



BRUNO VICENTINI

**PROTÓTIPO PORTÁTIL PARA ANALISAR SEMENTES POR
BIOSPECKLE LASER: VALIDAÇÃO E PROPOSTAS DE
DESENVOLVIMENTO**

**LAVRAS-MG
2023**

BRUNO VICENTINI

**PROTÓTIPO PORTÁTIL PARA ANALISAR SEMENTES POR *BIOSPECKLE*
LASER: VALIDAÇÃO E PROPOSTAS DESENVOLVIMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Automação, área de concentração em Instrumentação, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Roberto Alves Braga Júnior
Orientador

Prof. Dr. José Eduardo Silva Gomes
Coorientador

Dra. Ellem Waleska Nascimento da Fonseca Contado
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2023**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Vicentini, Bruno.

Protótipo portátil para analisar sementes por *biospeckle laser* :
validação e propostas de desenvolvimento / Bruno Vicentini. -
2023.

44 p. : il.

Orientador(a): Roberto Alves Braga Júnior.

Coorientador(a): José Eduardo Silva Gomes, Ellem Waleska
Nascimento da Fonseca Contado.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Biospeckle laser. 2. Protótipo. 3. Validação. I. Braga Júnior,
Roberto Alves. II. Silva Gomes, José Eduardo. III. Fonseca
Contado, Ellem Waleska Nascimento da. IV. Título.

BRUNO VICENTINI

**PROTÓTIPO PORTÁTIL PARA ANALISAR SEMENTES POR *BIOSPECKLE*
LASER: VALIDAÇÃO E DESENVOLVIMENTO**

**PORTABLE PROTOTYPE TO ANALYZE SEEDS BY BIOSPECKLE LASER:
VALIDATION AND DEVELOPMENT**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Automação, área de concentração em Instrumentação, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 18/01/2023.

Prof. Dr. José Luís Contado	UFLA
Prof. Dr. José Eduardo Silva Gomes	CEFET/VGA
Prof. Dr. Edvaldo Aparecido Amaral da Silva	UNESP/FCA

Prof. Dr. Roberto Alves Braga Júnior
Orientador

Prof. Dr. José Eduardo Silva Gomes
Coorientador

Dra. Ellem Waleska Nascimento da Fonseca Contado
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2023**

Ao meu querido mentor espiritual e a minha avó Eunice, que seguem meus passos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, inteligência suprema e causa primeira de todas as coisas.

Ao Professor Roberto Alves Braga Júnior, por sua dedicação, paciência e extrema boa vontade em compartilhar seus conhecimentos. À Doutora Ellem Waleska Nascimento da Fonseca Contado, pela fundamental participação.

Aos professores da Universidade Federal de Lavras (UFLA) que contribuíram e contribuem para o desenvolvimento deste programa.

À Universidade Federal de Lavras, ao Centro de Desenvolvimento de Instrumentação Aplicada à Agropecuária – CEDIA (Departamento de Automática – DAT/EENG), ao Laboratório de Sementes Florestais (Departamento de Ciências Florestais – DCF/ESAL), ao Laboratório Central de Pesquisa em Sementes (Departamento de Agricultura – DAG/ESAL) e a Faculdade de Ciências Agrônômicas (UNESP/Botucatu).

Àqueles que contribuíram para que esse trabalho fosse realizado: Fabiano José Ferreira, José Luis Contado, José Eduardo Silva Gomes, Alcebíades Fogaça de Souza Sobrinho, Edvaldo Aparecido Amaral da Silva, Jaqueline Pereira Januário, João Levi de Bastos Fernandes, Júlio César Silva e Davidson Silveira e Silva.

Muito obrigado!

“Na ausência de fatos, a dúvida é a opinião do sábio.” (Allan Kardec)

RESUMO

A técnica denominada de *Biospeckle Laser (BSL)* consiste no uso do *speckle laser* dinâmico para a determinação e/ou avaliação do nível de atividade em material biológico. As análises realizadas através da técnica *BSL* baseiam-se na iluminação do material a ser estudado, utilizando um aparato óptico instalado em laboratórios de instrumentação e/ou física óptica. Algumas limitações para seu uso fora dos laboratórios são: vibrações mecânicas, interferência luminosa externa e o volume ocupado em um *setup* tradicional. Com o intuito de realizar esta análise a campo foi desenvolvido um equipamento miniaturizado, ou seja, um protótipo portátil para analisar sementes. O objetivo deste trabalho foi o de validar esse protótipo portátil desenvolvido para executar a técnica *BSL* em campo, comparando os resultados das análises de sementes de soja viáveis e envelhecidas artificialmente, realizadas em um *setup* laboratorial tradicional e no protótipo portátil. Também foi objetivo propor melhorias construtivas e ergonômicas que contribuam para o aprimoramento e desenvolvimento desse protótipo.

Palavras-chave: *Biospeckle Laser*. Protótipo. Validação.

ABSTRACT

The technique called Biospeckle Laser (BSL) consists of using a dynamic speckle laser for determining and/or evaluating the activity level in biological material. The analyzes carried out using the BSL technique are based on the lighting of the material to be studied, using an optical apparatus installed in instrumentation and/or optical physics laboratories. Some limitations for its uses outside the laboratory are: mechanical vibrations, external light interference, and the volume occupied in a traditional setup. In order to carry out this analysis in the field, a miniaturized equipment was developed, which is, a portable prototype to analyze seeds. The objective of this work was to validate this portable prototype developed to execute the BSL technique in the field, comparing the results of the analyzes of viable and artificially aged soybean seeds, carried out in a traditional laboratory setup and in the portable prototype. It was also intended to propose constructive and ergonomic improvements that contribute to the improvement and development of this prototype.

Keywords: Biospeckle Laser. Prototype. Validation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – <i>THSP</i>	18
Figura 2 – <i>Setup</i> tradicional	23
Figura 3 – Protótipo portátil	24
Figura 4 – <i>Speckle quality test</i>	27
Figura 5 – <i>Graphic AVD</i> - Semente viáveis no <i>setup</i> tradicional e no protótipo portátil ..	30
Figura 6 – <i>Graphic AVD</i> - Semente envelhecidas artificialmente no <i>setup</i> tradicional e no protótipo portátil	31
Figura 7 – <i>Graphic AVD</i> - Semente viável no <i>setup</i> tradicional e no protótipo portátil ...	32
Figura 8 – <i>Speckle quality test</i> - <i>setup</i> tradicional e no protótipo portátil	33
Figura 9 – Matrizes de coocorrência	33
Figura 10 – Proposta de gabinete	35
Figura 11 – Proposta de dispositivo inercial	35
Figura 12 – Obtenção de imagem sem obturador e com obturador	36
Figura 13 – Distância da câmera à semente	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise de variância e Teste de Tukey	28
Tabela 2 – Resultados das análises de sementes viáveis	29
Tabela 3 – Resultados das análises de sementes envelhecidas artificialmente	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivos	13
1.1.1 Objetivo geral	13
1.1.2 Objetivos específicos	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Métodos de processamento do <i>BSL</i>	16
2.1.1 Métodos numéricos	16
2.1.1.1 Diferença dos valores absolutos (<i>AVD</i>)	16
2.1.1.2 Matriz de coocorrência (<i>MCO</i>)	17
2.1.1.3 <i>Time history speckle pattern (THSP)</i>	18
2.1.2 Método gráfico	18
2.2 Protótipo portátil para executar a técnica <i>BSL</i> em campo.....	19
2.3 Sementes de soja	20
2.4 Análise de viabilidade e de vigor em sementes de soja	21
2.5 Descrição do <i>setup</i> tradicional	22
2.6 Descrição do protótipo portátil	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 Amostras	25
3.2 Ensaio preliminares	25
3.3 Aquisição das imagens	26
3.4 Processamento das imagens	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1 Validação do protótipo portátil	28
4.2 Resultados de <i>GAVD</i> que indicam necessidade de maior aprofundamento em pesquisas futuras	32
4.3 Propostas de melhorias e desenvolvimento para o protótipo portátil	34
5 CONCLUSÃO	37
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	37
REFERÊNCIAS	39
APÊNDICE	43

1 INTRODUÇÃO

A técnica *Biospeckle Laser (BSL)* consiste no uso do fenômeno denominado de *speckle laser* dinâmico para a determinação e/ou avaliação de atividade em material biológico.

As aplicações nas áreas agrícola e alimentar são numerosas, sendo alguns exemplos: medição da motilidade do espermatozoide de touro, análise de sementes, monitoramento do crescimento de raízes e análise da qualidade de carnes, assim, essas aplicações demonstram o potencial da técnica.

As análises *BSL* são realizadas por meio de uma montagem óptica composta de: mesa inercial, para minorar vibrações mecânicas; *laser*, para iluminar a amostra de interesse; lentes, para operações diversas, tais como a abertura e o direcionamento do feixe *laser*, bem como a redução de sua intensidade; câmera digital, para realizar a captura das imagens; computador para comunicar com a câmera e para realizar o armazenamento e o processamento das imagens por meio de *software* matemático dedicado.

Embora seja uma técnica consagrada em diversas áreas, a mesma apresenta algumas limitações para sua maior difusão, sendo elas: as vibrações mecânicas presentes nos ambientes, a interferência de luz externa e a dimensão das montagens (*setup*).

Por outro lado, o desenvolvimento da eletrônica digital permitindo o surgimento de câmeras digitais portáteis viabilizou a construção de equipamentos portáteis. A estabilidade e a redução considerável de tamanho de *lasers* de estado sólido também contribuíram para a redução do tamanho das montagens.

Na literatura científica, os trabalhos evidenciam iniciativas de uso de dispositivos que demandem menor espaço físico. No Centro de Desenvolvimento de Instrumentação Aplicada à Agropecuária - CEDIA, na Universidade Federal de Lavras - UFLA, foi desenvolvido um protótipo portátil, de tamanho reduzido e que possibilita executar a técnica *BSL* em campo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Validar o protótipo portátil desenvolvido no CEDIA-UFLA para executar a técnica *BSL* em campo.

