

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS COMPUTACIONAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Dissertação de Mestrado

Sistema fotométrico de identificação de semente de arroz vermelho

Carlos Eduardo Nascimento Pinheiro

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal do Rio Grande, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Computação

Orientador: Prof. Dr. Emanuel da Silva Diaz Estrada
Co-orientador: Prof. Dr. Vagner Santos da Rosa

Rio Grande, 2021

Ficha Catalográfica

P654s Pinheiro, Carlos Eduardo Nascimento.

Sistema fotométrico de identificação de semente de arroz
vermelho / Carlos Eduardo Nascimento Pinheiro. – 2021.

81 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande –
FURG, Programa de Pós-Graduação em Computação, Rio
Grande/RS, 2021.

Orientador: Dr. Emanuel da Silva Diaz Estrada.

Coorientador: Dr. Vagner Santos da Rosa.

1. Sementes 2. Grãos 3. Cereais 4. Arroz 5. Fotometria 6. Cor
I. Estrada, Emanuel da Silva Diaz II. Rosa, Vagner Santos da
III. Título.

CDU 633.18

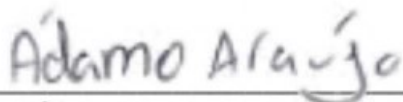
Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Sistema fotométrico de identificação de semente de arroz vermelho

Carlos Eduardo Nascimento Pinheiro

Banca examinadora:



Prof. Dr. Ádamo de Souza Araújo



Prof. Dr. Rodrigo Zelir Azzolin



Prof. Dr. Vagner Santos da Rosa
Coorientador



Prof. Dr. Emanuel da Silva Diaz Estrada
Orientador

*Dedico... este trabalho à minha família e a todos que de alguma forma contribuíram
para seu êxito.*

AGRADECIMENTOS

Só poderia começar de uma forma, registrando um agradecimento especial a minha família, por entender os momentos de ausência, de angústia, de ansiedade e de euforia imputados pelo trabalho, e também, pelo incondicional apoio e incentivo dado durante todo o período deste. Sendo assim, homenageio-os dedicando este trabalho a minha esposa Letícia, aos meus filhos Rafael, Livia e Matheus, aos meus pais Valdenir e Hideméa e aos meus sogros Luiz Carlos e Iara.

Aos Professores Emanuel da Silva Diaz Estrada (Orientador) e Vagner Santos da Rosa (Co-orientador) agradeço a confiança depositada por ambos, delegando a mim um projeto inovador e de grandes desafios, agradeço também o apoio fornecido no decorrer do projeto e por toda a presteza no atendimento, bem como no compartilhamento do conhecimento.

Ao Laboratório de análise de sementes do Instituto Rio-grandense do Arroz -IRGA registro meu agradecimento por todo apoio técnico fornecido, principalmente ao Igor Kohls que esteve disponível sempre que solicitado. Esta assistência permitiu ao projeto alcançar resultados consideravelmente proveitosos.

Agradeço também aos meus amigos e colegas de trabalho, Thiago Fonseca, Gustavo Feijó, Milton Cápuia, Carlos Fernandes, Fabiano Ferreira, Pablo Bueno, Jarbas Souza, Alexandre de Felipe e principalmente ao Derlain Lemos a quem recorri quando uma nova modelagem era idealizada, logo, independente da complexidade da ajuda fornecida, vocês foram de extrema importância para que este trabalho lograsse sucesso ao seu término.

*"No fim tudo dá certo...
se não deu certo,
é porque ainda não
chegou no fim".*

— FERNANDO SABINO

RESUMO

PINHEIRO, Carlos Eduardo Nascimento. **Sistema fotométrico de identificação de semente de arroz vermelho**. 2021. 81 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Computação. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.

O arroz está entre as três maiores culturas cerealíferas do planeta e serve como alimento para grande parte da população mundial, o que torna seu cultivo de importância significativa para a alimentação global. O aspecto econômico que esta cultura abrange, como a geração de empregos, torna a pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias, relevantes tanto no aspecto econômico quanto social. O arroz deve ser semeado com a casca e, na variedade branca, o arroz vermelho é um dos contaminantes. A coloração e o formato da casca dos grãos vermelhos e brancos é considerada indiscernível pelos métodos tradicionais de seleção, inclusive por máquinas. A metodologia para a certificação de sementes exige que parte da amostra seja descascada para a identificação deste contaminante. Para isso foi realizado um estudo acerca de equipamentos atuais, das técnicas e métodos que possibilitassem solucionar o problema da seleção por cor de forma simples, eficiente e economicamente viável. Este trabalho investigou a possibilidade de identificação dos grãos vermelhos através da casca, utilizando técnicas de fotometria na elaboração de um aparato experimental específico para este fim. O trabalho apresenta os passos do desenvolvimento de um sensor fotométrico, bem como os ensaios e coletas de dados obtidos com as propostas de sensor. A partir dos resultados obtidos demonstrou-se ser possível discernir grãos brancos de vermelhos em sementes com a técnica proposta. Apresenta ainda a concepção de um sistema fotométrico de identificação do arroz vermelho com casca, bem como o ensaio experimental, o qual corrobora para utilização do método como técnica alternativa para seleção dos grãos vermelhos com casca.

Palavras-chave: Sementes, Grãos, Cereais, Arroz, Fotometria, Cor.

ABSTRACT

PINHEIRO, Carlos Eduardo Nascimento. **Photometric red rice seed identification system**. 2021. 81 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Computação. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.

Rice is among the three largest cereal crops on the planet and serves as food for a large part of the world's population, which makes its cultivation of significant importance for global food. The economic aspect that this culture encompasses, such as the generation of jobs, makes the research and development of new technologies relevant both in the economic and social aspects. Rice must be sown with the husk and, in the white variety, red rice is one of the contaminants. The color and shape of the husks of red and white beans is considered indiscernible by traditional selection methods, including machines. The methodology for seed certification requires that part of the sample be peeled to identify this contaminant. For this, a study was carried out on current equipment, techniques and methods that would make it possible to solve the problem of selection by color in a simple, efficient and economically viable way. This work investigated the possibility of identifying red grains through the bark, using photometric techniques in the development of a specific experimental apparatus for this purpose. The work presents the steps in the development of a photometric sensor, as well as the tests and data collection obtained with the sensor proposals. From the results obtained, it was shown to be possible to discern white from red grains in seeds with the proposed technique. It also presents the design of a photometric system for identifying red rice with husks, as well as the experimental test, which corroborates the use of the method as an alternative technique for selecting red grains with husks.

Keywords: Seeds, Grains, Cereals, Rice, Photometry, Color.

LISTA DE FIGURAS

1	Produção de arroz em casca 2019	19
2	Produção Nacional de arroz em casca 2019	20
3	Fluxograma das etapas do processo de certificação	21
4	Seleção de impurezas	22
5	Identificação da abrangência do projeto no Fluxo do processo de certificação	23
6	Distribuição do espectro	27
7	Natureza da cor	28
8	Instrumentos desenvolvido por Ebata	29
9	Vista em corte da modelagem final do tubo	33
10	Canal de passagem de luz	33
11	Modelagem final do tubo	33
12	Circuito eletrônico final <i>TSL235</i>	34
13	Foto da amostra das sementes de arroz branco e vermelho	35
14	Ilustração da configuração da coleta de dados	36
15	Ilustração da relação entre os limites e as medianas	38
16	Fluxograma lógico da identificação automática	38
17	Montagem eletrônica do identificador e contador de sementes	39
18	Ilustração da posição da semente durante o ensaio	40
19	Foto das sementes da amostra após os ensaios	41
20	Posição da semente durante o ensaio estático	42
21	Ensaio estático: Comparação das médias expostas a luz infravermelho	43
22	Ensaio estático: Comparação das médias expostas a luz vermelha	43
23	Ensaio estático: Comparação das médias expostas a luz verde	44
24	Ensaio estático: Comparação das médias dos dados das sementes expostos a luz vermelha	44
25	Ensaio estático: Comparação das médias dos dados das sementes expostos a luz verde	45
26	Ensaio estático: Comparação entre os ensaios sob luz vermelha	45
27	Ensaio estático: Comparação das sementes	46
28	Ilustração das posições da semente durante o ensaio dinâmico	46
29	Ensaio dinâmico: Comparação entre valores máximos e as médias das sementes sob incidência da luz vermelha	47
30	Ensaio dinâmico: Comparação entre valores máximos e as médias das sementes sob incidência da luz verde	47

31	Ensaio dinâmico: Comparação dos dados das sementes de arroz branco e vermelho	48
32	Ensaio dinâmico: Comparação dos dados dos sementes de arroz brancos e vermelho	49
33	Ensaio dinâmico: Comparação dos dados dos grãos brancos e vermelhos sem casca	50
34	Grãos descascados da figura 33	51
35	Protótipo do sensor	59
36	Circuito Eletrônico	59
37	Sementes do ensaio preliminar	60
38	Modelo de Sinal coletado	60
39	Semente de arroz brancos	61
40	Semente de arroz vermelhos	61
41	Sinais das sementes de arroz branco	62
42	Sinais das sementes de arroz vermelho	62
43	Comparação dos sinais tratado	63
44	Tubos impressos	64
45	Circuitos eletrônicos	65
46	Ilustração da configuração da coleta de dados com <i>TIL78</i>	66
47	Comparação dos valores máximos lidos referentes aos grãos brancos e vermelhos	68
48	Comparação das médias dos valores lidos referentes aos grãos brancos e vermelhos	68
49	Comparação dos valores máximos	69
50	Comparação dos valores médias	69
51	Comparação dos máximos valores discretos obtido com <i>TIL78</i>	70

LISTA DE TABELAS

1	Intervalos de comprimento de onda no espectro eletromagnético . . .	27
2	Comparação: cor detectada x grãos descascados	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEAC	Álcool etílico anidro combustível
AEHC	Álcool etílico hidratado carburante
EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory (Memória somente leitura programável apagável eletricamente)
FAO	FOOD and Agriculture Organization (Organização Mundial de alimentação e Agricultura)
Federarroz	Federação das Associações de Arrozeiros do Estado do Rio Grande do Sul
GPS	global positioning system (Sistema de posicionamento global)
I2C	Inter-Integrated Circuit (Circuito Inter-integrado)
IRGA	Instituto Rio Grandense de Arroz
LAS	Laboratório de análise de Sementes
NIR	Infravermelho próximo
PWM	Pulse Width Modulation (Modulação por Largura de Pulso)
RAM	Random Access Memory (Memória de acesso randômico)
RISC	Reduced Instruction Set Computer (Computador de conjunto de instruções reduzido)
SPI	Serial Peripheral Interface (Interface Periférica Serial)
TIL78	Transistor fotoreceptor
TSL235	Conversor de luz em frequência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Motivação	16
1.2	Objetivos do Trabalho	16
1.2.1	Objetivo Geral	16
1.2.2	Objetivos Específicos	16
1.3	Estrutura do Trabalho	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Cultura do Arroz	18
2.1.1	Certificação das Sementes	19
2.2	Técnicas com relevância ao processo de detecção e seleção de sementes por cor	22
2.2.1	Cromatografia	24
2.2.2	Visão Computacional	25
2.2.3	Espectrofotometria	26
2.2.4	Fotometria	29
3	MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1	Características das amostras	31
3.2	Desenvolvimento do sensor	32
3.3	Ensaio e coleta de dados	34
3.4	Sistema de identificação e contagem de sementes	36
4	INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS	40
4.1	Resultados dos ensaios com a modelagem final do sensor	40
4.1.1	Resultados dos ensaios estáticos	41
4.1.2	Resultados dos ensaios dinâmico	46
4.2	Análise dos resultados do sistema de identificação	49
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS	52
	REFERÊNCIAS	54
6	APÊNDICE A - ESTUDO DE VIABILIDADE DA PROPOSTA	58
6.1	Proposta preliminar do sensor fotométrico	58
6.2	validação da técnica	59
6.3	Dados obtidos nos testes preliminares	61
6.4	Considerações	63

7	APÊNDICE B - PROTÓTIPO INICIAL	64
7.1	Modelagem inicial do sensor	64
7.2	Ensaio e aquisição de dados iniciais	65
7.2.1	Aplicação utilizando foto-receptor modelo <i>TSL235</i>	66
7.2.2	Aplicação utilizando foto-receptor modelo <i>TIL78</i>	67
7.3	Resultados dos ensaios da modelagem inicial do sensor	67
7.3.1	Dados coletados com <i>TSL235</i>	67
7.3.2	Dados coletados com <i>TIL78</i>	69
7.4	Considerações	70
8	ANEXO A - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO <i>TSL235</i>	71

1 INTRODUÇÃO

O arroz é uma das maiores culturas cerealífera do planeta e sua produção possui grande importância no cenário alimentício da população humana e animal em todo mundo. Na produção deste grão destinada a nutrição dos seres humanos é possível identificar uma variedade de espécies e cultivares utilizadas no plantio deste cereal, com destaque para o *Oryza Sativa* de coloração branca. (BURLAMARQUI, 1864) (NUNES, 2019)

Para um melhor plantio e maior produção deste alimento fez-se necessário um constante aprimoramento das técnicas aplicadas na cultura do arroz e a escolha de sementes do cultivar correto e de excelente qualidade são elementos fundamentais para uma boa produtividade. Os laboratórios de análise de sementes(LAS) certificam a produção de sementes através de uma série de parâmetros pré-estabelecidos, sendo um destes, o perfil colorimétrico do grão. (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008) (CONAB, 2019)

O avanço da tecnologia agrícola e a inserção de ferramentas de computação e telecomunicações produz máquinas mais eficientes e precisas, colheitadeiras orientadas por GPS, entre outras aplicações. A utilização de métodos tecnológicos para identificação, seleção e certificação de grãos/sementes também é uma tendência que contribui no aprimoramento da produção deste grão.

Embora exista grande variedade de grão de arroz (por exemplo, o longo-fino), quando deseja-se produzir uma variedade específica de grão, a introdução de outra variedade traz problema à produção inclusive variações em sua coloração. Atualmente existem equipamentos capazes de detectar diversas características dos grãos, inclusive a cor deste, entretanto, tais equipamentos não conseguem atender a necessidade de detectar a cor do grão ainda coberto pela casca, como no caso das sementes. Para minimizar a ocorrência da introdução indesejada de outra variedade de grão na plantação opta-se por sementes certificadas por laboratórios de análise de sementes. Os LAS possuem regras muito rigorosas para a certificação de sementes e, a identificação deste problema em uma amostra do lote pode levar a não certificação deste lote para a finalidade de semente, quando grãos considerados contaminantes são encontrados. (MAPA, 2009) (TOMITA; PETTER, 2018)

Neste sentido o trabalho propõe um método de identificação da cor do grão ainda com casca como forma alternativa para a seleção de sementes.

1.1 Motivação

Em visita a um Laboratório de Análise de Sementes identificou-se que uma das etapas do processo de certificação de sementes envolve a separação de uma pequena amostra destas sementes para fim de testes de germinação, enquanto que o restante das sementes são descascada para posterior contagem de grãos contaminantes. Na variedade branca, a presença de outras cores é considerada contaminante e o vermelho é o grande responsável pela reprovação da maioria dos lotes em que a cor é um fator determinante para a reprovação.

Na cultura do arroz uma das etapas do beneficiamento é a seleção por formato e cor para atingir os requisitos da classe/tipo. Estas máquinas, entretanto não conseguem classificar as sementes pois estas devem preservar sua casca para semeadura, o que tem impossibilitado a identificação de grãos contaminantes.

A fotometria é uma técnica muito utilizada e com grande variedade de aplicações, dentre as quais, a identificação de cor, nos mais diversificados materiais, demonstram excelentes resultados. Por tal fato a fotometria surge neste projeto como técnica alternativa de identificação da cor do grão através da casca.

A busca na literatura resultou em poucos trabalhos relacionados especificamente à seleção de sementes de arroz e a demanda por um método para a identificação dos contaminantes vermelhos resultou na motivação deste trabalho.

1.2 Objetivos do Trabalho

1.2.1 Objetivo Geral

- Desenvolver um sistema fotométrico para identificação da semente de arroz vermelho.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar um estudo sobre detecção de variedades distintas de sementes de arroz;
- Propor um sensor fotométrico que possibilite a percepção da alteração da luz permeável ao grão quando da mudança da variedade da semente;
- Analisar os dados coletados pelo sensor fotométrico, assim como as características extraídas pelos algoritmos e *software* utilizados no tratamento do sinal coletado;
- Identificar os limiares que possibilitem perceber a passagem das sementes e distinguir entre as sementes de arroz brancos e vermelhos.

1.3 Estrutura do Trabalho

O Capítulo 1 traz a introdução, apresentando uma visão do geral do trabalho, bem como a motivação que o impulsionou, além de relatar também os objetivos propostos e terminando com a estrutura do trabalho. O capítulo 2 faz uma revisão bibliográfica trazendo na Cultura do arroz uma mostra da importância do cereal e da certificação de sementes para o plantio, além disso, apresenta uma revisão das técnicas aplicadas na detecção das características dos grãos/sementes. O capítulo 3 descreve a metodologia aplicada, mostrando os passos que a pesquisa percorreu durante o desenvolvimento do projeto de um sistema de identificação da cor da semente, bem como da contagem destas. No capítulo 4 foi demonstrado a interpretação dos dados, assim como uma análise dos resultados dos ensaios que antecederam a implementação do sistema de identificação automático. No capítulo 6 são apresentadas as considerações finais sobre o trabalho desenvolvido juntamente com as perspectivas futuras. Nos apêndices A e B são mostrados todo o caminho inicial percorrido pela pesquisa durante o projeto, sendo o estudo de viabilidade e, as propostas e ensaios preliminares respectivamente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultura do Arroz

O Arroz é um dos alimentos mais importantes na nutrição humana segundo a Organização Mundial de Alimentação e Agricultura (FAO), contribuindo significativamente na luta contra a fome, além de ser responsável pela geração de empregos e rendas de milhões de pessoas, (BURLAMARQUI, 1864) (NUNES, 2019). O arroz é uma planta da família das gramíneas e constituída por sete espécies: *Oryza Barthii*, *Oryza Glaberrima*, *Oryza Latifolia*, *Oryza Longistaminata*, *Oryza Punctata*, *Oryza Rufipogon* e *Oryza Sativa*. O grão de arroz alimenta grande parte da população humana do mundo, sendo a terceira maior cultura cerealífera do globo, ultrapassada apenas pelas culturas de milho e trigo (ARAUJO, 2019).

Os dados da Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão do Estado do Rio Grande do Sul afirmam que a Ásia é o maior produtor de arroz do mundo, com uma produção próxima a 90% do total produzido no mundo e, tendo o continente americano em segundo lugar. O Brasil é o maior produtor nas Américas (ARROZ, 2019). Para melhor visualização dos dados e da posição do Brasil nesse mercado, o gráfico da figura 1¹ mostra os 10 maiores produtores de arroz no mundo. O Brasil além de ser o maior produtor fora da Ásia é também o maior consumidor. O suprimento anual alcança, em média, 15 milhões de toneladas de arroz para atender uma demanda aproximada de 12 milhões de toneladas desse grão (CONAB, 2019).

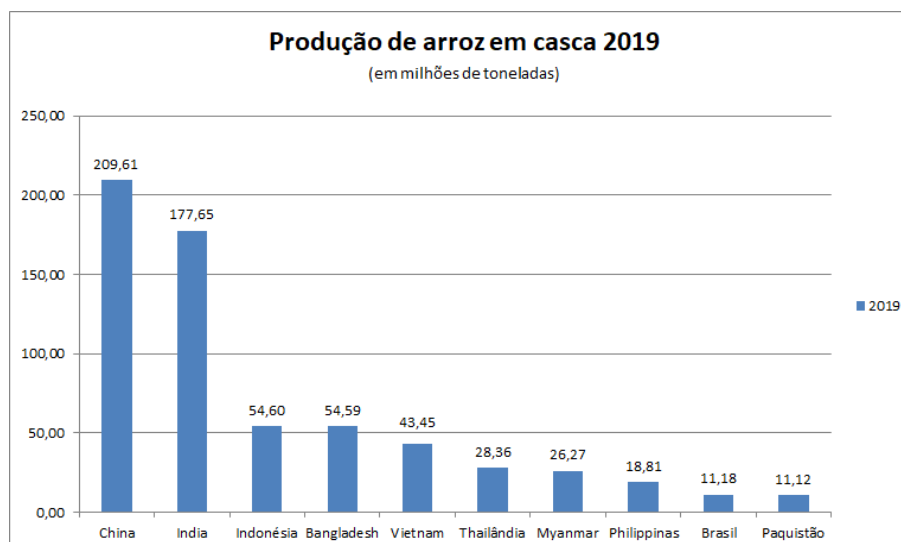
No Brasil o maior produtor é o estado do Rio Grande do Sul (ARROZ, 2019). No gráfico da figura 2² podem ser vistos os 10 maiores estados produtores de arroz no território nacional, bem como, a distribuição desta produção cerealista entre os estados. Conforme a FEDERARROZ (2019) a produção no estado beira 75% da colheita nacional do grão, que coincide com os dados da CONAB (2019), que estimou uma safra nacional aproximada de 11 milhões de toneladas para 2019, afirmando o estado do Rio Grande do Sul como o maior produtor nacional da colheita do grão.

Para obter a eficiência na produção dos grãos a implementação das boas práticas da

¹Dados compilados extraídos do Conab, FAO e Knoema

²Dados compilados extraídos do boletim safra de grãos - 7º levantamento, CONAB (Abr/2021)

Figura 1: Produção de arroz em casca 2019



Fonte: Compilado do autor (2021)

agricultura é o princípio fundamental, trazendo como uma das principais técnicas a escolha da cultivar³ adequada, a qual é responsável por aproximadamente 50% do rendimento final, cabendo ao produtor e/ou técnico a decisão de qual usar, passando principalmente pela escolha da semente que pode ser a razão do sucesso ou insucesso de uma lavoura (NUNES, 2019). Além disso, outras especificações devem ser levadas em conta como assistência técnica no campo, empresas produtoras de sementes, experiências regionais, comportamento de safras passadas, adaptação da cultivar a região, produtividade e estabilidade, ciclo, tolerância a doenças e qualidade do grão. No que se refere a escolha de sementes, a utilização de sementes certificadas por laboratórios credenciados e especializados é obrigatória para minimizar as possibilidades de surpresas no momento da colheita, pois diversas análises são realizadas para que possa ser emitido o certificado da sementes (NUNES, 2019)(WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008).

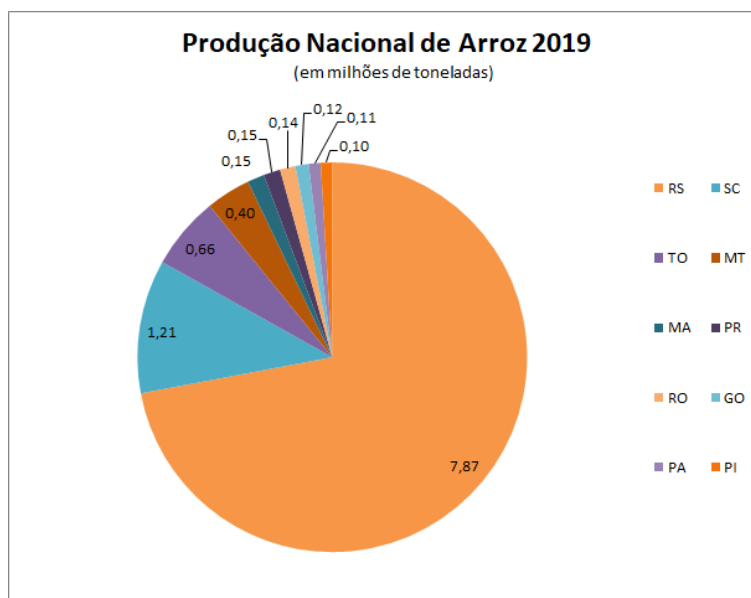
2.1.1 Certificação das Sementes

No momento que a humanidade deixou de ser nômade e passou a cultivar alimentos como forma de subsistência, dando início assim a agricultura, a semente passou a representar a garantia de produção da família e da soberania alimentar de comunidades e de povos. Tal fato não mudou com a passar dos anos, e a semente continua sendo umas das partes mais importantes, senão a mais, no processo de plantação (JOVENS, 2019) (CISCATI, 2016).

