

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes



Tese

Separador de espiral estático e rotativo no beneficiamento de sementes de soja

Jader Job Franco

Pelotas, 2023

Jader Job Franco

Separador de espiral estático e rotativo no beneficiamento de sementes de soja

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Amaral Villela

Pelotas, 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

F826s Franco, Jader Job

Separador de espiral estático e rotativo no
beneficiamento de sementes de soja / Jader Job Franco ;
Francisco Amaral Villela, orientador. — Pelotas, 2023.

77 f. : il.

Tese (Doutorado) — Ciência e Tecnologia de Sementes,
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade
Federal de Pelotas, 2023.

1. *Glycine max* L.. 2. Pós-colheita. 3. Classificação. 4.
Viabilidade. 5. Vigor. I. Villela, Francisco Amaral, orient. II.
Título.

CDD : 633.346

Jader Job Franco

Separador de espiral estático e rotativo no beneficiamento de sementes de soja

Tese aprovada, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 15 /09 /2023

Banca examinadora:

Prof. Dr. Francisco Amaral Villela (Orientador)
Doutor em Agronomia pela Universidade de São Paulo

Dr Geri Eduardo Meneghello
Doutor em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Gizele Ingrid Gadotti
Doutora em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas

Dr. Jerffeson Araujo Cavalcante
Doutor em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. José Ricardo Bagateli
Doutor em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas

***Dedico este trabalho ao eterno amigo Murilo
Damé Paschoal (in memoriam), por seu
incentivo, amizade e exemplo de
profissionalismo.***

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, que me concedeu a oportunidade de estudar e realizar este sonho e, por ter me dado sabedoria, discernimento e força para concluir o doutorado.

À minha mãe, meu padrasto e meus irmãos, por todo incansável apoio e incentivo, principalmente nos momentos mais difíceis que passei, onde tive que estar plenamente dedicado aos cuidados com minha saúde.

À minha esposa, amiga, exemplo de profissional, Carol, que esteve sempre presente ao longo desta caminhada. Essa tese existe por todo o teu apoio e incentivo. À minha filha Caetana, uma benção que Deus nos concedeu no meio desta jornada.

À minha sogra, Rossane Borges, pela amizade e acolhida durante o meu tratamento e início de Doutorado na cidade de Pelotas.

Aos colegas de profissão, Eng. Agrônomos, Drs. Ricardo Bagateli e Jerffeson Cavalcante pelo apoio imprescindível na realização desse trabalho.

Ao meu orientador Francisco Amaral Villela, pela orientação, ensinamentos transmitidos, confiança e incentivo na realização deste trabalho.

Ao meu coorientador Geri Eduardo Meneghello, pelas contribuições, ajuda e inestimada dedicação.

Aos membros da banca examinadora, por todos os ensinamentos durante as discussões.

À Universidade Federal de Pelotas, à Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, em especial aqueles funcionários e professores que contribuíram de forma positiva no meu desenvolvimento pessoal e de obtenção de novos conhecimentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa e auxílio de custos para o desenvolvimento de experimentos.

À Sementes Jotabasso e a todos os amigos/colégas de empresa que contribuíram na realização de outros experimentos, em especial a toda equipe do laboratório de análise de sementes da Fazenda Jotabasso em Ponta Porã/MS.

Enfim, agradeço veementemente a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse à realização desse sonho.

Resumo

FRANCO, Jader Job. Separador de espiral estático e rotativo no beneficiamento de sementes de soja. Orientador: Francisco Amaral Villela. 2023. 78 f. Tese (Doutorado em Ciência) – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

O beneficiamento de sementes é um conjunto de etapas e processos que visam melhorar a qualidade física e fisiológica de um lote de sementes. Dentre os diferentes equipamentos utilizados no beneficiamento, os separadores em espiral estático e rotativo desempenham importante seleção por forma, direcionando para descarte, principalmente, as sementes malformadas e chochas. Diante disso, é fundamental compreendermos as diferenças de desempenho desses equipamentos sobre o aproveitamento e qualidade fisiológica de sementes de soja, para materiais padronizados ou não em intervalos de tamanhos de peneira. Sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência da padronização de sementes sobre o aproveitamento de beneficiamento no separador de espiral estático e rotativo e seus reflexos sobre a qualidade de sementes de soja. Foram conduzidos dois experimentos, em delineamento em blocos casualizados, sendo avaliado o aproveitamento e descarte de sementes, bem como a qualidade física e fisiológica de dois lotes de sementes de soja processadas em espiral estático e rotativo, com e sem padronização prévia por tamanho de peneira. Os separadores em espiral estático e rotativo apresentam desempenho distintos quanto ao aproveitamento e descarte de sementes, com reflexos sobre a qualidade física e fisiológica de sementes de soja previamente padronizadas por tamanho ou não, antes do beneficiamento no equipamento. A padronização de sementes é recomendada antes do processamento de sementes nos espirais estáticos ou rotativos.

Palavras-chave: *Glycine max* L. Pós-colheita. Classificação. Viabilidade. Vigor.

Abstract

FRANCO, Jader Job. Static and rotary spiral separators in soybean seeds processing. Advisor: Francisco Amaral Villela. 2023. 78 f. Thesis (Doctorate in Science) – Graduate Program in Seed Science and Technology, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2023.

Seed processing is a set of steps and processes aimed at improving a batch of seeds physical and physiological quality. Among the different equipment used in processing, static and rotary spiral separators play an important role in selecting seeds based on their shape, mainly discarding the malformed and shriveled seeds. Therefore, it is essential to understand the performance differences of this equipment on the utilization and physiological quality of soybean seeds, whether standardized or not, according to sieve sizes. Thus, in view of the above, the objective was to evaluate the benefit of processing and the physical and physiological quality of soybean seeds, processed in a static and rotating spiral separator, from seeds previously classified or not. Using a randomized block design, two experiments were conducted to assess the utilization and discard of seeds and the physical and physiological quality of two batches of soybean seeds processed in static and rotary spiral separators, with and without prior standardization based on sieve size. The static and rotary spiral separators show distinct performance in terms of seed utilization and discard, which affects the physical and physiological quality of soybean seeds that were previously standardized by size or not before the processing in the equipment. Seed standardization is recommended prior to processing in static or rotary spirals.

Keywords: Glycine max L. Postharvest. Classification. Viability. Force.

Lista de figuras

Figura 1 – Aproveitamento de sementes de soja das cultivares 60I62 IPRO (A) e 62R63 (B) com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023.. 45

Figura 2 – Germinação (A e B) e envelhecimento acelerado (C e D) de sementes de soja das cultivares 60I62 IPRO (A e C) e 62R63 (B e D) com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023..... 50

Figura 3 – Viabilidade (A e B) e vigor (C e D) de sementes de soja das cultivares 60I62 IPRO (A e C) e 62R63 (B e D) com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023. 54

Figura 4 – Condutividade elétrica em sementes de soja das cultivares 60I62 IPRO (A) e 62R63 (B) com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023. *ns: não significativo..... 57

Figura 5 – Descarte de sementes de soja das cultivares 60I62 IPRO (A) e 62R63 (B) com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação do separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023..... 60

Figura 6 – Pureza física de sementes de soja com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023. *ns: não significativo. 62

Figura 7 – Peso de mil sementes (PMS) de soja de duas cultivares, 62R6 IPRO (A) e 62R63 (B) com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023.. 64

Figura 8 – Germinação (A e B) e envelhecimento acelerado (C e D) de sementes de soja de duas cultivares, 60I62 IPRO (A e C) e 62R63 (B e D), com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023. *ns: não significativo. 67

Figura 9 – Viabilidade (A e B) e vigor (C e D) de sementes de soja de duas cultivares, 60I62 IPRO (A e C) e 62R63 (B e D), com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação do separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023. *ns: não significativo..... 69

Figura 10 – Condutividade elétrica em sementes de soja de duas cultivares, 60I62 IPRO (A) e 62R63 (B), com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023.. 71

Lista de tabelas

- Tabela 1** – Resumo da análise de variância das variáveis aproveitamento (APRO), peso de mil sementes (PMS), pureza física (PF), germinação (GER), envelhecimento acelerado (EA), teste de tetrazólio (VIATZ - viabilidade e VIATZ - vigor) e condutividade elétrica (CE) de sementes de duas cultivares de soja previamente classificadas por tamanho e submetidas ao beneficiamento em separador de espiral estático. Los Cedrales, PY, 2023. 27
- Tabela 2** – Aproveitamento, peso de mil sementes e pureza física da fração aproveitada em função da classificação em peneiras (PN), em sementes de duas cultivares de soja. Los Cedrales, PY, 2023..... 27
- Tabela 3** – Germinação, envelhecimento acelerado (EA), teste de tetrazólio (viabilidade e vigor) e condutividade elétrica (CE) de sementes de soja da fração aproveitada no separador de espiral estático, em função da classificação das sementes em peneiras, em duas cultivares de soja. Los Cedrales – PY, 2023. 30
- Tabela 4** – Resumo da análise de variância das variáveis descarte (DESC), peso de mil sementes (PMS), pureza física (PF), germinação (GER), envelhecimento acelerado (EA), teste de tetrazólio (VIATZ - viabilidade e VIGTZ - vigor) e condutividade elétrica (CE) de sementes de duas cultivares de soja previamente classificadas por tamanho e submetidas ao beneficiamento em separador de espiral estático. Los Cedrales, PY, 2023. 32
- Tabela 5** – Descarte, peso de mil sementes e pureza física da fração descarte em função da classificação em peneiras em duas cultivares de soja. Los Cedrales, PY, 2023. 33
- Tabela 6** – Germinação, envelhecimento acelerado, teste de tetrazólio (viabilidade e vigor) e condutividade elétrica de sementes de soja da fração descarte no separador de espiral estático, em função da classificação em peneiras, em duas cultivares de soja. Los Cedrales – PY, 2023. 35
- Tabela 7** – Resumo da análise de variância das variáveis aproveitamento (APROV), peso de mil sementes (PMS), pureza física (PF), germinação (GER), envelhecimento acelerado (EA), teste de tetrazólio (VIATZ - viabilidade e VIGTZ - vigor) e condutividade elétrica (CE) de sementes de duas cultivares de soja previamente classificadas por tamanho e submetidas ao beneficiamento em separador de espiral rotativo com diferentes velocidades de rotação. Los Cedrales, PY, 2023 43
- Tabela 8** – Aproveitamento de sementes de soja de duas cultivares, com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023 44