1.1.2 Objetivos específicos

- i. Comparar os resultados das análises de 229 sementes de soja viáveis realizadas no *setup* tradicional e no protótipo portátil.
- ii. Comparar os resultados das análises de 229 sementes de soja envelhecidas artificialmente realizadas no *setup* tradicional e no protótipo portátil.
- iii. Propor melhorias construtivas e ergonômicas que contribuam para o aprimoramento/desenvolvimento desse protótipo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Quando uma luz coerente é refletida de uma superfície áspera ou se propaga através de um meio com flutuações aleatórias do índice de refração, *speckle* é o nome dado ao padrão de distribuição de intensidade aleatória dessa luz. Tais padrões são claramente visíveis mesmo para o observador casual quando uma luz *laser* altamente coerente é usada. Em geral, as propriedades dos padrões de *speckle* dependem tanto da coerência da luz incidente quanto das propriedades da superfície ou meio (ENNOS, 1975).

Laser (acrônimo inglês para *light amplification by stimulated emission of radiation*, ou seja, amplificação de luz por emissão estimulada de radiação), é um dispositivo que produz radiação eletromagnética com características muito específicas: monocromática (possui comprimento de onda bem definido), coerente (todos os fótons que compõem o feixe emitido estão em fase) e colimada (propaga-se como um feixe de ondas praticamente paralelas).

O padrão *speckle* é alterado em função da atividade do material iluminado e, o efeito visual, capturado pela câmera, é um fervilhamento no qual ocorrem mudanças no tamanho e na intensidade luminosa dos grãos. Esse fenômeno, que é conhecido como *speckle laser* dinâmico, quando aplicado a material biológico recebe o nome de *biospeckle laser* (GOMES, 2021).

As principais vantagens da tecnologia de luz *laser* comparadas a outras técnicas ópticas são a de que a luz *laser* tem o potencial de retratar regiões biologicamente ativas da amostra medindo a variação de interferência de luz e fornecer informações que permanecem imperceptíveis para técnicas multi espectrais ou observação humana (SUTTON; PUNJA, 2017).

A informática e as áreas de tecnologia, como um todo, evoluíram consideravelmente nos últimos anos. Desde a criação do primeiro computador, o ENIAC em 1946, até os dias de hoje, o mundo passou por muitas etapas e transformações. Os equipamentos passaram pelo processo de miniaturização e hoje comportam mais funções em menos espaço. Houve também aumento considerável na velocidade de processamento dos computadores, bem como na ampliação da capacidade de armazenamento de dados (SOUZA et al., 2019).

Outra vantagem da miniaturização é a de proporcionar a portabilidade dos dispositivos, tornando possível o monitoramento ambiental *in situ* e em tempo real (PIASSALONGA, 2022).

De acordo com Gomes (2021), são poucos os trabalhos que abordam a portabilidade de sistema de análises *BSL*. Comercialmente, poucos equipamentos que realizam esse tipo de análise estão disponíveis no mercado, sendo mais específicos para avaliação de secagem de tinta e monitoramento de fluxo sanguíneo (PEREZ, 2018).

Ao contrário dos aparelhos convencionais, ditos estáticos, é considerado portátil aquele equipamento cujas dimensões compactas e a miniaturização de seus componentes permitem que o mesmo possa ser carregado manualmente, isto é, sem a necessidade de bancadas que lhe deem suporte para deslocamento (BELO, 2018).

O *setup* laboratorial tradicional para implementar a técnica *BSL* ocupa uma área de espaço físico que varia de 0,25 a 2,0 m², limitando muito o uso da técnica a laboratórios ópticos e dificultando seu uso de forma mais abrangente. No CEDIA, a mesa inercial na qual o *setup* tradicional utilizado para este trabalho, está instalado, mede 1,62 x 1,82 m². Somente essa característica, já é um impedimento à sua portabilidade. Diante do exposto, foi projetado e construído um protótipo analisador de sementes, sendo este, um equipamento compacto, portátil e dedicado às análises da viabilidade e vigor em diferentes tipos de sementes (GOMES, 2021).

As principais limitações da técnica *biospeckle laser* são a falta de um padrão e também a ausência de equipamentos comerciais dedicados à agricultura para desenvolver um método generalizado para a medição da atividade biológica. Quanto à questão de *hardware*, pode-se citar: a estabilidade do *laser* e ajustes de câmeras como limitações (PANDISELVAM et al., 2020). Trata-se de uma técnica muito sensível a ruídos externos, tais como vibrações mecânicas (CASTRO et al., 2022).

A técnica do *biospeckle laser*, baseada no uso do *laser* e da óptica, pode ser uma alternativa com grande potencial para a análise de sementes, uma vez que permite análises não destrutivas, eliminação da subjetividade e, redução de tempo e custos. Cita-se como exemplos as publicações de Braga Júnior (2000), Rodrigues et al., (2007), Sutton e Punja (2017), e Singh et al., (2020) que dissertaram sobre a utilização dessa técnica para análises de sementes e apresentaram resultados consistentes.

2.1 Métodos de processamento do *BSL*

O fenômeno do *Biospeckle Laser* pode ser estudado por meio de muitas técnicas e, na literatura existem diversos trabalhos tratando-o de forma numérica ou gráfica. Nesse sentido, o projeto Biblioteca de Ferramentas para o *BSL*, a *BSL Tool Library (BSLTL)*, é uma solução com *software* gratuito e proprietário, baseada no processamento digital de imagens do *BSL* (BRAGA; RIVERA; MOREIRA, 2016).

2.1.1 Métodos numéricos

Utiliza-se os métodos numéricos quando se deseja quantificar o nível de atividade biológica em uma Região de Interesse - *ROI* (BRAGA JÚNIOR et al., 2012; BRAGA JÚNIOR; RIVERA, 2016). A construção um Padrão Temporal do Speckle – *Time History Speckle Pattern (THSP)* de ordem (M x N) é feita pela escolha aleatória de pontos quaisquer da coleção de imagens em uma *ROI*.

A partir da construção da (*THSP*), é feita Matriz de Coocorrência (MCO ou COM) na qual é observada a coocorrência de níveis de cinza entre 0-255 e, então é calculado o Momento de Inércia (MI) (BRAGA JÚNIOR; RIVERA, 2016).

2.1.1.1 Diferença dos valores absolutos (*AVD*)

O método denominado Diferença dos valores absolutos (*AVD*) indica com que frequência ocorreram mudanças bruscas de intensidade na matriz (*THSP*).

As Equações 1 e 2 representam o AVD_1 e sua respectiva normalização:

$$AVD_1 = E[|i - j|] \quad (1)$$

$$E[|i - j|] = \sum_{ij} \frac{COM(i, j)}{\sum_{lm} COM(l, m)} |i - j| \quad (2)$$

As Equações 3 e 4 representam o AVD_2 e sua respectiva normalização:

$$AVD_2 = E[(i-j)^2] \quad (3)$$

$$E[(i-j)^2] = \sum_{ij} \frac{COM(i,j)}{\sum_{lm} COM(l,m)} (i-j)^2 \quad (4)$$

As Equações 5 e 6 representam o AVD_3 e sua respectiva normalização:

$$AVD_3 = Var[|i-j|] \quad (5)$$

$$Var[|i-j|] = E[(i-j)^2] - E[|i-j|]^2 \quad (6)$$

As Equações 7 e 8 representam o AVD_4 e sua respectiva normalização:

$$AVD_4 = E_{Ariz.}[|i-j|] \quad (7)$$

$$E_{Ariz.}[|i-j|] = \sum_{ij} \frac{COM(i,j)}{\sum_m COM(i,m)} |i-j| \quad (8)$$

Com o AVD_4 fica melhor caracterizado os fenômenos que produzem atividade com padrão de *speckle* representado pela normalização de cada linha, em que o valor de normalização será a soma das ocorrências por linha, que evoluem mais lentamente do que quando comparados com a intensidade das variações dos grãos do *speckle* (ARIZAGA; TRIVI; RABAL, 1999).

2.1.1.2 Matriz de Coocorrência (MCO)

Aplicada à análise numérica do padrão de *speckle*, é utilizada como passo intermediário no cálculo dos valores finais, que expressa o número de transições de cada *pixel* da imagem *THSP* (RABAL; BRAGA JÚNIOR, 2009). A Equação 9 é a representação matemática da MCO.

$$MCO|_{i,j} = N_{ij} \quad (9)$$

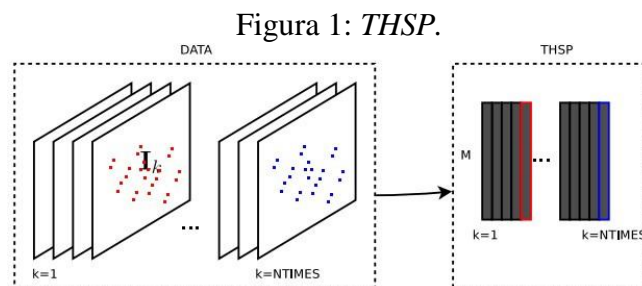
Em que:

$MCO[i,j]$: representa o valor do *pixel* na *i*-ésima linha e *j*-ésima coluna, variando de 0 a 255 tons de cinza;

$N_{i,j}$: número de vezes que a variação da intensidade do nível de cinza ocorre de i a j na imagem (*THSP*) analisada. Essa variação é um passo, indicando que i é imediatamente seguido por j , na faixa de 0 a 255.

2.1.1.3 Time History Speckle Pattern (*THSP*)

THSP é base para a construção da matriz de coocorrência e também uma forma de obter informações ao longo do tempo do processo analisado, em que quadros susceptíveis de imagens são capturados. Imagens *THSP* são matrizes $M \times N$ de 2D construídas em escala de cinza de 8 *bits*, variando de 0 (preto) ao (branco) 255, para representar os valores dos *pixels*, em que M representa o número de pontos selecionados aleatoriamente na primeira imagem, mantendo a mesma posição nas demais; N representa o número de imagens ao longo do tempo. O conjunto de pontos será representado nas linhas da matriz (Figura 1) (BRAGA JÚNIOR; RIVERA, 2016).



Fonte: (BRAGA JÚNIOR; RIVERA, 2016).