A escolha da semente é parte fundamental no processo de plantio seja qual for a cultura pretendida, podendo ser o motivo do sucesso ou fracasso da plantação. Logo o pré-

³Cultivar é o nome dado a uma variação a forma de uma planta cultivada dentro de uma mesma espécie, ou seja, podemos ter diferentes grãos de arroz e ainda assim serem da espécie *Oryza Sativa*

Figura 2: Produção Nacional de arroz em casca 2019



Fonte: Compilado do autor (2021)

plantio é uma etapa primordial para o produtor exercer uma das boas práticas agrícolas, a qual inclui a escolha da semente adequada. É um momento-chave, onde a decisão certa pode ajudar a proteger o investimento e garantir a máxima produtividade no final da colheita (UTINO et al., 2019).

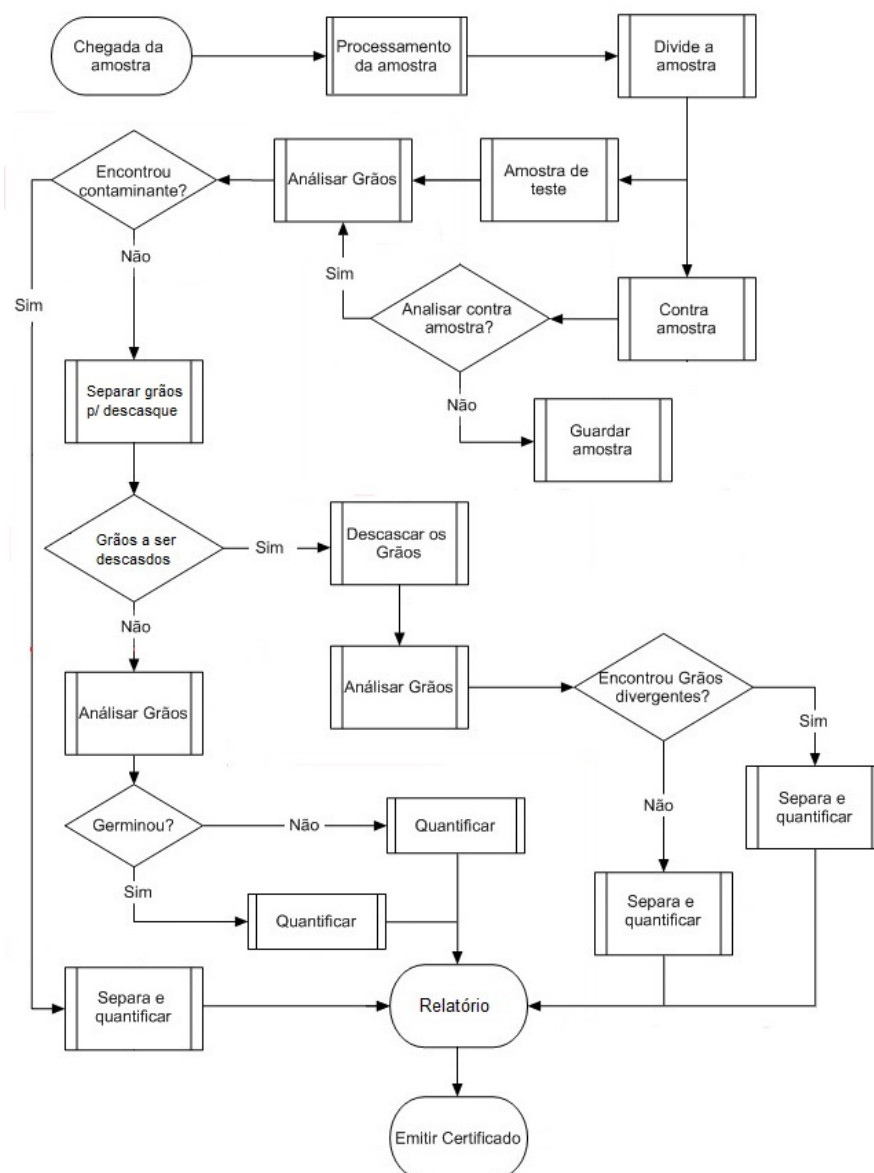
O processo de escolha da semente não é algo tão simples, diversos aspectos e características devem ser levadas em conta, tais como: tamanho, aspecto, índice de germinação, vigor da semente, dentre outros (UTINO et al., 2019). Para auxiliar o produtor existem as entidades certificadoras que através de padrões estipulados e rigorosa análise de qualidade emitem certificados a sementes (MAPA, 2009). Nessa certificação é possível observar, por exemplo, se o lote possui algum tipo de contaminante, material inerte, o percentual de pureza e/ou quantidade de grãos não pertencentes a cultivar proposta, percentual de germinação, dentre outros (TOMITA; PETTER, 2018).

No Rio Grande do Sul há o Instituto Rio Grandense de Arroz - IRGA como uma das entidades que fornecem esse serviço de certificação de sementes de arroz, em seus laboratórios são realizadas análises criteriosas conforme procedimento operacional padrão (TOMITA; PETTER, 2018) baseado nas regras de análise de sementes (MAPA, 2009). O processo de certificação começa antes da chegada das amostras no laboratório, pois exige verificação no campo, coleta das amostras nos lotes entre outros procedimentos. Como forma de elucidar o fluxo dos grãos no laboratório foi elaborado um fluxograma (Figura 3)⁴ que mostra as etapas do processo bem como as condições para decidir o fluxo.

As amostras são obtidas em campo, sendo coletadas 25 amostras por lote, de apro-

⁴O fluxograma foi elaborado com base nas informações repassadas pelo laboratório de análise de sementes do IRGA.

Figura 3: Fluxograma das etapas do processo de certificação

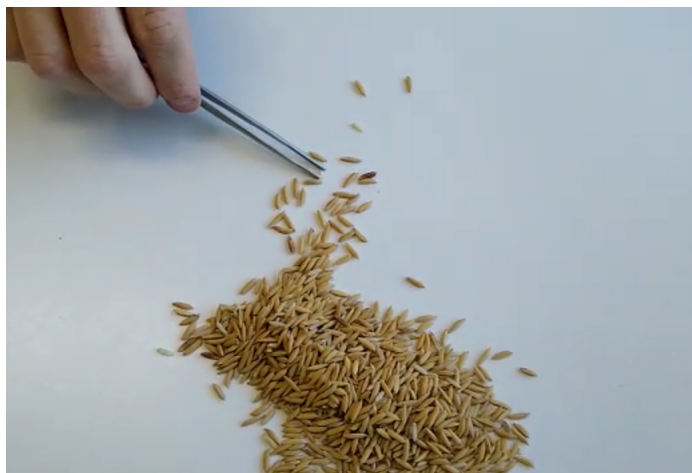


Fonte: Compilado do autor (2021)

ximadamente 1500 gramas. Estas amostras são devidamente identificadas e enviadas ao Laboratório de Análise de Sementes (LAS), onde após sua chegada a mesma é dividida em duas subamostras, exatas, de 700 gramas, sendo o restante descartado. Uma sub-amostra é armazenada como contra prova para eventual comprovação e a outra segue o fluxo normal da análise. Em seguida a sub-amostra de teste é colocada sobre uma mesa e realizada a separação dos grãos (Figura 4) de qualquer outro grão contaminante, material inerte, impurezas em gerais, sendo todos estes quantificados para posterior inclusão no certificado.

Uma vez realizado o processo de separação dos grãos, uma fração de 10% é separada para germinação, e o restante colocado em uma máquina para a remoção da casca. Estando os grãos sem casca estes retornam a mesa para nova separação, agora com o ob-

Figura 4: Seleção de impurezas



Fonte: O autor (2021)

jetivo de distinguir características que inicialmente não podem ser verificadas através da casca, como a cor, ou seja, neste momento são separados os grãos brancos e íntegros de outros impróprios, o que inclui os vermelhos, se existirem na amostra. As contagens das características são anotadas para fins de certificação.

Dando continuidade ao processo de certificação, o passo seguinte consiste em germinar uma parcela(10%) dessa sub-amostra, conforme as normas e os procedimentos exigem. Com auxílio de equipamentos é possível acelerar o processo de germinação, desenvolvimento e brotamento até que tais amostras gerem novas sementes. Com isso torna-se viável a análise da qualidade dos grãos produzidos pelas sementes, além do percentual de eficácia na produção do plantio.

Importante salientar que todos estes subprocessos são quantificados para que se possa expressar a qualidade do grão a ser certificado. Isso significa que impureza, cascas e grãos possuem um valor atribuído, o mesmo ocorre no plantio onde é verificado quanto foi plantado, quanto germinou e quantos grãos cada semente produziu.

Cabe destacar que o grão após removida sua casca perde a característica de semente, ou seja, tem sua capacidade de germinação comprometida, por tal motivo, apenas uma parcela da sub-amostra é reservada para tal destino. Sendo assim, sementes e grãos são distintos entre si, entretanto, no decorrer deste trabalho tais termos são utilizados como sinônimos.

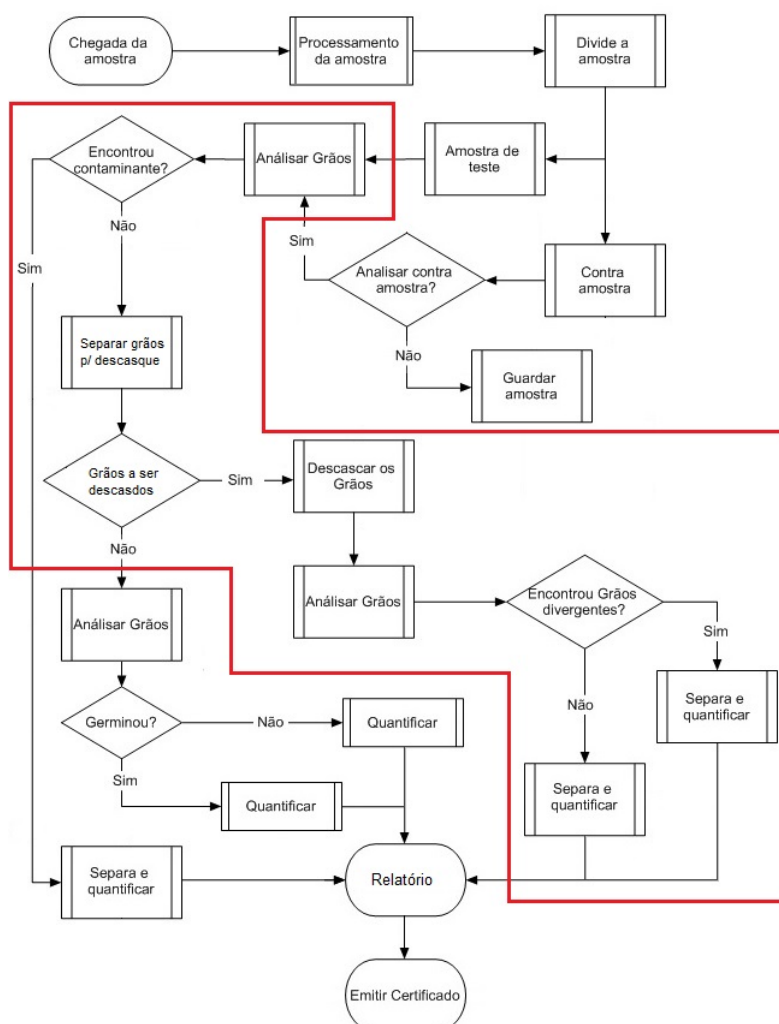
2.2 Técnicas com relevância ao processo de detecção e seleção de sementes por cor

A revisão bibliográfica das técnicas com relevância ao processo de detecção e seleção de sementes por cor foi realizada utilizando os Google Acadêmico, Google e o Portal de Periódicos da Capes e foram usadas como palavras-chaves para pesquisa *Grains*, *Cere-*

als, Rice, Photometry, Color, tendo as referências de maior relevância apresentadas no decorrer do capítulo. Dentro dos estudos analisados e da pesquisa bibliográfica realizada não foram encontradas referências a identificação da cor dos grãos de arroz quando ainda com casca utilizando a fotometria.

A exposição de tais técnicas sustentam, direta e/ou indiretamente, a idealização, o planejamento e execução deste projeto. A aplicação deste conjunto de técnicas em variadas áreas citadas a seguir permitiram conhecer os recursos que cada método, técnica e componentes dispõem. A identificação da cor das variedades de arroz ainda com casca é o primeiro passo para a otimização do processo de certificação e seu sucesso permitirá a redução de seu fluxo, conforme mostrado na figura 5, além disso contribui significativamente para o beneficiamento da semente por parte do produtor.

Figura 5: Identificação da abrangência do projeto no Fluxo do processo de certificação



Fonte: Compilado do autor (2021)

O desenvolvimento de um sensor fotométrico que possibilite distinguir os grãos brancos dos vermelhos, estando ainda cobertos pela casca, como proposto nesta dissertação é, portanto, inédito dentro do conhecimento do autor.

2.2.1 Cromatografia

A cromatografia é um método físico-químico de separação de misturas homogêneas, mais precisamente partículas sólidas imersas em uma solução. O método se ancora no fato de as substâncias envolvidas possuírem diferentes propriedades e composições. Onde é utilizado duas fases, uma estacionária e outra móvel, que podem ser gás, líquido ou sólido. (UFJF, 2019) (FOGAÇA, 2019)

Em 1906 o botânico russo Mikhail Tsweett (1872-1919) realizou um experimento onde utilizou éter de petróleo como fase móvel, e carbonato de cálcio como fase estacionária. O éter passou por uma coluna de vidro com carbonato de cálcio, onde foi adicionado extrato de folhas, obtendo com isso a separação dos componentes em faixas coloridas. A partir deste momento, provavelmente, atribuiu-se o nome de cromatografia a esta técnica desenvolvida, no entanto, pode levar a interpretação errônea de que o processo seja depende da cor. (DEGANI; CASS; VIEIRA, 1998)

Durante o estudo dos efeitos do tempo de encharcamento sobre parâmetros de avaliação tecnológica e nutricional do arroz parboilizado foi identificado o perfil colorimétrico e branquimétrico dos grãos com a utilização de um cromatógrafo modelo Minolta CR-300. Contudo, a detecção deste perfil foi obtido a partir dos grãos sem cascas. (FAGUNDES, 2010)

Da mesma forma, no estudo das propriedades tecnológicas e de cocção em grãos de arroz condicionados em diferentes temperaturas antes da parboilização foi utilizado um cromatógrafo modelo CR-400 marca MINOLTA como forma de obter o perfil colorimétrico do grão de arroz após polimento. Embora parte do estudo foi realizado com o grão ainda com casca, o perfil colorimétrico dos grãos analisados foram levantados após o polimento, ou seja, com os grãos sem cascas. (ZIEGLER; TALHAMENTO; ELIAS, 2014)

Com intuito semelhante VILLANOVA (2017) obteve o perfil colorimétrico dos grãos de arroz polidos durante o estudo sobre o uso de inibidores de escurecimento na parboilização de arroz, onde para isso utilizou um cromatógrafo modelo Minolta CR 300. A exemplo dos trabalhos supracitados este também identificou o perfil de cor com os grãos descascados.

Diversos outros trabalhos e pesquisas foram elaborados buscando o perfil colorimétrico e branquimétrico dos grãos de arroz como objetivo principal ou ainda, como passos para alcançá-lo. Todos os trabalhos estudados, aqui expostos e diversos outros não elencados neste momento, que se valeram da cromatografia como método para obtenção desse perfil de cor, o fizeram com os grãos sem casca. Cabe salientar que, a cromatografia não possui vínculo direto com o método apresentado neste trabalho, a não ser pela busca do perfil de cor dos grãos analisados. Contudo, nas pesquisas que envolvem a identificação da cor dos grãos de arroz foi a técnica por diversas vezes utilizadas e por esse motivo se fez necessário uma explanação sobre este método afim de distinguir do

método proposto.

2.2.2 Visão Computacional

Em NEUMAN et al. (1989) foi realizada uma análise da cor do grão de trigo por processamento digital de imagem. Foram avaliados grãos da cultivar Neepawa, Columbus, Katepwa, Glenlea, HY320, Norstar, Fielder, Owens, Wascana e Wakooma. Diferenças significativas foram alcançadas entre as cultivares e dentro da mesma cultivar, porém o perfil de cor se deu na superfície do grão.

Em seu trabalho GUZMAN; PERALTA (2008) propôs a classificação de grãos de arroz filipino usando visão de máquina e redes neurais artificiais, para isso analisou tamanhos e formas dos grãos de arroz com casca. Dentre os grãos analisados constam o arroz da planície irrigada, da planície alimentada pela chuva, da propensa a salinidade, do frio elevado e os grupos de arroz de sequeiro. Contudo tal trabalho não analisou a cor dos grãos, tendo sua relevância com o presente projeto devido ao manejo dos grãos realizados com casca.

Em OYAMA (2014) foi proposto um método, com proposito similar ao deste trabalho, o de otimizar um processo atualmente manual, o qual propõe a classificação do café em grãos por imagens digitais pelo uso de atributos selecionados de morfologia, cor e textura. A análise deu-se sobre amostras contendo grãos perfeitos, com defeitos e impurezas. Apesar da análise se dar também em função do perfil de cor, esta variação ocorre na superfície do grão.

Em RIBEIRO (2015) foi realizada a extração de características de imagens aplicada á detecção de grãos ardidos de milho. A exemplo do presente trabalho o processo de detecção do grão de milho ardido é realizado de forma manual. Embora a pesquisa feita por Ribeiro ocorra com base na cor dos grãos sadios e ardidos, esta análise decorre da superfície do grão descascado.

Em seu trabalho BORDIGNON; ALVES; OLIVEIRA (2017) utilizou a visão computacional com técnica para identificar sementes de Canola, Cevada, Cevadinha, Ervilha, Feijão, Gergelim, Lentilha, Linhaça, Milho, Quinoa, Soja e Torta de algodão. Embora haja alteração de cor das sementes analisadas, esta variação ocorre na superfície do grão, mais especificamente, na casca. Além disso, a cor concede pouca contribuição devido a binarização das imagens.

Em PATRÍCIO (2018) a visão computacional foi aplicada com duas finalidades distintas, sendo a primeira na identificação da espécie do grão de aveia, nos ensaios foram usadas as espécies *Avena Sativa* - aveia branca, *Avena Strigosa* - aveia preta, e *Avena Byzantina* - aveia amarela. A outra finalidade foi quanto a cultivar, onde as selecionadas foram a UPFA Ouro, UPFA Fuerza e UPFA Gaudéria. Entretanto a relação com este trabalho se dá devido a alteração na cor da espécie analisada, contudo, tal variação se dá na cor da casca.

Importante salientar que os trabalhos com o uso da visão computacional supracitados, bem como, outros não elencados aqui, que utilizaram tal técnica para análise de grãos, o fizeram sobre a superfície destes, o que significa dizer que, ou analisaram grãos descascados ou realizaram sobre a casca.

Recentemente, mais precisamente dia 09 de julho de 2020, foi publicado um vídeo publicitário de uma inovação tecnológica que permite selecionar eletronicamente os grãos vermelhos existentes nas amostras. Tal publicação traz em sua descrição o seguinte texto:

Hoje falaremos sobre um dos maiores problemas da lavoura de arroz no Brasil, fruto de sementes contaminadas: o arroz vermelho. Ele alterou sua planta, seu porte e grãos ao arroz cultivado, tornando-se quase imperceptível à campo, como em muitos lotes de sementes certificada. Como sabemos, uma boa semente se faz no campo, através de vários manejos diferenciados. Mas inovamos o processo de classificação, agregando a melhor e mais nova tecnologia do mercado: a seleção eletrônica de sementes. Através desta, é possível realizar a detecção inteligente do arroz vermelho longo fino, como qualquer tipo de defeito individual, interno e externo a cada semente. O alto padrão de qualidade final permite recomendações mais eficientes com maior segurança no estabelecimento de plantas. Mais tecnologia e rentabilidade, com menos sementes!(CERATTI, 2020)

Por ser tão recente, pouco foi possível obter de informação sobre o equipamento e o método por ele utilizado, no entanto, o vídeo induz a concluirmos que a seleção de grãos é realizada por visão computacional e, embora a demonstração afirme selecionar sementes por cor, as imagens mostram grãos descascados, o que leva a intuirmos que o método não identifica a cor através da casca. Diante disso, é possível inferir que, embora o equipamento propõe sanar a problemática de distinguir sementes por cor o faz utilizando outra técnica.

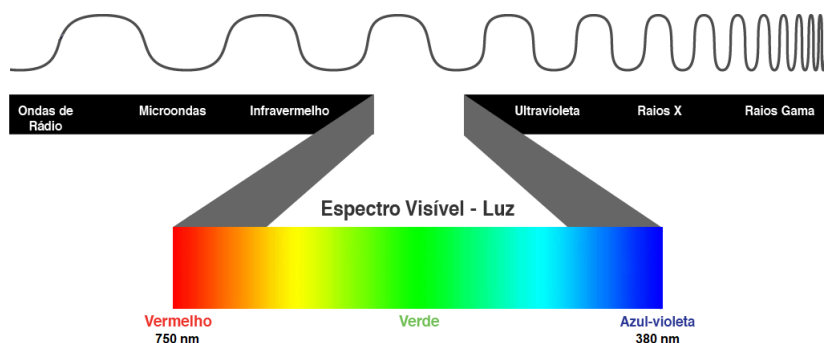
2.2.3 Espectrofotometria

A Espectrofotometria é o método óptico de análise mais usado em investigações biológicas e físico-químicas. Baseia-se em medir quantitativamente o espectro que atravessa um objeto através do comprimento de onda, ou seja, a partir de um fluxo luminoso conhecido, visível ao olho humano ou não, que incide sobre um objeto é possível verificar a permeabilidade do objeto ao respectivo espectro incidente.

A radiação eletromagnética é uma oscilação em fase dos campos elétricos e magnéticos que vai desde de ondas de rádio até radiação gama como demonstrado na Figura 6⁵, na espectrofotometria utiliza-se desde os espectros ultravioletas até os infravermelhos passando pelos espectros visíveis ao olho humano, que vão de 380 a 750nm de comprimento de onda, como pode ser visto detalhado na tabela 1 (MENDES et al., 2019).

