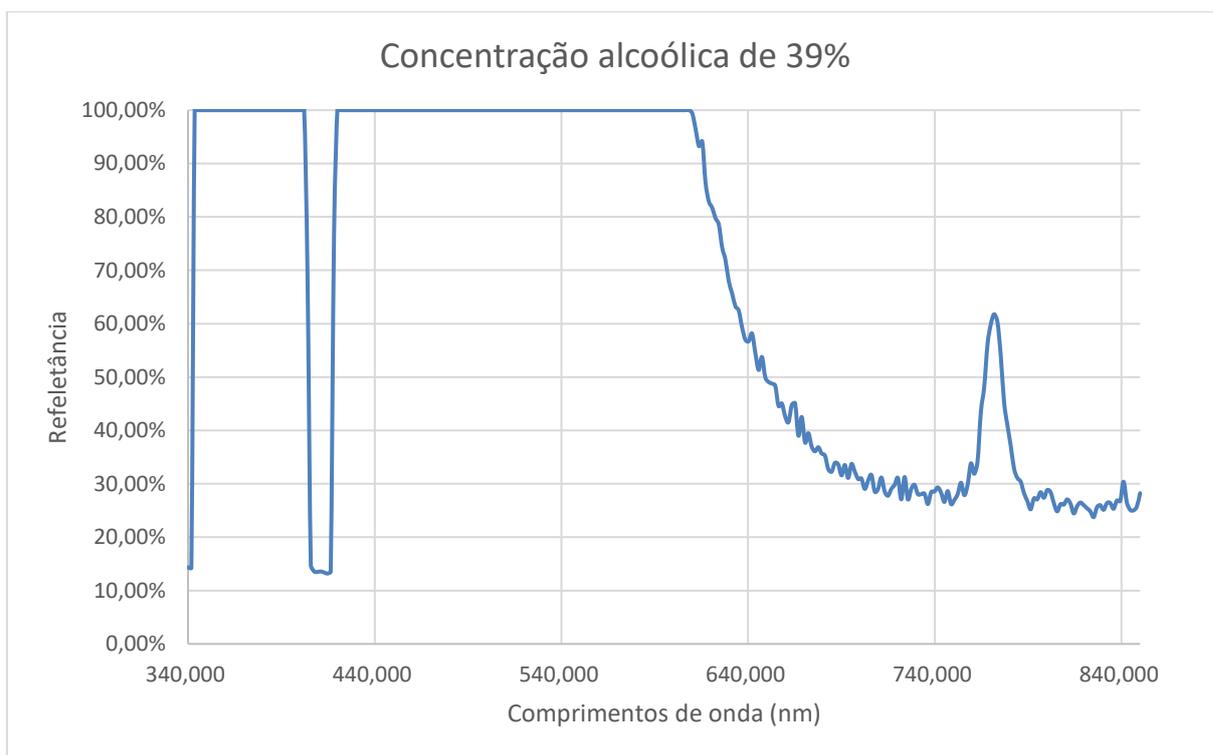


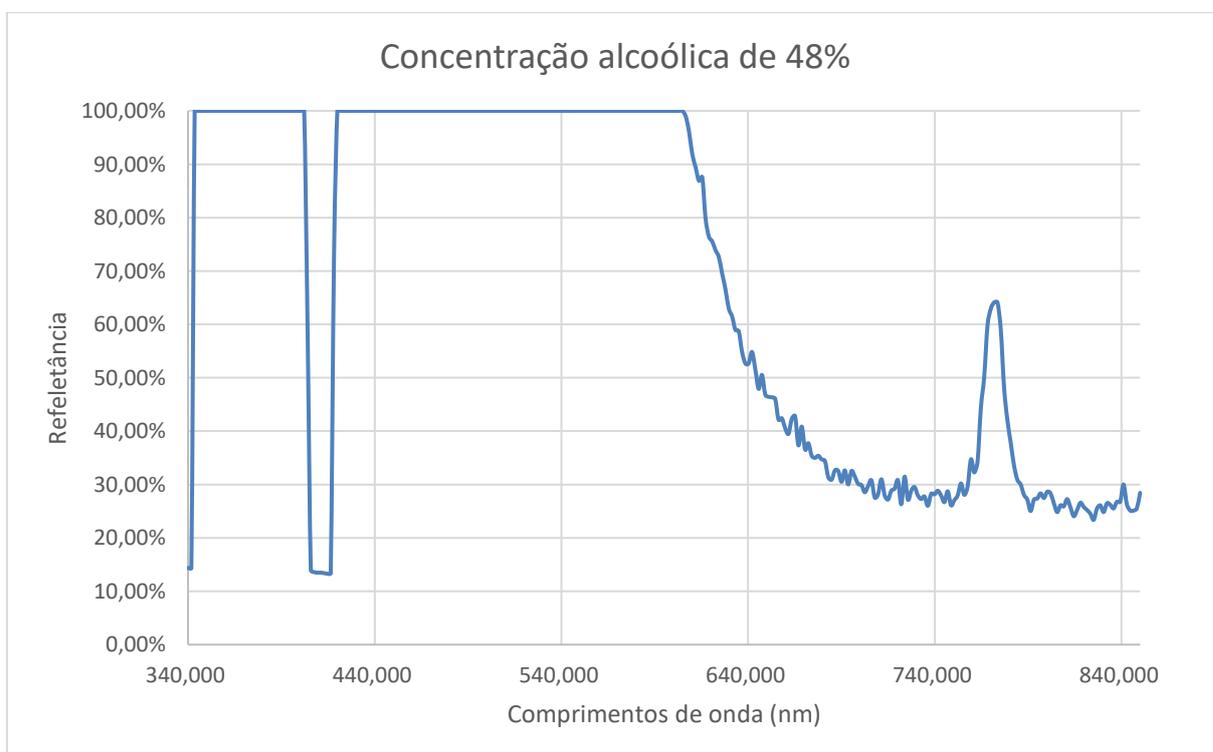
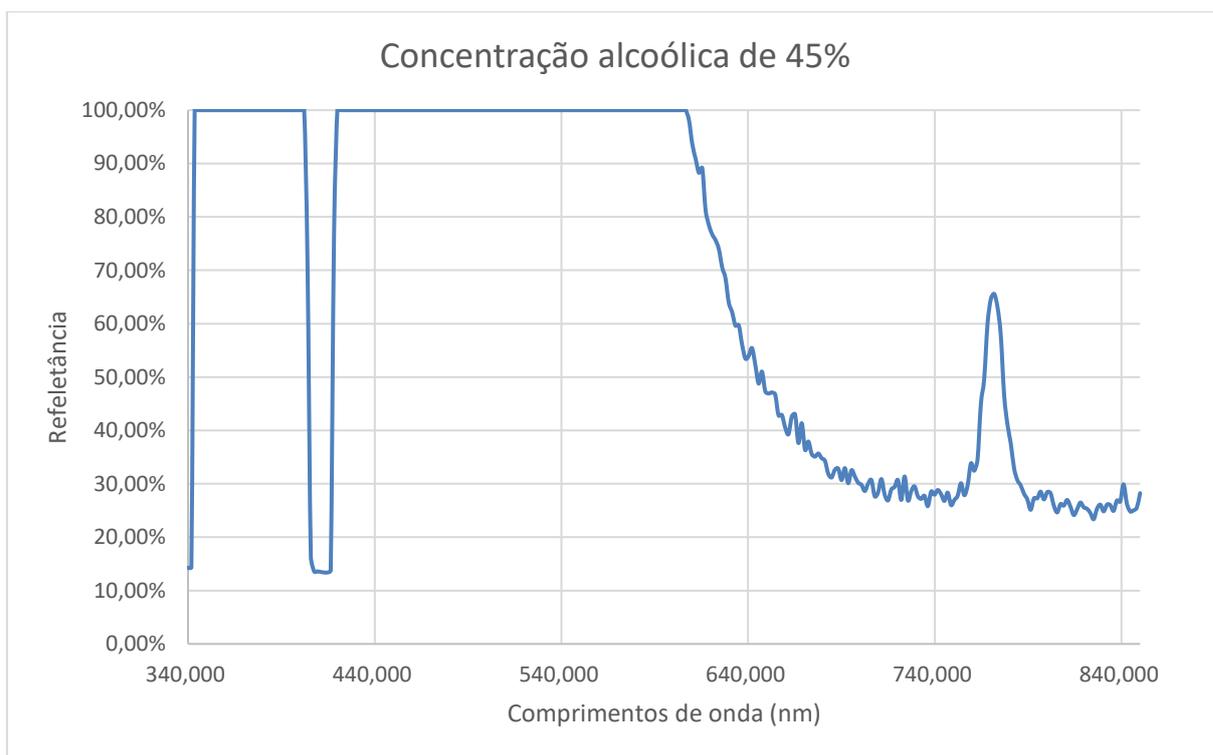