Tabela 9 – Pureza física e o peso de mil sementes de soja de duas cultivares, com diferentes tamanhos de peneira, beneficiadas no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023	46
Tabela 10 – Germinação e envelhecimento acelerado de sementes de soja de duas cultivares, com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023.....	47
Tabela 11 – Viabilidade e vigor pelo teste do tetrazólio de sementes de soja de duas cultivares, com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023.....	52
Tabela 12 – Condutividade elétrica em sementes de soja de duas cultivares, com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023.....	55
Tabela 13 – Resumo da análise de variância das variáveis descarte (DESC), peso de mil sementes (PMS), pureza física (PF), germinação (GER), envelhecimento acelerado (EA), teste de tetrazólio (VIATZ - viabilidade e VIGTZ - vigor) e condutividade elétrica (CE) de sementes de duas cultivares de soja previamente classificadas por tamanho e submetidas ao beneficiamento em separador de espiral rotativo com diferentes velocidades de rotação. Los Cedrales, PY, 2023.....	58
Tabela 14 – Percentual de descarte de sementes de soja de duas cultivares, com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação do separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023.....	59
Tabela 15 – Pureza física de sementes de soja de duas cultivares, com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação do separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023	61
Tabela 16 – Peso de mil de sementes de soja de duas cultivares, com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023	63
Tabela 17 – Germinação e envelhecimento acelerado de sementes de soja de duas cultivares, com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023.....	65
Tabela 18 – Viabilidade e vigor pelo teste do tetrazólio em sementes de soja de duas cultivares, com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023..	68
Tabela 19 – Condutividade elétrica em sementes de soja de duas cultivares, com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023.....	70

Sumário

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 A cultura da soja	16
2.2 Beneficiamento de sementes de soja	17
2.3 Espiral Estático	18
2.4 Espiral rotativo	19
Capítulo 1 – Aproveitamento e qualidade física e fisiológica de sementes de soja beneficiadas em espiral estático	22
1 Introdução	22
2 Material e métodos.....	23
2.1 Experimento I.....	24
2.2 Experimento II.....	24
2.3 Variáveis analisadas.....	24
2.4 Análise estatística	26
3 Resultados e discussão	26
3.1 Experimento I.....	26
3.1 Experimento II.....	31
4 Conclusões	37
Capítulo 2 – Beneficiamento de sementes de soja com espiral rotativo: aproveitamento e qualidade física e fisiológica	38
1 Introdução	38
2 Material e métodos.....	39
2.1 Experimento I.....	40
2.2 Experimento II.....	40
2.3 Variáveis analisadas.....	41
2.4 Análise estatística	42
3 Resultados e discussão	43
4 Conclusões	71
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma cultura de importância mundial, principalmente para o Brasil. Devido aos seus elevados teores de proteína e de óleo, a soja ganhou importância em todos os continentes (SILVA et al., 2023). Segundo os dados da Conab da safra 2022/23, o Brasil produziu cerca de 155,6 milhões de toneladas de soja, sendo constatado como o maior produtor mundial do grão (CONAB, 2023).

Para alcançar resultados dessa magnitude, vários fatores devem ser considerados, sendo um dos principais, o uso de sementes com qualidade superior, principalmente no que se diz respeito à germinação e o vigor (FERRAZZA et al., 2020). Nesse contexto, sementes de baixa qualidade podem apresentar alteração na velocidade de emergência, tendo influência direta na uniformidade da lavoura e, consequentemente, decréscimos expressivos na produtividade (BAGATELLI et al., 2019; DIAS et al., 2021).

No entanto, produzir sementes de qualidade superior e disponibilizá-las no mercado depende de diversos fatores dentro do processo produtivo, tais como: manejo adequado dos campos de produção e qualidade da colheita; processos de pós-colheita, como secagem, beneficiamento e armazenamento; além do tratamento industrial de sementes (PESKE et al., 2019). Dentre os processos de pós-colheita que envolvem a produção de sementes de alta performance, têm-se o beneficiamento, que tem o propósito de aprimorar as características físicas, com reflexos positivos sobre a qualidade fisiológica do lote de sementes (TROGELLO et al., 2013; MELO et al., 2016). Ao passar pelas diferentes máquinas e etapas do beneficiamento, ocorre a separação dos materiais indesejados da massa de sementes devido a diferenças de características físicas como a densidade, tamanho, forma e massa específica (MOREANO et al., 2013).

O separador em espiral tem se tornado um equipamento fundamental para realizar a separação de sementes de soja por meio da diferença quanto à forma no beneficiamento, visto que as sementes de formato esférico adquirem velocidade suficiente para serem transportadas para a próxima etapa do beneficiamento. Já as sementes murchas, malformadas e ovaladas, passam com uma menor velocidade, permanecendo na espiral interna, sendo direcionadas para o descarte (TOMAZETTI et al., 2022).

No entanto, mesmo apresentando resultados satisfatórios na separação de sementes de soja com diferentes formas, o separador de espiral é um equipamento que pode proporcionar um alto nível de descarte (ZAGUI; NERES, 2018). No intuito de mitigar este descarte, um novo modelo de máquina vem sendo adotado pela Indústria de Beneficiamento de Sementes (IBS), no qual modificou-se o princípio de funcionamento do espiral a fim de promover a movimentação de rotação com velocidade variável das espirais, em sentido horário ou anti-horário, fazendo com que as sementes ganhem ou reduzam sua velocidade de acordo com a regulação e/ou qualidade física do lote, possibilitando aumentar ou reduzir o volume aproveitado. O separador de espiral rotativo permite a regulação da velocidade e do sentido de rotação, portanto, provavelmente, possibilite a separação com menor descarte do que o separador de espiral estático e a obtenção de sementes de qualidade superior.

Além disso, outro fator que tem impactado no aproveitamento e eficiência no processo de beneficiamento do separador de espiral refere-se ao seu posicionamento na linha de beneficiamento. No Brasil, é possível verificar unidades de beneficiamento de sementes com o espiral estático ou rotativo instalado antes ou após os padronizadores. Essas diferenças podem se refletir no desempenho do separador de espiral (estático ou rotativo) porque as sementes, na passagem pelo equipamento, podem ou não estar previamente classificadas por tamanho (largura). Porém, estudos relacionados a este tipo de equipamento ainda são incipientes na literatura, havendo a necessidade de realização de pesquisas desta natureza para validar sua eficiência. Assim, diante do exposto, objetivou-se avaliar o aproveitamento de beneficiamento e a qualidade física e fisiológica de sementes de soja, beneficiadas em separador de espiral estático e rotativo, a partir de sementes previamente classificadas ou não.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill.) é uma fabacea herbácea anual, cujo alto teor proteico de seus grãos e ampla adaptação aos diversos componentes do meio natural, fruto de investimento intensivo em tecnologia, a coloca entre as principais matérias-primas para produção de proteína alimentar no mundo, sendo a mais cultivada (BEZERRA et al., 2015). A soja apresenta importância mundial por sua utilização como fonte de nutrientes, decorrente de sua constituição proteica (SHI et al., 2022). A cultura é propagada por sementes, que são as responsáveis pela expansão da cultura e produtividade alcançada (CHEN et al., 2022).

Nos últimos anos, a soja tornou-se a mais importante espécie cultivada no mundo. Esta aleurooleaginosa constitui objeto de intensa pesquisa, visando o aumento da produtividade de grãos (BORNHOFEN et al., 2015). No Brasil, é uma cultura de extrema importância socioeconômica, gerando uma grande quantidade de empregos diretos e indiretos, a qual promove o desenvolvimento de muitas regiões em todas as partes do país. Atualmente, levando em consideração as últimas duas safras, o Brasil destaca-se como o maior produtor mundial de grãos de soja. Na safra 2022/2023, o bom desenvolvimento da cultura nas diversas regiões produtoras do país promoveu um incremento de produção de 21,3% em comparação à produção obtida na safra anterior (CONAB, 2023).

A sojicultura teve rápida expansão no Brasil devido ao seu valor econômico e graças ao seu desenvolvimento, por meio de melhoramento genético de novas cultivares mais adaptadas às diferentes regiões do país. Além do melhoramento genético, é imprescindível que sementes de elevada qualidade, veículo de transferência de tecnologias entre os obtentores e os produtores, sejam disponibilizadas aos agricultores. Lotes de sementes mais vigorosas proporcionam maiores produtividades, fazendo com que ocorra um estabelecimento adequado da cultura e a consecução de rendimentos satisfatórios (SCHEEREN et al., 2010). Com isso, a utilização de sementes de elevada qualidade fisiológica, genética, física e sanitária é o primeiro passo para alcançar o máximo potencial produtivo desta espécie (SILVA et al., 2014).

Dentro desse contexto, para oferecer sementes de qualidade superior aos produtores de soja, diversas etapas devem ser conduzidas com excelência, sendo uma delas e, não menos importante que as demais, o beneficiamento de sementes. Buscando eficiência na produção, o beneficiamento de sementes é um processo de suma importância que inicia na colheita no campo, passando pelas etapas de recepção, secagem, beneficiamento propriamente dito, finalizando com a embalagem e/ou tratamento industrial de sementes. Assim, o beneficiamento é o conjunto de ações e operações realizadas a partir da colheita, visando a remoção de impurezas da massa de sementes de forma eficiente e eficaz, retirando o máximo possível de material inerte e outras sementes fora do padrão desejado (PESKE et., 2019).