⁵Montagem a partir da imagem coletada no site <https://blogdografico.wordpress.com/2012/04/24/a-formacao-das-cores-parte-2-2/>

Figura 6: Distribuição do espectro



Fonte: Compilação do autor (2021)

Tabela 1: Intervalos de comprimento de onda no espectro eletromagnético

Cores	Intervalos de comprimento de ondas (nm)
Ultravioleta	abaixo de 380
Violeta	380 a 435
Azul	435 a 480
Verde	480 a 560
Amarela	560 a 595
Alaranjada	595 a 650
Vermelho	650 a 750
Infravermelho	acima de 750

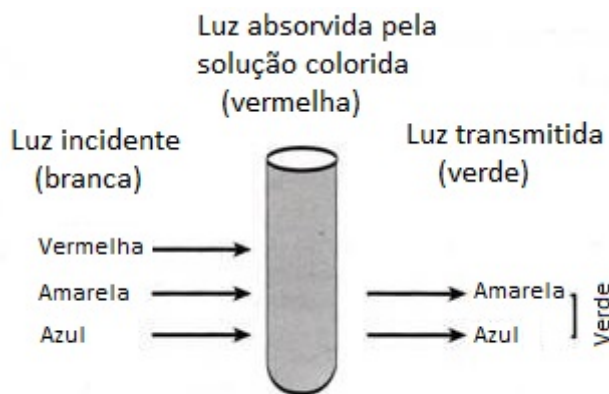
2.2.3.1 Espectrofotometria de absorção molecular na região do ultravioleta-visível (UV-Vis)

Trata-se de uma das técnicas da espectrofotometria que verifica as medidas espectroscópicas de absorção molecular na região ultravioleta-visível (UV-Vis) baseando-se nas interações das radiações com a matéria. Quanto maior a concentração de moléculas absorventes a luz maior será a intensidade da cor da matéria, ou seja, a cor da matéria dar-se-á pela variação entre o espectro transmitido e o espectro incidente, conforme visto na figura 7.

Em SAMADI-MAYBODI; ATASHBOZORG (2006) foi medido o teor de sílica em diferentes tipos de grãos de arroz sem casca. No experimento foi utilizado o método fotométrico de heteropólio azul com um espectrofotômetro de duplo feixe UV-Vis. As amostras foram digeridas pelo método da incineração úmida por meio de aquecimento realizado com micro-ondas. As análises foram realizadas usando o método de adição padrão e os valores de absorvância foram medidos com o espectrofotômetro, o que permitiu estimar o teor de sílica nos grãos.

Em seu trabalho SIMÕES; TEIXEIRA; FARONI (2009) determinou a quantidade de corante Azul FCF recuperado em uma aplicação em grãos de trigo como forma de estimar

Figura 7: Natureza da cor



Fonte: MENDES et al. (2019)

a quantidade de agroquímicos aplicados nos grãos. A pesquisa deu-se em analisar a cor do grão após ter sido lavado e supostamente removido todo o corante, simulando a remoção do agroquímico. A quantidade máxima de produto a ser aplicado no grão não deve ser superior a quantidade removida na lavagem. Contudo, a análise da cor deu-se no grão descascado.

Em QUINTINO et al. (2017) foi utilizada esta técnica como forma de diferenciar as colorações do biodiesel de palma e do corante marcador de óleo diesel, onde inicialmente foi realizada uma análise qualitativa acerca da possibilidade de diferenciar os referidos produtos, em um próximo momento foi realizado teste para identificar quantitativamente a existência de corante vermelho nas amostras de óleo diesel contendo biodiesel de palma.

2.2.3.2 Espectrofotometria na região do visível-infravermelho(VIS-NIR)

A oximetria é uma aplicação da espectrofotometria, na região do visível-infravermelho (VIS-NIR), utilizada na área médica com intuito de monitorar a oxigenação do sangue, frequência cardíaca e até pressão arterial por associação a saturação de oxigênio no sangue. Essa técnica consiste em verificar a variação na forma de onda, entre o que é captado pelo sensor receptor e a real forma de onda emitida pela fonte emissora, quando atravessada pelo corpo humano, mais precisamente um dos dedos da mão.

O método se utiliza de duas fontes emissoras de ondas eletromagnéticas, sendo uma visível ao olho humano e a outra não. A onda visível trata-se de uma luz vermelha de comprimento de onda em torno de 660nm, já a fonte não visível possui espectro infravermelho ficando seu comprimento de onda em torno de 910nm. A técnica consiste em comparar o espectro que atravessa o corpo, a hemoglobina saturada (oxiemoglobina) absorve mais o espectro infravermelho e tornasse permeável ao espectro vermelho, já com hemoglobina reduzida (desoxiemoglobina) as condições se invertem, ou seja, absorve mais o espectro vermelho e tornasse permeável ao espectro infravermelho. (CARRARA et al., 2011)

Em seu trabalho BETEMPS; FACHINELLO; GALARÇA (2011) realizaram um es-

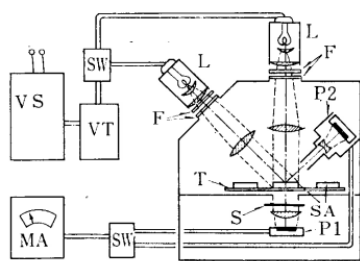
tudo com a finalidade de avaliar as características internas das frutas de varias especies e, para isso, utilizaram como técnica a espectroscopia na região do visível(VIS) e do infravermelho (NIR). Com os resultados obtidos foi possível separar os frutos em categorias de acordo com o grau de maturação, demonstrando a grande heterogeneidade com que os frutos são oferecidos ao consumidor, assim como, a viabilidade da técnica como método efetivo na classificação da maturação dos frutos. (BETEMPS; FACHINELLO; GALARÇA, 2011)

2.2.4 Fotometria

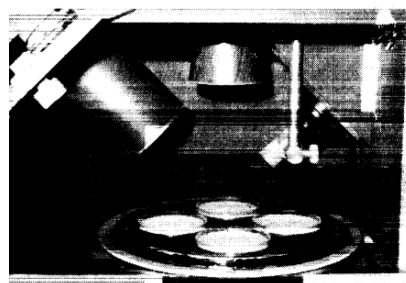
Para definir a fotometria pode-se começar dizendo que trata-se de um ramo da óptica, a qual se preocupa em medir a luz. Diferentemente da espectrofotometria que quantifica o tanto do espectro luminoso foi absorvido pelo meio ao qual atravessou, analisando o comprimento de onda que permeou o meio, a fotometria quantifica a luz que o sensor óptico capta sem necessariamente que algo tenha absorvido parte do fluxo luminoso captado. Além disso, a fotometria, não obrigatoriamente, tem seu valor quantificado com base no comprimento de onda e/ou a frequência percebida pelo instrumento captador.

Em EBATA (1972a) foi desenvolvido um instrumento (figura 8) para medir a luz transmitida ou refletida pelos grãos de arroz como método para estimar a qualidade do arroz. O estudo indicou que a melhor condição de ensaio deu-se sob uma luz com comprimento de onda de 420nm e um ângulo de 45° entre a fotoemissor e foto-receptor. Onde a transmitância foi de 12% para grãos gessados, 82% para grãos de núcleo branco e 95% para grãos barriga branca. Os grãos farinhados, grãos leitosos, grãos marrons e grãos verdes também foram analisados, contudo, os valores foram alternados conforme o nível de lesão. Logo, conclui-se que a transmitância relativa pode ser um método útil para verificação de qualidade do grão de arroz descascado.

Figura 8: Instrumentos desenvolvido por Ebata



a) Desenho do instrumento



b) foto do instrumento

Fonte: EBATA (1972a)

Num trabalho seguinte EBATA (1972b) repetiu os ensaios de qualidade do arroz descascado, no entanto, o fez com grãos não glutinosos. O experimento também envolveu grãos de outras regiões como forma de comparar a qualidade. Onde conclui-se ser capaz

de indicar não apenas o conteúdo dos grãos ruins, mas também a qualidade dos grãos normais, os quais não podem ser avaliados com precisão em inspeção visual.

Já em EBATA (1972c) embora tenham sido realizados os mesmos ensaios, estes se deram com grãos de arroz glutinosos descascados. Grãos danificados que são caracterizados por coloração anormal no pericarpo ou tecidos calcários no endosperma mostraram baixa transmissão de luz de acordo com a grau da lesão. O experimento mostrou ainda que, os arrozes glutinosos de alto teor apresentam valores altos de transmitância de luz relativa e baixo percentual para grãos danificados. Logo, conclui-se que, o método fotométrico pode ser utilizado para avaliação da qualidade do arroz glutinoso descascado.

Em EBATA (1978a) os estudos sobre fotometria foram retomados, voltando a utilizar "Inspetor de arroz" nome dado ao instrumento desenvolvido em seu primeiro trabalho. Neste estudo alguns métodos para estimar a qualidade do arroz beneficiado e o grau de beneficiamento foram investigados. Onde algumas conclusões foram obtidas, como: farelo de arroz absorve a luz de comprimento de onda curto, enquanto que o arroz moído transmitiu maior quantidade de luz na faixa de ondas curtas em comparação o arroz descascados, com isso, foi possível estimar o grau de moagem do grão fotometricamente, o qual foi comparado ao método de pesagem, mostrando confiabilidade nos resultados; Também foi percebido que as luzes de ondas longas, especialmente na faixa próxima ao infravermelho, foram facilmente transmitidas através do farelo de arroz, mas foi difundida e refletida por tecidos opacos no endosperma do arroz, que também refletem outros comprimentos de onda. Os valores de transmitância relativa do arroz beneficiado foi negativamente correlacionado com a quantidade de grãos imperfeitos, mas mostrou uma correlação positiva com os valores de transmitância relativa do arroz descascado.

Em EBATA (1978b) foi realizado estudos de diagnóstico de grãos de arroz pelo método de fotometria e comparado com o método de estimativa de cor do arroz descascado. A pesquisa identificou o comprimento de onda percebido em função da alteração do grão, com isso, foi possível perceber que os valores de transmitância relativa aumentam de acordo com o comprimento de onda da luz incidente.

Já em EBATA (1978c) foi possível analisar o comportamento da translucidez e coloração do grão de arroz descascado no decorrer da maturação. Foi possível também analisar os efeitos da desidratação e vigor do grão. Os grãos frescos de arroz não glutinoso aumentaram ligeiramente sua translucidez por secagem artificial nos estágios finais de maturação. Por outro lado, os de arroz glutinosos perderam notavelmente sua translucidez e se tornaram opacos por secagem.

Muito embora todos os trabalhos com fotometria supracitados estejam muito próximos do escopo do presente projeto, estes não contemplam uma característica fundamental deste, a análise dos grãos ainda com casca. Embora a inclusão da cobertura do grão nos ensaios possa fornecer dados distantes dos obtidos nas pesquisas citadas, estas contribuem significativamente no desenvolvimento do projeto em questão.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para desenvolver um sistema que possibilite distinguir as sementes de arroz brancos dos vermelhos, vários testes, hipóteses e esboços foram elaborados no decorrer do trabalho que podem ser vistos nos apêndices A e B. Assim, os modelos propostos inicialmente serviram de degrau na obtenção de dados para elaboração de um protótipo final que realmente alcançasse o resultado esperado proposto pelo trabalho.

Ao demonstrar o desenvolvimento do projeto, este capítulo irá abordar a metodologia utilizada para idealização do sensor fotométrico, bem como os métodos usados nos ensaios e coletas de dados, e ainda, no sistema de identificação da cor das sementes. Além disso, serão apresentados ainda, os materiais, equipamentos e *software* envolvidos no projeto.

3.1 Características das amostras

As amostras utilizadas durante todo o projeto foram fornecidas pelo laboratório de análises de sementes (LAS) do Instituto Riograndense do Arroz (IRGA), as quais tiveram duas fontes, sendo uma parte extraída das coletas do laboratório realizada diretamente nas lavouras e outra obtida do descarte do laboratório.

A parte das amostras obtidas a partir das lavouras foram retiradas de amostras maiores captadas pelos técnicos do laboratório quando da inspeção as quadras de arroz. Contudo, a coleta deu-se em lavouras não sementeiras, as quais mantêm algumas características tradicionais dos grãos, como a altura do solo, possibilitando assim a identificação. Entretanto, nas lavouras sementeiras a distinção não é algo fácil, devido aos cruzamentos dos grãos, algumas características tornam-se similares como: tamanho (comprimento e diâmetro) do grão, abrasividade da cascas, altura do solo quando na lavoura, mas tais alterações não contemplam a cor do grão.

Esta parte das amostras foram geradas por método puramente randômico, visto que foram extraídas de amostras maiores de forma totalmente aleatória. Sendo que estas amostras maiores tiveram suas coletas também de forma randômica e de origem em lavouras distintas. Desta forma obteve-se amostras de grãos vermelhos e brancos.

A outra parte das amostras foram obtidas a partir do descarte do laboratório, ou seja, do excesso de sementes das amostras de teste que chegam no laboratório. As amostras do laboratório segue um fluxo que começa no produtor, onde conforme a capacidade do recipiente que acondiciona o lote de semente é obtido a quantidade de amostras de teste de acordo com Procedimento Padrão do laboratório, o qual baseia-se nas regras de análises de sementes. (TOMITA; PETTER, 2018) (MAPA, 2009)

Estas amostras de teste chegam ao laboratório em caixas contendo aproximadamente 1500 gramas e no laboratório é dividida em duas amostras de exatamente 700 gramas, onde uma segue para análise e outra fica de contra prova. Desta forma a quantidade de semente que excede 1400 gramas é colocada para descarte, o qual absorve excesso de diversas amostras, sendo oriundas de lotes e produtores distintos.

As amostras utilizadas na pesquisa, oriundas do descarte, foram coletadas ao acaso sem qualquer seleção. Como todo o processo que envolve a geração destas amostras deram-se de forma similar, ou seja, aleatoriamente, considera-se a produção desta amostragem simples ao acaso.

3.2 Desenvolvimento do sensor

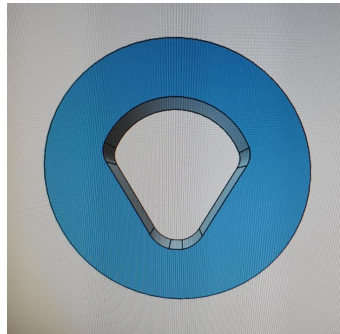
O sensor proposto consiste em um tubo confeccionado em impressora 3D, onde no ponto médio do comprimento foram acoplados um foto-receptor e um foto-emissor, sendo um de cada lado do tubo. Como foto-receptor foi utilizado o conversor de luz em frequência, do inglês *Light frequency converter*, modelo *TSL235* e como foto-emissor foram usados diodos emissores de luz, do inglês *light emitting diode - Led*, com diâmetros de 5 milímetros e envólucros transparentes, nos espectros infravermelho, vermelho e verde.

Com base nos ensaios anteriores produzidos durante o projeto e que podem ser vistos nos apêndices A e B, um modelo de sensor foi proposto de modo a atender o objetivo do trabalho. O tubo do sensor foi confeccionado seguindo a geometria interna demonstrada na figura 9, a qual, com seu formato em "V", propicia um leito para o escoamento do grão evitando que movimentos transversais ocasionais impeçam o total bloqueio da fonte luminosa. Esta configuração deu-se em função das modificações elencadas no apêndice B.

Importante salientar que o total bloqueio do feixe luminoso permite quantificarmos a permeabilidade do grão, ou melhor dizendo, viabiliza medirmos quanto de luz atravessou o grão, característica essa que varia de acordo com a cor da semente.

O tubo traz em sua modelagem um poço para cada componente de forma a impedir que interferências luzes externas gerem distorções do sinal fornecido pelo sensor. Os poços podem ser vistos na figura 10, a qual demonstra também o canal criado com propósito de direcionar o feixe luminoso evitando a dispersão da luz no interior do tubo do sensor. Os canais ligam ambos os poços ao tubo e possuem formato cilíndrico medindo 5mm de

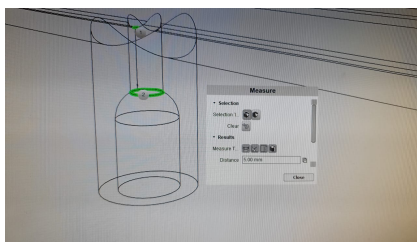
Figura 9: Vista em corte da modelagem final do tubo



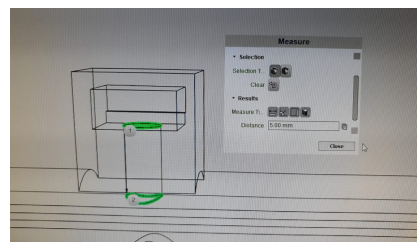
Fonte: O autor(2021)

comprimento e diâmetro de 1mm. Desta forma toda a luz projetada pelo foto-emissor é direcionada pelo canal até a semente, permitindo assim, que incida luz apenas no grão, e, evitando que parte da luz passe pela lateral da semente quando da passagem dela pelo feixe luminoso.

Figura 10: Canal de passagem de luz



a) Canal inferior

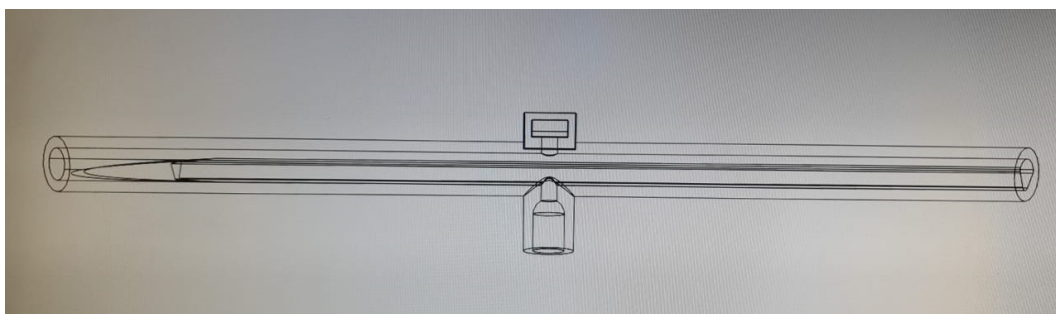


b) canal superior

Fonte: O autor(2021)

O modelo de sensor, como dito anteriormente, passou por alterações no decorrer do projeto em função de necessidades identificadas nos ensaios desenvolvidos demonstrados no apêndice B, isso acarretou nas características supracitadas que culminaram no sensor demonstrado na figura 11.

Figura 11: Modelagem final do tubo

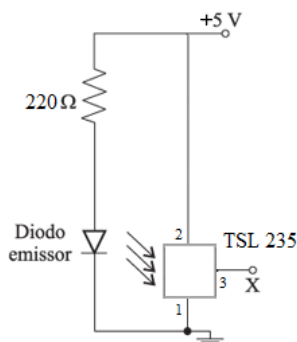


Fonte: O autor(2021)

Para utilização do sensor foi necessário produzir um circuito eletrônico de forma ali-

mentar tanto o foto-receptor *TSL235* quanto para alimentar o diodo emissor de luz. Este circuito eletrônico está demonstrado na figura 12, e teve sua alimentação fornecida por um *Arduino Mega*, bem como, a coleta do sinal produzido pelo circuito também foi realizado por este.

Figura 12: Circuito eletrônico final *TSL235*



Fonte: O autor(2021)

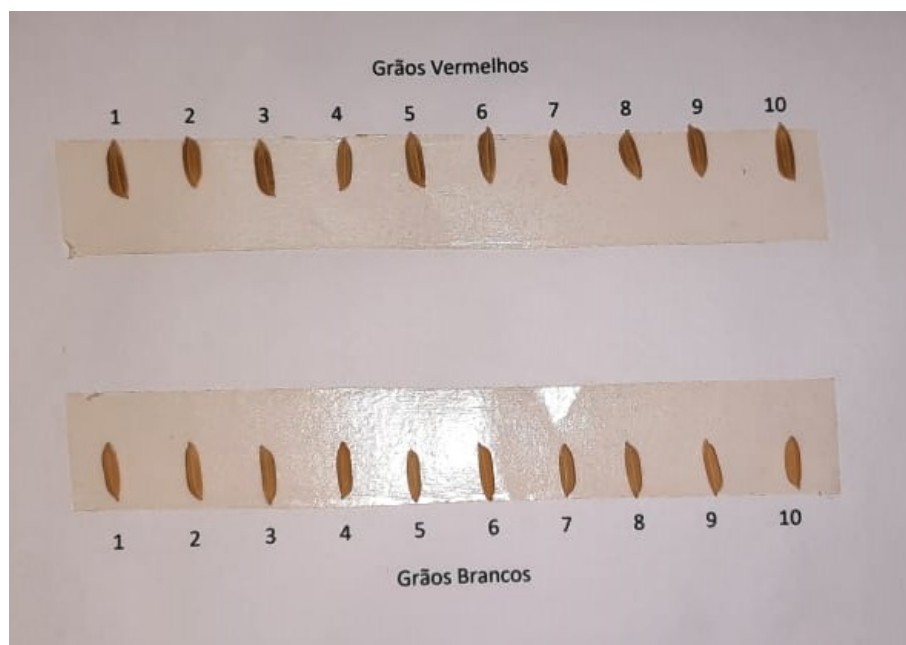
3.3 Ensaio e coleta de dados

Os ensaios dessa etapa do projeto foram realizados em dois momentos, onde primeiramente foram feitos testes estáticos, ou seja, o sensor foi posto na posição horizontal e as sementes foram colocadas em repouso sobre feixe luminoso, de modo que, o centro da semente coincidissem com o centro de luz. Esse processo se repetiu para todas as sementes dos grãos brancos, assim como, dos grãos vermelhos. No segundo momento passou-se para o ensaio dinâmico, onde o sensor permaneceu inclinado para que a semente escoasse sobre o leito do tubo, de forma a obstruir completamente a luz quando da sua passagem pelo foto-receptor. De maneira similar ao estático, o procedimento se repetiu para todos os as sementes de arroz brancos e vermelhos.

As amostras utilizadas nesta etapa possuem 10 sementes de arroz brancos e 10 sementes de arroz vermelhos, onde estes grãos foram devidamente identificados e numerados conforme a figura 13, de forma a possibilitar a comparação e utilização por métodos matemáticos e estatísticos. As mesmas sementes foram utilizadas nos ensaios estáticos e dinâmicos e posteriormente descascadas para conferência e análise, os quais podem ser vistos descascados na discussão dos resultados na seção 4.1.

Em virtude dos ensaios anteriores que mostraram melhores resultados para as cores vermelha e verde, optou-se por mantê-las como fontes emissoras, e incluiu-se ainda o espectro infravermelho na análise. Os ensaios se repetiram três vezes para cada fonte luminosa, onde todas as sementes estiveram sobre a incidência destas. Ainda sobre os ensaios, é importante informar que tanto no método estático, quanto no dinâmico, o procedimento

Figura 13: Foto da amostra das sementes de arroz branco e vermelho



Fonte: O autor(2021)

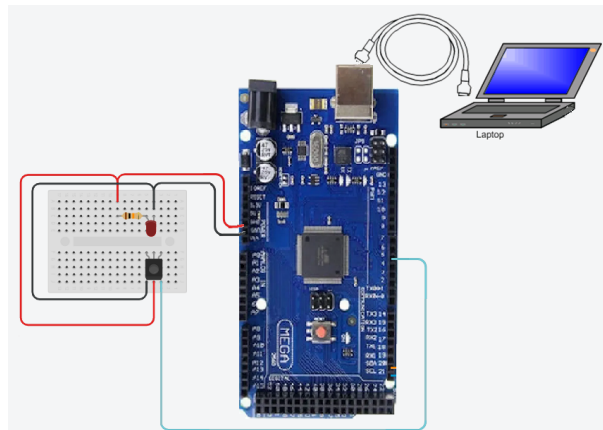
se repetiu de forma igual.