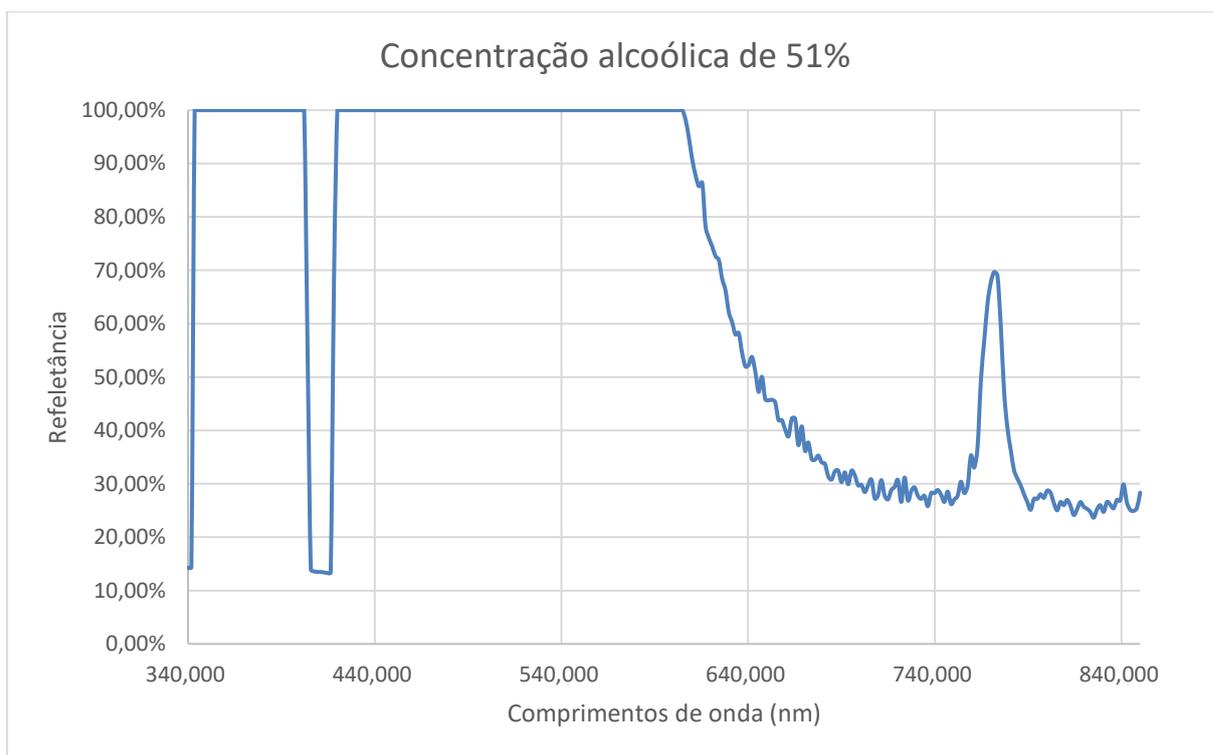


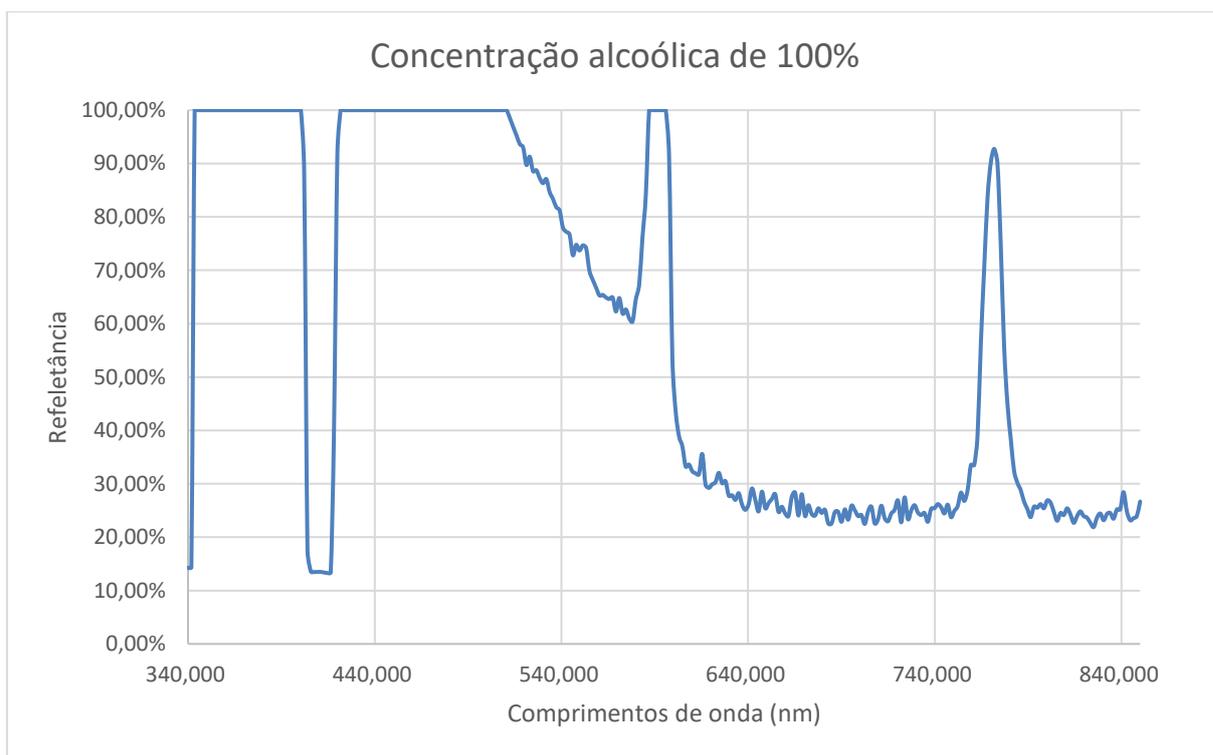






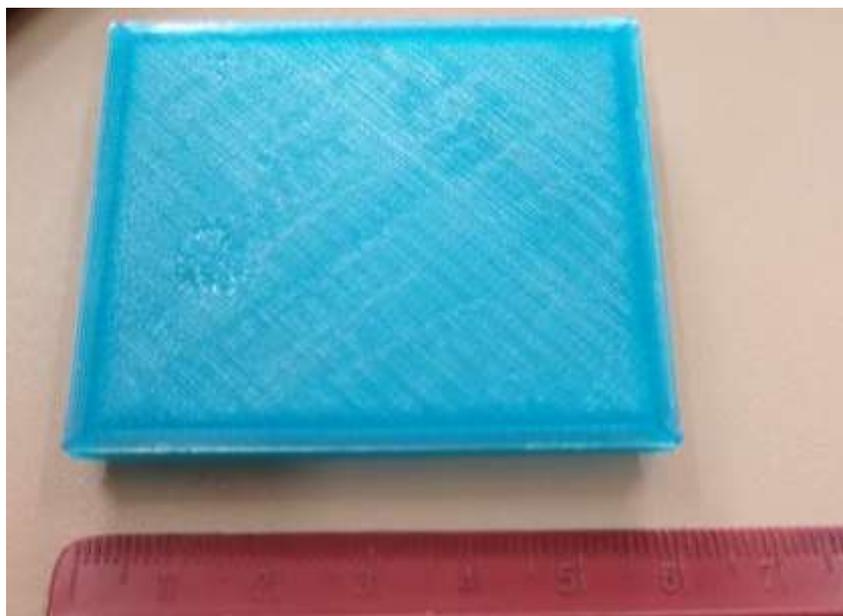




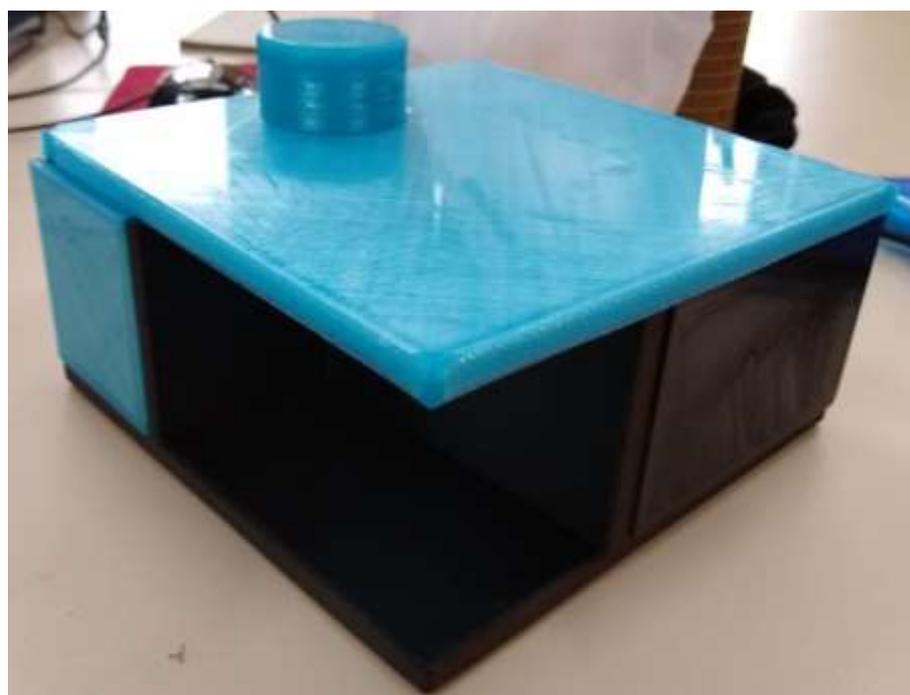


APÊNDICE 2 – Fotos da câmara escura

Dimensão de uma das peças. Trata-se da tampa lateral que mede cerca de 6cm de altura, também presente na próxima imagem.



Câmara escura completa, porém sem acabamento



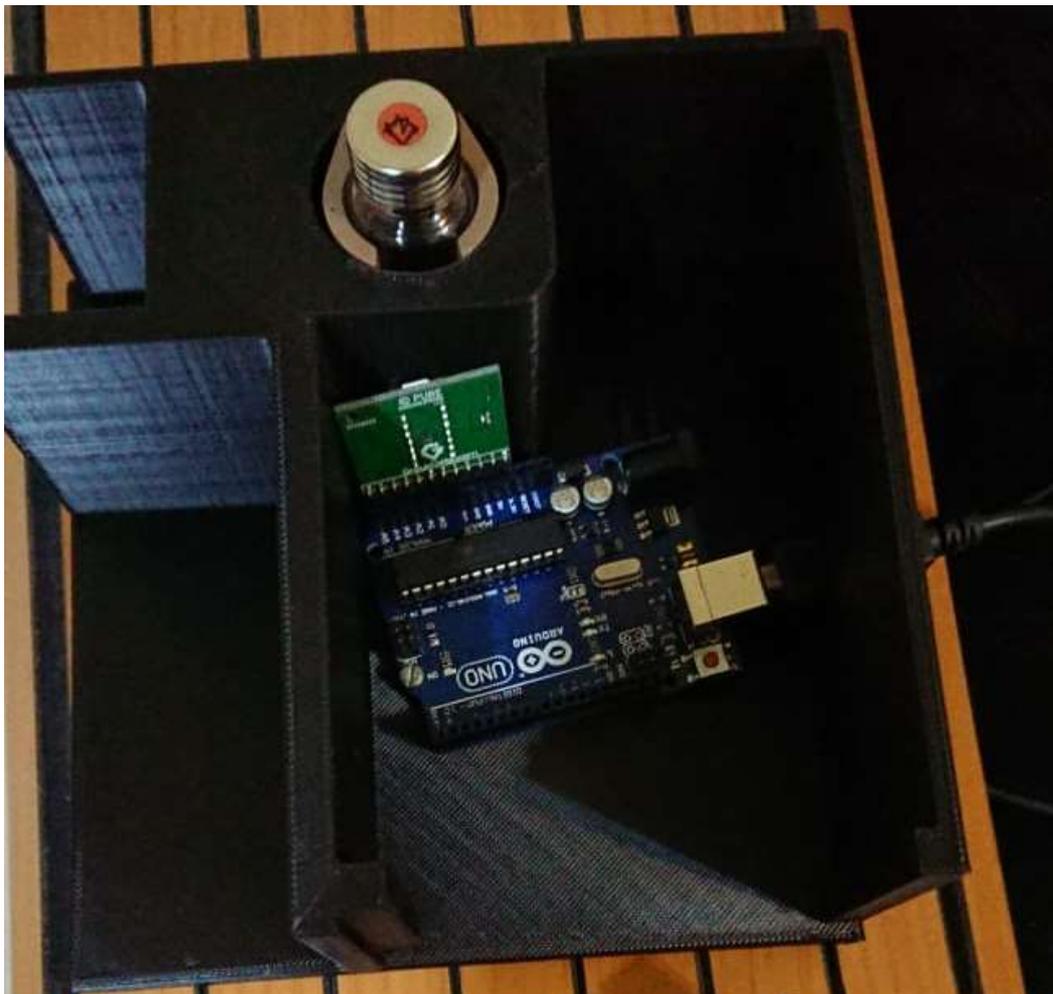
Câmara escura após acabamento, visão isométrica.



Câmara escura após acabamento, visão de cima levemente inclinada.



Interior da câmara.



ANEXO 1 – Datasheet do HAMAMATSU C12880MA

Micro-spectrometer



C12880MA

Finger-tip sized, ultra-compact spectrometer head supporting high sensitivity and long wavelength region

The C12880MA is a high-sensitivity, ultra-compact (finger-tip sized) spectrometer head that supports the long wavelength region (up to 850 nm). Hermetically sealed packaging provides improved humidity resistance. This product is suitable for integration into a variety of compact devices.

Features

- ➔ **Finger-tip size: 20.1 × 12.5 × 10.1 mm**
- ➔ **Weight: 5 g**
- ➔ **Spectral response range: 340 to 850 nm**
- ➔ **High sensitivity**
- ➔ **Spectral resolution: 15 nm max.**
- ➔ **Supports synchronized integration (electronic shutter function)**
- ➔ **Hermetic package: high reliability against humidity**
- ➔ **For integration into mobile measurement equipment**
- ➔ **Wavelength conversion factors*1 are listed on final inspection sheet.**

*1: Conversion factors for converting the image sensor pixel number into a wavelength. A calculation factor for converting the A/D converted count into the input light level is not provided.