2.2 Beneficiamento de sementes de soja

O beneficiamento de sementes é necessário para remover contaminantes tais como materiais estranhos (vagens, ramos, torrões e insetos), sementes de outras culturas, espécies silvestres e de plantas daninhas. Além disso, tal operação tem outras finalidades: classificar a semente por tamanho; melhorar a qualidade do lote pela remoção de semente danificada e deteriorada; aplicar fungicidas e inseticidas à semente, se necessário e, para embalar adequadamente a semente para a sua comercialização (FRANÇA-NETO et al., 2016). Em suma, o beneficiamento de sementes pode ser definido como o conjunto de operações sequenciadas destinado a aprimorar as características do lote mediante homogeneização e melhoria principalmente da qualidade física, mas também da fisiológica e sanitária (FERREIRA; SÁ, 2010; HESSEL et al., 2012; PEREIRA; ALBURQUEQUE; OLIVEIRA, 2012).

Os materiais recebidos na Indústria de Beneficiamento de Semente (IBS) podem apresentar sementes da espécie desejada misturadas, em muitas ocasiões, com torrões, palha, pedras e sementes de plantas daninhas, que precisam ser removidas para atender às necessidades de comercialização e semeadura do mercado nacional e internacional (HESSEL et al., 2012; QUADROS et al., 2012). A base de separação de sementes é realizada a partir diferenças de características físicas existentes entre a semente e as impurezas. A separação só é possível entre

materiais que apresentam uma ou mais características diferenciais que possam ser detectadas pelos equipamentos (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

A qualidade física refere-se principalmente à pureza física do lote, caracterizada pela porcentagem de sementes puras presentes na amostra (BRASIL, 2009). O potencial fisiológico abrange o desempenho da semente quanto à germinação e ao vigor, que são aspectos relacionados à sua capacidade de gerar uma planta perfeita e vigorosa em campo e sementes com longevidade no armazenamento (CAVALCANTE et al., 2023).

As máquinas de beneficiamento de sementes realizam operações baseadas em diferenças físicas (massa específica, tamanho, forma e cor) entre sementes e impurezas, de modo que a remoção de componentes indesejados e a escolha das máquinas dependem do tipo de semente, da espécie, da natureza e a quantidade de impurezas e das características desejadas do material recebido. Portanto, nem todos os lotes seguem a mesma sequência durante o beneficiamento (FERREIRA; SÁ, 2010; LOPES et al., 2011).

No beneficiamento de sementes de soja, algumas empresas, por exemplo, padronizam as sementes só após terem passado pelo separador de espiral. Por outro lado, tem se tornado frequente a classificação das sementes no padronizador anteriormente à passagem no separador de espiral (FRANÇA-NETO, 2016). Esta modificação tem sido alvo de estudos, na tentativa de comprovar que tal mudança pode aprimorar as características físicas e fisiológicas do lote de sementes.

2.3 Separador de espiral no beneficiamento de sementes de soja

No beneficiamento de sementes de soja, a diferença quanto à forma utilizada para separação de sementes partidas, defeituosas, atacadas por insetos e patógenos, é a principal característica de separação do separador de espiral, que utiliza a forma das sementes e a gravidade proporcionada pelo equipamento para realizar a separação (PESKE et al., 2019).

O separador de espiral, no seu modelo mais simples, é constituído de duas chapas metálicas espiraladas, concêntricas, dispostas em posição vertical, em torno do eixo central. O lote contendo sementes de esfericidade diferencial é distribuída pelo alimentador no topo do equipamento, na espiral interna. Uma vez aberto o alimentador, a massa de sementes, pela ação da gravidade, se movimenta para

baixo, para dentro da espiral interna. O início da separação já começa a ocorrer no primeiro terço da espiral, com as sementes mais esféricas adquirindo maior velocidade, a ponto de rolares da extremidade deste espiral para a externa, pelo aumento da força centrífuga, porém, o mesmo não ocorre com as sementes menos esféricas, de formato irregular, que se deslocam pelo espiral interna até serem descartadas (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Nos últimos anos, vem ocorrendo uma modernização das instalações que promovem o beneficiamento de sementes de soja, na qual as estruturas têm sofrido diversas alterações, ao ponto de serem consideradas Indústrias de Beneficiamento de Sementes (IBS) (PESKE; PESKE, 2022). Dentre estas evoluções, a separação por forma por meio de separador de espiral tem sofrido alterações relevantes, passando a ter suas estruturas enclausuradas a fim de minimizar os ruídos e, principalmente, os equipamentos foram aperfeiçoados com a rotação do eixo central onde estão fixadas as espirais, em sentido horário ou anti-horário, fazendo com que as sementes apresentem aumento ou redução de velocidade, de modo aumentar ou diminuir o descarte, de acordo com a qualidade do material que está sendo beneficiado.

2.3.1 Separador de espiral estático

O separador de espiral estático é constituído, basicamente, por chapas metálicas espiraladas, posicionadas verticalmente com um determinado ângulo em relação a um eixo central e em espaçamento pré-estabelecido pelo fabricante; circundando as espirais internas, segue-se uma espiral externa ou uma caixa de enclausuramento. A alimentação é feita na extremidade superior do equipamento e as sementes são conduzidas para as espirais internas; por gravidade. As sementes rolam para baixo e vão aumentando a velocidade durante o percurso. As sementes mais esféricas alcançam maior velocidade, sendo direcionadas das espirais internas para a espiral externa ou caixa de enclausuramento, conforme o modelo de fabricação, sendo descarregadas por uma bica de saída localizada na extremidade inferior do equipamento (TOMAZETTI et al., 2022).

As espirais internas, geralmente quatro, fixadas no eixo central, apresentam o passo (distância vertical entre dois elos consecutivos da espiral) determinado pelo fabricante e dois ângulos de inclinação: um ângulo em relação à horizontal, medido

relativamente à uma perpendicular ao tubo central (inclinação lateral) e outro em relação à vertical, medido relativamente ao segmento que determina o passo (inclinação longitudinal).

Para o separador em espiral, Klein et al. (1961), Vaughan et al. (1968) e Gregg (1972) relataram que esse equipamento efetua a separação de materiais que diferem quanto à forma, densidade e grau de esfericidade. Com sementes de soja, Risse et al. (1991) concluíram que as sementes provenientes de lotes com sementes mecanicamente danificadas e que sofreram danos por estiagem, melhoraram a qualidade após serem separadas na sequência pela máquina de ar e peneiras, separador de espiral e mesa densimétrica.

Um dos grandes desafios no beneficiamento de sementes de soja com o uso do separador de espiral no fluxo é diminuir o descarte de sementes que podem apresentar qualidade superior, visto que Risse et al. (1991) relatam que o separador de espiral é eficiente quanto à qualidade física e fisiológica do lote, porém, pode apresentar um alto percentual de descarte nesse equipamento. Jarrin (1979) trata que eficiência do separador de espiral, além da remoção do material indesejável, está relacionada ao descarte de boas sementes de soja junto à descarga de impurezas.

2.3.2 Separador de espiral rotativo

Segundo a Profile Industries (2019), tradicional empresa que atua na fabricação e comercialização de separador de espiral rotativo, comparado ao estático, o espiral rotativo é capaz de remover de forma mais eficiente as sementes deformadas, enrugadas e danificadas do que um separador espiral estático (padrão), resultando num melhor produto final. Nacionalmente, a empresa Silomax[®] também produz e comercializa separador de espiral rotativo confinado, com diferenças em relação ao material de fabricação empregado na confecção do equipamento produzido, bem como com alterações na velocidade de rotação e aproveitamento em relação ao espiral importado da Profile[®].

O espiral rotativo oferece todos os benefícios de um separador espiral fechado, além de funcionar de forma mais rápida e apresentar ajustes e regulagens simples e práticas, conforme o lote de sementes e devido ao uso de um controlador automatizado (PROFILE INDUSTRIES, 2019).

A velocidade de rotação do eixo central pode ser alterada por meio de um inversor de frequência variável (VFD) ou unidade de frequência variável (*Variable Frequency Drive*) que se constitui num dispositivo eletrônico capaz de acionar um motor elétrico, promovendo a variação da frequência da corrente elétrica e da tensão da fonte de alimentação, resultando na alteração da velocidade de rotação do motor e da potência consumida.

Por se tratar de um equipamento novo no setor de beneficiamento de sementes de soja no Brasil, estudos relacionados a este equipamento ainda são incipientes e escassos, havendo necessidade de realização de pesquisas específicas que objetivem avaliar a veracidade das informações e qualidade do seu funcionamento.

Capítulo 1 – Aproveitamento de beneficiamento em separador de espiral estático e qualidade física e fisiológica de sementes de soja

1. Introdução

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma cultura importante mundialmente por ser a base da alimentação animal e humana, justificando o aumento das áreas cultivadas e da produtividade a cada ano. Na safra 2022/23, a produção brasileira de grãos ultrapassou 155 milhões de toneladas, um aumento de 23,1% em relação à safra anterior (CONAB, 2023).

Dada a sua importância para a economia brasileira, são crescentes os estudos acerca de melhorar os sistemas produtivos da soja, principalmente em tecnologias embarcadas na semente ou na sua cadeia produtiva. Destaca-se que a propagação da cultura da soja é realizada por meio de sementes, a qual preza sempre pela qualidade física, fisiológica, genética e sanitária para o sucesso do cultivo (MENEGUZZO et al., 2021). A germinação das sementes e o desenvolvimento inicial das plântulas em campo são etapas críticas para o estabelecimento da cultura, especialmente em condições ambientais menos favoráveis (MANGENA, 2021).

Entretanto, para que a espécie atinja seus níveis ótimos de produção, vários fatores estão envolvidos e um deles é a qualidade de sementes (CAVALCANTE et al., 2023). Para fornecer sementes de qualidade superior aos produtores de grãos de soja, várias etapas devem ser rigorosamente monitoradas e executadas com precisão, visto que a semente se trata de um organismo vivo, devendo chegar ao leito de semeadura com o mais alto nível de vigor e, dentre estas etapas da produção, têm-se o beneficiamento de sementes.