Os sinais produzidos pelo sensor quando da passagem das sementes pelo feixe luminoso foram coletados por um *Arduino Mega*, o qual leu a entrada e enviou ao computador via serial, como ilustrado na figura 14, onde foram salvos em formato “.xlsx”. Este valor lido na entrada trata-se de uma onda quadrada, onde, de acordo com a intensidade de luz captada pelo *TSL235* a frequência desta onda varia, como o nome do componente sugere, converte variação de luz em variação de frequência. Embora ocorra variação na frequência da onda seu ciclo de trabalho, do inglês *duty cycle*, permanece em 50%, isto significa dizer que o tempo que a onda permanece um nível alto é o mesmo que permanece em nível baixo independente da variação da frequência.

Importante relatar que o *Arduino Mega 2560* traz um microcontrolador *ATMEL AT-Mega2560*, sendo um microcontrolador de 8 bits de arquitetura RISC avançada. Conta com 256 KB de Flash (mais 8 KB são utilizados para o bootloader), 8 KB de RAM e 4 KB de EEPROM. Chega 16 MIPS (milhões de instruções por segundo), operando em 16 MHz de clock. Possui 4 canais de comunicação serial, 16 entradas analógicas e 15 saídas PWM. Possui ainda comunicação SPI, I2C e 6 pinos de interrupções externas. Contudo, sua utilização deu-se em função da necessidade de memória capaz de armazenar os dados durante os ensaios preliminares para posterior transferência, via comunicação serial com o computador, evitando assim uma eventual perda de coleta durante a transmissão de dados.

Como dito, esta onda se alterna conforme a variação de luz sobre o foto-receptor de tal forma que, quanto maior a incidência de luz maior a frequência do sinal, da mesma

Figura 14: Ilustração da configuração da coleta de dados



Fonte: O autor(2021)

forma que, quanto menor a intensidade de luz menor a frequência. Entretanto, optou-se por trabalhar com o período da onda lida na entrada, onde, quanto maior for a obstrução que a semente impõe a passagem de luz maior vai ser o período e, de forma igual, quanto menor for esta obstrução menor será o período. Para a leitura do período do sinal de frequência utilizou-se as funções *PulseIn(pin,high)* e *PulseIn(pin,low)*, obtendo assim, os tempo em microsegundos em nível alto e baixo respectivamente.

3.4 Sistema de identificação e contagem de sementes

Para o desenvolver de um mecanismo que possibilite a seleção automática das sementes e permita otimizar o processo de certificação de sementes de arroz, a identificação automática destes grãos por meio da cor, apresenta-se como o primeiro passo para que este objetivo seja alcançado. Esta seção mostrará a metodologia proposta para identificação da cor das sementes de forma automática.

Com base nos valores obtidos nos ensaios foi possível estimar um limiar para distinguir os intervalos dos sinais indicativos da passagem das sementes de arroz brancos e dos vermelhos. Também foi determinado um limiar para distinguir a variação de sinal que representa a existência de semente entre o feixe de luz e o foto-receptor, o qual opera como limite de corte para o tratamento do sinal.

Como dito anteriormente, após a interpretação dos dados obtidos com o foto-receptor *TSL235*, observou-se uma tendência do valor máximo atingido estar dentro de um intervalo, onde este refere-se a uma determinada semente, seja branco ou vermelho, cada qual tende para um intervalo específico. O fato desse valor ser diferente para cada cor de sementes faz com que a diferenciação, com base nestes valores, se torne possível de realizar de forma automática.

$$Lim_1 = \frac{Md_{Vm} + Md_{Br}}{2} \quad (1)$$

Lim_1 : Limiar de distinção entre grãos brancos e vermelhos

Md_{Vm} : Mediana do agrupamento dos dados dos grãos vermelhos

Md_{Br} : Mediana do agrupamento dos dados dos grãos brancos

Diversos métodos mostram-se eficazes para determinação de intervalos de agrupamento de dados, o que permite definir um limiar que determinará a qual intervalo o referido dado pertence. Como a mediana serve para medir a tendência central de um conjunto de dados, ao aplicarmos aos agrupamentos dos dados dos grãos brancos e dos vermelhos obtemos as duas medianas¹. Neste sentido optou-se por calcular o limiar através da média simples entre as medianas calculadas para cada intervalos das sementes, pois assim obtêm-se um ponto equidistante à ambas as medianas. Desta forma chegou-se a um resultado onde o valor não pertencente aos agrupamentos distintos de sementes de arroz branco e vermelho.

No que tange o limite de corte, o qual indica a existência de grão passando pelo sensor, este deu-se aplicando a mesma variação entre a mediana e o limiar, no entanto, aplicada em sentido contrário, ou seja, a partir da mediana de menor valor em direção ao início da escala. Este método de cálculo surgiu como forma de manter a mediana de menor valor equidistante de ambos os limiares (limiar de distinção e limiar de corte) no intuito de não perder dados significativos. Isso significa dizer que todo valor inferior a este limite de corte não foi tratado como dados referente a passagem de grão pelo sensor.

$$Lim_2 = Md_{Br} - (Lim_1 - Md_{Br}) \quad (2)$$

Lim_2 : Limite de corte

Lim_1 : Limiar de distinção entre grãos brancos e vermelhos

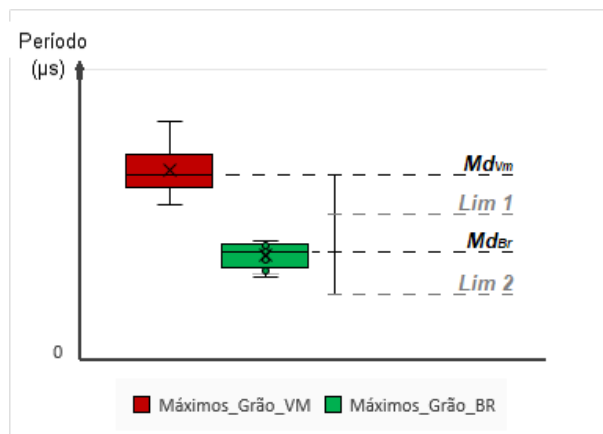
Md_{Br} : Mediana do agrupamento dos dados dos grãos brancos

A indicação dos limites e das medinas estão ilustrados na figura 15, onde fica demonstrado a relação posicional aplicado a cada um dos termos calculados. A variação entre o Lim_1 e a Md_{Br} é igual a variação entre o Lim_2 e a Md_{Vm} , assim como, a variação entre os limites é igual a variação entre as medianas. Desta forma, valores de períodos maiores que o limite 2 são computados e na sequência comparados com o limite 1, onde estando acima a semente é declarado vermelho e ficando abaixo é atribuída a cor branca a semente de arroz.

Para proceder com a seleção automática das sementes, a lógica (figura 16) implementada no *Arduíno Mega* (figura 17) utilizou os dois limiares para distinguir a cor dos

¹As medianas foram calculadas com base nos dados agrupados apresentados na figura 31a, onde a análise dos máximos alcançados mostrou-se mais conclusiva no sentido de evitar intervalos comuns a ambos agrupamentos.

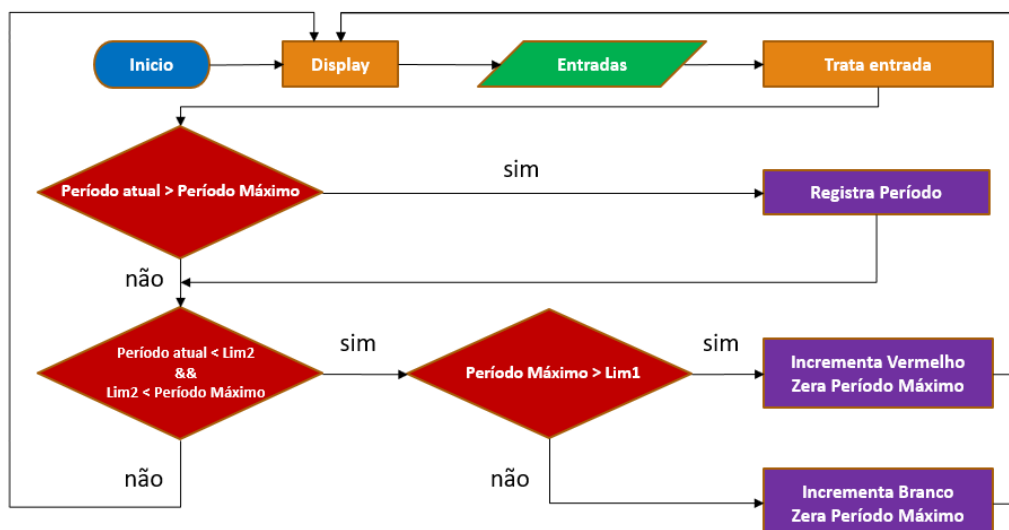
Figura 15: Ilustração da relação entre os limites e as medianas



Fonte: O autor (2021)

grãos com casca, os quais foram obtidos a partir dos cálculos apresentados. O primeiro limiar trata-se do valor que diferenciou as sementes quanto a cor brancas e vermelhas e o segundo limiar (limite de corte) determina a existência ou não de semente entre a fonte luminosa e o receptor.

Figura 16: Fluxograma lógico da identificação automática



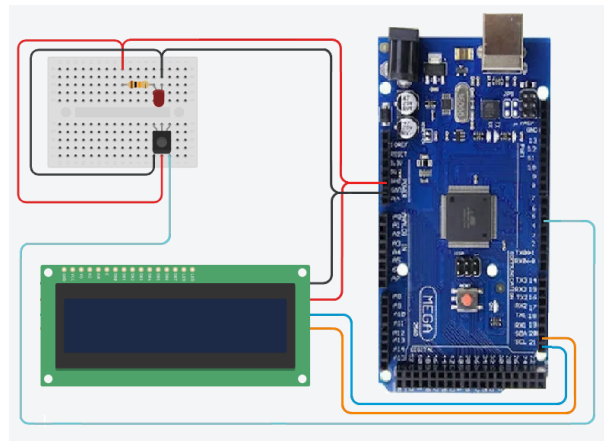
Fonte: O autor (2021)

O microcontrolador, *Arduíno Mega*, de acordo com o fluxograma apresentado na figura 16, mostra a contagem de sementes no *display*, conforme a configuração ilustrada na figura 17. Através das portas 20 e 21 e das bibliotecas "LiquidCrystal_I2C.h" e "Wire.h" é estabelecida uma comunicação entre o microcontrolador e o *display*.

Na sequência é realizada a leitura da entrada "5", bem como, cálculo do período² do

²O TSL235 converte a luminosidade em sinal de frequência, mas na implementação lógica optou-se por trabalhar com o período.

Figura 17: Montagem eletrônica do identificador e contador de sementes



Fonte: O autor (2021)

sinal oscilante da entrada. A partir daí, deu-se a primeira comparação com o intuito de registrar o máximo valor de período alcançado. Uma vez registrado o período máximo e o período atual estando abaixo do limite de corte, significa dizer que a semente já passou pelo feixe luminoso, com isso a comparação do período máximo e o limite 1 identifica se a semente esta dentro do intervalo de grãos brancos ou grãos vermelhos. Assim, os contadores são incrementados conforme a cor atribuída e o registro de período máximo zerado para uma nova ocorrência.

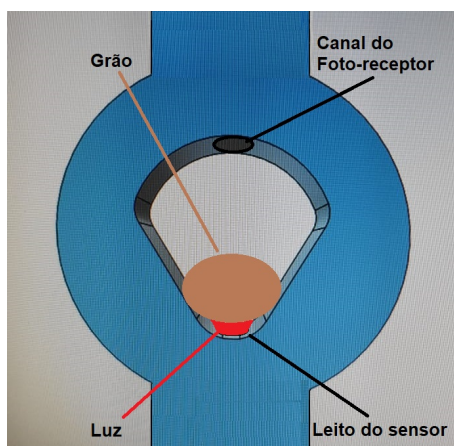
4 INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS

4.1 Resultados dos ensaios com a modelagem final do sensor

Os resultados apresentados nesta seção tratam-se apenas de sinais oriundos do sensor com o foto-receptor modelo *TSL235*, embora, no decorrer do projeto, tenham sido realizados testes com o *TIL78* como apresentado no apêndice B. Em virtude do *TSL235* ter apresentado melhores resultados e, no anseio de concentrar o tempo na melhor alternativa até então, optou-se por desenvolver os ensaios somente com esta configuração. Sendo assim, dois ensaios foram realizados, sendo um estático e outro dinâmico, ou melhor dizendo, com a semente parada sobre o feixe luminoso e com a semente em movimento passando sobre a fonte de luz. Cabe lembrar que os *Leds* utilizados foram de cor verde, vermelha e infravermelho.

Independentemente do ensaio proposto, a semente deve se colocar totalmente sobre a fonte de luz, de forma a vedar qualquer luminosidade pelas suas laterais, conforme ilustrado na figura 18. O foto-receptor deve coletar somente a luz que atravessa a semente, uma passagem direta, de um mínimo feixe luminoso, causa um erro de leitura em virtude da intensidade ser maior do que quando comparada a da luz que atravessou a semente.

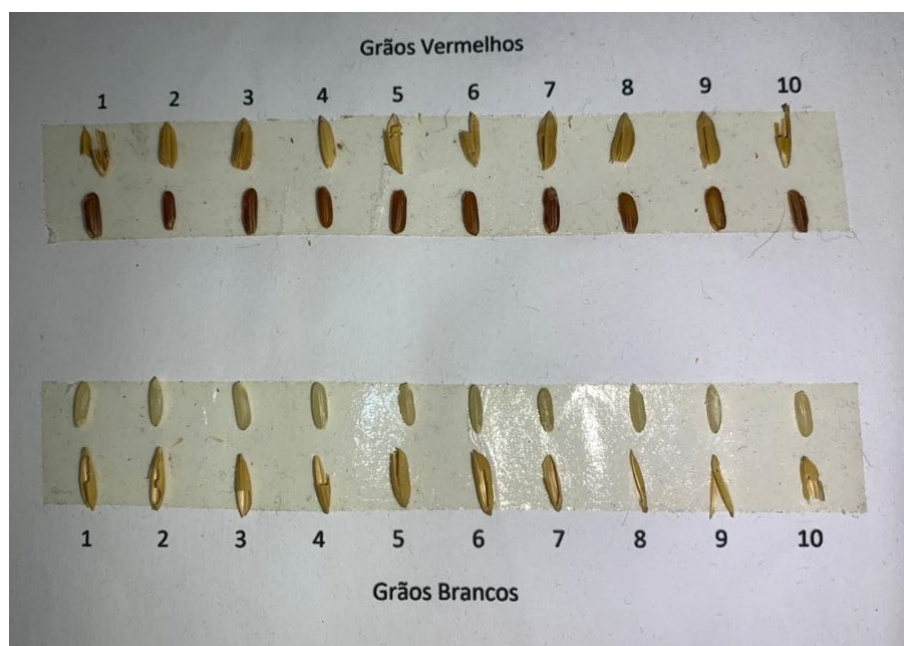
Figura 18: Ilustração da posição da semente durante o ensaio



Fonte: O autor (2021)

Tanto nos ensaios estáticos, quanto nos ensaios dinâmicos, foram utilizados as mesmas 10 sementes brancas, assim como, as mesmas 10 sementes vermelhas, conforme já relatado anteriormente, no entanto a figura 19 apresenta novamente os sementes, porém agora descascadas após os ensaios.

Figura 19: Foto das sementes da amostra após os ensaios



Fonte: O autor (2021)

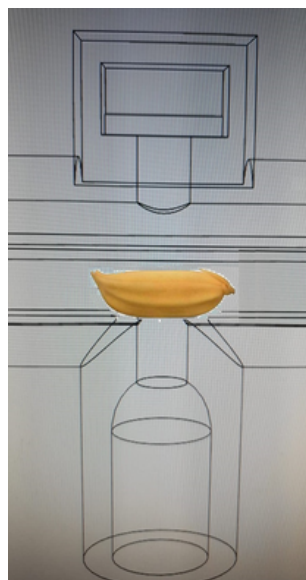
Foram realizadas coletas de 100 valores de entrada para ensaios estáticos e nos ensaios dinâmicos a quantidade de valores por coleta não teve um número fixado em função da alteração de velocidade e tamanho das sementes, contudo manteve-se o mesmo procedimento, para ambos os ensaios, de realizar 3 coletas para cada semente e fonte de luz. O que significa dizer que os ensaios foram realizados em triplicata, ou seja, a amostra de sementes brancas, assim como as sementes vermelhas tiveram seus ensaios repetidos em 3 vezes para cada cor de fonte de luminosa. Como dito o fato do ensaio estático ser possível coletar valores indefinidamente, já que o grão encontrasse parado sobre o feixe luminoso, obriga-se a atribuição de um limite de coletas, o qual se restringiu a 100. Todavia o mesmo não ocorre com o grão em movimento, pois a velocidade de escoamento das sementes não são iguais em função da diferença na abrasividade da casca e do comprimento do grão, com isso as sementes podem permanecer tempos distintos durante a passagem pelo sinal de luz.

4.1.1 Resultados dos ensaios estáticos

Estes ensaios consistiram em colocar o tubo na posição horizontal e introduzir a semente até que seu centro coincida com o centro do feixe luminoso (figura 20), estando a semente na posição adequada a coleta é disparada, e após a conferência da permanência

da posição do grão, outra coleta é feita, e por fim o procedimento é repetido pela terceira vez. Ainda sem remover a semente da posição é refeito o procedimento descrito para os demais feixes de luzes.

Figura 20: Posição da semente durante o ensaio estático



Fonte: O autor (2021)

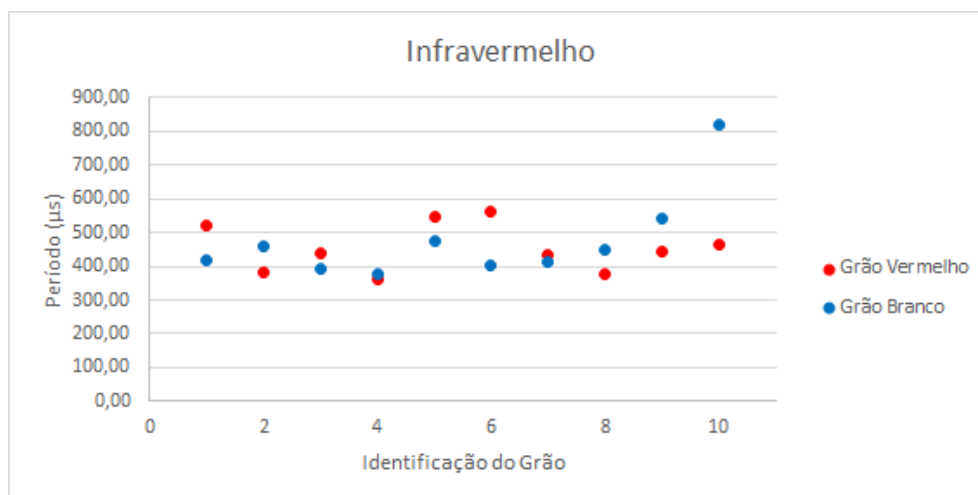
Cabe ressaltar que devido aos ensaios possuírem como característica principal a semente parada sobre o feixe luminoso, os valores coletados, com exceção de algum dado discrepante, alternaram-se em torno da média simples, obtendo um percentual acima de 95% dos valores dentro do intervalo de -2σ a $+2\sigma$, o que fornece um nível de confiança de 95%, tal característica se manteve independente da cor da sementes analisada. Desta forma, tanto as médias como os valores máximos enquadram-se para distinção dos agrupamentos de grãos, entretanto, a utilização da média, por usar todos os dados coletados, torna-se o método mais representativo, por conseguinte todas as análises deram-se em função das médias.

Uma vez terminado os ensaios, foi calculada a média entre os 100 valores captados em cada coleta de dados, obtendo assim 3 valores de médias, uma vez que, foram realizados 3 coletas para cada fonte de luz e semente. Na sequência foi calculada a média destas 3 médias, sendo de mesma fonte luz e mesma semente. As médias são melhores comparadas nos gráficos das figuras 21, 22 e 23.

Os resultados obtidos com as sementes sob a incidência do feixe infravermelho não se mostraram distintos o suficiente a ponto de utiliza-lo como fonte luminosa na identificação da cor do grão com casca. Entretanto, as luzes verde e vermelha confirmaram a sua performance anterior quando forneceram os melhores resultados, contudo, novamente o espectro vermelho mostrou sua prevalência em comparação a verde.

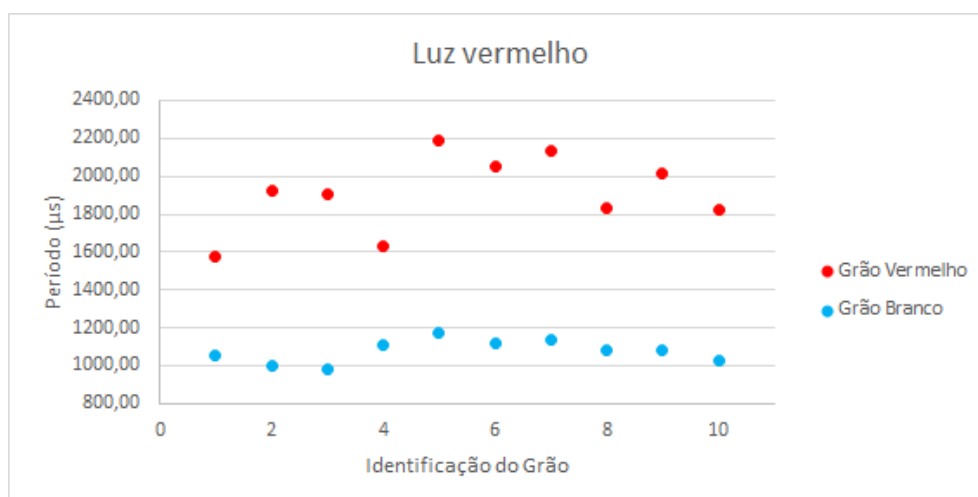
Embora os resultados obtidos tenham sido expressivos, um novo ensaio com viés con-

Figura 21: Ensaio estático: Comparação das médias expostas a luz infravermelho



Fonte: O autor (2021)

Figura 22: Ensaio estático: Comparação das médias expostas a luz vermelha

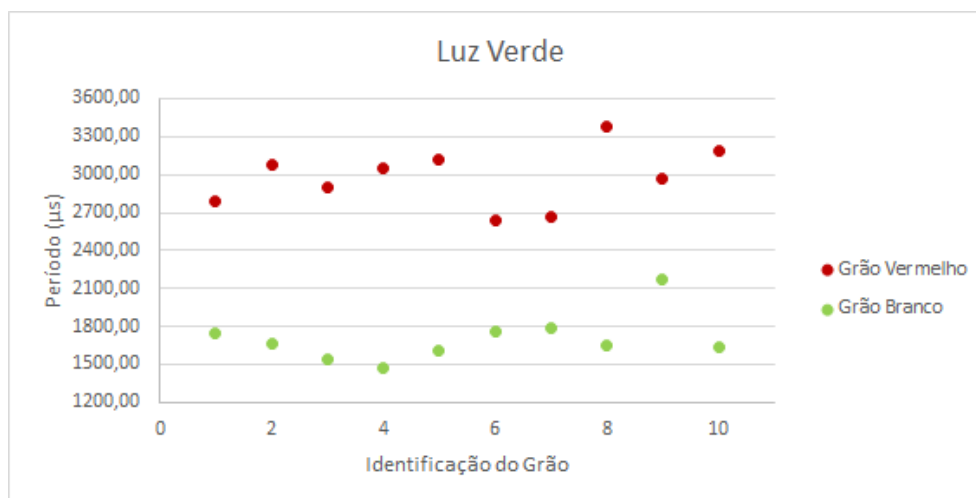


Fonte: O autor (2021)

firmatório foi realizado, o qual seguiu o mesmo procedimento, o que inclui as mesmas sementes. Os resultados alcançados sofreram o tratamento igualitário. Na sequência os resultados foram comparados com os adquiridos anteriormente, conforme demonstrado nos gráficos tipo "Box Plot" ilustrados nas figuras 24 e 25.