2.1.2 Método gráfico

O método gráfico denominado *GAVD* vem a ser a implementação do Valor Absoluto das Diferenças – *AVD*, para cada *pixel* da matriz 3D, com a normalização de coocorrência porposta por Cardoso e Braga (2014). O *GAVD* utiliza como dados de entrada, a matriz 3D (*DATA*) criada por meio do agrupamento de matrizes de intensidade $\mathbf{I}_k \equiv \text{DATA}(:, :, k)$, $1 \leq k \leq \text{NTIMES}$. A Equação 10 é a representação matemática do *GAVD*.

$$GAVD = E[|\mathbf{I}_k - \mathbf{I}_{k+1}|] = \frac{1}{\text{NTIMES} - 1} \sum_{k=1}^{\text{NTIMES}-1} |\mathbf{I}_k - \mathbf{I}_{k+1}| \quad (10)$$

2.2 Protótipo portátil para executar a técnica *BSL* em campo

De acordo com Braga Jr. (2014), nas ciências agrárias a técnica *BSL* já foi aplicada na realização de vários trabalhos que avaliaram sementes, folhas, solos e sêmen animal, no entanto não existem equipamentos disponíveis comercialmente para realizar tais aplicações nos ambientes de localização das amostras.

Foi apresentado por Botega (2009), uma proposta de protótipo para análise *biospeckle laser* objetivando a mensuração do teor de água em folhas de café. O equipamento mostrou eficácia na medição de atividade biológica na folha, com potencial para utilização em campo. Uma sequência foi dada a esse trabalho por Araújo (2018), que desenvolveu um protótipo portátil para quantificar o teor de água em folhas de citros.

Foi trazido por Pérez et al., (2018) uma proposta de equipamento portátil que buscou, dentre outros objetivos, avaliar as características de secagem de substâncias protetivas utilizadas em tratamentos de conservação e restauração de pinturas de obras de arte. Tal característica de portabilidade é fundamental em função dos custos de se deslocar uma grande obra de arte, em processo de restauração até um laboratório.

Na agricultura, pode-se citar o *SmartSPAD*, um equipamento que tem como objetivo estimar o teor de clorofila em uma folha de milho, o que indica a saúde da planta e otimiza a administração do manuseio do cultivo. O processo de captura da imagem é diferente do que simplesmente capturar uma foto, pois nessa aplicação, o usuário deve colocar a folha de milho em contato direto com a câmera do *smartphone* para possibilitar a captura da luz que atravessa a folha de milho (VESALI et al., 2015). O método de medição é através da diferença de densidade óptica em dois comprimentos de onda. Não utiliza a técnica *BSL*, mas é um exemplo de tendência de portabilidade na agricultura.

O uso do *smartphone* foi testado com sucesso como um dispositivo para capturar e processar as imagens do fenômeno do *laser speckle* dinâmico. Foi possível acessar funções para correção de *zoom*, ISO e balanço de branco que poderiam comprometer a análise pela técnica de Espalhamento Dinâmico de Luz (*Dynamic Light Scattering - DLS*), assim como foi testada com sucesso a capacidade de gravar vídeos e extrair seus quadros para serem analisados. O uso de alguns índices (gráficos e numéricos) dentro do *smartphone* foi testado apresentando resultados confiáveis rodando em curto espaço de tempo e sem pausas, o que é relevante em um equipamento portátil (CATALANO; RIVERA; BRAGA, 2019).

Os trabalhos citados anteriormente evidenciam o potencial para a aplicação em maior escala da técnica *BSL* fora do ambiente de laboratório. Assim, a portabilidade produzida pelo

protótipo portátil (*setup* miniaturizado) vai de encontro a uma necessidade mercadológica, bem como a uma tendência natural, onde vários serviços que seriam realizados de forma centralizada em um local, ganham, a possibilidade de serem realizados em seus locais originais.

Foi realizado por Vieira e Braga (2022), uma revisão sistemática de 91 artigos acerca do desenvolvimento tecnológico do *Biospeckle Laser*. Esses artigos foram selecionados à partir de 245 artigos que citavam a técnica. Essa revisão demonstrou que o estado da arte do *BSL* ainda não foi levado para fora do ambiente de pesquisa e, que o maior desafio é possibilitar a aplicação da técnica *BSL* em campo.

Assim, a validação por meio da análise comparada, do protótipo portátil desenvolvido para analisar sementes poderá trazer uma relevante contribuição para a realização de análises rápidas, seguras e econômicas, através da técnica *BSL* executada em campo.

2.3 Sementes de soja

A soja (*Glycine max*) é uma das mais importantes culturas na economia mundial. Seus grãos são muito utilizados pela agroindústria (produção de óleo vegetal e rações para alimentação animal), indústria química e de alimentos. Também adquiriu relevante importância fonte alternativa de biocombustível (FREITAS, 2011).

Os números da soja (safra 2020/21) foram:

- Produção no mundo: 362,947 milhões de toneladas / área plantada: 127,842 milhões de hectares. Produtividade: 2,839 kg/hectare (USDA, 2021).

Os números da soja no Brasil (safra 2020/21) foram:

- Produção: 135,409 milhões de toneladas / área plantada: 38,502 milhões de hectares. Produtividade: 3,517 kg/hectare (CONAB, 2021).

Com base nos dados anteriormente citados, percebe-se tanto a importância da produção de soja no Brasil, para o mundo, quanto a eficiência desta produção, que no Brasil é superior a média dos Estados Unidos, quando avaliada em kg/hectare.

A soja constitui, atualmente, assunto de intensa atividade de pesquisa orientada para a obtenção de informações que possibilitem aumentos de produtividade. Nesse contexto, a utilização de sementes de alta qualidade constitui-se em uma ferramenta de extrema importância para o agricultor (SCHEEREN et al., 2010).

De acordo com Yasmin et al., (2019), as sementes podem ser avaliadas quanto a sua qualidade, através dos níveis de viabilidade e vigor, uma vez que são fatores que

influenciam no rendimento das culturas em campo. A viabilidade pode ser definida como a mensuração das sementes vivas capazes de se transformarem em plantas, já vigor, é uma característica mais complexa, uma vez que ele determina o potencial de rápida emergência e desenvolvimento uniforme das plântulas, sob diversa amplitude de condições em campo (RAJJOU et al., 2012).

Esses fatores respondem pelo desempenho da semente no campo, culminando com o estabelecimento da população de plantas requerida pela cultivar, aspecto fundamental que contribui para que sejam alcançados níveis altos de produtividade (NETO; KRZYZANOWSKI; HENNING, 2010).

A viabilidade das sementes tem uma grande influência não somente no número de plântulas normais produzidas, mas também na velocidade de emergência; com a diminuição do poder germinativo há uma redução na taxa de crescimento das plantas, evidenciando o efeito do vigor da semente no desenvolvimento das plântulas (SÁ, 1987).

O uso de sementes de alto vigor é justificado em todas as culturas, para assegurar adequada população de plantas sobre uma ampla variação de condições ambientais de campo encontradas durante a emergência, e possibilitar aumento na produção quando a densidade de plantas é menor do que a requerida (SCHEEREN et al., 2010).

2.4 Análise de viabilidade e de vigor em sementes de soja

A análise de sementes é balizada internacionalmente pela *The International Seed Testing Association - ISTA*, associação fundada em 1924 com a finalidade de produzir regras acordadas internacionalmente para amostragem e teste de sementes, credenciar laboratórios, promover pesquisas, fornecer certificados e treinamentos internacionais de análise de sementes e disseminar conhecimento em ciência e tecnologia de sementes. Assim, objetiva facilitar o comércio de sementes e contribuir para a segurança alimentar (ISTA, 2022).

No Brasil, em 1967 o Ministério da Agricultura, oficializou as "Regras para Análise de Sementes - RAS", que determinava sua obrigatoriedade no comércio nacional de sementes. Essas regras foram baseadas nas regras adotadas pela Associação Internacional de Análise de Sementes - *ISTA*, juntamente com as Regras da Associação Norte-Americana de Analistas de Sementes, com a finalidade de melhor atender, tanto quanto possível, as possibilidades dos laboratórios de análise de sementes existentes no país. As Regras para Análise de Sementes especificam métodos padrões e definições para o comércio

internacional sendo por esse motivo, extremamente necessário um alto nível de acuidade e repetibilidade (LOPES; NASCIMENTO, 2009).

O teste de tetrazólio é um dos testes que se destaca para a avaliação da qualidade fisiológica das sementes devido a quantidade de informações que o mesmo pode apresentar, por meio dos índices de viabilidade e de vigor, além de propiciar o diagnóstico dos possíveis problemas de qualidade das sementes, como os danos mecânicos, danos causados por insetos, por intempéries pré-colheita e de deterioração durante armazenamento. O desenvolvimento do teste teve seus primórdios no final do século XIX, com grande evolução em seus conceitos e métodos no século XX. O teste mede, indiretamente, os processos de respiração que ocorrem nas mitocôndrias das células componentes dos tecidos das sementes. A reação de redução da solução do sal de tetrazólio sob a ação das enzimas desidrogenases resulta no trifenilformazan, que apresenta a coloração vermelho carmin e, por meio da interpretação dos padrões de coloração, são identificados os índices de viabilidade, de vigor e dos principais problemas que podem afetar a qualidade das sementes (FRANÇA-NETO; KRZYZANOWSKI, 2019).

O teste do tetrazólio já está mais do que consagrado devido a avaliação individual de sementes, estimando com precisão a qualidade do lote. No entanto, apresenta como grande desvantagem a necessidade de analistas altamente especializados e demorada execução (BARBOSA, 2011).

Em trabalhos com germinação de sementes de café, foi observado que os resultados obtidos através do *BSL* eram tão eficientes quanto os resultados do tetrazólio, com a vantagem de não serem destrutivos e expressarem os resultados quase em tempo real (VIVAS, 2016).

A técnica *BSL* é baseada na análise da dispersão da luz *laser* incidente na superfície do material biológico no decorrer do tempo, este método é sensível aos processos metabólicos das células, que no caso de sementes, pode-se relacionar com análises tradicionais, por exemplo o teste de tetrazólio, que também é sensível aos processos metabólicos ocorridos nas sementes (SOBRINHO, 2018).