O beneficiamento é considerado um processo de suma importância na produção de sementes de alta qualidade, sendo composto por diversas etapas dentro da unidade de beneficiamento de sementes (UBS). Embora não seja possível melhorar a qualidade individual de cada semente, visto que certas características são intrínsecas e podem ser apenas mantidas, a etapa do beneficiamento tem o

objetivo de melhorar a qualidade do lote produzido (FRANÇA-NETO et al., 2016). Para isso, na cultura da soja, são exploradas as características físicas do material proveniente do campo, tais como: massa específica, forma, tamanho e cor.

Dentre as etapas do beneficiamento de sementes de soja, o separador de espiral do tipo estático faz parte do fluxo com a finalidade de separar as sementes pela sua forma morfológica. Este equipamento é constituído basicamente por chapas metálicas espiraladas, concêntricas, posicionadas verticalmente com um determinado ângulo em relação a um eixo central e em espaçamento pré-estabelecido pelo fabricante, alimentados na extremidade superior do equipamento e descarregados na parte inferior (TOMAZETTI et al., 2022), retirando do lote as sementes de formato irregular, vazias, atacadas por insetos e/ou que tiveram sua forma comprometida pelas condições de produção no campo.

Além dos fatores supracitados, a liberação contínua de novas cultivares com sementes menos esféricas tem acarretado importante impacto no aproveitamento de sementes durante o beneficiamento. Diante do exposto, objetivou-se avaliar o aproveitamento de beneficiamento e a qualidade física e fisiológica de sementes de soja, beneficiadas em separador de espiral estático, a partir de sementes previamente classificadas ou não.

2 Material e métodos

O trabalho foi realizado nas dependências de uma unidade de beneficiamento de sementes, localizada no município de Santa Rita, Paraguai, durante os meses de junho a agosto de 2021. Foram utilizadas sementes de soja, formada por lotes individuais e originadas de um mesmo campo de produção, colhidas no mês de maio de 2021, das cultivares 60I62 IPRO e 62R63.

Após limpas e secas, separou-se durante o fluxo de beneficiamento amostras individualizadas de 40 kg de cada cultivar, correspondente a uma fração que não havia passado pela padronização por tamanho e outras que haviam passado pelo conjunto de peneiras de furos circulares com diâmetros de 5.0, 6.0 e 7.0 mm. Cada parcela experimental foi representada por um saco de sementes de 40kg, beneficiado individualmente no separador de espiral, totalizando 24 sacos de sementes para o experimento. O separador de espiral utilizado para a condução do

experimento foi o modelo estático, produzido pela Silomax®, utilizado para testes fora da linha de beneficiamento, que apresenta as mesmas dimensões do equipamento comercializado/instalado na linha de beneficiamento, capaz de beneficiar até 1.200 kg.h⁻¹, variando de acordo com o diâmetro da abertura da chapa de alimentação utilizada. As amostras de sementes foram beneficiadas no separador de espiral estático, gerando um fluxo de alimentação médio de 444 kg de sementes beneficiadas por hora, considerando a utilização dos discos para alimentação do espiral com diâmetro de 44, 36, 44 e 50mm para o material não classificado e peneiras 5.0, 6.0 e 7.0, respectivamente.

A pesquisa foi dividida em dois trabalhos, sendo o Experimento I referente à fração aproveitada do separador de espiral e o Experimento II relativo à fração descarte. Para ambos os experimentos, foram utilizados duas cultivares e quatro tamanhos de peneiras (sem classificação, 5,0, 6,0 e 7,0 mm).

2.1 Experimento I

Correspondente à avaliação do aproveitamento, qualidade física e fisiológica das sementes de soja da fração aproveitada do separador de espiral estático (fração de sementes descarregada das espirais internas).

2.2 Experimento II

Correspondente à avaliação do descarte, qualidade física e fisiológica das sementes de soja da fração descartada do separador de espiral estático (fração de sementes que permaneceu nas espirais internas).

2.3 Variáveis analisadas

Para avaliar o efeito dos tratamentos nos Experimentos I e II, foram avaliadas as características físicas e fisiológicas das sementes de soja utilizando os seguintes testes:

Aproveitamento de sementes: o aproveitamento de sementes foi obtido dividindo-se o peso de material recuperado na fração semente descarregada das espirais internas e da fração de sementes que permaneceu nas espirais internas do

separador, pelo peso da fração colocada no depósito de alimentação, transformado em percentual de aproveitamento e percentual de descarte, respectivamente.

Análise de pureza física: foi realizada conforme as Regras para Análise de Sementes – RAS (Brasil, 2009), sendo a amostra classificada em sementes puras, material inerte e outras sementes, indicadas em porcentagem por peso da amostra de trabalho (500g) de cada etapa, por meio de contagem manual.

A partir da porção semente pura da análise de pureza física, foram realizadas as seguintes determinações:

Peso de mil sementes: foram utilizadas oito subamostras de 100 sementes, em umidade padrão de 13%. Os procedimentos foram realizados conforme as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

Germinação: foi realizada com três repetições, cada uma composta por quatro subamostras de 50 sementes, semeadas em substrato de papel (germitest®), previamente umedecido com água destilada, utilizando-se 2,5 vezes o peso do papel seco e, mantidas em germinador à temperatura de 25 °C. As avaliações foram efetuadas aos oito dias após a semeadura, sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais, conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Envelhecimento acelerado: foi conduzido com quatro subamostras de 50 sementes por repetição, as quais foram dispostas em camada única sobre uma tela de aço inox, acoplada no interior de caixas plásticas (gerbox), contendo 40 mL de água destilada no fundo (MARCOS FILHO, 2020). Posteriormente, as caixas foram transferidas para câmara de germinação tipo BOD a 41 °C por 48 horas. Após esse período, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, conforme descrito anteriormente. A avaliação foi realizada no quinto dia após a semeadura, computando-se as plântulas consideradas normais (BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

Teste de tetrazólio: foi realizado utilizando 100 sementes por repetição, divididas em duas subamostras de 50 sementes, sendo estas acondicionadas entre papel por 16 horas à temperatura de 25° C. Passado o tempo necessário ao condicionamento, as sementes foram totalmente submersas na solução de 0,075 % de sal de tetrazólio e, colocadas em estufa à temperatura de 40° C por um período de 2,5 horas, sendo posteriormente lavadas e analisadas individualmente quanto à

viabilidade e vigor, com os resultados expressos em porcentagem (FRANÇA NETO; KRZYZANOWSKI, 2019).

Condutividade elétrica: foram utilizadas 25 sementes por subunidade, para cada repetição. As sementes foram pesadas e em seguida imersas em um recipiente contendo 80 mL de água deionizada e, mantidas por um período de 24 horas em incubadora tipo BOD à temperatura de 25° C. Após esse período, realizou-se a leitura da condutividade elétrica da solução com o auxílio de um condutivímetro digital. Os resultados foram expressos em $\mu\text{Sm}^{-1}\text{g}^{-1}$ de sementes, conforme metodologia adaptada de Vieira; Marcos Filho (2020).

2.4 Procedimento experimental

Foi utilizado delineamento em blocos casualizados e esquema fatorial 2 x 4, correspondendo a duas cultivares e quatro tamanhos de peneiras (sem classificação, 5,0, 6,0 e 7,0 mm), respectivamente, com três repetições por tratamento.

Os dados foram avaliados quanto à normalidade dos erros e homogeneidade da variância e, posteriormente, foram submetidos à análise de variância, em nível de probabilidade de 5% pelo teste F. Sendo significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey em nível de probabilidade de 5%. A análise estatística foi realizada usando o programa estatístico Rbio® (BHERING, 2017).

3 Resultados e discussão

3.1 Experimento I

O resumo da análise de variância revelou interação significativa entre cultivares e peneiras para as todas as variáveis analisadas, à exceção da germinação e condutividade elétrica, onde foi observado apenas efeito isolado dos fatores de tratamento (Tabela 1).

Tabela 1 – Resumo da análise de variância das variáveis aproveitamento (APRO), peso de mil sementes (PMS), pureza física (PF), germinação (GER), envelhecimento acelerado (EA), teste de tetrazólio (VIATZ - viabilidade e VIATZ - vigor) e condutividade elétrica (CE) de sementes de duas cultivares de soja previamente classificadas por tamanho e submetidas ao beneficiamento em separador de espiral estático. Los Cedrales, PY, 2023.

F.V.	G.L.	APRO	PMS	PF	GER	EA	VIATZ	VIGTZ	CE
Bloco	2	0,015	10,5	0,067	4,54	3,79	1,63	8,29	7,82
Tamanho (T)	3	6,006*	1700,5*	0,119*	22,04*	86,15*	43,82*	53,61*	35,94 ^{ns}
Cultivar (C)	1	26,041*	253,5*	0,02*	145,04*	532,04*	630,38*	888,17*	2523,82*
T x C	3	4,606*	52,94*	0,138*	12,71 ^{ns}	64,6*	22,15*	8,94*	386,67 ^{ns}
Resíduo	14	0,08	2,98	0,04	4,11	2,22	2,01	3,24	29,20
Total	23								
CV (%)		0,29	1,14	0,20	2,27	1,83	1,63	2,24	9,15

* significativo a 5% de probabilidade de erro; ^{ns} não significativo; F.V: fonte de variação; G.L.: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação.

Para a variável aproveitamento de sementes, constatou-se para a cultivar 60I62 IPRO que as sementes sem classificação e a peneira 5.0 apresentaram o menor percentual de aproveitamento em relação às demais, não diferindo entre si. Já para a cultivar 62R63, as sementes sem classificação apresentaram o menor aproveitamento de sementes (Tabela 2).

Tabela 2 – Aproveitamento, peso de mil sementes e pureza física da fração aproveitada em função da classificação em peneiras (PN), em sementes de duas cultivares de soja. Los Cedrales, PY, 2023.