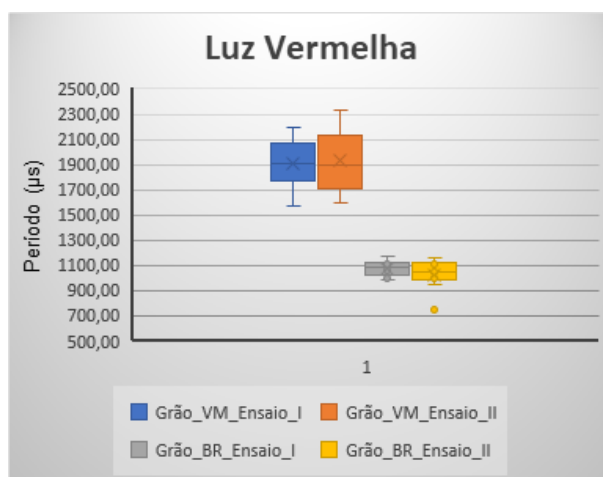
Ao comparamos os gráficos das figuras 24 e 25 que apresenta o comportamento do sinal quando alterada a luz incidente percebe-se uma não manutenção da variabilidade nos dados. Em um segundo ensaio ocorreu uma alteração bem maior nos valores de período referente a passagem das sementes sejam brancas ou vermelhas quando expostas a luz verde. Desta forma a luz vermelha mostrou-se menos suscetível a mudança de posição da semente, pois todo o segundo ensaio, assim como o primeiro, deram-se com a semente na mesma posição e a variação dos dados sob a luz verde foram maiores do que a variação sob a luz vermelha.

Figura 23: Ensaio estático: Comparação das médias expostas a luz verde



Fonte: O autor (2021)

Figura 24: Ensaio estático: Comparação das médias dos dados das sementes expostos a luz vermelha

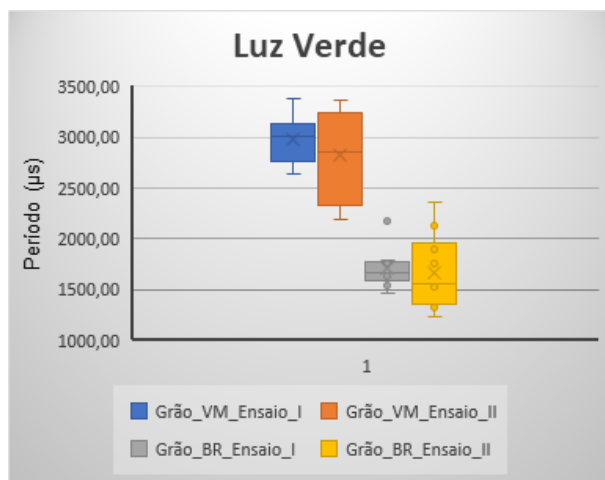


Fonte: O autor (2021)

Observando o gráfico da figura 26a, a qual compara os valores coletados referentes as sementes vermelhas nos dois ensaios sob a incidência da luz vermelha, percebe-se a tendência a permanecer na mesmo intervalo. O mesmo ocorre na figura 26b, embora demonstre um *outliers*, a tendência dos valores das sementes brancas nos dois ensaios sob a luz vermelha é conservar-se no mesmo intervalo. A alteração nos valores deu-se devido ao fato das sementes terem sido removidas da posição após o primeiro ensaio e recolocadas sobre o feixe luminoso novamente para realização do segundo ensaio. Logo esta variação refere-se a impossibilidade de recolocar a semente na mesma posição, seja longitudinal e/ou radialmente.

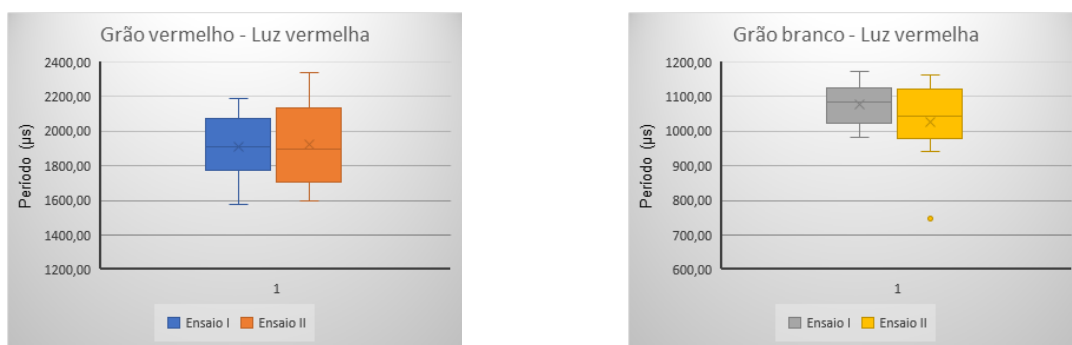
Quando comparamos os gráficos das figura 26a e 26b é possível inferir um valor intermediário, entre os agrupamentos de sinais captados, como limiar de distinção das

Figura 25: Ensaio estático: Comparação das médias dos dados das sementes expostos a luz verde



Fonte: O autor (2021)

Figura 26: Ensaio estático: Comparação entre os ensaios sob luz vermelha



a) sementes vermelhas

b) sementes brancas

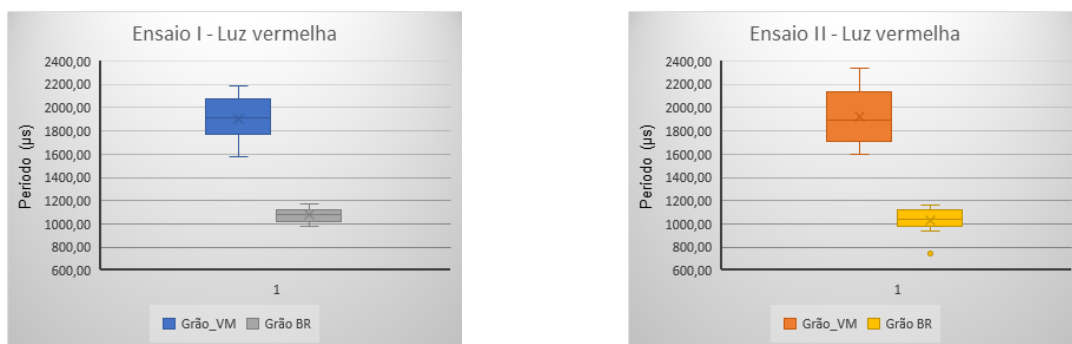
Fonte: O autor(2021)

sementes de arroz brancos e vermelhos. Considerar a média entre as medianas destes agrupamentos, trata-se de algo viável, uma vez que, mantém um valor equidistante de ambas as medianas e não pertencente a nenhum dos grupos de dados. Além disso as sementes brancas possuem valores abaixo deste limite e as vermelhas acima.

Embora estejamos tratando das sementes em repouso, nota-se ser possível atribuir de uma assinatura, em função do sinal captado pelo sensor, que permita diferenciar grãos brancos dos vermelhos ainda com casca. No entanto, esta assinatura trata-se de um valor utilizável apenas para a atual configuração deste modelo de sensor proposto e com as sementes paradas .

Logo, após a realização dos ensaios, foi constatado a prevalência da fonte luminosa na cor vermelha quando comparado a luz verde. Ainda com base na análise realizada nos ensaios fica visível a possibilidade de atribuir um limiar que faça a distinção das regiões de abrangência de cada semente. Desta forma, os grãos de arroz brancos e vermelhos ainda com casca podem ser identificados e posteriormente separados.

Figura 27: Ensaio estático: Comparação das sementes



a) Ensaio I

b) Ensaio II

Fonte: O autor(2021)

4.1.2 Resultados dos ensaios dinâmico

Uma vez realizados os ensaios estáticos, buscou-se realizar um ensaio dinâmico com intuito de confirmar os resultados alcançados nos ensaios em repouso. Embora a semente em movimento (figura 28) adicione mais uma variável ao sistema, trata-se de algo necessário em função da semente estar deslocando-se durante o processo de identificação automático.

Figura 28: Ilustração das posições da semente durante o ensaio dinâmico

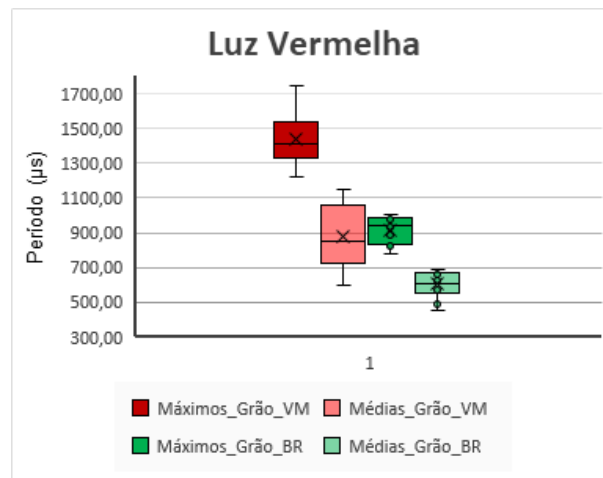


Fonte: O autor (2021)

Para isso foi realizado um ensaio com procedimento igual ao anterior, exceto pela movimentação da semente e pela posição do tubo do sensor, o qual permaneceu com uma inclinação de 70° graus como forma de forçar a semente a escoar pelo leito do sensor. A amostra utilizada foi a mesma usada anteriormente, a qual esta ilustrada na figura ??.

A comparação entre os valores máximos obtidos a partir da coleta do sinal de cada semente e das médias dos mesmos dados está demonstrada no gráfico da figura 29. O gráfico retrata o comportamento dos sinais de entrada quando as sementes brancas e vermelhas estão sob a incidência de um feixe luminoso na cor vermelha.

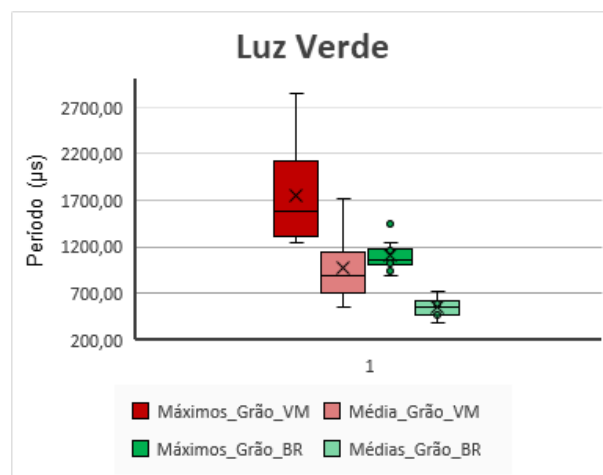
Figura 29: Ensaio dinâmico: Comparação entre valores máximos e as médias das sementes sob incidência da luz vermelha



Fonte: O autor (2021)

De forma similar, exceto pela cor verde do feixe luminoso, o gráfico da figura 30 realiza comparação dos maiores valores alcançados pelas sementes brancas e vermelhas, bem como, as médias dos sinais referentes a cada uma destas sementes. Através da ferramenta gráfica é possível verificar o comportamento dos sinais e qual método que melhor distingue as cores dos grãos ainda com casca.

Figura 30: Ensaio dinâmico: Comparação entre valores máximos e as médias das sementes sob incidência da luz verde



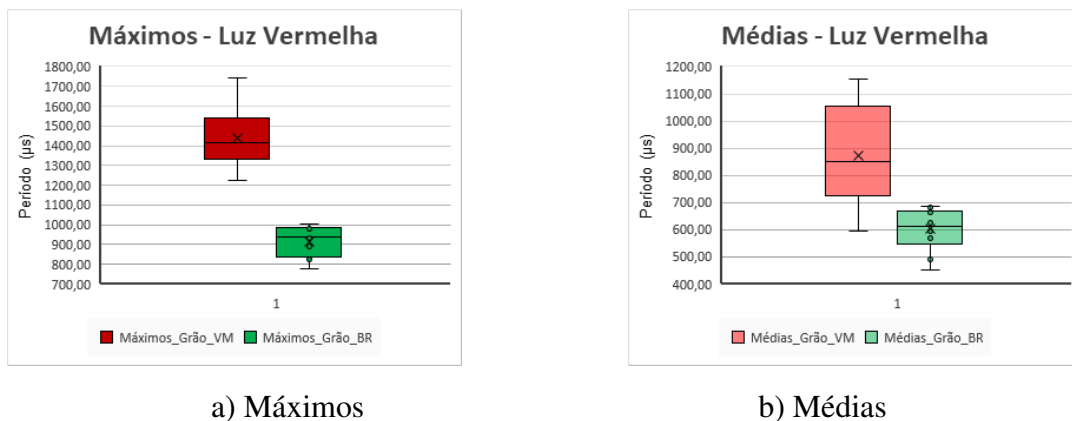
Fonte: O autor (2021)

Da mesma maneira que nos ensaios com as sementes em repouso mostrou ser possível realizar uma distinção por cor, nos ensaios com as sementes em movimento demonstrou-se ser viável realizar tal tarefa. Outra similaridade foi o fato da luz vermelha permanecer prevalecendo sobre a luz verde, refletindo na melhor separação dos intervalos dos sinais referente a passagem das sementes de arroz vermelhos e brancos.

Embora estando as sementes expostas a uma fonte luminosa na cor verde não seja

possível executar uma identificação da cor do grão com casca de forma conclusiva, sob a incidência de uma luz vermelha tal determinação torna-se explícita. Na comparação dos sinais de maior valor sob a luz vermelha, como mostrado na figura 31a, os intervalos apresentam-se muito bem determinados e distintos entre si, diferentemente das médias mostradas na figura 31b sob a incidência de mesma luz.

Figura 31: Ensaio dinâmico: Comparação dos dados das sementes de arroz branco e vermelho



Fonte: O autor (2021)

Diferentemente do ensaio com as sementes paradas, onde os sinais coletados permaneceram em um intervalo curto, ou seja, ficaram dispostos em torno da média como descrito na seção 4.1.1, no ensaio com as sementes em movimento os dados apresentaram-se mais dispersos, o que se justifica devido a coleta dar-se ao longo da semente.

Em função da semente ter menor quantidade de matéria nos extremos quando comparado com seu centro, a luz encontra menor resistência nestes pontos, o que significa dizer que possui maior permeabilidade a luz nos extremos. Desta forma a obstrução a passagem da luz tende ao máximo conforme a semente começa a cruzar o feixe luminoso e permanece até que seu centro seja alcançado, nesse instante em diante, a obstrução a passagem da luz tende ao mínimo. Logo, o período do sinal emitido pelo sensor parte de um valor mínimo, de nenhuma obstrução a luz, e aumenta ao passo que aproxima-se do centro da semente, ponto de máximo valor, e torna ao valor mínimo conforme transcorre o restante da passagem pelo feixe de luz.

Embora os ensaios tenham valores de períodos associados a passagem da semente pelo sensor, o método aplicado obtém os dados de captura do sinal conforme a variação da frequência, ou seja, quanto maior a frequência maior a quantidade de sinais lidos, bem como, quanto menor a frequência menor o número de leituras realizadas. Além disso, independente da cor da semente pertencente ao ensaio, o início de escala do sensor parte do mesmo valor, isso se dá devido ao limite de corte atribuído, em outras palavras, os valores de início e fim do ensaio tendem a ser iguais para ambas as cores de semente.

Ao associarmos os fatos descritos de que o sinal começa no mínimo período, atinge

o máximo e torna ao mínimo, com o coleta proporcional a frequência e com o início de escala igual para ambas as cores das sementes, temos como resultado um maior número de sinais coletados nos extremos das sementes e com baixos períodos atribuídos. Desta forma, quando comparamos as médias das coletas de ambas as sementes, a definição por cor dos agrupamentos dos grãos com casca não se revelam delimitados em intervalos distintos. Entretanto, ao comparar somente os valores máximos alcançados por estas sementes no momento da passagem pelo sensor, temos agrupamentos bem identificados e sem pontos de intersecção, viabilizando assim a distinção entre as sementes brancas das vermelhas.

4.2 Análise dos resultados do sistema de identificação

Para realizar o teste de identificação e contagem automática, com a devida seleção de cor das sementes através da casca, foram utilizados 50 sementes brancas e 50 sementes vermelhas conforme apresentado na figura 32. O ensaio consistiu em passar estas sementes, uma a uma, pelo sensor de modo que este realiza-se a identificação da cor no momento que interrompe o feixe luminoso. O procedimento deu-se como descrito na seção ??, onde apresenta o método aplicado no sistema de identificação. As sementes após o ensaio tiveram suas cascas removidas para conferência da cor e comparação com a seleção automática realizada.

Figura 32: Ensaio dinâmico: Comparação dos dados dos sementes de arroz brancos e vermelho



a) Vermelho



b) Branco

Fonte: O autor (2021)

A tabela 2 mostra o resultado do ensaio com o sistema de identificação automática, onde apresenta a quantidade e a respectiva cor detectada, bem como a quantidade e a cor do grão após a remoção da casca. as sementes de arroz branco tiveram quantidades atribuídas tanto para a cor branca, como para a cor vermelha. No entanto, após a conferência (figura 33b) confirmou tratar-se unicamente de sementes de arroz branco, gerando assim um erro na seleção automática, contudo, o desacerto não vem a ser um

Tabela 2: Comparação: cor detectada x grãos descascados

Sel. Automática	Cor Detectada	Conferência	Grãos Descascados
50	Vermelho	49	Vermelhos
0	Branco	1	Branco
10	Vermelho	0	Vermelhos
40	Branco	50	Branco
0	Não detectado	0	Vermelhos
		0	Branco

problema, uma vez que o sistema se propõe identificar as sementes de arroz vermelho.

Já no que tange os o objetivo do projeto, o qual busca identificar grãos de arroz vermelhos com casca, a proposta se mostrou muito profícua no sentido de que executou com habilidade a distinção das sementes vermelhas, pois embora tenha imputado a uma semente branca a cor vermelha (figura 33a), tal fato não geraria dano a um processo de seleção e/ou certificação de sementes.

Figura 33: Ensaio dinâmico: Comparação dos dados dos grãos brancos e vermelhos sem casca



a) Vermelho



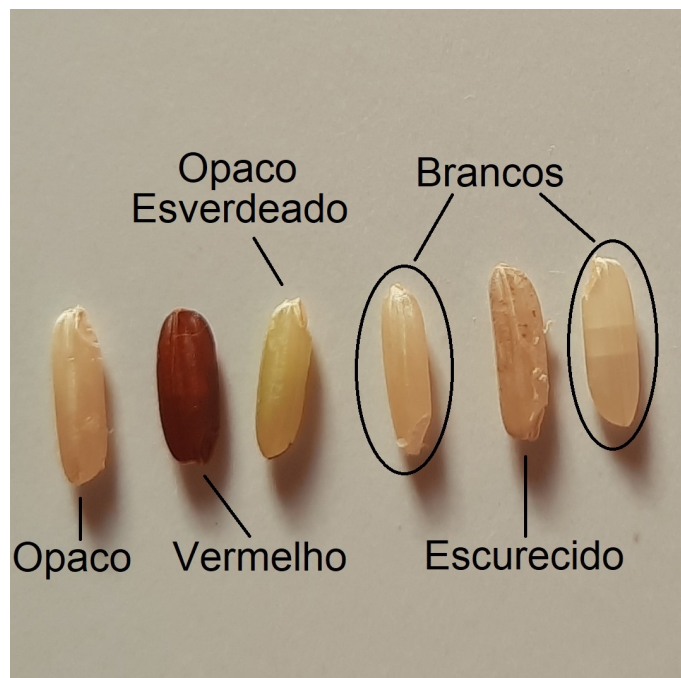
b) Branco

Fonte: O autor (2021)

Analisando especificamente os erros de identificação realizados pelo sistema foi possível perceber que estes deram-se devido aos grãos, embora sendo brancos, apresentarem opacidade e/ou escurecimento maior que os demais. Tal característica levou a baixa permeabilidade a luz e por conseguinte uma alta obstrução, de tal sorte que o sensor interpretou a alta obstrução a luz com similaridade as sementes vermelhas. A análise vai ao encontro das conclusões alcançadas por EBATA (1972a), onde mesmo analisando grãos descascados determinou um percentual de transmitância a luz de 85% para grãos brancos

e de 12% para grãos brancos gessados, o que significa dizer que o grão gessado oferece maior obstrução a luz do que o branco.

Figura 34: Grãos descascados da figura 33



Fonte: O autor (2021)

Na figura 34 é possível visualizar a variação encontrada no tom da cor dos grãos brancos, característica essa, como dito anteriormente, causadora de alteração na permeabilidade da luz por parte dos grãos brancos. Todavia, o escurecimento e/ou opacidade de alguns grãos não impediu o sistema de seleção de realizar a identificação das sementes de arroz vermelhos.

Importante salientar que a problemática sobre o processo de seleção de sementes debruça-se na dificuldade de identificar o grão vermelho com casca, e sendo as sementes de arroz vermelho considerado contaminante no processo de cultivo e certificação de sementes de arroz branco, tal fato veda a possibilidade de atribuir-se a um grão vermelho a cor branca. Uma ocorrência de tal porte implicaria em ignorar um grão tido como contaminante, o qual leva, inclusive, a desqualificação de um lote inteiro de sementes.

Diante ao exposto, o método aplicado ao sistema de identificação da cor da semente de arroz mostrou-se extremamente eficiente em solucionar o obstáculo característico do processo de seleção de sementes, identificar a cor do grão coberto pela casca. Por conseguinte surge como uma técnica alternativa a ser usada na distinção entre sementes de arroz vermelho e branco.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Neste trabalho foi proposto um sistema para identificar a presença de sementes de arroz vermelho entre as sementes de arroz branco, pois em sementes de arroz a casca não pode ser removida por ser parte constituinte da semente. Para justificar a relevância do desenvolvimento do trabalho, um breve histórico da importância da cultura do arroz, bem como, a relevância da certificação de sementes para uma produção eficiente e de qualidade deste cereal foram relatadas. Apresentou-se ainda os testes, ensaios, hipóteses e teorias que culminaram em um sistema de identificação da cor do arroz através casca, o qual foi norteou o trabalho.

Após estudo de técnicas e métodos afins e, do desenvolvimento de propostas preliminares de sensor, bem como análise dos ensaios destas propostas, que direcionaram a novas propostas, e assim reciprocamente, chegou-se a um método final que utiliza a fotometria para identificar a cor da semente. Logo, o trabalho chega neste estágio com a uma solução alternativa para a problemática que alicerçou o projeto, atendendo assim ao objetivo do trabalho de desenvolver um sistema fotométrico de identificação da semente de arroz vermelho.

Durante o projeto foram analisadas fontes de luzes azul, branca, verde, vermelha e infravermelha incidindo sobre foto-receptores dos tipos *TSL235* e *TIL78* acoplados a tubos impressos em polímero termoplástico feito com ácido láctico. Estas análises culminaram em uma configuração formada por uma fonte de luz vermelha e um foto-receptor *TSL235* conectados um tubo, impresso com uma geometria específica, por alcançarem os resultados esperados. Esta configuração somada a implementação sobre um microcontrolador formaram o sistema fotométrico de identificação da semente de arroz vermelho.