2.5 Descrição do *setup* tradicional

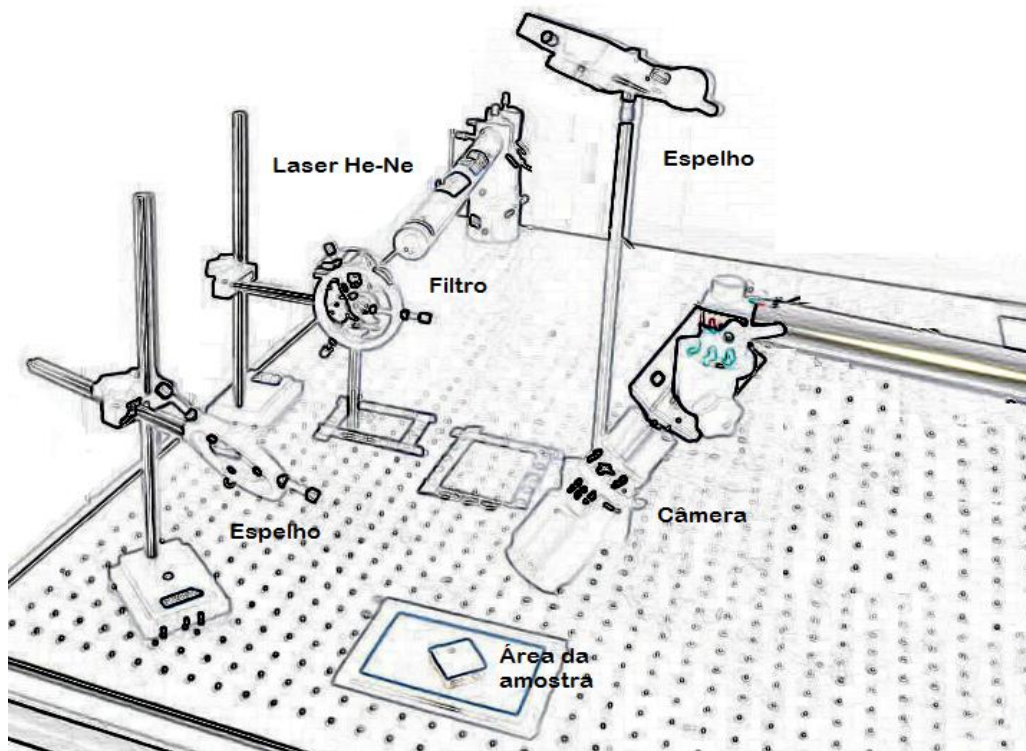
A bancada onde foram capturadas as imagens é composta de uma câmera CCD, com resolução de 640 x 486 *pixels* e velocidade do obturador de 1/60 s, a fonte de luz coerente é um laser Hélio-Neônio (HeNe) com comprimento de onda e potência de 632 nm e 10 mW

respectivamente, um filtro neutro para controle da luminosidade do *laser* na semente e uma lente dispersora de luz.

Todo esse arranjo é envolto por uma câmara de isolamento luminoso composto por placas de PVC. A mesa inercial onde o *setup* está montado apresenta 1,82 m de largura e 1,72 m de comprimento, totalizando 3,13 m². O volume ocupado por esse *setup* é de 6,99 m³.

Na Figura 2 está demonstrado o *setup* tradicional utilizado durante o experimento.

Figura 2: *Setup* tradicional.



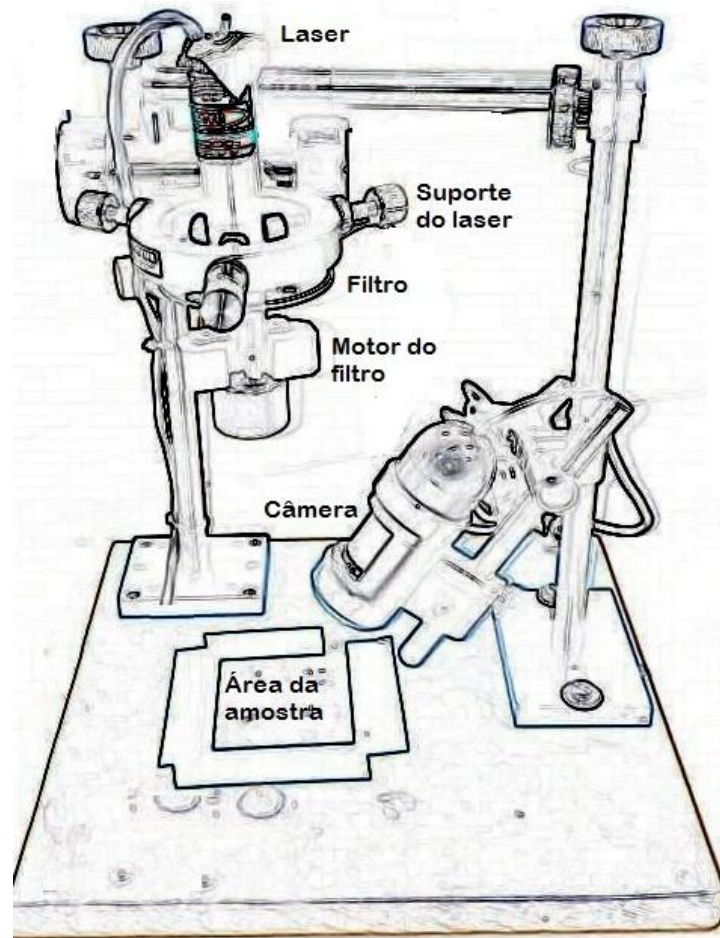
Fonte: (Do autor, 2022)

2.6 Descrição do protótipo portátil

O protótipo portátil é composto por: caixa de madeira (faz o papel de câmara de isolamento luminoso); fonte de alimentação do *laser* de diodo com comprimento de onda e potência de 635 nm e 5 mW respectivamente, bateria e regulador/limitador de tensão; câmera digital microscópica Dino Lite AM3013; filtro neutro variável; hastes de metal para suporte dos componentes; sistema de amortecimento de vibrações externo (espuma) e motorização do filtro neutro (Arduino Nano, *driver* para motor CC, motor de passo e *joystick*). Ocupa um volume de 0,04 m³.

Na Figura 3 está demonstrado o protótipo portátil (*setup*) utilizado durante o experimento.

Figura 3: Protótipo portátil.



Fonte: (Do autor, 2022)

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento ocorreu no Laboratório de Óptica N°5, pertencente ao Centro de Desenvolvimento de Instrumentação Aplicado à Agropecuária – CEDIA, localizado na Universidade Federal de Lavras – UFLA.

Foram feitas análises de 229 sementes de soja viáveis e, de 229 sementes envelhecidas artificialmente. Ao todo, 458 sementes em 916 iluminações. Todas as sementes foram preparadas, manuseadas e iluminadas pela mesma pessoa, no intuito de se minorar erros.

Foram 5 dias de experimento para sementes viáveis e, 3 dias para sementes não viáveis. A temperatura média nos primeiros 5 dias do experimento foi 22,22°C e a umidade média foi 51,55%. Já nos últimos 3 dias do experimento foi 22,92°C e a umidade média foi 57,83%.

3.1 Amostras

Em relação a amostra, é importante que a mesma possua tamanho adequado para os testes e, na qual estejam presentes os mesmos componentes do lote de sementes e em proporções semelhantes. É essencial que as amostras sejam cuidadosamente tomadas e em conformidade com os métodos estabelecidos nas presentes Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009).

As sementes utilizadas foram da cultivar MG/BR 46 - CONQUISTA, doadas pela Universidade Estadual Paulista - UNESP e, ficaram armazenadas no Laboratório de Sementes Florestais da UFLA, em câmara fria a temperatura de 8°C e umidade de 40%. Essa conservação teve o objetivo de retardar ao máximo o processo natural de perda de características intrínsecas ou degradação.

Para as sementes viáveis, bastava deixá-las 48 horas em temperatura ambiente antes de se iniciar o processo de embebição.

As sementes envelhecidas artificialmente, passaram pelo processo de envelhecimento precoce que se deu da seguinte maneira: as amostras foram acondicionadas em recipientes gerbox com 40% de água destilada e depois em estufa BOD a 42°C por 48 horas (DUTRA e Vieira, 2004).

3.2 Ensaio preliminares

Foram realizados ensaios preliminares com pequenas quantidades de sementes com os seguintes objetivos: ajuste e familiarização com o *setup* laboratorial e com o protótipo portátil, familiarização com os métodos de processamento das imagens e, familiarização com o processo de preparo das sementes.

3.3 Aquisição das imagens

Para a análise das sementes foi necessário retirá-las da câmara fria e deixá-las em temperatura ambiente por um período de 48 horas, para que as mesmas passassem pelo processo de aclimatização.

Passadas as 48 horas, as amostras eram embebidas em água destilada. O processo preparo das sementes foi desenvolvido por Sobrinho (2018), sendo uma adaptação para a técnica *BSL* à partir do *RAS*. O processo ocorreu assim:

1 – Uma folha de papel germitest que era cortada ao meio. Em seguida cada metade era pesada em uma balança de precisão. Anotado o peso, ficavam reservadas.