PENEIRA (mm)	Cultivar 60I62 IPRO	Cultivar 62R63
	Aproveitamento de Sementes (%)	
S/ Classificação	95,6 cB	97,6 cA
PN 5.0	95,1 cB	99,5 aA
PN 6.0	98,7 aA	98,8 bA
PN 7.0	97,5 bB	99,4 abA
Média	96,7	98,8
CV (%)	0,29	
Peso de Mil Sementes (g)		
S/ Classificação	146,7 cA	138,3 cB
PN 5.0	136,3 dA	135,7 cA
PN 6.0	159,0 bA	145,0 bB
PN 7.0	176,0 aA	173,0 aA
Média	154,5	148,0
CV (%)	1,14	
Pureza Física (%)		
S/ Classificação	99,9 aA	99,5 bB
PN 5.0	100,0 aA	99,9 aA
PN 6.0	99,7 aA	99,9 aA
PN 7.0	100,0 aA	100,0 aA
Média	99,9	99,8
CV (%)	0,2	

Médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo, letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, pelo método de agrupamento de médias de Tukey a 5% de probabilidade.

É importante destacar que lotes de sementes com diferentes tamanhos e formas diminuem a eficiência de separação do espiral estático, visto que sementes de formato esférico e bem formadas adquirem maior velocidade e são direcionadas para fora das espirais, sendo coletadas por uma espiral mais externamente localizada e destinadas para a próxima etapa do beneficiamento (TOMAZETTI et al., 2022). Em casos de alta porcentagem de sementes deformadas dentro do lote, pode-se diminuir a velocidade de sementes esféricas e, conseqüentemente, diminuir o aproveitamento.

Comparando-se o aproveitamento de semente entre as duas cultivares analisadas, observou-se que a cultivar 62R63 apresentou maior aproveitamento de sementes no separador de espiral para sementes não classificadas, e nas peneiras 5.0 e 7.0 mm (Tabela 2). Este fato pode estar associado às características morfológicas das sementes da cultivar 62R63, que podem ser levemente mais esféricas que as sementes da cultivar 60I62 IPRO, fazendo com que um número maior de sementes saia da espiral interna e sejam aproveitadas.

É oportuno destacar que o tamanho das sementes acaba sendo, muitas vezes, uma característica genética das cultivares, expressa fenotipicamente. A capacidade de germinar não é influenciada pelo tamanho ou densidade das sementes, o fator limitante é expresso pelo seu vigor, havendo contradições de produtores devido às características observadas durante o desenvolvimento inicial (MIQUELÃO et al., 2018).

Para a variável peso de mil sementes, com relação ao tamanho das sementes, houve um acréscimo gradual a medida em que se aumentou o tamanho da abertura da peneira, independente da cultivar (Tabela 2), à exceção do material não classificado. Entre as cultivares, constatou-se que a cultivar 60I62 IPRO apresentou maior peso após serem beneficiadas no separador de espiral estático, para sementes não classificadas e/ou no tamanho de peneira 6.0 mm.

Com relação à qualidade física das sementes, somente foi constatada diferença significativa para a cultivar 62R63, que apresentou o menor percentual de pureza física na fração não classificada, sendo também inferior ao material não classificado comparado a cultivar 60I62 IPRO. No entanto, apesar da diferença observada, o percentual de pureza física observada no experimento foi sempre

superior ao mínimo exigido pela legislação brasileira, na Instrução Normativa 45 (BRASIL, 2023) (Tabela 2).

Para a qualidade fisiológica das sementes, pelo teste de germinação, observou-se que, independentemente da cultivar, as sementes classificadas nas peneiras 6.0 e 7.0 mm apresentaram desempenho médio superior aos demais tratamentos. Considerando o efeito da cultivar, as sementes da 60I62 IPRO apresentaram maior porcentagem média de germinação comparativamente às sementes da cultivar 62R63 (Tabela 3).

Pelos resultados obtidos no teste de envelhecimento acelerado, constatou-se que o lote da cultivar 60I62 IPRO, classificada na peneira 7.0 mm, apresentou vigor superior às sementes não classificadas e de peneira 5.0 e 6.0 mm (Tabela 3). Já para a cultivar 62R63, as sementes classificadas nas peneiras 6.0 e 7.0 mm não apresentaram diferença significativa de vigor, sendo superiores ao material não classificado e/ou padronizado na peneira 5.0 mm, que apresentou o menor vigor (Tabela 3). Entre os materiais, o lote da cultivar 60I62 IPRO apresentou vigor superior em todas as peneiras comparativamente ao lote da cultivar 62R63, à exceção na peneira 6.0, onde não foi observada diferença significativa.

Para as sementes de soja que tiveram sua viabilidade avaliada pelo teste de tetrazólio, observou-se interação significativa entre os fatores analisados, divergindo do teste de germinação, que também afere a viabilidade das sementes, mas não proporcionou interação entre os fatores (Tabela 3). As sementes de tamanho 7.0 mm apresentaram viabilidade superior em relação às sementes de tamanho 5.0; 6.0 mm e não classificadas, independente da cultivar utilizada, à exceção para o material não classificado da cultivar 62R63, onde não houve diferença significativa. Entre os materiais, para todas as peneiras, o lote da cultivar 60I62 IPRO apresentou viabilidade superior.

Entretanto, para o vigor de sementes via teste de tetrazólio, as sementes classificadas na peneira 7.0 mm apresentaram o maior vigor médio (Tabela 3). Comparando-se apenas as cultivares, sem a interferência do tamanho de peneiras, as sementes da cultivar 60I62 IPRO apresentaram-se mais vigorosas do que as sementes da cultivar 62R63, sendo o vigor da primeira considerada alto e o da segunda médio (FRANÇA-NETO; KRZYZANOWSKI, 2019). Vale ressaltar que mesmo com diferenças na variabilidade das sementes que compõem um mesmo

lote, para as duas cultivares, os resultados obtidos para o vigor via tetrazólio podem também ser decorrentes dos microclimas existentes em uma mesma área de produção e, principalmente, pela característica genética destes materiais (DELARMELINO-FERRARESI et al., 2014). Ainda, o maior aproveitamento de sementes da cultivar 62R63, provavelmente reflexo do formato mais esférico de suas sementes, pode ter proporcionado o aproveitamento de sementes de qualidade fisiológica inferior.

Tabela 3 – Germinação, envelhecimento acelerado (EA), teste de tetrazólio (viabilidade e vigor) e condutividade elétrica (CE) de sementes de soja da fração aproveitada no separador de espiral estático, em função da classificação das sementes em peneiras, em duas cultivares de soja. Los Cedrales – PY, 2023.

PENEIRA (mm)	60I62 IPRO	62R63
	Germinação (%)	
S/ Classificação		88 b
PN 5.0		88 b
PN 6.0		90 ab
PN 7.0		92 a
Média	92 A	87 B
CV (%)	2,27	
	Envelhecimento acelerado (%)	
S/ Classificação	84 bA	74 bB
PN 5.0	86 bA	69 cB
PN 6.0	84 bA	83 aA
PN 7.0	90 aA	81 aB
Média	86	77
CV (%)	1,83	
	Viabilidade tetrazólio (%)	
S/ Classificação	89 bA	84 aB
PN 5.0	91 bA	77 cB
PN 6.0	91 bA	80 bB
PN 7.0	95 aA	85 aB
Média	92	82
CV (%)	1,63	
	Vigor tetrazólio (%)	
S/ Classificação		78 b
PN 5.0		80 b
PN 6.0		80 b
PN 7.0		85 a
Média	87 A	74 B
CV (%)	2,24	
	Condutividade elétrica (mS cm ⁻¹ g ⁻¹)	
S/ Classificação	56,1 Ab	62,9 bA
PN 5.0	49,3 abB	62,2 bA
PN 6.0	52,1 aB	71,2 abA
PN 7.0	37,7 bB	81,1 aA
Média	48,8	69,4
CV (%)	9,15	

Médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo, letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, pelo método de agrupamento de médias de Tukey a 5% de probabilidade.

Para as sementes submetidas ao teste de condutividade elétrica, observou-se que as sementes da cultivar 62R63 apresentaram maior quantidade de lixiviados em comparação às sementes da cultivar 60I62 IPRO e, à medida que se aumentou o tamanho da peneira, as sementes da cultivar 62R63 apresentaram maior condutividade elétrica (Tabela 3).

Interpretando-se conjuntamente os dados de vigor pelo teste do tetrazólio e via teste de condutividade elétrica, pode-se considerar que as sementes de peneiras maiores da cultivar 62R63 foram mais propensas aos riscos de danificação mecânica durante as etapas de colheita e/ou secagem e/ou transporte, o que proporcionou maior lixiviação de exsudatos no teste de condutividade elétrica, afetando diretamente o vigor das sementes (Tabela 3). Neste contexto, ressalta-se que o tegumento apresenta função de proteção as estruturas internas, evitando ruptura das células e perda de substâncias intracelulares, além de proteger o eixo embrionário. As características morfológicas do tegumento variam para cada genótipo e essas características podem influenciar na penetração da água e no mecanismo de controle de umidade e no dano mecânico (MADEIRA et al., 2023).

Devido à pequena espessura, o tegumento da soja gera pouca proteção para o embrião, acarretando possíveis danos, visto que uma semente com tegumento danificado pode, na maioria das vezes, facilitar a entrada de patógenos no interior das sementes e prejudicar a qualidade fisiológica (FRANÇA NETO, KRZYZANOWSKI, 2018). No entanto, isso não elimina a importância do tegumento sobre a qualidade da semente pois, o envoltório da semente possui um papel significativo no processo de germinação, atuando como regulador de absorção de água e na proteção contra ao dano mecânico e contra microrganismos (ZORATO, 2018).

3.2 Experimento II

Na Tabela 4 encontra-se o resumo da análise de variância das variáveis referentes à fração descarte do separador de espiral estático, que revelou interação significativa entre os fatores cultivar e peneira para todas as variáveis analisadas, ao nível de probabilidade de 5% (Tabela 4).