Diante ao exposto, o presente projeto apresenta um sistema fotométrico de identificação do arroz vermelho através da casca perfeitamente exequível e habilidoso. Muito se fez para que o presente trabalho alcançasse esse momento, com tamanha importância, demonstrando resultados conclusivos, oferecendo uma técnica alternativa para solução de um problema do setor produtivo, trazendo assim uma grande contribuição científica e tecnológica na análise de sementes. Logo, o trabalho deixa um legado sobre

a identificação da cor da semente através da cascas e, nesta vertente, o trabalho coloca como sugestões para trabalhos futuros:

- O resgate do estudo com o foto-receptor *TIL78* na ideia de buscar uma configuração adequada ao componente ou ainda a exclusão em definitivo de seu uso para tal aplicação;
- A retoma da pesquisa com a utilização do tubo do sensor confeccionada em aço inox, pôr ser o material mais comumente utilizado em equipamentos da área alimentícia;
- A realização de estudos acerca da distinção de sementes de arroz vermelho de sementes de arroz branco gessado/opaco/escurecido através da fotometria.
- A realização de estudos sobre a comportamento de outras espécies de grãos/sementes quando expostas a técnica apresentada.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, M. **Arroz**. <https://www.infoescola.com/plantas/arroz/>: [s.n.], 2019. Acessado em: 16 outubro 2019.

ARROZ. <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/arroz/>: [s.n.], 2019. Acessado em: 16 outubro 2019.

AUDACITY® Cross-Platform Sound Editor. Disponível em: <https://www.audacityteam.org/>: [s.n.], 2019. Versão 2.3.2. [S. l.], Acessado em: 16 outubro 2019.

BETEMPS, D. L.; FACHINELLO, J. C.; GALARÇA, S. P. Espectroscopia do visível e infravermelho próximo(VIS/NIR) na avaliação da qualidade de mangas Tommy Atkins. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [S.l.], v.33, p.306 – 313, 10 2011.

BORDIGNON, L. A.; ALVES, J. H.; OLIVEIRA, L. F. de. Identificação de amostras de sementes utilizando Visão Computacional. , <https://www.seer.ufrgs.br/rita/article/view/VOL24-NR1-150/42737>, v.24, n.1, p.150–167, 2017.

BURLAMARQUI, F. I. C. **Manual da Cultura do Arroz**. [S.l.: s.n.], 1864. 1-28p.

CARRARA, D.; AVELAR, A. F. M.; KUSAHARA, D. M.; PEDREIRA, M. L. G. Oximetria de Pulso Arterial. , <https://portal.coren-sp.gov.br/sites/default/files/oximetria%2022-12.pdf>, p.01–10, 2011.

CAVALIN, G.; CERVELIN, S. **Instalações Elétricas Prediais**. 3º Ed..ed. [S.l.]: Editora Érica, 1998. 122-128p.

CERATTI, S. **Seleção Eletrônica de Sementes - Sementes Ceratti**. Acessado em: 9 julho 2020.

CISCATI, R. **QUEM INVENTOU A AGRICULTURA?** <https://epoca.globo.com/vida/noticia/2016/07/quem-inventou-agricultura.html>: [s.n.], 2016. Acessado em: 16 outubro 2019.

CONAB. **Perspectivas para a Agropecuária**. https://www.conab.gov.br/perspectivas-para-a-agropecuaria/item/download/22780_e707c6e6d44f06fe7b6a86ce6141652 : *Campanha Nacional de abastecimento – Conab*, 2019.

DEGANI, A. L. G.; CASS, Q. B.; VIEIRA, P. C. Cromatografia um breve ensaio. , <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc07/atual.pdf>, v.40, n.7, p.818–823, maio 1998.

EBATA, M. Studies on Diagnosis of Rice Grains by Photometric Method : I. On light transmittance and reflectance by rice grains, and on a measuring instrument. **Japanese journal of crop science**, [S.l.], v.41, n.3, p.348–352, 1972a.

EBATA, M. Studies on Diagnosis of Rice Grains by Photometric Method : II. On the quality inspection of hulled nonglutinous rice, especially of the grade standard samples. **Japanese Journal of crop science**, [S.l.], v.41, n.3, p.353–358, 1972b.

EBATA, M. Estudos de Diagnóstico de Grãos de Arroz por Método Fotométrico: III. Na inspeção de qualidade do arroz glutinoso descascado. **Japanese Journal of Crop Science**, [S.l.], v.41, n.4, p.514–520, 1972c.

EBATA, M. Estudos de Diagnóstico de Grãos de Arroz por Método Fotométrico: IV. Estimativa do grau de moagem e avaliação da qualidade do arroz beneficiado. **Japanese Journal of Crop Science**, [S.l.], v.47, n.3, p.400–407, 1978a.

EBATA, M. Studies on Diagnosis of Rice Grains by Photometric Method : V. Color of hulled rice and method for color estimation. **Japanese journal of crop science**, [S.l.], v.47, n.3, p.408–416, 1978b.

EBATA, M. Studies on Diagnosis of Rice Grains by Photometric Method : VI. Changes in translucency and color of rice kernel in the progress of maturation and dehydration. **Japanese Journal of Crop Science**, [S.l.], v.47, n.3, p.417–424, 1978c.

FAGUNDES, G. A. **Efeitos do tempo de encharcamento sobre parâmetros de avaliação tecnológica e nutricional de arroz parboilizado**. 2010. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas — .

FEDERARROZ. **Arquivo da TAG**: Federarroz. <http://www.federarroz.com.br/colheita/tag/federarroz/>: [s.n.], 2019. Acessado em: 8 novembro 2019.

FOGAÇA, J. R. V. **Análise Cromatográfica ou Cromatografia**. <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/analise-cromatografica-ou-cromatografia.htm>: [s.n.], 2019. Acessado em: 16 outubro 2019.

GUZMAN, J. D.; PERALTA, E. K. Classification of Philippine Rice Grains Using Machine Vision and Artificial Neural Networks. , <https://pdfs.semanticscholar.org/7c6d/c5fbf223d2fee465ddb26e790f4ada0c8b3d.pdf>, p.41–48, 2008.

JOVENS, B. **MUNDO AGRO - A fantástica história da agricultura.** <https://www.bayerjovens.com.br/pt/materia/?materia=a-fantastica-historia-da-agricultura>: [s.n.], 2019.

LIGHT to Frequency Converter. [S.l.: s.n.], 2002. n.TAOS038.

MAPA, M. d. A. P. e. A. **Regras para Análise de Sementes.** <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/laboratorios/arquivos-publicacoes-laboratorio/> Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento - MAPA, 2009.

MENDES, M. F. d. A.; BENFATO, M. S.; SCHULLE, K.; HACKENHAAR, F. S.; VIACAVA, P. R.; ALABARSE, P. V. G.; MEDIROS, T.; SALOMON, T. B. **Espectrofotometria.** http://www.ufrgs.br/leo/site_espec/index.html: [s.n.], 2019. Acessado em: 16 outubro 2019.

MINOLTA, K. **CHROMA METER CR-400/410 Portable Colorimeter with unmatched ruggedness and application flexibility.** http://sensing.konicaminolta.com.br/products/cr-400-410-chroma-meter-difference-with-colorimeter/support/cr400_catalogBR.pdf : [s.n.], 2013.

NEUMAN, M.; SAPIRSTEIN, H.; SHWEDYK, E.; BUSHUK, W. Wheat Grain Colour Analysis By Digital Image Processing I. Methodology. , <https://www.seer.ufrgs.br/rita/article/view/VOL24-NR1-150/42737>, v.15, n.10, p.175–182, 1989.

NUNES, J. L. d. S. **Arroz - Cultivares.** https://www.agrolink.com.br/culturas/arroz/informacoes/cultivares_361562.html: [s.n.], 2019. Acessado em: 16 outubro 2019.

OYAMA, P. I. d. C. **Método para Classificação de café em Grãos por imagens Digitais pelo Uso de Atributos Selecionados de Morfologia, Cor e Textura.** 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — .

PATRÍCIO, D. I. **SeedFlow: Sistema de Visão Computacional para Classificação de Grãos de Aveia.** 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — .

QUINTINO, M. S. M.; FILHO, W. P. O.; VINHADO, F. S.; SANTOS, W. G.; DUTRA, R. B. C.; OLIVEIRA, P. A.; COSTA, P. K. G.; SOARES, I. P. Uso da espectrofotometria UV-Vis para diferenciar as colorações do biodiesel de palma e do corante marcador de óleo diesel. , <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170044>, v.40, n.7, p.818–823, 2017.

RIBEIRO, S. S. **Extração de características de imagens aplicada a detecção de grãos ardidos de milho**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — .

SAMADI-MAYBODI, A.; ATASHBOZORG, E. Quantitative and qualitative studies of silica in different rice samples grown in north of Iran using UV-Vis, XRD and IR spectroscopy techniques. **Talanta**, [S.l.], v.70, n.4, p.756–760, 2006. A collection of Papers Presented at the 1st Workshop of the European Union: Analysis and Removal of Contaminants from Wastewaters for the Implementation of the Water Framework Directive.

SIMÕES, R. O.; TEIXEIRA, M. M.; FARONI, L. R. D. Determinação da Uniformidade de Distribuição de Agroquímicos em Grãos de Trigo Utilizando a Técnica da Espectrofotometria do UV/Visível. , <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6971>, v.25, n.4, p.130–134, 2009.

TOMITA, F. M.; PETTER, D. **Procedimento Operacional Padrão - POP**. [S.l.: s.n.], 2018.

UFJF, U. F. d. J. d. F. **Introdução a métodos Cromatográficos**. <http://www.ufjf.br/quimica/files/2016/08/Introdu%C3%A7%C3%A3o-a-cromatografia-Marcone-20161.pdf>: [s.n.], 2019. Acessado em: 16 outubro 2019.

UTINO, S.; FRANCO, D. F.; COSTA, S. V. da; MAGALHÃES, A. M. de; PETERS, V. J.; SILVA, M. G. da. **PRODUÇÃO DE SEMENTES**. <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000foh66zuv02wyiv8065610dhn0auj1.html>: [s.n.], 2019. Acessado em: 16 outubro 2019.

VILLANOVA, F. A. **Uso de inibidores de escurecimento na parboilização de arroz: efeitos nas propriedades químicas e tecnológicas dos grãos**. 2017. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas — .

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. de. Arroz: composição e características nutricionais. , <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008000400049>, v.38, n.4, p.1181–1192, 2008.

ZIEGLER, R. T. P. V.; TALHAMENTO, A.; ELIAS, M. C. Propriedades tecnológicas e de cocção em grãos de arroz condicionados em diferentes temperaturas antes da parboilização. , <http://dx.doi.org/10.1590/bjft.2014.021>, v.17, n.2, p.146–153, abr./jun. 2014.

6 APÊNDICE A - ESTUDO DE VIABILIDADE DA PROPOSTA

O ensaio inicial foi realizado apenas com foto-receptor do tipo Conversor de luz em frequência, do inglês *Light to Frequency Converter*, como foto-emissor foi usado um LED verde, um osciloscópio e as sementes, branco e vermelho, uma de cada, no intuito de verificar se o arranjo LED - foto-receptor seria adequado ao trabalho. Os resultados iniciais foram promissores, mostrando forte discernimento entre as cores das sementes utilizados como amostra.

O ensaio consistiu em colocar uma semente entre o foto-emissor e o foto-receptor de modo que o único caminho possível para a luz do emissor chegar ao receptor fosse através da semente. Com a alternância do grão, ora branco, ora vermelho, percebeu-se uma alteração na largura de pulso do sinal captado, o que mostrou ser possível identificar a cor da semente com a utilização deste componente eletrônico de percepção de luz. Este ensaio permitiu seguir com a pesquisa e desenvolver uma proposta preliminar de sensor, e assim, obter mais dados acerca da percepção da cor da semente de arroz através da casca utilizando a fotometria.

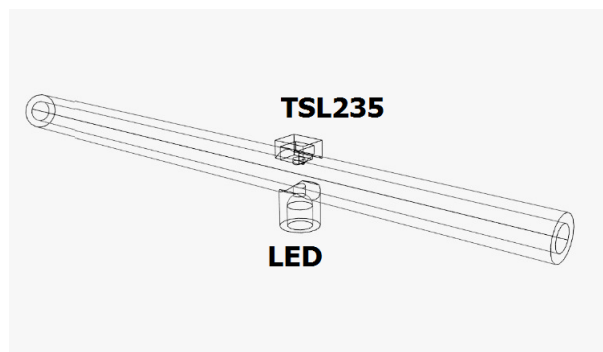
6.1 Proposta preliminar do sensor fotométrico

Paralelamente a pesquisa realizada sobre os foto-receptores disponíveis que atenderiam ao propósito, foram projetados e impressos em uma impressora 3D, dois tubos em orientações distintas (horizontal e vertical), para que pudesse ser verificada qual a orientação ofereceria menor resistência (atrito) a passagem das sementes. Também foi verificada a angulação adequada para que a semente escoasse com velocidade compatível a percepção do foto-receptor.

Os tubos possuem dimensões iguais, sendo 60 mm de comprimento por 6 mm de diâmetro e foram testados de forma a identificar qual oferecia menor aderência ao grão. Foi observado que a impressão longitudinal não seria a adequada para o projeto. De posse do tubo impresso, radialmente, foi realizado um furo de 2 mm de diâmetro que atravessou perpendicularmente as duas paredes do tubo. Na parte inferior foi fixado um led de

cor verde, exatamente sobre o furo, de maneira a fornecer um feixe de luz, o qual atravessou o grão. Na parte superior, foi fixado o foto-receptor (LIGHT TO FREQUENCY CONVERTER) que capturou a luz que atravessou o grão.

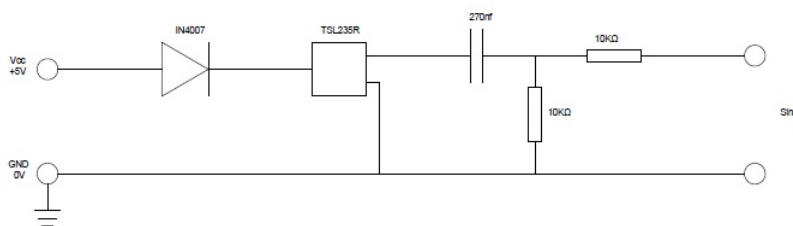
Figura 35: Protótipo do sensor



Fonte: O autor (2021)

A partir desta construção inicial foi montado um protótipo (Figura 35) preliminar no intuito de realizar ensaios para verificar se este protótipo seria capaz de manter as características de detecção observadas no ensaio anterior. Ao invés da utilização de um osciloscópio para realizar a avaliação, nesta fase do projeto foi elaborado um circuito eletrônico, apresentado na figura 36, com o propósito de condicionar o sinal para que fosse capturado pela entrada de áudio de um computador, permitindo assim, a gravação do sinal com suas respectivas alterações em arquivo de áudio.

Figura 36: Circuito Eletrônico



Fonte: O autor (2021)

6.2 validação da técnica

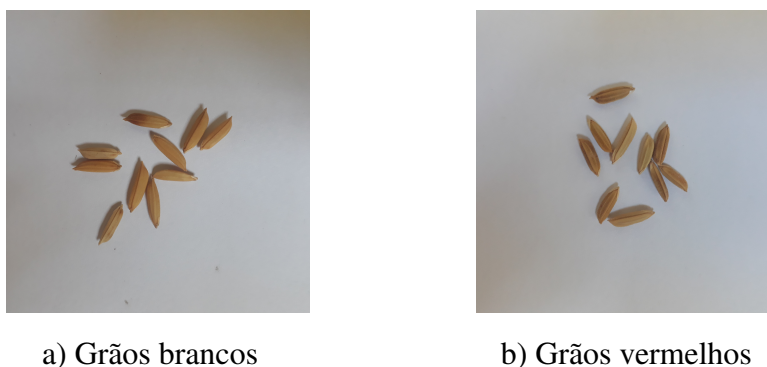
De posse do protótipo (Figura 35) e do circuito eletrônico (Figura 36) foram realizadas as coletas de dados preliminares. Para isso foi conectado a saída de sinal do circuito à entrada de linha da placa de áudio de um computador PC modelo Dell Optiplex 7010 (Processador Intel(R)Core(TM)i5-3470 3.20GHz, memória RAM 4,00GB, sistema operacional Windows 10 PRO, placa de som Realtek High Definition Audio versão 6.0.1.6070).

Com auxílio do *Software* Audacity (AUDACITY® CROSS-PLATFORM SOUND EDITOR, 2019) foi realizada a gravação dos sinais que foram coletados, em um único

canal(mono), através da entrada de linha de áudio, por ter somente um foto-receptor, no entanto, poderiam ser feitas gravações simultâneas utilizando os dois canais disponíveis, desde que, fossem utilizados dois foto-receptores ao mesmo tempo. A gravação foi adquirida e salva em arquivos do formato WAV, com uma taxa de amostragem de 44,1KHz, 32bit float, padrão do *software* Audacity para o processamento de áudio. O ajuste de ganho da entrada de linha foi realizado de forma que fosse obtida a máxima magnitude do sinal digital sem obter saturação, melhorando a relação sinal-ruído.

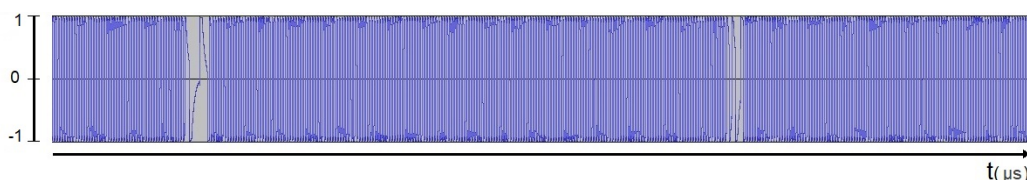
O primeiro teste foi realizado com 10 sementes de arroz branco e 10 sementes de arroz vermelhos (figura 37 com intuito de verificar a eficácia do protótipo de sensor. O resultado obtido se mostrou dentro do esperado, deixando visivelmente aparente o momento de passagem dos grãos entre o foto-emissor e o foto-receptor. Os momentos de clareamento na imagem (Figura 38) ocorrem devido a alteração da frequência da onda captada pelo sensor (redução da frequência do sensor de luz), muito embora tenha sido mostrado apenas as duas primeiras sementes do ensaio é nitidamente possível de perceber a interferência no sinal.

Figura 37: Sementes do ensaio preliminar



Fonte: O autor (2021)

Figura 38: Modelo de Sinal coletado



Fonte: O autor (2021)

Cabe salientar que, por tratar-se de um experimento sensível a luz a variação na iluminação no ambiente pode interferir no sinal de amostragem. Neste sentido, todos os ensaios foram realizados no mesmo ambiente, o qual estava sob uma iluminação gerada por 4 lâmpadas de *Led* tubular dispostas duas a duas em luminárias fixadas ao teto da sala cujo o pé direito é de 3,25m. Assim sendo, a iluminância incidente sob o plano

de trabalho¹, que neste caso específico refere-se ao tampo da mesa distante do piso 75cm, não sofre alteração. (CAVALIN; CERVELIN, 1998)

6.3 Dados obtidos nos testes preliminares

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos em um ensaio realizado com o protótipo (Figura 35), onde foram utilizados 10 unidades das sementes brancas (Figura 39) e 10 unidades das sementes vermelhas (Figura 40). Embora as sementes sejam de variedades distintas de arroz, visualmente, é difícil distingui-los quando ainda com casca.

Figura 39: Semente de arroz brancos



a) Grãos com casca



b) Grãos sem casca

Fonte: O autor (2021)

Figura 40: Semente de arroz vermelhos



a) Grãos com casca



b) Grãos sem casca

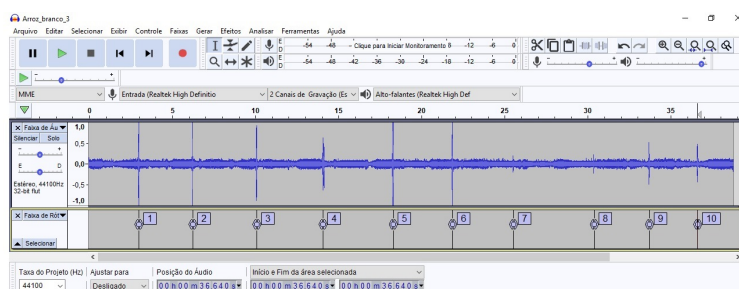
Fonte: O autor (2021)

A coleta de dados deste ensaio gerou sinais similares ao mostrados na figura 38, onde com auxílio das ferramentas disponíveis no *software* Audacity foi aplicado a equalização do sinal, o qual atenuou os ruídos tornando a percepção da semente facilmente visível. Desta forma, foi obtido os sinais demonstrados nas figuras 41 e 42. Nas imagens é possível ver os marcadores gerados pela ferramenta "localizador de batidas" do *software* Audacity que serve para colocar rótulos em ritmos muito mais altos que o áudio ao redor. Estes marcadores estão identificados com números de 1 a 10, tanto nos grãos brancos

¹Plano de trabalho é o nome atribuído ao plano imaginário paralelo ao piso, onde a tarefa esta sendo executada.

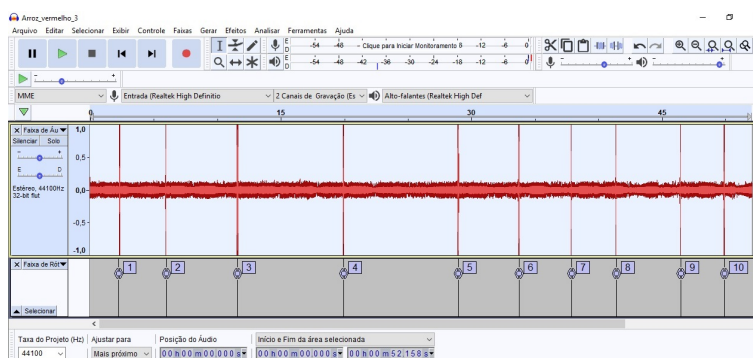
quanto nos grãos vermelhos. Outra ferramenta disponível trata-se do filtro "passa-baixa" o qual permite a passagem de baixas frequências sem dificuldades e atenua a amplitude das frequências maiores que a frequência de corte. O filtro foi aplicado nos sinais, o que permitiu a representação como demonstrada na figura 43.

Figura 41: Sinais das sementes de arroz branco



Fonte: O autor (2021)

Figura 42: Sinais das sementes de arroz vermelho



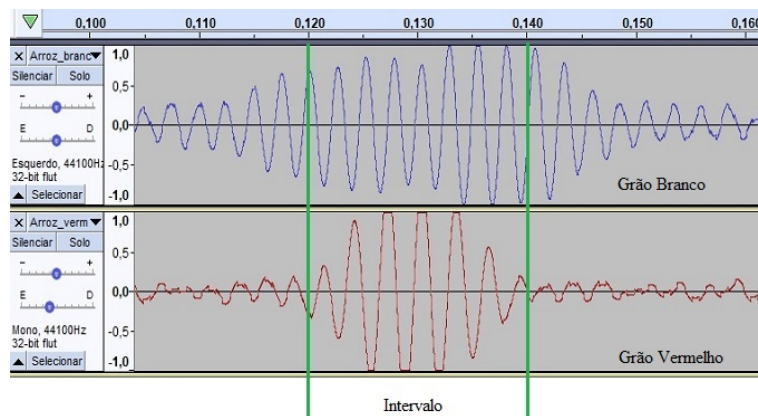
Fonte: O autor (2021)

Em primeira análise foi comparado os sinais captados pelo sensor quando da passagem das sementes brancas sobre o foto-receptor com intuito de verificar o comportamento entre o sinal de cada uma destas, o mesmo processo de comparação foi realizado para os sinais obtidos pela passagem das sementes vermelhas pelo sensor. Os sinais referentes a mesma cor mostraram uma tendência a permanecerem constantes e quando comparados os sinais das sementes brancas com as vermelhas mostrou ligeira distinção conforme mostrado na figura 43, onde retrata um grão branco e um vermelho.