2 – Depois, coletava-se água destilada, fazendo uso de um conta gotas e de um recipiente de vidro. Nesse vidro era reservada uma quantidade de água de 2,5 vezes o peso obtido do papel germitest;

3 – Em seguida eram colocadas vinte sementes em cada metade do papel, dobrada e grampeada as pontas, sendo depois esse papel embebido em água destilada e, depois colocado dentro de um saco plástico para evitar seu ressecamento na estufa BOD;

4 – Em seguida as amostras preparadas eram acondicionadas em bandeja de plástico e colocadas na estufa BOD por um período de 12 horas com temperatura ajustada para a 25°C;

5 – Passadas as 12 horas, as sementes eram retiradas da estufa, do saco plástico, do papel germitest e colocadas em uma gerbox com água destilada para não sofrerem ressecamento;

6 – Cada semente era preparada individualmente para análise. Esse preparo consistia na retirada de seu tegumento e de um cotilédone, de forma a deixar apenas um juntamente com o eixo embrionário;

7 – Cada semente depois era conduzida para iluminação no *setup* tradicional para captação das imagens;

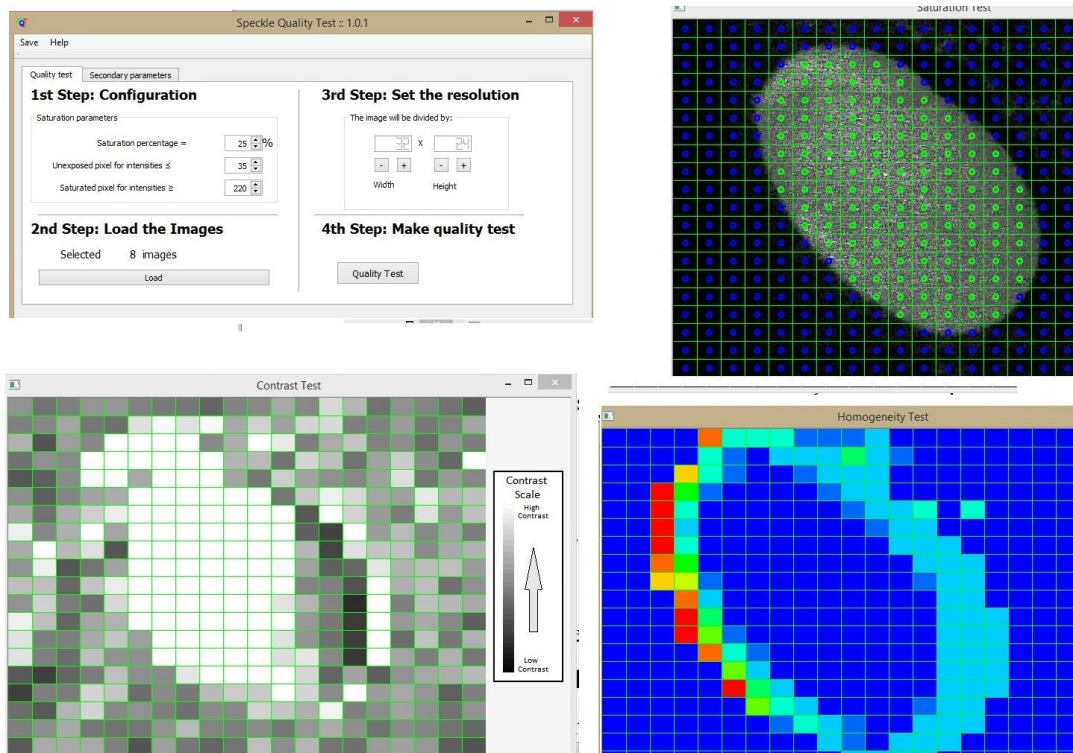
8 – Logo após, a mesma semente era transferida para o protótipo portátil, onde tinha suas imagens captadas para posterior análise.

Foram coletadas 128 imagens de cada semente, tanto no *setup* tradicional quanto no protótipo portátil. A amostragem foi composta por 458 sementes em 916 iluminações. Para a certificação da qualidade das imagens que eram obtidas, a cada 5 sementes iluminadas, era feito o teste das imagens no *software Speckle Quality Test*. Através deste era avaliada qualidade das imagens quanto a saturação, contraste e homogeneidade do *speckle*.

Para a aquisição das imagens no protótipo foi utilizado o *software Speckle Tool*, com avaliação constante do histograma para manter a iluminação o mais padronizada possível. Assim, baseado no padrão do histograma e dos resultados do *Speckle Quality Test* as imagens foram avaliadas quanto a qualidade do grão (*speckle*) e padrão de iluminação. Durante as iluminações objetivou-se manter um padrão na forma como as sementes eram posicionadas em ambos as montagens.

A Figura 4 mostra em sentido anti-horário a tela de menu, a tela com o resultado de contraste, a tela com o resultado de homogeneidade e a tela com resultado de saturação.

Figura 4: *Speckle quality test*.



Fonte: (Do autor, 2022)

3.4 Processamento das imagens

As imagens obtidas foram processadas através dos método matemático *AVD* e do método gráfico *GAVD*.

Para esse processamento foi utilizado o *software MATLAB*[®] (*MATrix LABoratory*), fazendo uso das equações disponíveis na *Biospeckle Laser Tool Library* que oferece as rotinas matemáticas necessárias para executar as análises numéricas e gráficas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Validação do protótipo portátil

Todas as imagens obtidas foram analisadas por meio do *AVD* (método numérico) e do *GAVD* (método gráfico). Os dados obtidos (*AVD*) foram analisados estatisticamente, por meio de Análise de Variância e Teste de Tukey com nível de significância 0.05 (Tabela 1), utilizando-se do *software* Sisvar 5.6.

Tabela 1: Análise de variância e Teste de Tukey.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	400072.407657	400072.407657	0.273	0.6014
VARIÁVEL	1	120543650.542952	120543650.542952	82.276	0.0000
TRATAMENTO*VARIÁVEL	1	4148427.115004	4148427.115004	2.831	0.0928
erro	912	1.336185494E+0009	1465115.673175		
Total corrigido	915	1.461277644E+0009			
CV (%) =	40.75				
Média geral:	2970.4745672	Número de observações:		916	

Análise do desdobramento de VARIÁVEL dentro de cada nível de: TRATAMENTO

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PROTÓTIPO	1	39983871.034823	39983871.034823	27.291	0.0000
TRADICIONAL	1	84708206.623133	84708206.623133	57.817	0.0000
Erro	912	1.336185494E+0009	1465115.673175		

Teste de Tukey para o desdobramento de VARIÁVEL dentro da codificação: PROTÓTIPO

DMS: 222.002594581134 NMS: 0.05

Média harmônica do número de repetições (r): 229
 Erro padrão: 79.9867803808779

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
ENVELHECIDA	2695.905903	a1
VIÁVEL	3286.840852	a2

Teste de Tukey para o desdobramento de VARIÁVEL dentro da codificação: TRADICIONAL

DMS: 222.002594581134 NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 229

Erro padrão: 79.9867803808779

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
ENVELHECIDA	2519.514812	a1
VIÁVEL	3379.636702	a2

Fonte: (Do autor, 2022)

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos por meio do processamento estatístico do *AVD* das sementes viáveis, no *setup* tradicional e no protótipo portátil.

Tabela 2: Resultados das análises de sementes viáveis.

Tipo de <i>setup</i>	Média	Resultado do teste
Tradicional	3379,636702	A1
Protótipo portátil	3286,840852	A1

Fonte: (Do autor, 2022)

Com base nos dados pode-se observar que as sementes viáveis no *setup* tradicional e no protótipo portátil apresentaram médias estatisticamente iguais. Assim é possível concluir que os equipamentos apresentaram resultados equivalentes nas análises.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos por meio do processamento estatístico do *AVD* das sementes envelhecidas artificialmente, no *setup* tradicional e no protótipo portátil:

Tabela 3: Resultados das análises de sementes envelhecidas artificialmente.

Tipo de <i>setup</i>	Médias	Resultado do teste
Tradicional	2519,514842	A1
Protótipo	2695,905903	A1

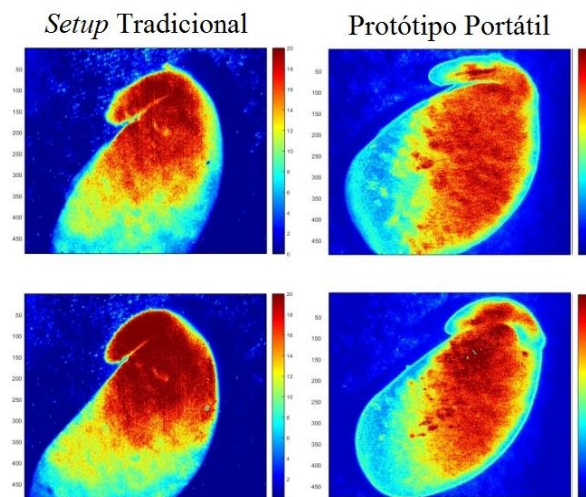
Fonte: (Do autor, 2022)

Com base nos dados pode-se observar que as sementes envelhecidas artificialmente no *setup* tradicional e no protótipo portátil apresentaram médias estatisticamente iguais. Assim é possível concluir que os equipamentos apresentaram resultados equivalentes nas análises.

Também é interessante observar a queda dos valores numéricos quando comparados os dois tipos de sementes. Como a técnica *BSL* avalia/mensura a atividade biológica, era esperado e foi confirmado que as sementes envelhecidas artificialmente apresentaram valores de *AVD* mais baixos que as viáveis.

Quanto ao método gráfico, foi utilizado o *GAVD* gaussiano com análise de 44100 pontos, obtidos através da seleção de um ponto central da ROI. Na Figura 5 estão apresentadas um conjunto de imagens obtidas quando da realização de análises *GAVD* de sementes viáveis obtidas no *setup* tradicional e no protótipo portátil:

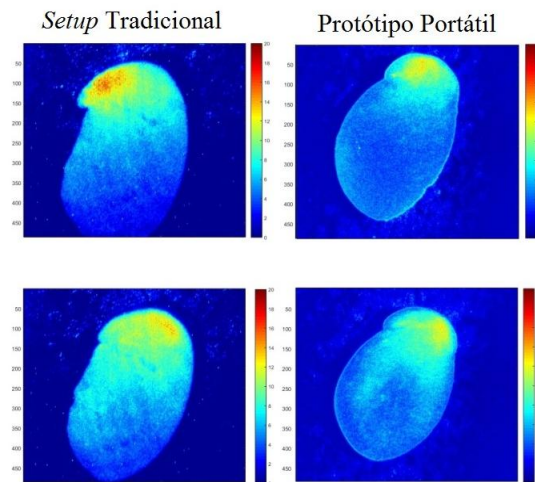
Figura 5: *Graphic AVD* - Sementes viáveis no *setup* tradicional e no protótipo portátil.