Applications

- ➔ **Food inspection**
- ➔ **Biometry (POC)**
- ➔ **Tester for lights, LEDs, etc.**
- ➔ **Water quality control monitors and other environment measuring instruments**
- ➔ **Various light level measurements**

Structure

| Parameter | Specification | Unit |
|------------------------|---|--------|
| Image sensor | High-sensitivity CMOS linear image sensor with slit | - |
| Number of pixels | 288 | pixels |
| Pixel size (H × V) | 14 × 200 | μm |
| Slit*2 (H × V) | 50 × 500 | μm |
| NA*3 | 0.22 | - |
| Dimensions (W × D × H) | 20.1 × 12.5 × 10.1 | mm |
| Weight | 5 | g |

*2: Entrance slit aperture size

*3: Numeric aperture (solid angle)

Absolute maximum ratings (Ta=25 °C unless otherwise noted)

| Parameter | Symbol | Condition | Value | Unit |
|-----------------------|--------|-----------------------|------------|------|
| Supply voltage | Vs max | | -0.3 to +6 | V |
| Clock pulse voltage | V(CLK) | | -0.3 to +6 | V |
| Start pulse voltage | V(ST) | | -0.3 to +6 | V |
| Operating temperature | Topr | No dew condensation*4 | +5 to +50 | °C |
| Storage temperature | Tstg | No dew condensation*4 | -20 to +70 | °C |

*4: When there is a temperature difference between a product and the surrounding area in high humidity environment, dew condensation may occur on the product surface. Dew condensation on the product may cause deterioration in characteristics and reliability.

Note: Exceeding the absolute maximum ratings even momentarily may cause a drop in product quality. Always be sure to use the product within the absolute maximum ratings.

▣ Recommended terminal voltage (Ta=25 °C)

| Parameter | Symbol | Min. | Typ. | Max | Unit |
|---------------------|------------|-----------|------|-----------|------|
| Supply voltage | Vs | 4.75 | 5 | 5.25 | V |
| Clock pulse voltage | High level | Vs - 0.25 | Vs | Vs + 0.25 | V |
| | Low level | 0 | - | 0.3 | |
| Start pulse voltage | High level | Vs - 0.25 | Vs | Vs + 0.25 | V |
| | Low level | 0 | - | 0.3 | |

▣ Electrical characteristics [Ta=25 °C, Vs=5 V, V(CLK)=V(ST)=5 V]

| Parameter | Symbol | Min. | Typ. | Max | Unit |
|-----------------------|--------|------|--------|-----|------|
| Clock pulse frequency | f(CLK) | 0.2 | - | 5 | MHz |
| Video rate | VR | - | f(CLK) | - | Hz |
| Output impedance*5 | Zo | - | 150 | - | Ω |
| Current consumption*6 | I | - | 20 | - | mA |

*5: Video signal output terminal (10-pin)

An increase in the current consumption at the video output terminal also increases the chip temperature and so causes the dark current to rise. To avoid this, connect a buffer amplifier to the video output terminal so that the current flow is minimized.

*6: f(CLK)=5 MHz

▣ Electrical and optical characteristics [Ta=25 °C, Vs=5 V, V(CLK)=V(ST)=5 V]

| Parameter | Symbol | Min. | Typ. | Max | Unit |
|-----------------------------------|--------|------|------------|------|-------------------|
| Conversion efficiency | CE | - | 50 | - | μV/e ⁻ |
| Dark output voltage*7 | Vd | - | 0.8 | - | mV |
| Saturation output voltage*8 | Vsat | - | 4.3 | - | V |
| Readout noise | Nr | - | 1.8 | - | mV rms |
| Output offset voltage | Vo | 0.3 | 0.5 | 0.9 | V |
| Spectral response range | λ | - | 340 to 850 | - | nm |
| Spectral resolution (FWHM) | - | - | 12 | 15 | nm |
| Wavelength reproducibility*9 | λr | -0.5 | - | +0.5 | nm |
| Wavelength temperature dependence | λTd | -0.1 | - | +0.1 | nm/°C |
| Spectral stray light*10 | SL | - | - | -25 | dB |

*7: Integration time=10 ms

*8: Relative value in reference to output offset voltage Vo

Example: When output offset voltage Vo is 0.5 V and saturation output voltage Vsat is 4.3 V, the saturation voltage at the video signal output terminal is 4.8 V.

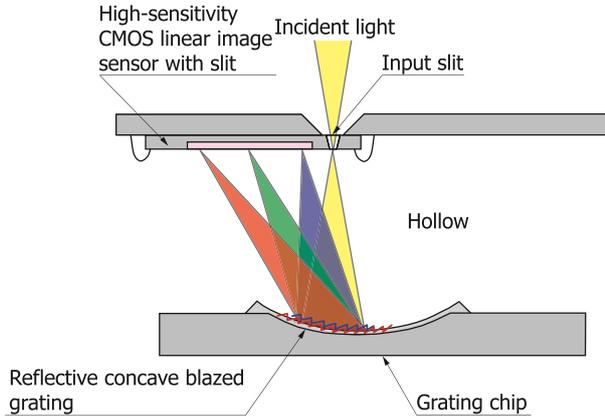
*9: Measured under constant light input conditions

*10: The ratio of the count measured when a light spectrum (655 nm) is input to the count measured at that wavelength ± 40 nm.

Optical component layout

Besides a CMOS image sensor chip integrated with an optical slit by etching technology, the C12880MA employs a reflective concave blazed grating formed by nanoimprint. In addition, the glass used in the light path of the previous C10988MA-01 is not used in the C12880MA, making it extremely compact.

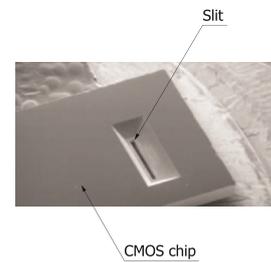
Structure



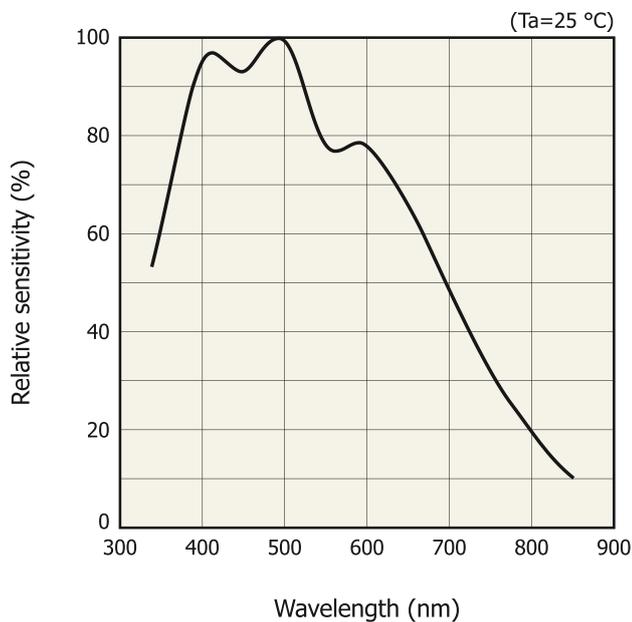
KACCC0757EB



High-sensitivity CMOS linear image sensor with a slit [Incident light side (back of chip)]

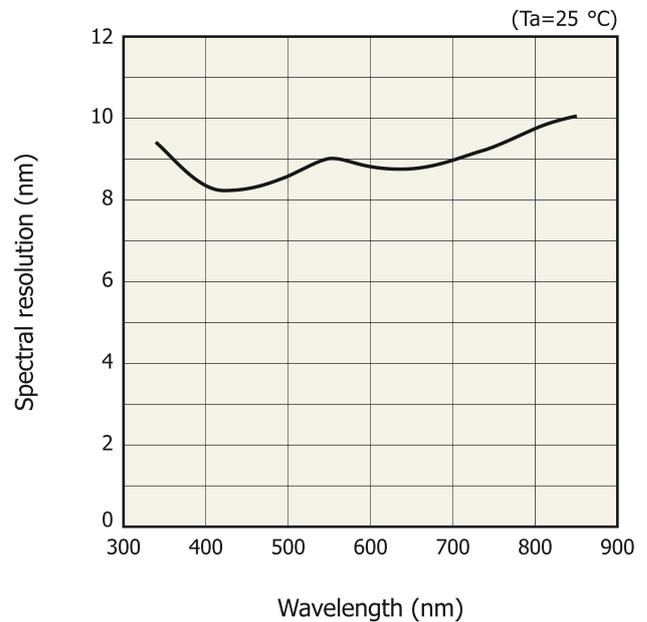


Spectral response (typical example)