Tabela 4 – Resumo da análise de variância das variáveis descarte (DESC), peso de mil sementes (PMS), pureza física (PF), germinação (GER), envelhecimento acelerado (EA), teste de tetrazólio (VIATZ - viabilidade e VIGTZ - vigor) e condutividade elétrica (CE) de sementes de duas cultivares de soja previamente classificadas por tamanho e submetidas ao beneficiamento em separador de espiral estático. Los Cedrales, PY, 2023.

F.V.	G.L.	DESC	PMS	PF	GER	EA	VIATZ	VIGTZ	CE
Bloco	2	0,02	4,04	1,51	0,04	0,29	30,29	10,13	190,1
Tamanho (T)	3	6,01*	1982,56*	457,60*	1376,38*	1858,83*	1162,33*	1621,39*	16936,70*
Cultivar (C)	1	26,04*	240,67*	246,40*	1552,04*	2166,00*	1441,50*	1536,00*	19280,00*
T x C	3	4,61*	60,33*	269,74*	249,82*	149,56*	162,06*	82,56*	4920,90*
Resíduo	14	0,08	4,71	2,7	7,66	16,15	8,01	14,32	50,60
Total	23								
CV(%)		12,78	1,49	1,74	4,16	6,8	4,1	6,39	5,29

*Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo; F.V: fonte de variação; G.L.: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação.

As sementes beneficiadas no separador de espiral estático, em média, apresentaram baixos níveis de descarte, independente da cultivar e da classificação, considerando como alta taxa de descarte no espiral valores superiores a 10% (EMBRAPA, 2016). Para ambas as cultivares, os maiores descartes se concentraram nas sementes não classificadas e, também, na peneira 5.0 mm para a cultivar 60I62 IPRO (Tabela 5). Ainda, observou-se que as sementes da cultivar 60I62 IPRO apresentaram maior porcentagem de descarte em relação a cultivar 62R63 em todas as peneiras avaliadas, à exceção em 6.0 mm, para a qual não houve diferença (Tabela 5).

Denota-se que o percentual de descarte oriundo do separador de espiral é influenciado pela qualidade física dos lotes beneficiados. Impurezas indesejadas, bem como sementes malformadas ou atacadas por fungos, que não foram retiradas em etapas anteriores, podem comprometer a eficiência do separador de espiral. É importante ressaltar que o tamanho da semente e seu formato são determinados pelo genótipo, mas também sofrem influência das condições ambientais prevalentes durante o desenvolvimento em campo (MATHIAS; COELHO, 2019), com destaque para a disponibilidade de água e a fertilidade do solo.

As sementes sem classificação e classificadas na peneira 5.0 mm, apresentaram peso de mil sementes menor do que aquelas sementes classificadas nas peneiras 6.0 e 7.0 mm, independente da cultivar utilizada. Destaca-se também que as sementes sem classificação e classificadas na peneira de 6.0 mm da cultivar 60I62 IPRO, apresentaram peso de mil sementes superior às sementes da cultivar 62R63. (Tabela 5). Embora estejam classificadas no mesmo tamanho, é importante

destacar que a peneira que identifica o tamanho é o “piso” de um intervalo de 1 mm, ou seja, a peneira 6.0 mm compreende à fração de sementes entre 6.0 mm até o “teto” de largura inferior a 7,0 mm. Sendo assim, são esperadas diferenças na composição de tamanhos em decorrência da diferença de retenção na distribuição de sementes nessa faixa de largura, para as diferentes cultivares avaliadas.

Com relação a pureza física das sementes de soja, constatou-se que as sementes previamente classificadas apresentaram maior pureza física do que as não classificadas. Observou-se também que as sementes do lote da cultivar 62R63 apresentaram menor pureza física do que as sementes do lote da cultivar 60I62 IPRO, para sementes não classificadas antes da passagem no separador de espiral estático (Tabela 5). Ao avaliar diferentes métodos de colheita e sua influência no beneficiamento de sementes de soja, Lopes et al. (2011) verificaram que as sementes coletadas antes e após o beneficiamento no separado de espiral estático, apresentaram alta porcentagem de pureza física.

Tabela 5 – Descarte, peso de mil sementes e pureza física da fração descarte em função da classificação em peneiras em duas cultivares de soja. Los Cedrales, PY, 2023.

PENEIRA (mm)	60I62 IPRO	62R63
	Descarte de Sementes (%)	
S/ Classificação	4,4 aA*	2,4 aB
PN 5.0	4,9 aA	0,5 cB
PN 6.0	1,3 cA	1,2 bA
PN 7.0	2,5 bA	0,6 bcB
Média	3,3	1,2
CV (%)	12,78	
PENEIRA (mm)	60I62 IPRO	62R63
	Peso de Mil Sementes (g)	
S/ Classificação	140,0 cA	124,7 dB
PN 5.0	133,3 dA	130,3 cA
PN 6.0	151,0 bA	145,0 bB
PN 7.0	171,0 aA	170,0 aA
Média	148,8	142,5
CV (%)	1,49	
PENEIRA (mm)	60I62 IPRO	62R63
	Pureza Física (%)	
S/ Classificação	94,8 bA	68,3 bB
PN 5.0	97,5 aA	99,2 aA
PN 6.0	99,8 aA	98,4 aA
PN 7.0	99,2 aA	99,8 aA
Média	97,8	91,4
CV (%)	1,74	

*Médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo, letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, pelo método de agrupamento de médias de Tukey a 5% de probabilidade.

Nesse sentido, o material sem classificação do lote da cultivar 62R63 apresentou mais de 30% de impurezas, demonstrando que o separador de espiral

acabou complementando o serviço de limpeza, não realizado adequadamente pela máquina de ar e peneiras, o que não é desejável, uma vez que o equipamento tem sua eficiência diminuída ao receber material com alta incidência de impurezas, podendo gerar acúmulo de resíduos nas espirais internas, exigindo paradas forçadas para limpeza.

Em relação à qualidade fisiológica do descarte gerado no separador de espiral estático, na avaliação da germinação das sementes, para ambas as cultivares, observou-se maior porcentagem de germinação nas sementes previamente classificadas, exceto para a peneira 5.0 mm da cultivar 62R63, que não apresentou diferença em relação ao material não classificado. Constatou-se que a medida que se aumentou o tamanho da abertura da peneira, a porcentagem de germinação das sementes foi acrescida, com exceção da peneira 7.0 mm da cultivar 62R63 (Tabela 6). Contudo, os valores de germinação para o lote da cultivar 62R63 apresentaram-se baixos, confirmando que o descarte após passagem no separador de espiral possuía baixa qualidade fisiológica (Tabela 6). Por outro lado, ao avaliar conjuntamente em valores absolutos, os resultados de germinação obtidos nos Experimentos I e II, permitem inferir que o descarte gerado deveria ser maior, principalmente para as peneiras sem classificação e tamanho 6.0 mm, visto que a germinação ficou abaixo de 90% na fração aproveitada e igual ou inferior a 73% na fração descarte e, embora a legislação exija germinação mínima de 80% para comercialização de sementes de soja (BRASIL, 2013), o mercado é o principal regulador desse padrão, exigindo, na maioria das regiões brasileiras, germinação igual ou superior a 90%. Parte dessa diferença pode também estar relacionada à massa específica da semente, havendo possibilidade de a qualidade fisiológica desses lotes ser melhorada após a passagem pela mesa densimétrica. A mesma tendência foi observada para a variável viabilidade no teste de tetrazólio.

Tabela 6 – Germinação, envelhecimento acelerado, teste de tetrazólio (viabilidade e vigor) e condutividade elétrica de sementes de soja da fração descarte no separador de espiral estático, em função da classificação em peneiras, em duas cultivares de soja. Los Cedrales – PY, 2023.

PENEIRA (mm)	60I62 IPRO	62R63
	Germinação (%)	
S/ Classificação	47 cA*	48 cA
PN 5.0	73 bA	49 cB
PN 6.0	86 aA	73 aB
PN 7.0	92 aA	64 bB
Média	75	59
CV (%)	4,16	
	Envelhecimento acelerado (%)	
S/ Classificação	41 cA	34 bB
PN 5.0	63 bA	40 bB
PN 6.0	81 aA	66 aB
PN 7.0	89 aA	58 aB
Média	69	50
CV (%)	6,8	
	Viabilidade Tetrazólio (%)	
S/ Classificação	53 cA	51 cA
PN 5.0	74 bA	55 cB
PN 6.0	90 aA	75 aB
PN 7.0	91 aA	65 bB
Média	77	62
CV (%)	4,1	
	Vigor Tetrazólio (%)	
S/ Classificação	43 cA	34 cB
PN 5.0	61 bA	46 bB
PN 6.0	80 aA	66 aB
PN 7.0	85 aA	59 aB
Média	67	51
CV (%)	6,39	
	Condutividade Elétrica (mS cm ⁻¹ g ⁻¹)	
S/ Classificação	195,2 aA	192,3 aA
PN 5.0	120,3 bB	203,9 aA
PN 6.0	64,7 cB	87,6 cA
PN 7.0	44,8 dB	168,1 bA
Média	106,3	162,9
CV (%)	5,29	

*Médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo, letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, pelo método de agrupamento de médias de Tukey a 5% de probabilidade.

Destaca-se que sementes sem classificação, mesmo que beneficiadas no separador de espiral estático, tendem a apresentar qualidade fisiológica inferior àquelas sementes previamente classificadas e padronizadas (PESKE et al., 2019). Logo, nas atuais unidades de beneficiamento de sementes de soja, tem-se priorizado o posicionamento dos padronizadores antes do separador de espiral, na tentativa de diminuir o volume de sementes malformadas antes deste equipamento.

Justificando este conceito, Wendt et al. (2014) observaram que lotes que apresentam maior quantidade de sementes de soja mais alongadas e menos esféricas apresentaram menor germinação, com menor potencial fisiológico. Este

fato pode contribuir substancialmente sobre os conceitos de classificação das sementes de soja e, principalmente, sobre os modelos de fluxograma no beneficiamento de sementes desta espécie.