Fonte: (Do autor, 2022)

Na Figura 6 estão apresentadas um conjunto de imagens obtidas quando da realização de análises *GAVD* de sementes envelhecidas artificialmente no *setup* tradicional e no protótipo portátil:

Figura 6: *Graphic AVD* - Sementes envelhecidas artificialmente no *setup* tradicional e no protótipo portátil.



Fonte: (Do autor, 2022)

Com a realização das análises pelo método *GAVD* foi possível observar uma coerência nos resultados observados tanto no *setup* tradicional, quanto no protótipo portátil. Os resultados dos experimentos realizados com o protótipo portátil por Gomes (2021) demonstraram que foi possível criar mapas de atividades das sementes, nos quais puderam ser visualizadas as regiões de maior atividade biológica nas sementes de soja, também, a partir das imagens capturadas foi possível realizar análises numéricas nessas áreas.

As atividades biológicas observadas nas figuras evidenciam coerência e semelhança de padrões. Enquanto na Figura 5 percebe-se alta atividade biológica, o que era de se esperar, uma vez que se tratam de sementes viáveis, na Figura 6 é nítida a redução da atividade biológica, o que era esperado, já que se tratam de sementes envelhecidas artificialmente.

Azevedo (2018), avaliou efeitos da aplicação de um campo magnético constante sobre a germinação de sementes de café (*Coffea arabica L.*). As análises foram realizadas por *Biospeckle Laser (BSL)* consorciadamente aos testes tradicionais de viabilidade de sementes. As imagens obtidas pelo *Biospeckle Laser* foram processadas e, em seguida, os resultados dos níveis de atividade da semente foram posteriormente comparados com os dados obtidos pela análise fisiológica tradicional de sementes (RAS). Com os resultados obtidos concluiu-se sobre eficácia da técnica *BSL* na verificação de atividade embrionária diferenciada, proporcionada pela magnetização das sementes. Vivas (2015), ao comparar os resultados do *biospeckle* com os do teste de germinação, bem como com os do teste de tetrazólio, verificou

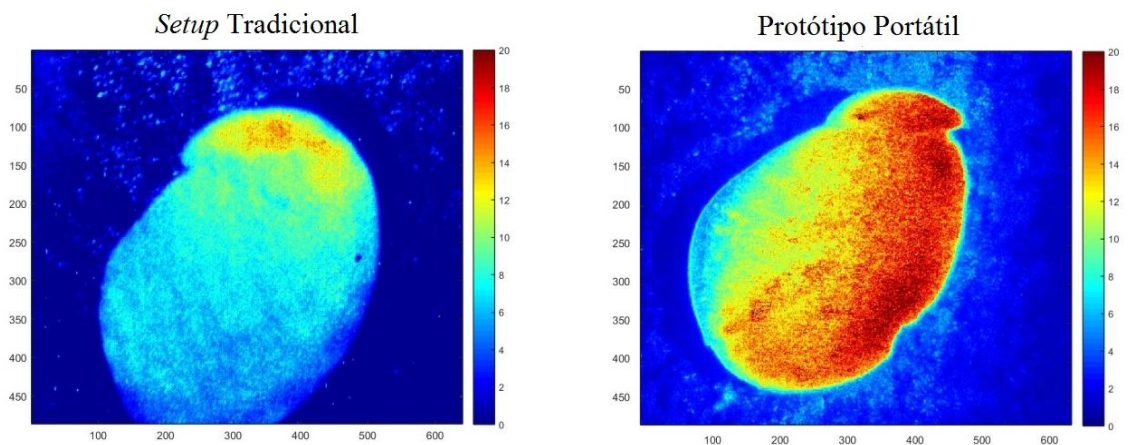
que a atividade registrada pelo *biospeckle laser* se mostrou como um bom parâmetro para detecção não invasiva e antecipada da qualidade de sementes de café.

Em relação às imagens, cabe ressaltar que as mesmas foram obtidas na mesma resolução, no entanto, a câmera do *setup* no protótipo portátil não possui obturador, uma vez que trata-se de uma câmera digital microscópica portátil. Desse modo foi possível observar uma clara diferença na qualidade dos grãos. Assim, caberá avaliação em um trabalho futuro da possibilidade de se adicionar um obturador à câmera do protótipo portátil, com a intenção de se avaliar uma possível melhora da qualidade dos grãos na imagem.

4.2 Resultados de *GAVD* que indicam necessidade de maior aprofundamento em pesquisas futuras

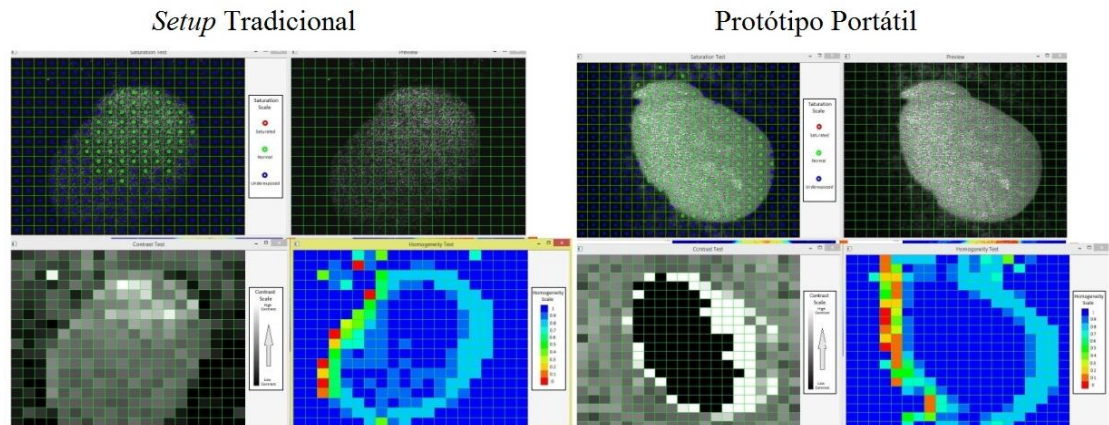
Durante a análise dos resultados foi verificada algumas discrepâncias que indicam a necessidade de um aprofundamento em trabalhos futuros, para um concreto entendimento das causas das mesmas. A Figura 7, a Figura 8 e a Figura 9 são referentes a dados uma semente viável analisada no *setup* tradicional e no protótipo portátil:

Figura 7: *Graphic AVD* - Semente viável no *setup* tradicional e no protótipo portátil.



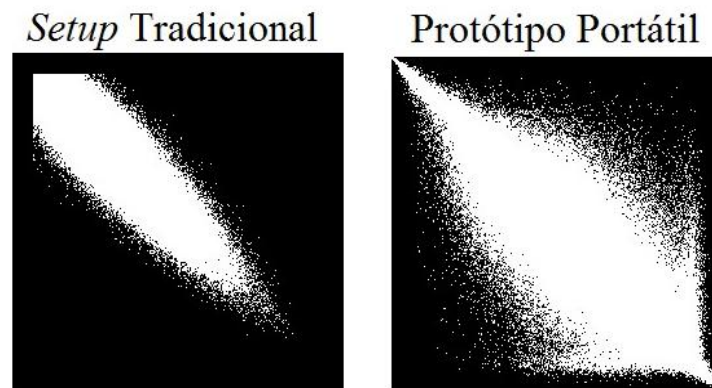
Fonte: (Do autor, 2022)

Figura 8: *Speckle quality test* - *Setup* tradicional e no protótipo portátil.



Fonte: (Do autor, 2022)

Figura 9: Matrizes de coocorrência.



Fonte: (Do autor, 2022)

Na Figura 7, por tratar-se de uma semente viável, observa-se uma maior atividade biológica concentrada no eixo embrionário e no ponto onde este se insere no cotilédone (lado esquerdo). No entanto, ao lado direito, era de se esperar uma imagem com a mesma intensidade, porém, observa-se indícios de alta atividade biológica. Trata-se de uma interpretação/imagem equivocada.

Pelo fato de o protótipo portátil não possuir obturador na lente da câmera, a quantidade de luz incidente é maior. Aliado a esse fato, a distância da lente à amostra, também pode estar favorecendo uma maior concentração de vapor de água. Isso, pode ter causado o falso resultado de alta atividade biológica. Corroborando essa análise, tem-se os resultados de *Speckle Quality Test* das montagens. Na Figura 8, à esquerda, tem-se saturação, contraste e homogeneidade em condições de propiciar uma boa qualidade de *speckle* (grão) e, observa-se

um resultado coerente tanto com o *GAVD* (Figura 7, à esquerda), quanto com a matriz de coocorrência (Figura 9). Nesta, observa-se uma matriz mais uniforme. De acordo com Silva (2007), os grãos do padrão *speckle* mudam seu tamanho em função do comprimento da luz incidente, da distância de observação e do diâmetro da área iluminada.

Já na Figura 8, à direita, tem-se boa saturação, baixo contraste e boa homogeneidade. O baixo contraste não favorece a formação de um bom *speckle* e, observa-se um resultado incoerente tanto com o *GAVD* (Figura 7, à direita), quanto com a matriz de coocorrência (Figura 9, à direita). Esta, apresentando-se com distorções, possivelmente causadas em função da normalização matemática.

4.3 Propostas de melhorias e desenvolvimento para o protótipo portátil

Durante a validação do protótipo o autor percebeu que a realização de algumas alterações no mesmo, podem melhorar sua ergonomia. Também foi percebida algumas características que, se alteradas, melhorariam a estabilidade do conjunto.

Quanto a ergonomia, se a maneira de se inserir as sementes fosse deslocada da parte superior, para a frente do equipamento, isso facilitaria sobremaneira o manuseio do mesmo. Não haveria o risco de contato acidental com o *laser* e com a câmera.