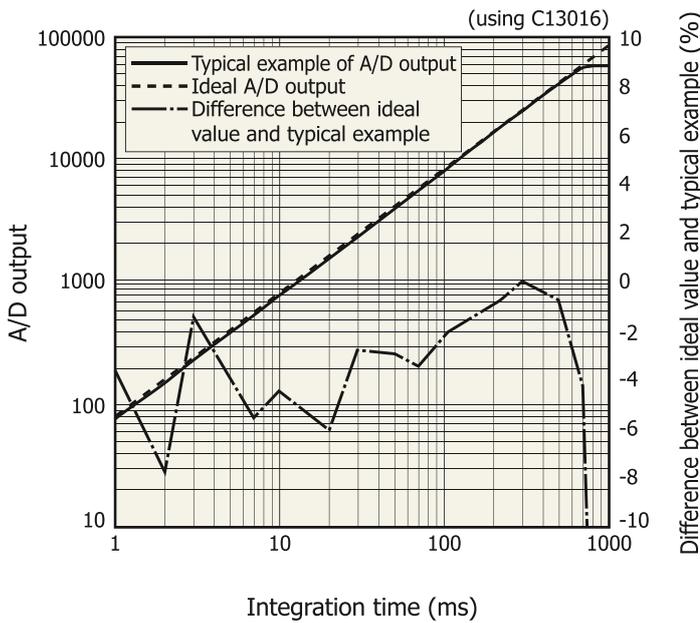
KACCB0381EA

Spectral resolution vs. wavelength (typical example)



KACCB0382EA

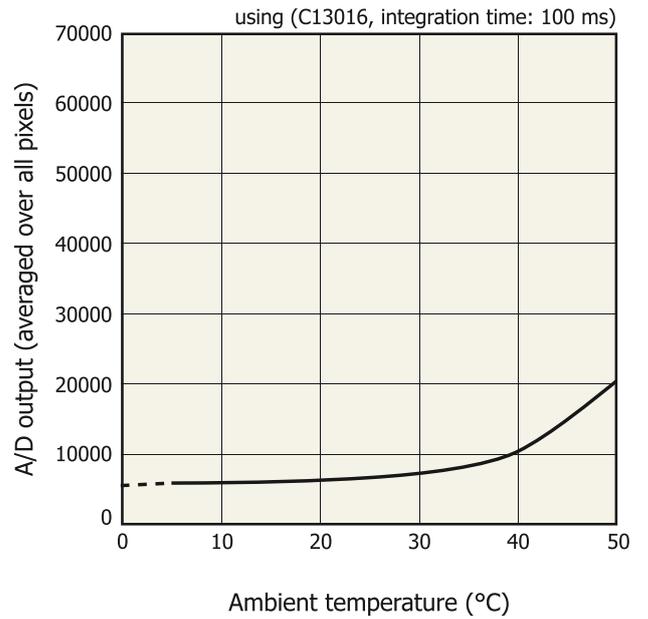
Linearity (typical example)



KACCB0383EA

A/D output is the output with dark output is subtracted when light is input. The difference between the ideal value and typical example contains a measurement error. The smaller the A/D output, the larger the measurement error.

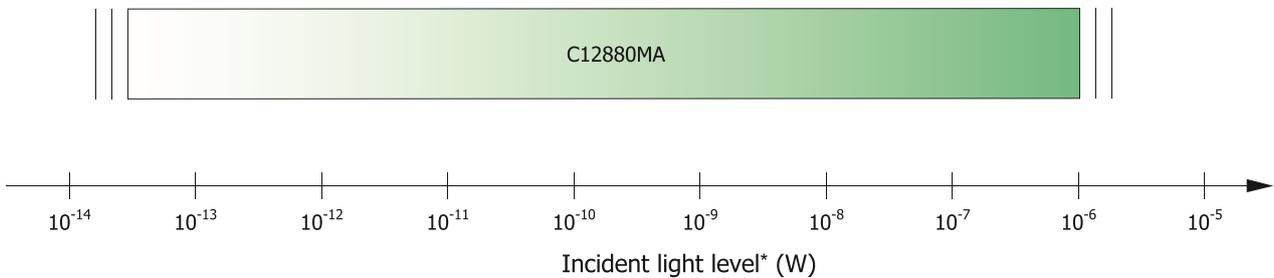
Dark output vs. ambient temperature (typical example)



KACCB0384EA

A/D output is the sum of the sensor and circuit offset outputs and the sensor dark output.

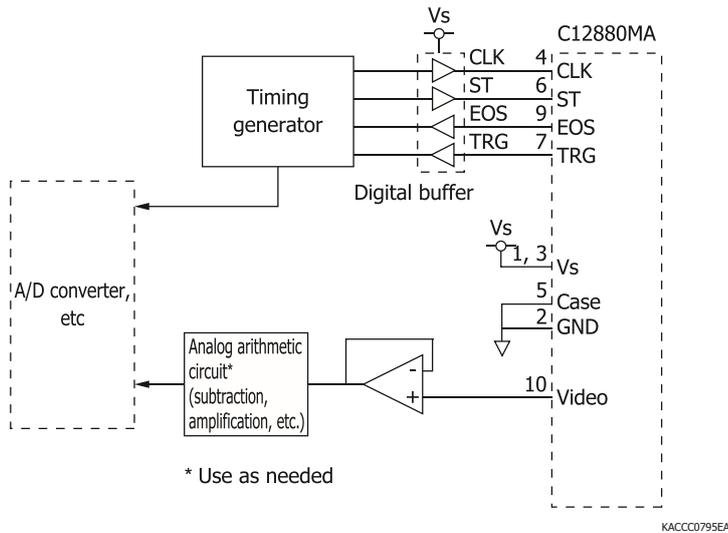
Measurable incident light level



* Using C13016, input spot diameter 800 μ m ($\lambda=600$ nm)