Este ensaio não procurou identificar uma assinatura, um valor de frequência/período que discernisse as sementes brancas das vermelhas, e sim, mudanças no sinal que corroborasse com a hipótese de ser possível a distinção das sementes em função da cor por meio da fotometria.

É importante salientar que as sementes escoam pelo tubo do protótipo por gravidade não tendo um controle de velocidade para estes, fato que explica a ocorrência de sinais mais duradouros do que outros. No entanto, não impede uma comparação sobre os sinais captados pela passagem das sementes entre os foto-emissor/foto-receptor.

Figura 43: Comparação dos sinais tratado



Fonte: O autor (2021)

6.4 Considerações

A ideia de utilizar a entrada de áudio de um computador como meio de coleta de dados e de usar o *software* Audacity como ferramenta para interpreta-los, funcionando quase que como um osciloscópio, foi muito profícua, no sentido de dar uma direção ao trabalho. Os resultados obtidos foram dentro do esperado, de tal forma que, apontou a necessidade de operacionalizar novos ensaios com coletas de dados através de microcontroladores, uma vez que, propõe-se desenvolver um sistema de identificação da cor da semente de arroz através da casca.

A utilização de microcontrolador para coleta de novos dados aproxima a pesquisa das necessidades reais que o sistema de identificação de semente irá proporcionar. A utilização de outro método de coleta exige outras técnicas de tratamento e interpretação desses dados, desta forma, o uso de uma aplicação sobre a plataforma Arduino viabiliza a operacionalização do sistema.

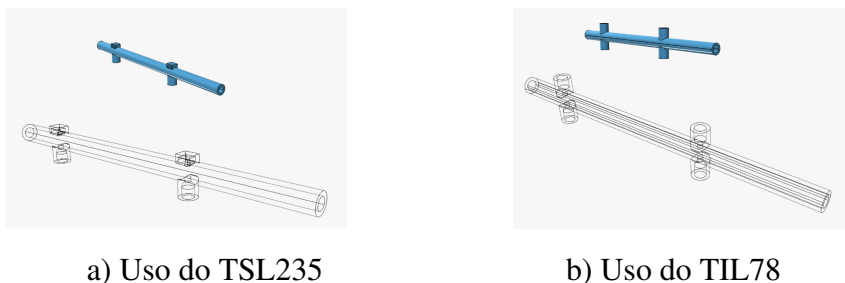
7 APÊNDICE B - PROTÓTIPO INICIAL

7.1 Modelagem inicial do sensor

Com base no estudo realizado e nos resultados obtidos foi proposto um modelo de sensor, onde se manteve a ideia inicial de imprimir um tubo e acoplar os foto-receptores e os foto-emissores. Entretanto, algumas alterações foram feitas, o comprimento do tubo foi aumentado para 15 cm e o diâmetro passou a medir 5 mm. Com isso, foram colocados dois foto-emissores e dois foto-receptores para inicialmente possibilitar a leitura do sinal causado pela mesma semente, mas sobre iluminação de cores distintas, afim de obter diferentes índices de transmissibilidade da semente ao passar pelo arranjo desenvolvido, ampliando o processo de coleta de dados.

Foram impressos dois tubos (Figura 44), para realização de testes, devido a distinção entre os dois modelos de foto-receptores a serem utilizados. Além do *TSL235* que já vinha sendo usado, o *TIL78* também foi analisado. Desta forma, cada tubo dispõe de dois foto-receptores, ou seja, dois *TSL235* em um tubo e dois *TIL78* em outro. Os sinais oriundos de ambos os foto-receptores foram coletados por um *Arduino Mega* e salvos em arquivos texto.

Figura 44: Tubos impressos

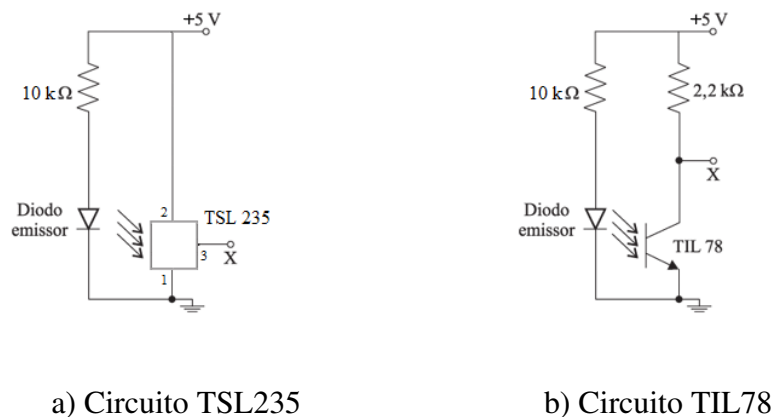


Fonte: O autor (2021)

Para possibilitar a leitura do sinal de cada componente foto-receptor foi preciso um circuito eletrônico diferente para cada um destes. O *TSL235* é um conversor de luminosidade em sinal de frequência, o qual altera este sinal conforme a intensidade de luz varia, sem modificar a amplitude do sinal. Já o *TIL78* trata-se de um fototransistor, o que

significa dizer que, sua base é ativada pela luz quando uma quantidade suficiente de luz é captada, com isso, o transistor conduz, permitindo a passagem de corrente do coletor para o emissor. Na inexistência de luz, o fototransistor não conduz e coletor e emissor ficam isolados. Os circuitos de ambos componentes estão dispostos conforme a figura 45.

Figura 45: Circuitos eletrônicos



Fonte: O autor (2021)

Os Sinais de ambos os circuitos foram coletados por um *Arduíno mega*, usando para isso, uma entrada analógica e uma entrada digital desta placa. Como os sinais produzidos são diferentes entre si, há a necessidade de diferentes tratamentos das leituras obtidas a partir das entradas utilizadas. O *TSL235* produz um sinal oscilante (onda quadrada) com amplitude alternando entre 0 e 5V, mas seu ciclo de trabalho permaneça constante em 50%, embora sua frequência varie conforme a captação, por tal motivo seu sinal é coletado via entrada digital. Já o *TIL78* foi inserido em um circuito capaz de produzir um sinal de tensão com magnitude variando de 0 a 5V, proporcional a luminosidade captada. Por tratar-se de um sinal analógico a coleta deu-se através da entrada analógica.

7.2 Ensaios e aquisição de dados iniciais

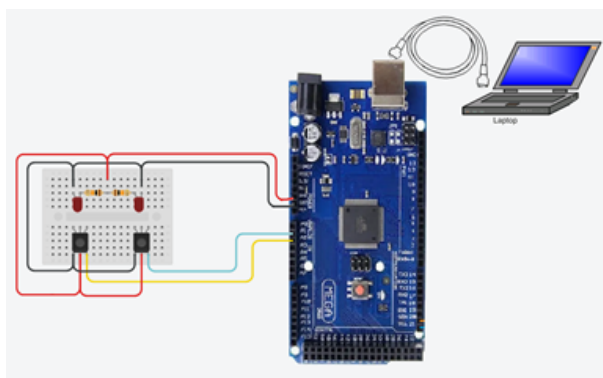
Os ensaios foram realizados com alternância na cor emitida pelo foto-emissor, sendo elas: Branca; Azul; Verde; Vermelho. Houve alternância também na cor da semente, onde foram testadas brancas e vermelhas. Desta forma, a amostra de semente de arroz branco esteve exposta as quatro cores citadas, assim como, a amostra de semente de arroz vermelhos.

As sementes foram disponibilizadas pelo IRGA, sendo estas extraídas do descarte, o que permite uma variabilidade nas amostra, uma vez que, o descarte é composto por grãos de lotes distintos. Para realização dos ensaios foram separadas 50 sementes de arroz branco e 50 sementes de arroz vermelho de forma aleatória. As amostras de sementes, de ambas as cores, foram distribuídas em porções de 10 unidades no intuito de facilitar a comparação e análise entre os testes. Além disso, os testes foram realizados em triplicata,

ou seja, cada semente foi testada três vezes para cada cor incidente.

A partir dos dados coletados com o auxílio do *Software* Audacity onde foi possível perceber uma variação entre os sinais oriundos da passagem das sementes brancas e vermelhas. E partindo-se da hipótese de que era possível obter uma distinção entre esses sinais, de tal forma que, permitisse distinguir a cor dos grãos através da casca. Optou-se por utilizar um *Arduino Mega* para alimentação e coleta do sinal do sensor, uma vez que, intencionava-se utilizar a plataforma como *hardware* para implementar um sistema automático de identificação de sementes. Assim sendo, a figura 46 ilustra a configuração da coleta de dados utilizada deste ponto em diante.

Figura 46: Ilustração da configuração da coleta de dados com *TIL78*



Fonte: O autor (2021)

7.2.1 Aplicação utilizando foto-receptor modelo *TSL235*

Para análise do sinal produzido pelo *TSL235* optou-se por monitorar o período das oscilações, uma vez que, junto com a alternância da frequência o período também se altera conforme a captação. Outra característica da coleta de dados foi que optou-se por adquirir apenas os valores oriundos da passagem das sementes. Desta forma, os valores captados pelo foto-receptor, quando à inexistência de obstrução a luz, não foram salvos. A exclusão desses dados deu-se com base no valor obtido quando não há passagem de sementes, onde foi atribuído um valor 8 vezes maior, com intuito de considerar apenas leituras decorrentes da obstrução causada pelas sementes.

Com isso, obteve-se valores referente a passagem de cada semente, onde estas leituras variaram em quantidade, oscilando o número amostras de sinal para a mesma semente avaliada durante a passagem. A diferença no intervalo de leituras de cada semente se dá ao fato destas não possuírem o mesmo comprimento, e também da velocidade de escoamento não permanecer constante. A diferença física nas cascas das sementes faz com que a aderência com a parede do tubo do sensor seja maior ou menor conforme o quanto abrasivo se apresenta esta casca, interferindo assim na velocidade de escoamento e por conseguinte no número de coletas.

7.2.2 Aplicação utilizando foto-receptor modelo *TIL78*

O circuito com o *TIL78*, como dito anteriormente, produz um sinal de tensão que varia de 0 a 5V. No entanto, os valores salvos em arquivos texto são decorrentes de uma conversão A/D, onde o 0 representa 0V e analogamente 1023 o 5V. Similarmente a coleta realizada com *TSL235*, foram salvos somente os valores representativos a passagem das sementes. Estes valores, após a conversão A/D, estando acima de um determinado limiar, considera-se que há um objeto passando entre o foto-emissor e o foto-receptor. Este limiar foi determinado experimentalmente, sendo fixado em 8 vezes o valor sem obstrução alguma, e somente os valores acima deste limiar foram capturados.

Os ensaios foram realizados seguindo o protocolo empregado com o *TSL235* e as mesmas sementes foram passadas pelo sensor, 50 brancas e 50 vermelhas e divididas em porções de 10 unidades, as quais foram devidamente identificados para que a ordem das porções permanecessem inalteradas.

7.3 Resultados dos ensaios da modelagem inicial do sensor

7.3.1 Dados coletados com *TSL235*

Após a interpretação dos dados foi possível perceber que os valores captados sob as fontes de luz branca e azul não transmitem uma distinção real que permita diferenciar as sementes quanto a cor branca ou vermelha. O mesmo não ocorreu quando expostas as sementes a um feixe de luz verde, o qual possibilitou observar uma variação nas leituras quando alterna-se entre sementes de arroz branco e vermelho. Entretanto, foi sob a luz vermelha que os melhores resultados foram alcançados.

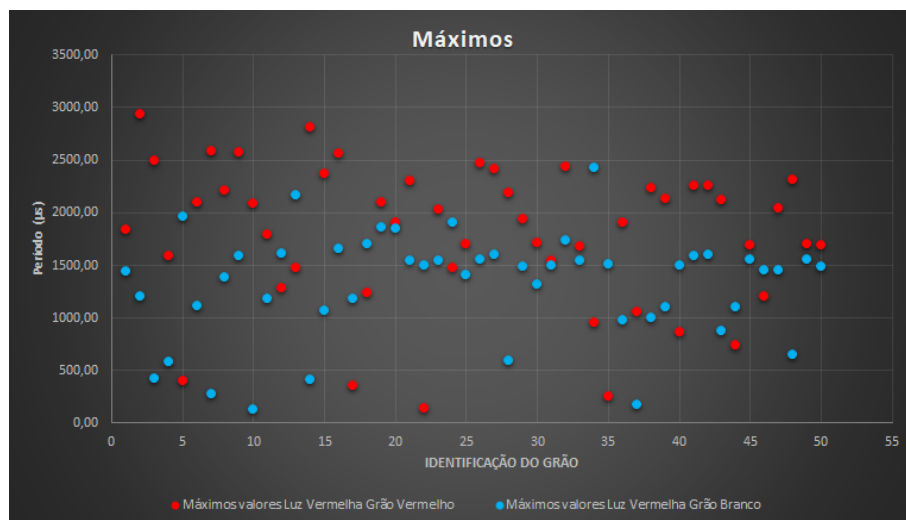
Os sinais referentes a passagem das sementes inicia com um valor mínimo e conforme o centro da semente aproximasse do centro de luz este valor aumenta até alcançar o máximo, a partir desse ponto passa a diminuir seu valor. Tal fato ocorre em função da semente ter seu maior diâmetro coincidindo com o ponto médio do seu comprimento. Desta forma, causa uma maior obstrução a luz levando o sinal a valores mais altos.

Como forma de buscar um método que permitisse obter um padrão que possibilitasse distinguir entre as cores das sementes optou-se por comparar os valores máximos alcançados por cada uma destas. Na figura 47 são mostrados os valores máximos referente coleta dos sinais de cada semente de arroz branco e vermelho.

Contudo, a proposta de comparação dos valores máximos não se mostrou eficiente em delimitar um intervalo distinto para as sementes brancas e vermelhas. Embora, fosse plausível supor que as sementes de arroz vermelho tendem a valores maiores que dos brancos, a análise do gráfico da figura 47 não permitiu afirmar tal diferença.

Outra proposta deu-se sobre a média dos valores obtidos para cada semente, com intuito de analisar todos os valores coletados através da composição da média geral de cada

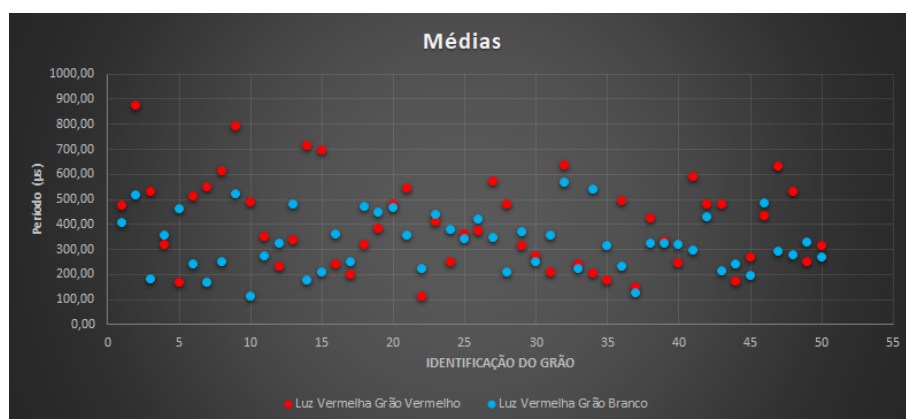
Figura 47: Comparação dos valores máximos lidos referentes aos grãos brancos e vermelhos



Fonte: O autor (2021)

semente. O resultado pode ser visto na figura 48, mas, similarmente ao resultado obtido com os valores máximos, as médias gerais de cada semente também não se mostraram eficazes em delimitar regiões distintas.

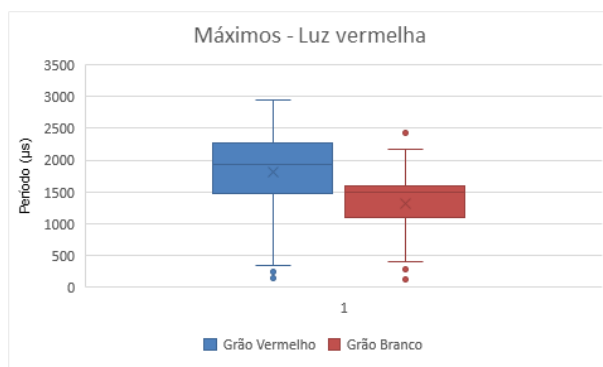
Figura 48: Comparação das médias dos valores lidos referentes aos grãos brancos e vermelhos



Fonte: O autor (2021)

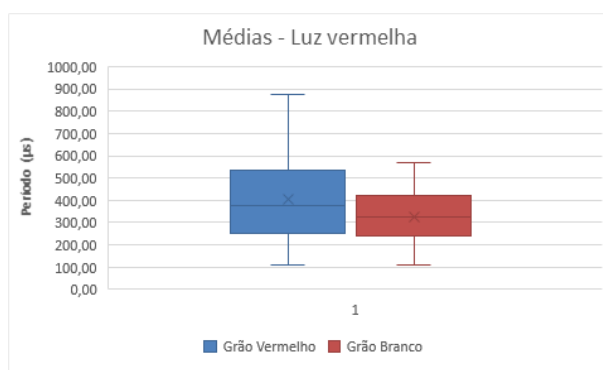
Os gráficos 49 e 50 apresentam uma melhor interpretação dos dados, pois deixa visível os agrupamentos das sementes brancas e vermelhas, entretanto, demonstra que ambas não ocupam intervalos distintos, ou seja, possuem uma região de intersecção. Desta forma, a determinação de um limiar que separe os agrupamentos em intervalos distintos fica inviável, uma vez que, a determinação desse limite nessas condições ocasionará em falha na identificação da cor do grão de arroz com casca, pois não mantém todas as sementes de arroz branco abaixo deste valor, bem como não restringe as sementes vermelha a um intervalos acima deste limiar.

Figura 49: Comparação dos valores máximos



Fonte: O autor (2021)

Figura 50: Comparação dos valores médias



Fonte: O autor (2021)

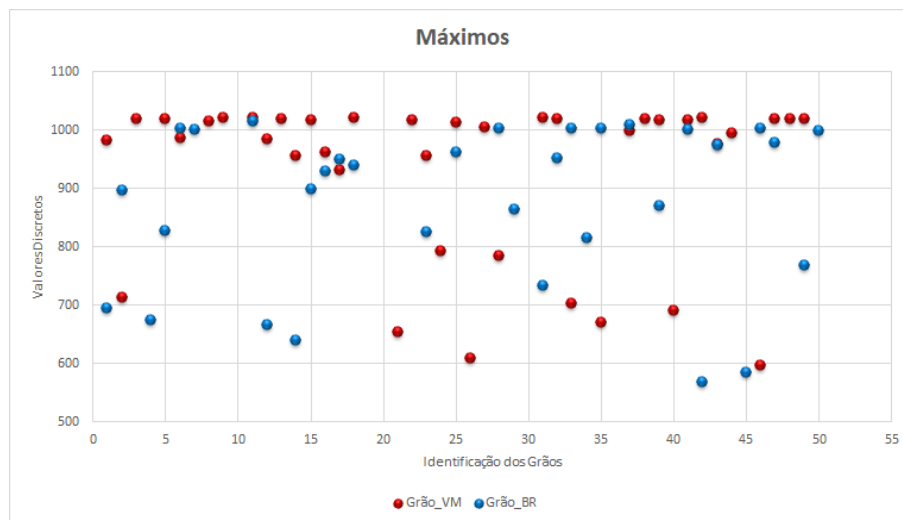
Com base nesses dados não foi possível propor um limiar para separação, entretanto, identificou-se que os resultados foram distorcidos em virtude da passagem de luz pelas laterais das sementes quando da passagem destas pelo sensor, sendo assim, o sensor não captou somente a luz que atravessou a semente, mas também uma parcela do feixe luminoso que incidiu diretamente no foto-receptor ocasionando a falsa leitura do sinal.

7.3.2 Dados coletados com *TIL78*

Os mesmos ensaios foram executados com o foto-receptor modelo *TIL78*, contudo, a utilização da metodologia similar a proposta nos ensaios com o *TSL235* não produziu resultados próximos quando comparados os dois tipos de foto-receptores. Muito embora os melhores resultados em ambos se deram com a utilização de luz vermelha, no ensaio com o *TIL78* não foi possível chegar num resultado próximo ao alcançado com o *TSL235*. Visto que, Conforme figura 51¹, muitas sementes não foram percebidas pelo sensor, além disso, diversas outras sementes tiveram valores atribuídos próximos ao limite de escala e o restante possuem valores dispersos, o que inviabiliza qualquer análise inicial.

¹O circuito com *TIL78* produz um sinal oscilante entre de 0 a 5V, o qual após a conversão A/D tem seus valores discretizados entre 0 e 1023

Figura 51: Comparação dos máximos valores discretos obtido com *TIL78*



Fonte: O autor (2021)

7.4 Considerações

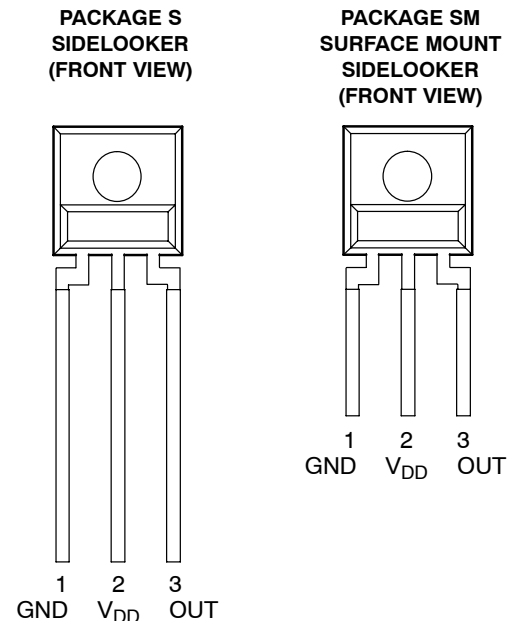
Com base no exposto e na ideia de que as sementes de arroz vermelho devem tender a valores maiores que as sementes de arroz branco, buscou-se identificar causas que levaram a tais resultados. Com isso algumas características foram obtidas de forma descrever os sinais coletados. O movimento sinuoso realizado pelo grão enquanto escoava pelo sensor faz com que o foto-receptor não capte somente a luz permeável a semente. Também identificou-se a necessidade de diminuir o diâmetro da passagem de luz, tornando o feixe luminoso mais estreito que a semente. O fato da fonte luminosa estar muito próxima da parede interna do tubo do sensor faz com que ocorra a dispersão da luz.

Outra característica identificada como fonte responsável pelos resultados trata-se da sensibilidade da configuração utilizado *TIL78*, desse modo, para tal aplicação se faz necessário corrigir a sensibilidade do sensor através da alteração do circuito eletrônico, com forma de obter um padrão de sinal para cada cor e remover a inexistência de coletas de dados como ocorrida a algumas sementes.