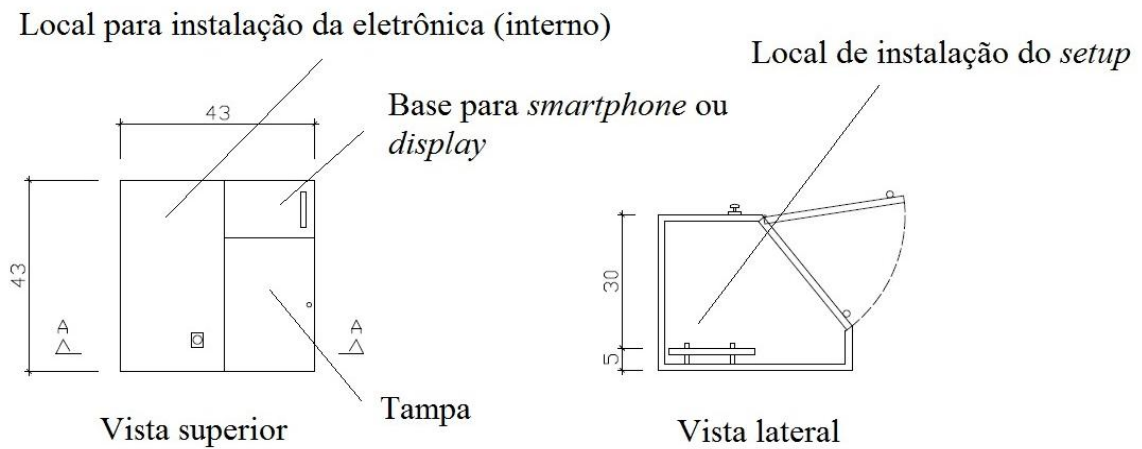
Quanto à estabilidade do conjunto, uma vez que o dispositivo de amortecimento fosse deslocado para o interior do gabinete, isto evitaria sua exposição desnecessária, facilitaria o transporte e o armazenamento do mesmo.

Uma alternativa ao sistema de amortecimento por espuma é a de desenvolver uma pequena mesa inercial com o uso de molas helicoidais.

Quanto às inconsistências relacionadas a qualidade do *speckle* faz-se necessária uma adequação à câmera que permita a utilização de um obturador. Existem dois caminhos possíveis, sendo um verificar a existência no mercado uma microcâmera que possua obturador e, o outro, adaptar um obturador a câmera, sendo esse de ajuste mecânico/manual.

A Figura 10 representa uma sugestão de gabinete para o protótipo portátil. Neste tem-se a facilidade de acesso às sementes pela parte frontal.

Figura 10: Proposta de gabinete.

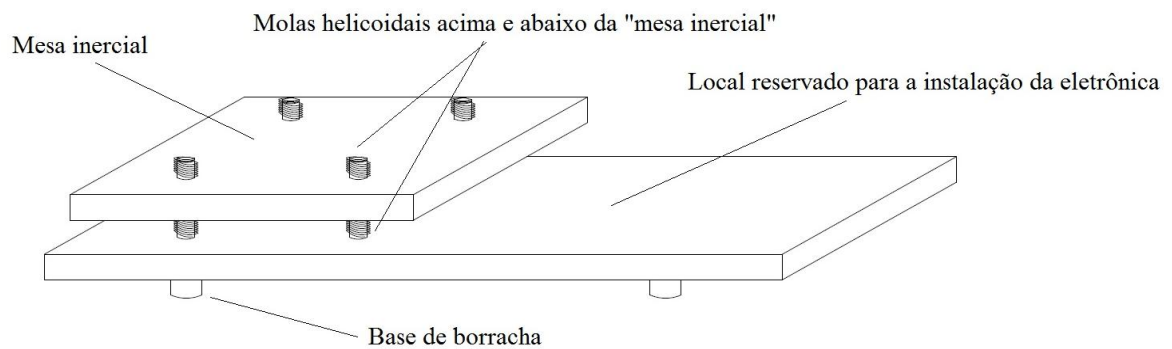


Fonte: (Do autor, 2022)

Cabe ressaltar que outra melhoria consiste na transferência para o interior do gabinete de toda a eletrônica acessória relacionada a bateria e seu carregador.

A Figura 11 representa um desenho técnico de uma proposta de dispositivo inercial interno a ser desenvolvida e adotada no protótipo:

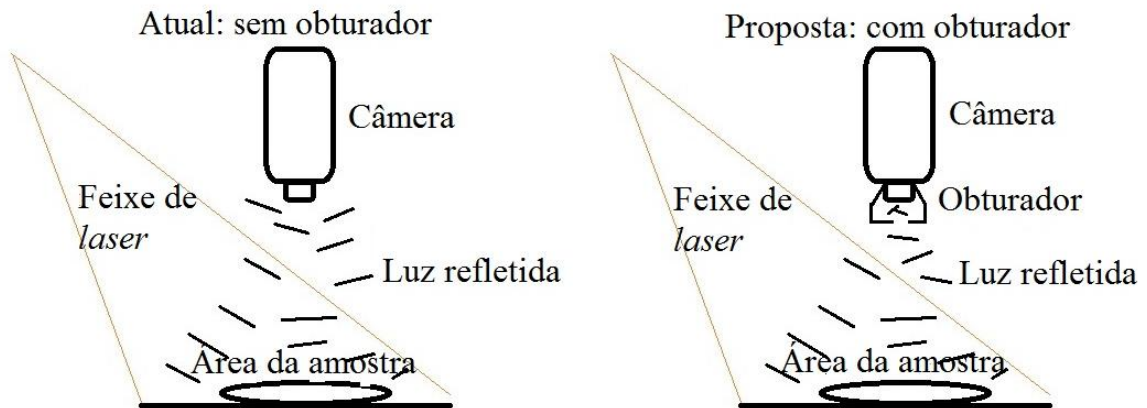
Figura 11: Proposta de dispositivo inercial.



Fonte: (Do autor, 2022)

A Figura 12 representa um esquema de como o uso de um obturador favoreceria a diminuição da quantidade de luz incidente na câmera:

Figura 12: Obtenção de imagem sem obturador e com obturador.

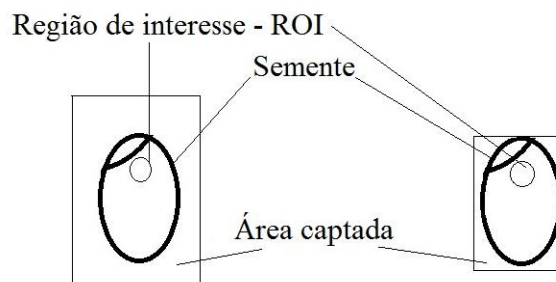


Fonte: (Do autor, 2022)

Como já relatado anteriormente, com o uso do obturador, pode-se ver na Figura 13, à direita que o obturador reduziria a quantidade de luz incidente na câmera, com isso diminuindo o excesso de informação desnecessária, que traz apenas discrepância.

A Figura 13 mostra à esquerda, a situação atual de captura das imagens pela câmera do protótipo portátil. Percebe-se que uma parte considerável da imagem não é semente, principalmente levando-se em conta a ROI. À direita tem-se uma ideia de como aproximando a câmera da semente, é diminuída a parte que não é semente na imagem.

Figura 13: Distância da câmera à semente.



Fonte: (Do autor, 2022)

5 CONCLUSÃO

Após a análise dos dados obtidos, pode-se concluir que:

- Ao se comparar os resultados das análises de 229 sementes de soja viáveis realizadas no *setup* tradicional e no protótipo portátil, após estudo estatístico, foi possível verificar que houve a diferenciação entre sementes viáveis, tanto no *setup* tradicional, quanto no protótipo portátil, ou seja, o protótipo foi efetivo na análise, quando comparado ao tradicional;

- Ao se comparar os resultados das análises de 229 sementes de soja envelhecidas artificialmente realizadas no *setup* tradicional e no protótipo portátil, após estudo estatístico, foi possível verificar que houve a diferenciação entre sementes envelhecidas artificialmente, tanto no *setup* tradicional, quanto no protótipo portátil, ou seja, o protótipo foi efetivo na análise, quando comparado ao tradicional;

- Foram feitas proposições de melhorias construtivas que contribuirão para a evolução e melhoria do protótipo o que, após novos testes em trabalhos futuros, podem vir a ser incorporadas ao mesmo, caso mostrem-se viáveis. Também foram feitas propostas que visem a melhorar a ergonomia de uso do equipamento.

Desse modo, o protótipo portátil foi validado após a análise comparada de sementes viáveis e envelhecidas artificialmente, realizadas no *setup* laboratorial tradicional e no protótipo portátil. O protótipo portátil mostra-se como uma alternativa potencialmente viável ao *setup* tradicional laboratorial.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O trabalho foi conduzido com o intuito de se validar um protótipo portátil anteriormente desenvolvido. Assim, uma vez que o mesmo foi validado e, verificadas possibilidades de aprimoramento do mesmo, pode-se citar algumas sugestões de trabalhos futuros que venham a contribuir para o desenvolvimento da técnica *BSL* em campo:

1. Construir um novo modelo de gabinete com base no modelo proposto para avaliar as melhorias quanto à ergonomia;
2. Construir um novo dispositivo inercial com base no modelo proposto com o uso de molas helicoidais e testar sua eficiência quanto a anulação das vibrações mecânicas;
3. Verificar a possibilidade de se utilizar uma bateria com melhor relação autonomia/massa, como já observado por Gomes (2021);

4. Verificar a possibilidade de inserir no protótipo um microprocessador dedicado;
5. Verificar se a inserção de um de um obturador na câmera digital do protótipo portátil promove uma melhoria na qualidade do *speckle*, bem como se diminui as discrepâncias nos resultados das análises. Essa melhora no *speckle* é fundamental para que para que melhorando a qualidade da imagem, aumente-se a eficiência do teste;
6. Verificar a possibilidade de substituir os elementos de fixação dos componentes do *setup*, trocando-se as hastes metálicas por uma estrutura monobloco, produzida por meio de processo de usinagem ou impressão 3D;
7. Inserir o teste de germinação nos trabalhos futuros. A germinação de sementes em teste de laboratório é a emergência e desenvolvimento das estruturas essenciais do embrião, demonstrando sua aptidão para produzir uma planta normal sob condições favoráveis de campo (BRASIL, 2009). Por oferecer uma amostra do alto/baixo vigor na germinação, também será possível correlacionar os dados obtidos através da técnica *BSL* com os dados dos testes de germinação. Isso fornecerá mais robustez aos dados obtidos pela técnica *BSL*;
8. Classificar as sementes por tamanho, com uso de peneira, antes de realizar as análises buscando uma maior uniformidade de dados;
9. Verificar a viabilidade de inserção de inteligência artificial na técnica, de forma a reduzir ainda mais a subjetividade das análises e inserir atuomação no processo.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, R. S. A. de. Validação de um protótipo portátil para quantificar o teor de água foliar por método óptico. 2018. 38 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

ARIZAGA, R.; TRIVI, M.; RABAL, H. Speckle time evolution characterization by the co-occurrence matrix analysis. *Optics & Laser Technology*, Elsevier, v. 31, n. 2, p. 163–169, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: Informação e documentação — referências — elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 24 p. Substitui a Ref. ABNT (2000).