Ao avaliar o vigor da fração descarte pelo teste de envelhecimento acelerado, após o beneficiamento no separador de espiral estático, as sementes não classificadas e classificadas na peneira 5.0 mm apresentaram vigor inferior às demais peneiras, independente da cultivar (Tabela 6). Ainda, as sementes de ambas as cultivares apresentaram comportamento semelhante ao da germinação, sendo as sementes do lote da cultivar 60I62 IPRO de maior vigor. Porém, os valores do teste de envelhecimento acelerado apresentaram-se baixos, principalmente no lote da cultivar 62R63, confirmando que o beneficiamento no separador de espiral estático pode ser eficiente na separação de sementes indesejáveis, melhorando, consequentemente, as características físicas e fisiológicas do lote (Tabela 6).

Ainda na tabela 6, observou-se que os resultados de vigor pelo teste de tetrazólio foram semelhantes aos de envelhecimento acelerado, constatando-se que o descarte oriundo do separador de espiral estático apresentou baixa qualidade fisiológica, oportunizando retirar sementes com características fisiológicas indesejáveis dentro de um lote de sementes. No entanto, pelos baixos valores de vigor observados no material sem classificação e classificado na peneira 5.0 mm, pode-se inferir que parte das sementes de baixa qualidade pode ter sido direcionada para a fração aproveitada, uma vez que o valor do vigor obtido no descarte foi muito baixo.

A avaliação do vigor pelo teste de condutividade elétrica demonstrou que as sementes de ambos os lotes das cultivares no material sem classificação e classificado na peneira 5.0 mm apresentaram as maiores quantidade de lixiviados. Para o material classificado, o lote da cultivar 62R63 apresentou o menor vigor comparativamente ao lote da cultivar 60I62 IPRO (Tabela 6).

De acordo com o relato por Costa et al. (2018), sementes com maior vigor tendem a possuir menores valores de condutividade elétrica devido ao fato de estas possuírem maior integridade do sistema de membranas celulares. Já sementes maiores, conforme preconiza Padilha et al. (2023), tendem a sofrer com o dano mecânico em várias fases do beneficiamento, porém, esse comportamento não foi observado neste trabalho, visto que as sementes maiores apresentaram valores de

condutividade elétrica menores do que as sementes da peneira 5.0 mm, conforme exemplo (Tabela 6).

Diante do exposto, cabe ressaltar que quanto menor o valor de condutividade elétrica ou liberação de exsudatos, maior o vigor da semente, revelando menor intensidade de desorganização dos sistemas de membranas celulares. Assim, as sementes de baixo vigor tendem a apresentar maior desorganização na estrutura das membranas celulares e valores de condutividade elétrica maiores (SANTIN; AGUIAR, 2023).

Em análise geral dos resultados obtidos, após o beneficiamento no separador de espiral estático, sementes do lote da cultivar 60I62 IPRO apresentaram os maiores percentuais de descarte, com o maior potencial fisiológico, comparativamente ao lote da cultivar 62R63. O menor percentual de descarte no lote da cultivar 62R63 e, os baixos resultados de qualidade fisiológica observados na fração descarte deste material, demonstram a menor eficiência do uso do separador de espiral estático para essa cultivar, sobre a qualidade fisiológica do material aproveitado.

4 Conclusões

Sementes de soja previamente classificadas apresentam maior aproveitamento de beneficiamento e superior qualidade física e fisiológica, comparativamente às sementes não classificadas, após a passagem em separador de espiral estático, independentemente da cultivar.

As sementes de soja classificadas na peneira 7.0 mm apresentam superioridade em pureza física e qualidade fisiológica no aproveitamento após o beneficiamento no separador de espiral estático.

O material de descarte no separador de espiral estático, proveniente das peneiras 6.0 e 7.0, apresentam qualidade fisiológica superior aos demais tamanhos de abertura de peneiras, para ambas as cultivares.

As sementes dos lotes das cultivares avaliadas respondem de maneira distinta quanto ao aproveitamento e à qualidade fisiológica, após o beneficiamento no separador de espiral estático.

Capítulo 2 – Separador de espiral rotativo: aproveitamento de beneficiamento e qualidade física e fisiológica de sementes de soja

1 Introdução

A cultura da soja é uma das principais cadeias de produção do agronegócio em território nacional. Atualmente, o Brasil sustenta o posto de maior produtor mundial, com uma produção na safra 2022/2023 de aproximadamente 155 milhões de toneladas de grãos de soja, em uma área cultivada de 44,1 milhões de ha e produtividade média de 3.509 kg ha⁻¹, o que correspondeu um acréscimo de 23% na produção em relação à safra anterior (CONAB, 2023).

Devido à sua grande importância econômica e aos elevados índices de produtividade, a semeadura de uma lavoura de soja deve levar em consideração vários aspectos para um desenvolvimento satisfatório da cultura. Um desses fatores é a utilização de sementes com elevada qualidade fisiológica para que a cultivar escolhida possa expressar todo o potencial produtivo e consiga ser conduzida a sobressair-se das adversidades impostas pelo ambiente de produção (CRUZ et al., 2022).

Para atender a demanda de sementes de soja em quantidade e, principalmente, com qualidade superior, deve-se priorizar a melhoria das características dos atributos físicos, fisiológicos, genéticos e sanitários dos lotes de sementes após a colheita dos campos de produção. Logo, para alcançar estes resultados, uma etapa crucial é o beneficiamento de sementes, que compreende vários processos até a obtenção de um lote de sementes de alto padrão. As fases são divididas em pré-limpeza, secagem, limpeza, padronização (por tamanho, forma e peso), determinação de massa, embalagem, armazenamento e tratamento industrial (DRUMOND et al., 2019).

A qualidade das sementes é garantida numa função direta das condições de produção no campo, aliado aos processos do beneficiamento. O processo de beneficiamento é uma etapa importante da produção de sementes, a qual proporciona vantagens, pois realça as características do lote, aprimorando o

material, gerando facilitação da venda, obtenção de preços melhores, além do agricultor adquirir uma matéria prima de melhor qualidade (NEVES et al., 2016).

De acordo com França-Neto et al. (2016), a sequência adequada de máquinas usadas no fluxo de beneficiamento de semente de soja passa pela recepção, pré-limpeza, secagem, máquina de ar e peneiras, separador de espiral, padronizador e mesa densimétrica. Estes mesmos autores ainda relatam que em algumas cultivares pode ocorrer uma alta taxa de descarte de sementes, acima de 10%, no separador de espiral, o que vai requerer uma alteração na sequência de máquinas no beneficiamento, ficando então o padronizador antes do separador de espiral.

Além das modificações de fluxo no beneficiamento de sementes de soja, vários equipamentos têm sido modernizados a fim de melhorar os processos de classificação, como é o caso do separador de espiral rotativo. Este equipamento possui flexibilidade de adaptação em suas configurações para atender as necessidades específicas das sementes de cada cultivar e qualidade do lote. Apresenta controle de velocidade de rotação variável, tanto no sentido horário, como no anti-horário, capaz de aplicar ganhos ou não à velocidade das sementes, facilitando sua saída do equipamento e maximizando o aproveitamento de sementes com qualidade superior no beneficiamento.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar a qualidade física e fisiológica de sementes de soja das frações aproveitada e descartada de um separador de espiral rotativo, empregando sementes previamente classificadas ou não em diferentes tamanhos de abertura de peneiras.

2 Material e métodos

O trabalho foi conduzido em uma Indústria de Beneficiamento de Sementes (IBS), localizada no município de Santa Rita no Paraguai, sendo realizado durante os meses de junho a agosto de 2021. Foram utilizadas sementes de soja, formada por lotes individuais e originadas de um mesmo campo de produção, colhidas no mês de maio de 2021, das cultivares 60I62 IPRO e 62R63.

Após limpas e secas, separou-se durante o fluxo de beneficiamento amostras individualizadas de 40 kg de cada cultivar, correspondente a uma fração que não

havia passado pela padronização por tamanho e outras que haviam passado pelo conjunto de peneiras de furos circulares com diâmetros de 5.0, 6.0 e 7.0 mm. Para a aplicação dos tratamentos, foi utilizado uma amostra de 40 kg por parcela do experimento, previamente padronizadas por tamanho, com intervalo de classificação de 1,0 mm e uma amostra sem a passagem pelo padronizador (sem classificação). Posteriormente, as amostras foram submetidas à passagem pelo separador de espiral rotativo, nas velocidades de rotação de 0; 10; 20 e 30 rpm. Ao total, foram utilizados 96 sacos de sementes de soja de 40 kg para o experimento, considerando que cada unidade constituiu uma parcela experimental (2 cultivares X 4 classificações de peneira X 4 velocidades de rotação no separador de espiral rotativo). Para a condução do experimento, foi utilizado um equipamento de testes, fabricado pela empresa Silomax®, operando em rotação horária, auxiliando a massa de sementes a ganhar velocidade e ser conduzida para a fração aproveitada do equipamento. O equipamento utilizado é constituído de uma única espiral rotativa, com as mesmas dimensões dos equipamentos utilizados na linha de beneficiamento. Foram mensurados, por pesagem, a fração aproveitada (material que saiu da espiral) e descartada (material que permaneceu na espiral) e calculadas a proporção do aproveitamento em percentual. Para o controle da alimentação do separador, foram utilizados discos de abertura com diâmetro de 44, 36, 44 e 50mm para o material sem classificação e peneiras 5.0, 6.0 e 7.0 mm, respectivamente, proporcionando um fluxo médio de 1.192 kg beneficiados por hora.

A pesquisa foi dividida em dois estudos, sendo o Experimento I correspondente à fração aproveitada do separador e, a avaliação do descarte sendo o Experimento II. Para ambos os experimentos, foram utilizadas sementes de duas cultivares, quatro rotações de espiral (zero, 10, 20 e 30 rpm) e quatro tamanhos de sementes (sem classificação, 5,0, 6,0 e 7,0 mm)

2.1 Experimento I

Correspondente à avaliação do aproveitamento, qualidade física e fisiológica das sementes de soja da fração aproveitada do separador de espiral rotativo.

2.2 Experimento II

Correspondente à avaliação do descarte, da qualidade física e fisiológica das sementes de soja da fração descartada do separador de espiral rotativo.