Diante ao exposto, fez-se necessário uma nova modelagem do sensor de modo a sanar os problemas elencados, também identificou-se a necessidade de produzir ensaios estáticos como forma de diminuir as variáveis do processo e determinar a interferência do movimento das sementes durante a passagem pelo sensor. Além disso, no caso do *TIL78*, a alteração do circuito eletrônico do foto-receptor, como forma a atender a aplicação desejada de identificar o padrão de cor do arroz ainda com casca, é a alternativa para viabilizar seu uso ou descartá-lo em definitivo para tal aplicação.

8 ANEXO A - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO *TSL235*

- High-Resolution Conversion of Light Intensity to Frequency With No External Components
- Communicates Directly With a Microcontroller
- Compact Three-Leaded Clear-Plastic Package
- Single-Supply Operation Down to 2.7 V
- Nonlinearity Error Typically 0.2% at 100 kHz
- Stable 150 ppm/°C Temperature Coefficient
- Single-Supply Operation
- RoHS Compliant (–LF Package Only)



Description

The TSL235R light-to-frequency converter combines a silicon photodiode and a current-to-frequency converter on a single monolithic CMOS integrated circuit. Output is a square wave (50% duty cycle) with frequency directly proportional to light intensity (irradiance) on the photodiode. The digital output allows direct interface to a microcontroller or other logic circuitry. The device has been temperature compensated for the ultraviolet-to-visible light range of 320 nm to 700 nm and responds over the light range of 320 nm to 1050 nm. The TSL235R is characterized for operation over the temperature range of –25°C to 70°C and is supplied in a 3-lead clear plastic side-looker package with an integral lens. When supplied in the lead (Pb) free package, the device is RoHS compliant.

Functional Block Diagram



Available Options

DEVICE	T _A	PACKAGE – LEADS	PACKAGE DESIGNATOR	ORDERING NUMBER
TSL235R	–25°C to 70°C	3-lead Sidelooker	S	TSL235R
TSL235R	–25°C to 70°C	3-lead Sidelooker—Lead (Pb) Free	S	TSL235R–LF
TSL235R	–25°C to 70°C	3-lead Surface-Mount Sidelooker—Lead (Pb) Free	SM	TSL235RSM–LF

Terminal Functions

TERMINAL NAME	NO.	TYPE	DESCRIPTION
GND	1		Power supply ground (substrate). All voltages are referenced to GND.
OUT	3	O	Output frequency.
V _{DD}	2		Supply voltage.

TSL235R

LIGHT-TO-FREQUENCY CONVERTER

TAOS038E –SEPTEMBER 2007

Absolute Maximum Ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)[†]

Supply voltage, V_{DD} (see Note 1)	6 V
Operating free-air temperature range, T_A	–25°C to 70°C
Storage temperature range, T_{stg}	–25°C to 85°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds (S Package)	260°C
Reflow solder, in accordance with J-STD-020C or J-STD-020D (SM Package)	260°C

[†] Stresses beyond those listed under “absolute maximum ratings” may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under “recommended operating conditions” is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTE 1: All voltage values are with respect to GND.

Recommended Operating Conditions

	MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage, V_{DD}	2.7	5	5.5	V
Operating free-air temperature range, T_A	–25		70	°C

Electrical Characteristics at $V_{DD} = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
V_{OH} High-level output voltage	$I_{OH} = -4\text{ mA}$	4	4.5		V
V_{OL} Low-level output voltage	$I_{OL} = 4\text{ mA}$		0.25	0.4	V
I_{DD} Supply current			2	3	mA
Full-scale frequency [‡]		500			kHz
Temperature coefficient of output frequency	Wavelength < 700nm		±150		ppm/°C
k_{SVS} Supply-voltage sensitivity	$V_{DD} = 5\text{ V} \pm 10\%$		±0.5		%/V

[‡] Full-scale frequency is the maximum operating frequency of the device without saturation.

Operating Characteristics at $V_{DD} = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
f_O Output frequency	$E_e = 430\text{ }\mu\text{W/cm}^2$, $\lambda_p = 635\text{ nm}$	200	250	300	kHz
	$E_e = 0\text{ }\mu\text{W/cm}^2$		0.4	10	Hz
Nonlinearity [§]	$f_O = 0\text{ kHz to }10\text{ kHz}$		±0.1%		%F.S.
	$f_O = 0\text{ kHz to }100\text{ kHz}$		±0.2%		%F.S.
Step response to full-scale step input		1 pulse of new frequency plus 1 μs			

[‡] Full-scale frequency is the maximum operating frequency of the device without saturation.

[§] Nonlinearity is defined as the deviation of f_O from a straight line between zero and full scale, expressed as a percent of full scale.

TYPICAL CHARACTERISTICS

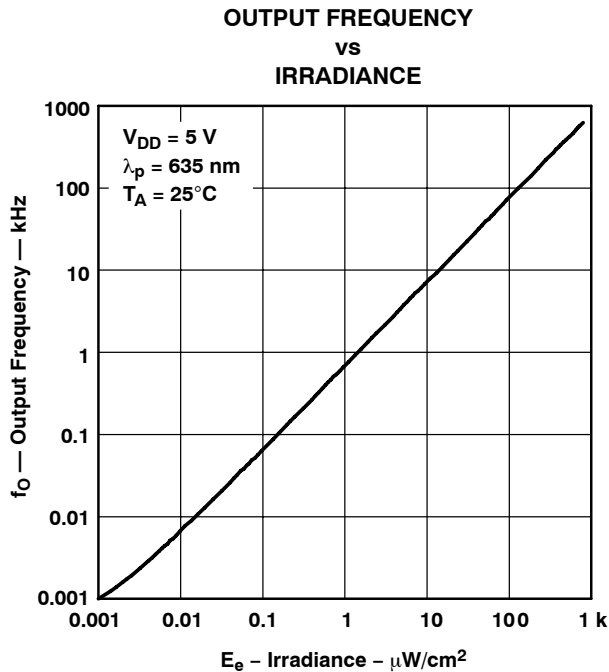


Figure 1

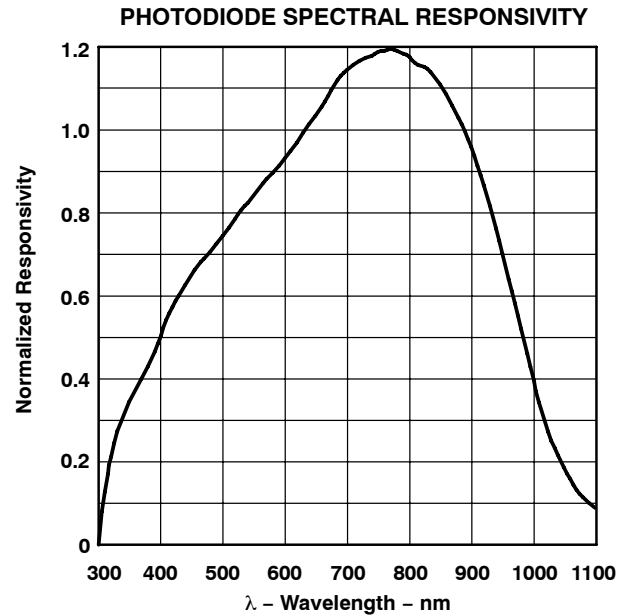


Figure 2

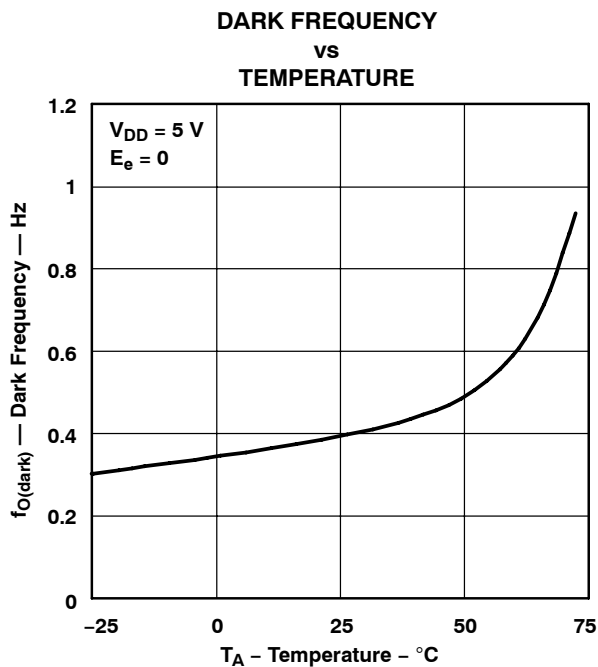


Figure 3

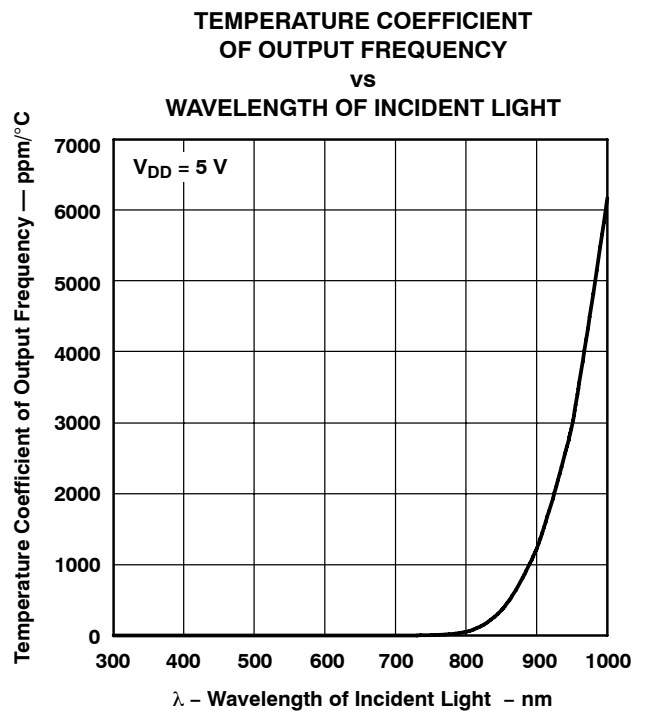


Figure 4

TSL235R LIGHT-TO-FREQUENCY CONVERTER

TAOS038E –SEPTEMBER 2007

TYPICAL CHARACTERISTICS

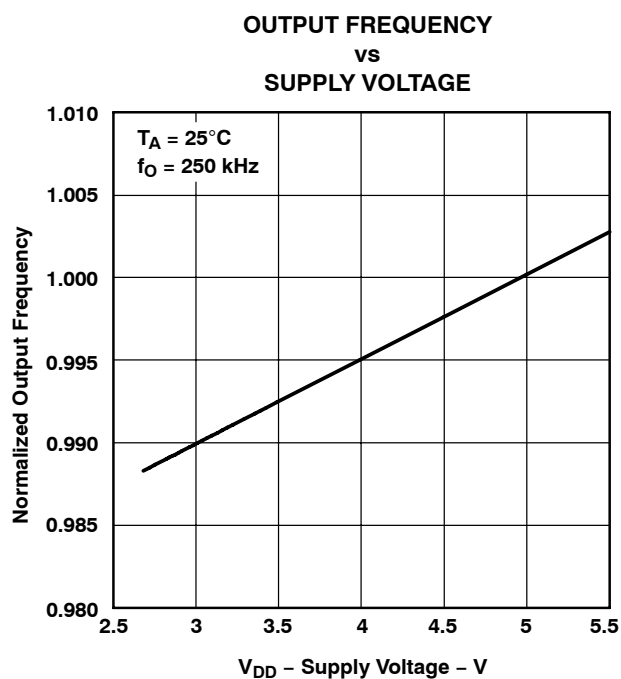


Figure 5

APPLICATION INFORMATION

Power-supply considerations

Power-supply lines must be decoupled by a 0.01- μ F to 0.1- μ F capacitor with short leads placed close to the TSL235R (Figure 6).

Output interface

The output of the device is designed to drive a standard TTL or CMOS logic input over short distances. If lines greater than 12 inches are used on the output, a buffer or line driver is recommended.

Measuring the frequency

The choice of interface and measurement technique depends on the desired resolution and data-acquisition rate. For maximum data-acquisition rate, period-measurement techniques are used.

Period measurement requires the use of a fast reference clock with available resolution directly related to reference-clock rate. The technique is employed to measure rapidly varying light levels or to make a fast measurement of a constant light source.

Maximum resolution and accuracy may be obtained using frequency-measurement, pulse-accumulation, or integration techniques. Frequency measurements provide the added benefit of averaging out random- or high-frequency variations (jitter) resulting from noise in the light signal. Resolution is limited mainly by available counter registers and allowable measurement time. Frequency measurement is well suited for slowly varying or constant light levels and for reading average light levels over short periods of time. Integration, the accumulation of pulses over a very long period of time, can be used to measure exposure — the amount of light present in an area over a given time period.

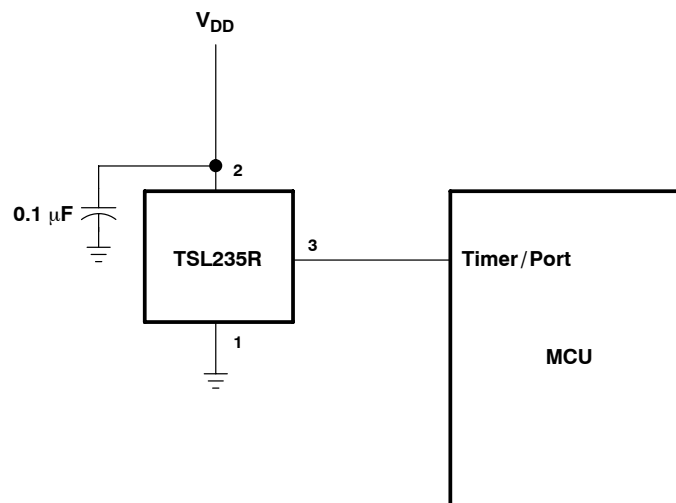


Figure 6. Typical TSL235R Interface to a Microcontroller

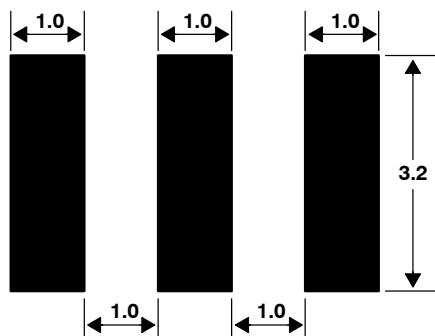
TSL235R LIGHT-TO-FREQUENCY CONVERTER

TAOS038E –SEPTEMBER 2007

APPLICATION INFORMATION

PCB Pad Layout

Suggested PCB pad layout guidelines for the SM surface mount package are shown in Figure 7.



NOTES: A. All linear dimensions are in millimeters.
B. This drawing is subject to change without notice.

Figure 7. Suggested SM Package PCB Layout

TSL235R LIGHT-TO-FREQUENCY CONVERTER

TAOS038E –SEPTEMBER 2007

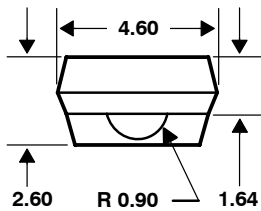
MECHANICAL DATA

The device is supplied in a clear plastic three-lead through-hole sidelooker package (S).

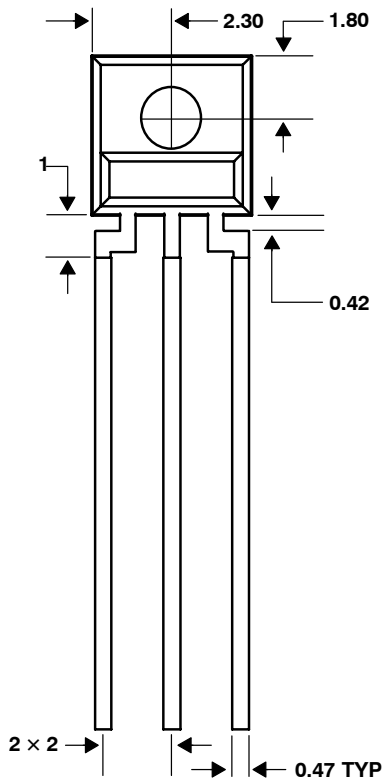
PACKAGE S

PLASTIC SINGLE-IN-LINE SIDE-LOOKER PACKAGE

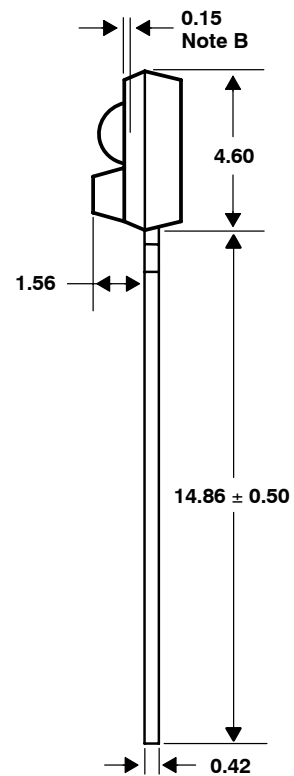
TOP VIEW



FRONT VIEW



SIDE VIEW



Lead Free
Available

- NOTES: A. All linear dimensions are in millimeters; tolerance is ± 0.25 mm unless otherwise stated.
 B. Dimension is to center of lens arc, which is located below the package face.
 C. The integrated photodiode active area is typically 0.92 mm^2 in size and is located in the center of the lens and 0.97 mm below the top of the lens surface.
 D. Index of refraction of clear plastic is 1.55.
 E. Lead finish for TSL235R: solder dipped, 63% Sn/37% Pb. Lead finish for TSL235R-LF: solder dipped, 100% Sn.
 F. This drawing is subject to change without notice.

Figure 8. Package S — Single-In-Line Side-Looker Package Configuration

TSL235R LIGHT-TO-FREQUENCY CONVERTER

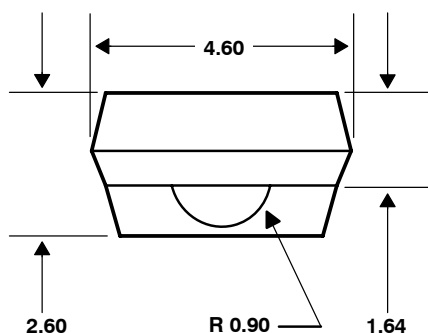
TAOS038E –SEPTEMBER 2007

MECHANICAL DATA

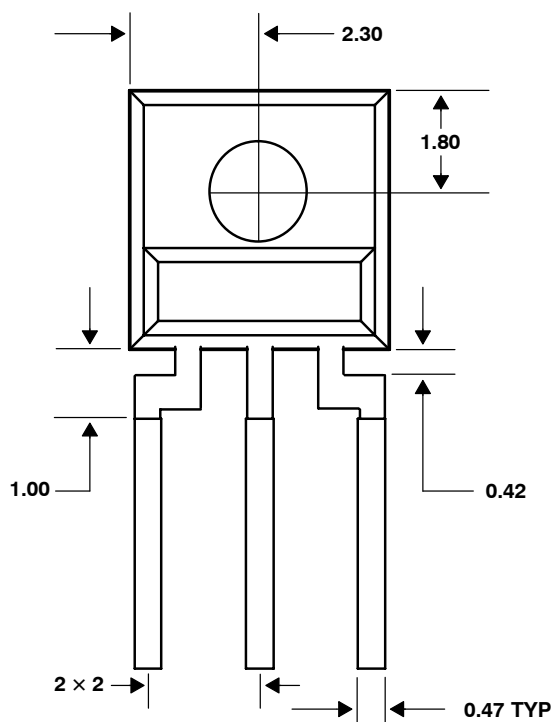
PACKAGE SM

PLASTIC SURFACE MOUNT SIDE-LOOKER PACKAGE

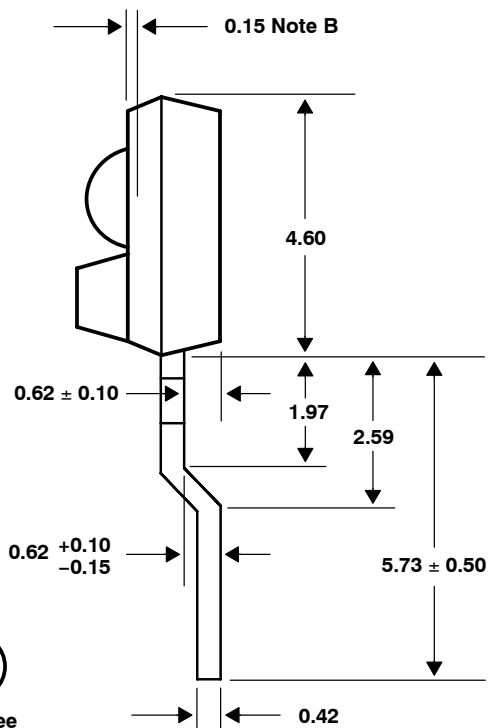
TOP VIEW



FRONT VIEW



SIDE VIEW



Lead Free

- NOTES: A. All linear dimensions are in millimeters; tolerance is ± 0.25 mm unless otherwise stated.
 B. Dimension is to center of lens arc, which is located below the package face.
 C. The integrated photodiode active area is typically located in the center of the lens and 0.97 mm below the top of the lens surface.
 D. Index of refraction of clear plastic is 1.55.
 E. Lead finish for TSL235RSM-LF: solder dipped, 100% Sn.
 F. This drawing is subject to change without notice.

Figure 9. Package SM — Surface Mount Side-Looker Package Configuration



TAOS

www.taosinc.com

TEXAS
ADVANCED
OPTOELECTRONIC
SOLUTIONS®

PRODUCTION DATA — information in this document is current at publication date. Products conform to specifications in accordance with the terms of Texas Advanced Optoelectronic Solutions, Inc. standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

LEAD-FREE (Pb-FREE) and GREEN STATEMENT

Pb-Free (RoHS) TAOS' terms *Lead-Free* or *Pb-Free* mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TAOS Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

Green (RoHS & no Sb/Br) TAOS defines *Green* to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material).

Important Information and Disclaimer The information provided in this statement represents TAOS' knowledge and belief as of the date that it is provided. TAOS bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TAOS has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TAOS and TAOS suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

NOTICE

Texas Advanced Optoelectronic Solutions, Inc. (TAOS) reserves the right to make changes to the products contained in this document to improve performance or for any other purpose, or to discontinue them without notice. Customers are advised to contact TAOS to obtain the latest product information before placing orders or designing TAOS products into systems.

TAOS assumes no responsibility for the use of any products or circuits described in this document or customer product design, conveys no license, either expressed or implied, under any patent or other right, and makes no representation that the circuits are free of patent infringement. TAOS further makes no claim as to the suitability of its products for any particular purpose, nor does TAOS assume any liability arising out of the use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages.

TEXAS ADVANCED OPTOELECTRONIC SOLUTIONS, INC. PRODUCTS ARE NOT DESIGNED OR INTENDED FOR USE IN CRITICAL APPLICATIONS IN WHICH THE FAILURE OR MALFUNCTION OF THE TAOS PRODUCT MAY RESULT IN PERSONAL INJURY OR DEATH. USE OF TAOS PRODUCTS IN LIFE SUPPORT SYSTEMS IS EXPRESSLY UNAUTHORIZED AND ANY SUCH USE BY A CUSTOMER IS COMPLETELY AT THE CUSTOMER'S RISK.

LUMENOLOGY, TAOS, the TAOS logo, and Texas Advanced Optoelectronic Solutions are registered trademarks of Texas Advanced Optoelectronic Solutions Incorporated.

TSL235R LIGHT-TO-FREQUENCY CONVERTER

TAOS038E –SEPTEMBER 2007