KACCB385EA

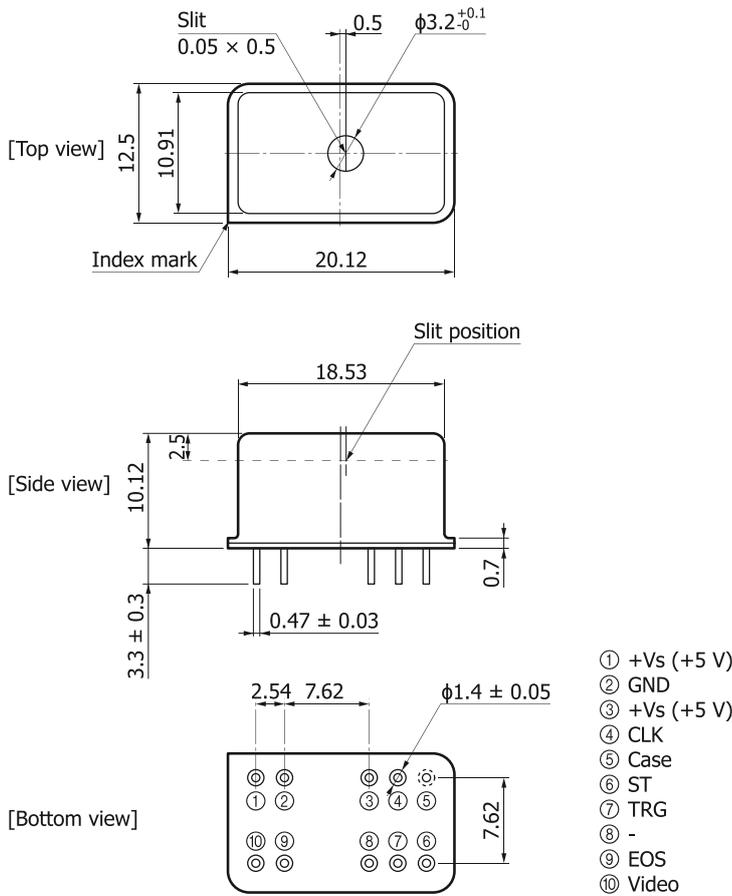
Recommended driver circuit example



Precautions

- The packaging of the C12880MA is electrically conductive, so be careful when designing the circuit to avoid short circuit caused by contact with a circuit pattern.
- If external force is repeatedly applied to the lead pins, this may damage the lead pins.
- To prevent damage due to soldering, be careful of the soldering temperature and time.
As a general guide, finish soldering within 3.5 seconds at 350 °C or less when soldering by hand, or within 10 seconds at 260 °C or less when using a solder bath.

Dimensional outline (unit: mm, tolerance unless otherwise noted: ±0.2)



KACCA0356EB

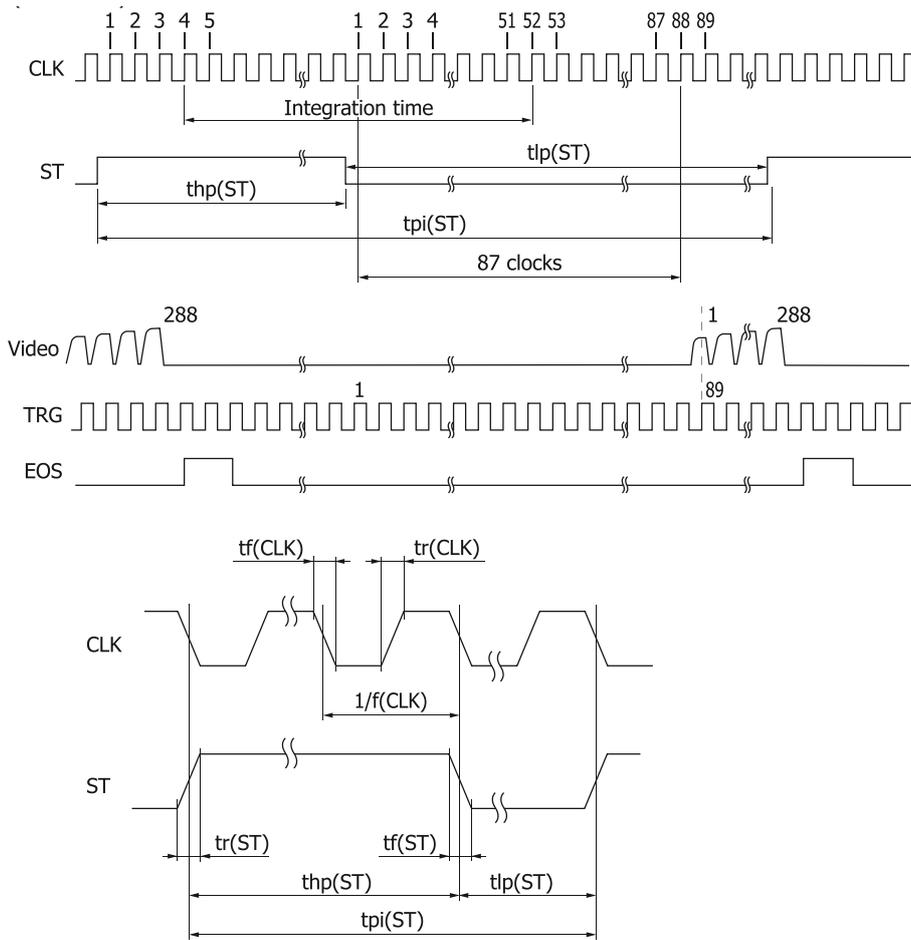
Pin connections

Make electrical connections to an external circuit using leads.

| Pin no. | Symbol | Name | I/O | Description |
|---------|--------|----------------|-----|--|
| 1 | +Vs | Supply voltage | I | Sensor power supply: 5 V |
| 2 | GND | Ground | - | Sensor ground |
| 3 | +Vs | Supply voltage | I | Sensor power supply: 5 V |
| 4 | CLK | Clock pulse | I | Sensor clock pulse |
| 5 | Case | Case | - | Case connection |
| 6 | ST | Start pulse | I | Sensor start pulse |
| 7 | TRG | Trigger pulse | O | Pulse for capturing sensor video signals |
| 8 | - | Fastening pin | - | Do not connect electrically. |
| 9 | EOS | End of scan | O | Sensor scan end |
| 10 | Video | Video output | O | Sensor video output |

Note: Pin no. 5 and the case of the micro-spectrometer are at the same potential. Ensure that the case is not in contact with other potentials during use. Parts coming in contact with the case must be set at the same potential as pin no. 5 or insulated from other potentials.

Timing chart



KACCC0771EA

| Parameter | Symbol | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|--|------------------|------------|------|------|------|
| Start pulse cycle* ¹¹ | tpi(ST) | 381/f(CLK) | - | - | s |
| Start pulse high period* ¹² | thp(ST) | 6/f | - | - | s |
| Start pulse low period | tlp(ST) | 375/f | - | - | s |
| Start pulse rise and fall times | tr(ST), tf(ST) | 0 | 10 | 30 | ns |
| Clock pulse duty | - | 45 | 50 | 55 | % |
| Clock pulse rise and fall times | tr(CLK), tf(CLK) | 0 | 10 | 30 | ns |

*11: The shortest period required to output the video signals from all pixels.

*12: The integration time equals the high period of ST plus 48 CLK cycles.

The shift register starts operation at the rising edge of CLK immediately after ST goes low.

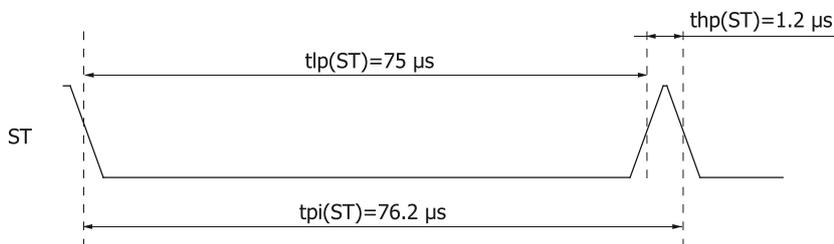
The integration time can be changed by changing the ratio of the high and low periods of ST.

If the first TRG pulse after ST goes low is counted as the first pulse, the Video signal should be acquired at the rising edge of the 89th TRG pulse.

Operation example

This is an operating example when the clock pulse frequency is set to maximum (video data rate is also set to maximum), the time per scan to minimum, and the integration time to maximum.

- Clock pulse frequency $[f(\text{CLK})] = \text{Video data rate}$
 $= 5 \text{ MHz}$
- Start pulse cycle $[t_{pi}(\text{ST})] = 381/f(\text{CLK})$
 $= 381/5 \text{ MHz}$
 $= 76.2 \text{ } \mu\text{s}$
- Low period of start pulse min. $[t_{lp}(\text{ST})] = 375/f(\text{CLK})$
 $= 375/5 \text{ MHz}$
 $= 75 \text{ } \mu\text{s}$
- High period of start pulse $[t_{hp}(\text{ST})] = \text{Start pulse cycle } [t_{pi}(\text{ST})] - \text{Low period of start pulse min. } [t_{lp}(\text{ST})]$
 $= 76.2 \text{ } \mu\text{s} - 75 \text{ } \mu\text{s}$
 $= 1.2 \text{ } \mu\text{s}$



KACCC0772EA

Integration time is equal to the high period of start pulse + 48 cycles of clock pulses, so it will be $1.2 \text{ } \mu\text{s} + 9.6 \text{ } \mu\text{s} = 10.8 \text{ } \mu\text{s}$.