BARBOSA, Franciele Dias. Avaliação de métodos para o monitoramento da qualidade do café. 2011.

BELO, C. M. Aplicação da ultrassonografia portátil no âmbito da clínica médica. 114 p. Tese (Mestrado em Engenharia Biomédica) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

BIBLIOTECA CENTRAL / UFLA. Manual de Orientação em Referenciação Bibliográfica (NBR6023-ABNT). Lavras, 2001. Disponível em: <http://www.biblioteca.ufla.br/download/normas/manual_orientacao_referencia_bibliografica.pdf>.

BOTEGA, J. V. L. Viabilidade de métodos óticos para identificação de conteúdo de água de folha de cafeeiros. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) — Universidade Federal de Lavras, 2009.

BRAGA JÚNIOR, Roberto Alves et al. Magnetic field in coffee seed germination. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 44, 2020.

Braga Jr. O biospeckle laser e sua utilização na agricultura – revisão. 2014. Disponível em: <<http://conbea14.sbea.org.br/2014/anais/R0069-1.pdf>>. Acesso em: 10 de outubro 2022.

BRAGA, R.; RIVERA, F.; MOREIRA, J. A practical guide to biospeckle laser analysis: Theory and software. Lavras: Editora UFLA, 2016.

BRASIL. Regras para análise de sementes - RAS. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, Zona Cívico-Administrativa, Brasília - DF, 70043-900, 2009. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf Acesso em 23 de junho de 2022.

BSLT, 2022. BSL Tool Library. Disponível em: <https://www.nongnu.org/bslt/> Acesso em 10 de junho de 2022.

CASTRO, D. B. de et al. Mechanical vibration effects in the biospeckle laser technique for

portable equipment application in agriculture. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 5, n. 2, p. 2271–2289, 2022.

CATALANO, M. D.; RIVERA, F. P.; BRAGA, R. A. Viability of biospeckle laser in mobile devices. *Optik, Elsevier*, v. 183, p. 897–905, 2019.

DA SILVA, EMERSON RODRIGUES, e MURAMATSU, MIKIYA. O fenômeno do speckle como introdução à metrologia óptica no laboratório didático [doi:10.1590/S0102-47442007000200013]. *Revista Brasileira de Ensino de Física* [online], 2007, vol. 29, n. 2, p. 283-286.

DUTRA ALEK SANDRO E VIEIRA, R. D. Envelhecimento acelerado como teste de vigor para sementes de milho e soja. *Ciência Rural, Scielo Disponível em:* <<https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000300010>> [Acessado 4 Outubro 2022], v. 34, n.3, p. 715–721, 2004.

ENNOS, A. Speckle interferometry. In: *Laser speckle and related phenomena*. [S.l.]: Springer, 1975. p. 203–253.

FRANÇA-NETO, J. d. B.; KRZYZANOWSKI, F. C. Tetrazólio: um teste de importância para a avaliação da qualidade fisiológica das sementes. *Journal of Seed Science, SciELO Brasil*, v. 41, p. 359–366, 2019.

FREITAS, M. A cultura da soja no brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. *Enciclopédia Biosfera*, v. 7, n. 12, 2011.

GOMES, J. E. S. Desenvolvimento de um equipamento portátil para análise de sementes utilizando a técnica do biospeckle laser. 2021. 116 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, 2022.

LOPES, A. C. A.; NASCIMENTO, W. M. Análise de sementes de hortaliças. *Circular Técnica - 83, Brasília, DF: Embrapa Hortaliças*, 2009.

MATHWORKS, 2022. *Global Optimization Toolbox User's Guide*. Natick, Massachusetts: The Math Works. Inc. Disponível em: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html> Acesso em 10 de junho de 2022.

MOURA, M. L. S. de; FERREIRA, M. C.; PAINE, P. A. *Manual de Elaboração de Projetos de Pesquisa*. Rio de Janeiro: EdUERJ, 1998.

NETO, J. d. B. F.; KRZYZANOWSKI, F.; HENNING, A. A. A importância do uso de semente de soja de alta qualidade. *Embrapa Soja-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E)*, Londrina: Embrapa Soja, 2010., 2010.

PANDISELVAM, R. et al. Biospeckle laser technique—a novel non-destructive approach for food quality and safety detection. *Trends in Food Science & Technology, Elsevier*, v. 97, p. 1–13, 2020.

PÉREZ, A.J.; GONZÁLEZ-PEÑA, R.J.; BRAGA JR., R.; PERLES, Á.; PÉREZ-MARÍN, E.; GARCÍA-DIEGO, F.J. A Portable Dynamic Laser Speckle System for Sensing Long-Term

Changes Caused by Treatments in Painting Conservation. *Sensors* 2018, 18, 190.
<https://doi.org/10.3390/s18010190>.

PIASSALONGA, GABRIEL BAROFFALDI Desenvolvimento de dispositivo de baixo custo aplicado em análises químicas. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2022. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/216623>>.

PORTO, C. de Magalhães; SILVA, C. L. da. Artigo Científico: das Partes para o Todo. *Diálogos & Ciência: Revista Eletrônica da Faculdade de Tecnologia e Ciências de Feira de Santana*, I, n. 1, p. 1–8, dez. 2002. Disponível em: <http://www.ftc.br/revistafsa/resumo.asp?art_cod=1>.

RAJJOU, L. et al. Seed germination and vigor. *Annual review of plant biology*, v. 63, p. 507–33, 05 2012.

RODRIGUES, S. et al. Aplicação do speckle dinâmico na análise de sementes de feijão (*phaseolus vulgaris* l). *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 9, n. 2, p. 119–124, 2007.

SÁ, MARCO EUSTÁQUIO de. Relações entre qualidade fisiológica, disponibilidade hídrica e desempenho de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill.). 1987. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SCHEEREN, B. R. et al. Qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes, SciELO Brasil*, v. 32, p. 35–41, 2010.

SINGH, P. et al. Application of laser biospeckle analysis for assessment of seed priming treatments. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 169, p. 105212, 2020. ISSN 0168-1699. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169919308956>>.

SISVAR 5.6. Disponível em: <https://des.ufla.br/~danielff/programas/sisvar.html> Acesso em 10 de junho de 2022.

SOUZA SOBRINHO, A. F de. Classificação de sementes de soja maduras e esverdeadas por meio de métodos ópticos. 2019. 70 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas e Automação)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

SUTTON, D. B.; PUNJA, Z. K. Investigating biospeckle laser analysis as a diagnostic method to assess sprouting damage in wheat seeds. *Computers and Electronics in Agriculture, Elsevier*, v. 141, p. 238–247, 2017.

USDA - <<https://www.ers.usda.gov/topics/crops/soybeans-oil-crops/>> [Acessado em 11 Novembro 2022]

VESALI, F. et al. Development of an android app to estimate chlorophyll content of corn leaves based on contact imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 116, p. 211–220, 07 2015.

VIEIRA, ALESSANDRO SANTOS; JUNIOR, ROBERTO ALVES BRAGA. Technological Development of Biospeckle Laser: a Systematic Review. International Journal os Latest Engineering and Management Reserach, v.05, p. 29-39, 02 2020

VIVAS, P. G. Uso do biospeckle como ferramenta de diagnóstico precoce na avaliação da qualidade de sementes de café. 2015. 60 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

YASMIN, J. et al. Classification method for viability screening of naturally aged watermelon seeds using ft-nir spectroscopy. Sensors, v. 19, p. 1190, 03 2019.

APÊNDICE

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	400072.407657	400072.407657	0.273	0.6014
VARIAVEL	1	120543650.542952	120543650.542952	82.276	0.0000
TRATAMENTO*VARIAVEL	1	4148427.115004	4148427.115004	2.831	0.0928
erro	912	1.336185494E+0009	1465115.673175		

Total corrigido	915	1.461277644E+0009			

CV (%) =	40.75				
Média geral:	2970.4745672	Número de observações:	916		

 Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

DMS: 156.979540069327 NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 458
 Erro padrão: 56.5591948125979

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Tradicional	2949.575757	a1
Protótipo	2991.373378	a1

 Teste Tukey para a FV VARIAVEL

DMS: 156.979540069327 NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 458
 Erro padrão: 56.5591948125979

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Invi vel2	2607.710358	a1
Vi vell	3333.238777	a2

 Análise do desdobramento de VARIAVEL dentro de cada nível de:

TRATAMENTO

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV		GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
VARIAVEL	/1	1	39983871.034823	39983871.034823	27.291	0.0000
VARIAVEL	/2	1	84708206.623133	84708206.623133	57.817	0.0000
Erro		912	1.336185494E+0009	1465115.673175		

Codificação usada para o desdobramento
cod. TRATAMENTO
1 = Protótipo
2 = Tradicional

Teste de Tukey para o
desdobramento de VARIAVEL dentro da codificação:
1

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV VARIAVEL

DMS: 222.002594581134 NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 229
Erro padrão: 79.9867803808779

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Invi vel2	2695.905903	a1
Vi vell	3286.840852	a2

Teste de Tukey para o
desdobramento de VARIAVEL dentro da codificação:
2

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV VARIAVEL

DMS: 222.002594581134 NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 229
Erro padrão: 79.9867803808779

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Invi vel2	2519.514812	a1
Vi vell	3379.636702	a2