Mini-spectrometer/micro-spectrometer lineup

| Type no. | Type | Spectral response range(nm) | | | | | | | | | | | | | Spectral resolution max. (nm) | Image sensor | | | |
|-----------|---|-----------------------------|------------|-----|-------------|------|-------------|-------------|--------------|------|------|------|------|------|-------------------------------|--------------|--|----------------------------------|---|
| | | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | 2200 | 2400 | 2600 | | | | | |
| C10082CA | TM-UV/VIS-CCD High sensitivity | | | | | | | | | | | | | | | | | 6 | Back-illuminated type CCD Image sensor |
| C10082CAH | TM-UV/VIS-CCD High resolution | | 200 to 800 | | | | | | | | | | | | | | | 1* | |
| C10082MD | TM-UV/VIS-MOS Wide dynamic range | | | | | | | | | | | | | | | | | 6 | CMOS linear image sensor |
| C10083CA | TM-VIS/NIR-CCD High sensitivity | | | | | | | | | | | | | | | | | 8 (Wavelength 320 to 900 nm) | Back-thinned CCD image sensor |
| C10083CAH | TM-VIS/NIR-CCD High resolution | | | | | | | | | | | | | | | | | 1* (Wavelength 320 to 900 nm) | |
| C10083MD | TM-VIS/NIR-MOS Wide dynamic range | | | | 320 to 1000 | | | | | | | | | | | | | 8 | CMOS linear image sensor |
| C11697MB | TM-VIS/NIR-MOS-II Trigger compatibility | | | | | | | | | | | | | | | | | 8 | High-sensitivity CMOS linear image sensor |
| C9404CA | TG-UV-CCD High sensitivity | | 200 to 400 | | | | | | | | | | | | | | | 3 | Back-thinned CCD image sensor |
| C9404CAH | TG-UV-CCD High resolution | | | | | | | | | | | | | | | | | 1* | Back-thinned CCD image sensor |
| C9405CB | TG-SWNIR-CCD-II IR enhanced | | | | 500 to 1100 | | | | | | | | | | | | | 5 (Wavelength 550 to 900 nm) | IR-enhanced back-thinned CCD image sensor |
| C11713CA | TG-RAMAN-I High resolution | | | | 500 to 600 | | | | | | | | | | | | | 0.3* | Back-thinned CCD image sensor |
| C11714CB | TG-RAMAN-II High resolution | | | | | | 790 to 920 | | | | | | | | | | | 0.3* | IR-enhanced back-thinned CCD image sensor |
| C11482GA | TG2-NIR Non-cooled type | | | | | | | | 900 to 1700 | | | | | | | | | 7 | InGaAs linear image sensor |
| C9913GC | TG-cooled NIR-I Low noise(Cooled type) | | | | | | | | | | | | | | | | | 7 | |
| C9914GB | TG-cooled NIR-II Low noise(Cooled type) | | | | | | | | 1100 to 2200 | | | | | | | | | 8 | |
| C11118GA | TG-cooled NIR-III Low noise(Cooled type) | | | | | | | | 900 to 2550 | | | | | | | | | 20 | |
| C13555MA | TF-VIS-MOS-II Compact, thin case | | | | 340 to 830 | | | | | | | | | | | | | 3 | High-sensitivity CMOS linear image sensor |
| C13053MA | TF-SWIR-MOS-II Compact, thin case | | | | 500 to 1100 | | | | | | | | | | | | | 3.5 | High-sensitivity CMOS linear image sensor |
| C14486GA | TF-NIR Compact, thin case | | | | | | | | 950 to 1700 | | | | | | | | | 5* | InGaAs linear image sensor |
| C13054MA | TF-RAMAN Compact, thin case | | | | | | | 790 to 920 | | | | | | | | | | 0.4* | High-sensitivity CMOS linear image sensor |
| C14214MA | TF-RAMAN Compact, thin case | | | | | | | 790 to 1050 | | | | | | | | | | 0.6 | High-sensitivity CMOS linear image sensor |
| C11007MA | RC-VIS-MOS Spectrometer module | | | | 340 to 780 | | | | | | | | | | | | | 9 | CMOS linear image sensor |
| C11008MA | RC-SWNIR-MOS Spectrometer module | | | | | | 640 to 1050 | | | | | | | | | | | 8 | IR-enhanced CMOS linear image sensor |

* Typ. Value

For incorporation into mobile measurement devices

| Type no. | Type | Spectral response range(nm) | | | | | | | | | | | | | Spectral resolution max. (nm) | Image sensor | | | |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------|-----|-----|------------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------------------|--------------|--|---|---|
| | | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | 2200 | 2400 | 2600 | | | | | |
| C11009MA | RC-VIS-MOS Spectrometer head | | | | 340 to 780 | | | | | | | | | | | | | 9 | CMOS linear image sensor |
| C11010MA | RC-SWNIR-MOS Spectrometer head | | | | | | 640 to 1050 | | | | | | | | | | | 8 | IR-enhanced CMOS linear image sensor |

For incorporation into mobile measurement devices (Ultra-compact)

| Type no. | Type | Spectral response range(nm) | | | | | | | | | | | | | Spectral resolution max. (nm) | Image sensor | | | |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------|-----|-----|------------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------------------|--------------|--|----|--|
| | | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | 2200 | 2400 | 2600 | | | | | |
| C11708MA | MS-SWNIR-MOS Spectrometer head | | | | | | 640 to 1050 | | | | | | | | | | | 20 | CMOS linear image sensor |
| C12666MA | Spectrometer head | | | | 340 to 780 | | | | | | | | | | | | | 15 | CMOS linear image sensor |
| C12880MA | Spectrometer head | | | | 340 to 850 | | | | | | | | | | | | | 15 | High-sensitivity CMOS linear image sensor |

Related information

www.hamamatsu.com/sp/ssd/doc_en.html

■ Precautions

- Disclaimer

■ Technical information

- Mini-spectrometers

Information described in this material is current as of August 2018.

Product specifications are subject to change without prior notice due to improvements or other reasons. This document has been carefully prepared and the information contained is believed to be accurate. In rare cases, however, there may be inaccuracies such as text errors. Before using these products, always contact us for the delivery specification sheet to check the latest specifications.

The product warranty is valid for one year after delivery and is limited to product repair or replacement for defects discovered and reported to us within that one year period. However, even if within the warranty period we accept absolutely no liability for any loss caused by natural disasters or improper product use. Copying or reprinting the contents described in this material in whole or in part is prohibited without our prior permission.

HAMAMATSU

www.hamamatsu.com

HAMAMATSU PHOTONICS K.K., Solid State Division

1126-1 Ichino-cho, Higashi-ku, Hamamatsu City, 435-8558 Japan, Telephone: (81) 53-434-3311, Fax: (81) 53-434-5184

U.S.A.: Hamamatsu Corporation: 360 Foothill Road, Bridgewater, N.J. 08807, U.S.A., Telephone: (1) 908-231-0960, Fax: (1) 908-231-1218, E-mail: usa@hamamatsu.com

Germany: Hamamatsu Photonics Deutschland GmbH: Arzbergerstr. 10, D-82211 Herrsching am Ammersee, Germany, Telephone: (49) 8152-375-0, Fax: (49) 8152-265-8, E-mail: info@hamamatsu.de

France: Hamamatsu Photonics France S.A.R.L.: 19, Rue du Saule Trapu, Parc du Moulin de Massy, 91882 Massy Cedex, France, Telephone: 33-(1) 69 53 71 00, Fax: 33-(1) 69 53 71 10, E-mail: infos@hamamatsu.fr

United Kingdom: Hamamatsu Photonics UK Limited: 2 Howard Court, 10 Tewin Road, Welwyn Garden City, Hertfordshire AL7 1BW, United Kingdom, Telephone: (44) 1707-294888, Fax: (44) 1707-325777, E-mail: info@hamamatsu.co.uk

North Europe: Hamamatsu Photonics Norden AB: Torshamnsgatan 35 16440 Kista, Sweden, Telephone: (46)8-509 031 00, Fax: (46)8-509 031 01, E-mail: info@hamamatsu.se

Italy: Hamamatsu Photonics Italia S.r.l.: Strada della Moia, 1 int. 6, 20020 Arese (Milano), Italy, Telephone: (39)02-93 58 17 33, Fax: (39)02-93 58 17 41, E-mail: info@hamamatsu.it

China: Hamamatsu Photonics (China) Co., Ltd.: B1201, Jiaming Center, No.27 Dongsanhuan Beilu, Chaoyang District, Beijing 100020, China, Telephone: (86) 10-6586-6006, Fax: (86) 10-6586-2866, E-mail: hpc@hamamatsu.com.cn

Taiwan: Hamamatsu Photonics Taiwan Co., Ltd.: 8F-3, No. 158, Section2, Gongdao 5th Road, East District, Hsinchu, 300, Taiwan R.O.C. Telephone: (886)03-659-0080, Fax: (886)03-659-0081, E-mail: info@hamamatsu.com.tw

ANEXO 2 – Linha de espectrofotômetros da Hamamatsu

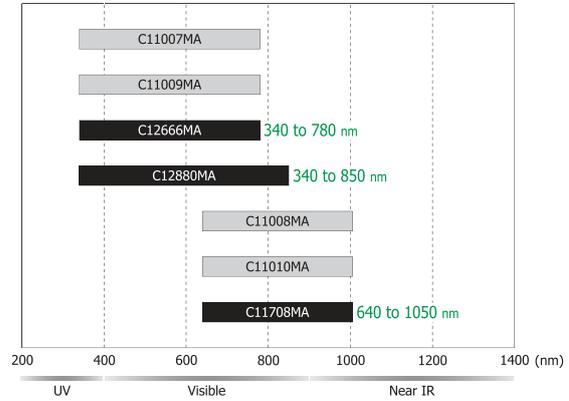
Micro-spectrometers, MS series

Ultra-compact spectrometer heads

- Wide dynamic range C12666MA
- High sensitivity C12880MA
- For near IR C11708MA

Based on an advanced MOEMS technology, a thumb-sized ultra-compact spectrometer heads have been achieved by combining an input-slit-integrated CMOS image sensor and grating formed through nanoimprint on a convex lens. As they employ an easily mountable package, you can use them as though they were sensors.

Spectral response (RC/MS series, micro-spectrometers)



KACCB0388EA



C12666MA, C12880MA

CMOS linear image sensor with a slit
Slit
CMOS chip

Features

- Ultra-compact
- Hermetically sealed package:
 - High reliability under humid conditions (C12666MA, C12880MA)
- For installation into mobile measuring devices
- Wavelength conversion factor*7 is listed on final inspection sheet.

Applications

[C12666MA, C12880MA]

- Color monitoring on printers, printing presses, etc.
- Tester for lights, LEDs, etc.
- Display color adjustment
- Water quality control monitors and other environment measuring instruments
- Measuring instruments that use portable devices, such as smartphones and tablets

[C11708MA]

- Sugar content measurement of fruits
- Taste evaluation of grains
- Composition analysis

*7: A factor for converting image sensor pixel numbers to wavelengths. A calculation factor for converting the A/D converted count into a value proportional to the input light level is not provided.

Specifications (Ta=25 °C)

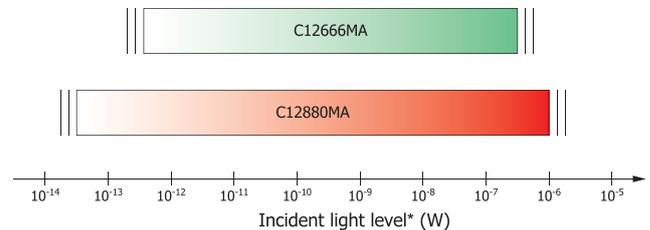
| Parameter | Micro-spectrometer | | MS series | Unit |
|--------------------------------------|---|---|---|--------|
| | C12666MA | C12880MA | C11708MA | |
| Photo |  |  |  | - |
| Type | Spectrometer head Wide dynamic range | Spectrometer head High sensitivity | Spectrometer head For near IR | - |
| Spectral response range | 340 to 780 | 340 to 850 | 640 to 1050 | nm |
| Spectral resolution (FWHM)*1 | 15 max. | | 20 max. | nm |
| Wavelength reproducibility*2 | -0.5 to +0.5 | | | mm |
| Wavelength temperature dependence | -0.1 to +0.1 | | -0.05 to +0.05 | nm/°C |
| Spectral stray light*1 *3 | -25 max. | | | dB |
| Dimensions (W × D × H) | 20.1 × 12.5 × 10.1 | | 27.6 × 16.8 × 13 | mm |
| Weight | 5 | | 9 | g |
| Image sensor | CMOS linear image sensor | High-sensitivity CMOS linear image sensor | CMOS linear image sensor | - |
| Number of pixels | 256 | 288 | 256 | pixels |
| Slit (H × V)*4 | 50 × 750 | 50 × 500 | 75 × 750 | μm |
| NA*5 | 0.22 | | | - |
| Operating temperature*6 | +5 to +50 | | | °C |
| Storage temperature*6 | -20 to +70 | | | °C |
| Trigger compatible | - | | | - |
| Evaluation circuit (sold separately) | C14465-10 | C13016 | C14465 | - |

Note: We also provide the C12880MA-10, which is identical to the C12880MA except that it has an SMA connector.

Measurable incident light level

CMOS image sensor built into the C12666MA has a large saturation charge, and that built into the C12880MA has a large charge-to-voltage conversion gain.

To perform high S/N measurement, the C12666MA is recommended when the incident light level is high and the C12880MA when the level is low.



* Input spot diameter: 800 μm (λ=550 nm)

The measurable light level is calculated from the settable integration time. The settable integration time is different between the C12666MA and C12880MA. The S/N during measurement is not taken into account.

KACC0354EA

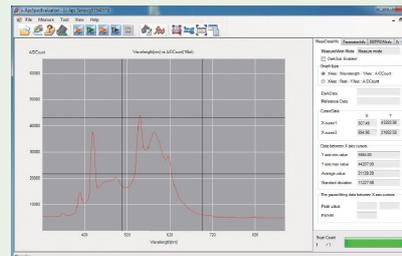
Micro-spectrometer evaluation circuit

A circuit board designed to simply evaluate the characteristics of the micro-spectrometer is available (sold separately). The micro-spectrometer is connected to a PC with a USB cable A9160 (AB type, sold separately). Evaluation software is included.

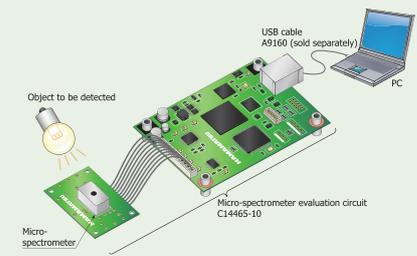


C14465-10 and C12666MA

Evaluation software display example



Connection example



KACC00799EB

*1: When the slit in the table is used. The spectral resolution depends on the slit. *2: Measured under constant light input and other conditions *3: The ratio of the count measured when the following wavelength light is input to the count measured when that wavelength ±40 nm light is input, C12666MA: 560 nm, C12880MA: 655 nm, C11708MA: 850 nm *4: Input slit aperture size *5: Numeric aperture (solid angle) *6: No dew condensation