2.3 Variáveis analisadas

Para avaliar o efeito dos tratamentos nos Experimentos I e II, além de determinar o percentual de aproveitamento e de descarte, foram avaliadas as características físicas e fisiológicas das sementes de soja por meio dos seguintes testes:

Aproveitamento de sementes: o aproveitamento de sementes foi obtido dividindo o peso de material recuperado na fração semente descarregada da espiral e da fração de sementes que permaneceu na espiral do separador rotativo, pelo peso da fração colocada no depósito de alimentação, transformado em percentual de aproveitamento e percentual de descarte, respectivamente.

Análise de pureza física: foi realizada conforme as Regras para Análise de Sementes – RAS (Brasil, 2009), sendo a amostra classificada em sementes puras, material inerte e outras sementes, indicadas em porcentagem por peso da amostra de trabalho (500g) de cada etapa, por meio de contagem manual.

A partir da porção semente pura da análise de pureza física, foram realizadas as seguintes determinações:

Peso de mil sementes: foram utilizadas oito subamostras de 100 sementes, em umidade padrão de 13%. Os procedimentos foram realizados conforme as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

Germinação: foi realizada com três repetições, cada uma composta por quatro subamostras de 50 sementes, semeadas em substrato de papel (germitest®), previamente umedecido com água destilada, utilizando-se 2,5 vezes o peso do papel seco e, mantidas em germinador à temperatura de 25 °C. As avaliações foram efetuadas aos oito dias após a semeadura, sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais, conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Envelhecimento acelerado: foi conduzido com quatro subamostras de 50 sementes por repetição, as quais foram dispostas em camada única sobre uma tela de aço inox, acoplada no interior de caixas plásticas (gerbox), contendo 40 mL de água destilada no fundo (MARCOS FILHO, 2020). Posteriormente, as caixas foram

transferidas para câmara de germinação tipo BOD a 41 °C por 48 horas. Após esse período, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, conforme descrito anteriormente. A avaliação foi realizada no quinto dia após a semeadura, computando-se as plântulas consideradas normais (BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

Teste de tetrazólio: foi realizado utilizando 100 sementes por repetição, divididas em duas subamostras de 50 sementes, sendo estas acondicionadas entre papel por 16 horas à temperatura de 25° C. Passado o tempo necessário ao condicionamento, as sementes foram totalmente submersas na solução de 0,075 % de sal de tetrazólio e, colocadas em estufa à temperatura de 40° C por um período de 2,5 horas, sendo posteriormente lavadas e analisadas individualmente quanto à viabilidade e vigor, com os resultados expressos em porcentagem (FRANÇA NETO; KRZYZANOWSKI, 2019).

Condutividade elétrica: foram utilizadas 25 sementes por subunidade, para cada repetição. As sementes foram pesadas e em seguida imersas em um recipiente contendo 80 mL de água deionizada e, mantidas por um período de 24 horas em incubadora tipo BOD à temperatura de 25° C. Após esse período, realizou-se a leitura da condutividade elétrica da solução com o auxílio de um condutivímetro digital. Os resultados foram expressos em $\mu\text{Sm}^{-1}\text{g}^{-1}$ de sementes, conforme metodologia adaptada de Vieira; Marcos Filho (2020).

2.4 Procedimento experimental

Foi utilizado delineamento em blocos ao acaso, em esquema trifatorial 2 x 4 x 4, correspondendo a duas cultivares, quatro velocidades de rotação (zero, 10, 20 e 30 rpm) e quatro tamanhos de sementes (sem classificação, 5,0, 6,0 e 7,0 mm), respectivamente, com três repetições por tratamento.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, sendo significativos, os efeitos da classificação das peneiras e das cultivares foram avaliados pelo teste Tukey, enquanto os efeitos das velocidades de rotação foram avaliados por meio de regressões polinomiais. A análise estatística foi realizada usando o programa estatístico Rbio® ao nível de probabilidade de 5% (BHERING, 2017).

3 Resultados e discussão

3.1 Experimento I

Houve interação significativa entre os três fatores analisados para as variáveis aproveitamento de sementes, germinação, vigor via teste de envelhecimento acelerado, viabilidade pelo teste de tetrazólio, vigor pelo teste de tetrazólio e condutividade elétrica (Tabela 7). Para o peso de mil sementes, houve interação significativa entre os fatores peneira e genótipo. Todavia, para a variável pureza física, foram observados apenas efeitos isolados dos fatores peneira e genótipo.

Para o espiral rotativo, em modo estático (0 rpm), os menores percentuais de aproveitamento foram observados para as sementes não classificadas por tamanho (Tabela 1), com aproximadamente 55% e 76% de aproveitamento para as cultivares 60I62 IPRO e 62R63, respectivamente. De modo geral, a mesma tendência foi observada nas rotações de 10 e 20 rpm, enquanto em 30 rpm não foram observadas diferenças de aproveitamento entre as peneiras utilizadas, em ambas cultivares.

Tabela 7 – Resumo da análise de variância das variáveis aproveitamento (APROV), peso de mil sementes (PMS), pureza física (PF), germinação (GER), envelhecimento acelerado (EA), teste de tetrazólio (VIATZ - viabilidade e **VIGTZ** - vigor) e condutividade elétrica (CE) de sementes de duas cultivares de soja previamente classificadas por tamanho e submetidas ao beneficiamento em separador de espiral rotativo com diferentes velocidades de rotação. Los Cedrales, PY, 2023

F.V.	G.L.	APROV	PMS	PF	GER	EA	VIATZ	VIGTZ	CE
Bloco	2	0,203	7,63	0,02	9,07	1,53	9,57	0,51	24,27
Peneira (P)	3	105,31*	6773,37*	0,03*	7,51 ^{ns}	11,79*	7,538 ^{ns}	14,56*	2052,81*
Velocidade (V)	3	4491,76*	6,09 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,84 ^{ns}	18,20*	4,954 ^{ns}	28,76*	843,10*
Cultivar (C)	1	2026,76*	420,84*	0,02*	876,04*	1708,59*	1433,76*	1989,26*	6500,95*
P x V	9	8,47*	1,39 ^{ns}	0,01 ^{ns}	18,35*	34,50*	26,89*	27,58*	295,76*
P x C	3	17,86*	190,14*	0,02 ^{ns}	42,23*	89,31*	20,54*	24,01*	55,19*
V x C	3	471,38*	2,53 ^{ns}	0,00 ^{ns}	11,23*	14,45*	8,12 ^{ns}	32,59*	2212,77*
P x V x C	9	4,07*	2,32 ^{ns}	0,01 ^{ns}	28,76*	29,58*	62,16*	70,49*	344,45*
Resíduo	62	0,66	2,92	0,006	2,82	1,918	3,981	3,31	13,8
Total	93								
CV(%)	-	1,98	1,63	1,73	2,56	2,19	2,58	3,53	2,4

*Significativo a 5% de probabilidade de erro; ^{ns} não significativo; F.V: fontes de variação; G.L.: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação.

Entre as cultivares, o separador operando em modo estático e nas velocidades de 10 e 20 rpm, a cultivar 62R63 sempre apresentou maior aproveitamento em relação ao cultivar 60I62IPRO, com exceção da peneira 6.0 mm em 20 rpm, onde não foi observada diferença significativa no aproveitamento.

Porém, em 30 rpm, não foram observadas diferenças no aproveitamento entre as duas cultivares (Tabela 8).

Justificando estes resultados, entende-se que velocidades de rotação elevadas tendem a uniformizar a saída das sementes, visto que a aplicação de energia cinética é tão alta que a semente passa a ganhar velocidade suficiente até sair da espiral e ser aproveitada para as etapas subsequentes do beneficiamento. Porém, com o ganho de velocidade devido ao aumento da rotação, sementes não tão esféricas, que podem ter qualidade inferior, também podem integrar a fração aproveitada do separador de espiral, visto que uma força gravitacional associada à uma força centrífuga, de arraste, dispersivas e de atrito (SAMPAIO, 2005), aliado à velocidade de rotação no sentido horário do eixo da espiral da fabricante Silomax®, contribuem para que isso aconteça. Ainda, ao verificar-se a diferença de aproveitamento até 20 rpm entre as cultivares avaliadas, infere-se que a cultivar 62R63 apresenta sementes de formato mais esférico, uma vez que apresentou maiores percentuais de aproveitamento em relação a cultivar 60I62 IPRO.

Tabela 8 – Aproveitamento de sementes de soja de duas cultivares, com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023

Peneira	Cultivar							
	60I62	62R63	60I62	62R63	60I62	62R63	60I62	62R63
	Rotação (rpm)							
	0		10		20		30	
S/ Classificação	54,9 dB*	75,6 bA	74,8 cB	88,4 bA	91,5 cB	95,2 bA	98,5 aA	97,9 aA
PN 5.0	60,9 bB	79,8 aA	76,9 bB	92,6 aA	94,9 bB	98,8 aA	99,4 aA	99,3 aA
PN 6.0	65,5 aB	79,1 aA	81,7 aB	94,3 aA	98,6 aA	99,4 aA	99,3 aA	99,5 aA
PN 7.0	57,1 cB	78,7 aA	76,9 bB	93,2 aA	93,1 cB	98,9 aA	99,3 aA	99,4 aA
Média	59,63	78,31	77,56	92,13	94,52	98,09	99,09	99,04
CV (%)	1,98							

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, em cada velocidade, em nível de probabilidade de 5%.

O aproveitamento de sementes em resposta à velocidade de rotação de trabalho no espiral rotativo foi representando por equações de regressão quadráticas, com coeficientes de determinação iguais ou superiores a 0,98 (Figuras 1A e 1B). Para as sementes sem classificação por tamanho, o máximo aproveitamento estimado de sementes para a cultivar 60I62 IPRO seria alcançado com 38 rpm, enquanto para cultivar 62R63, o ponto de máximo aproveitamento de sementes foi com 30 rpm.

Já para as sementes classificadas na peneira 5.0 mm, o mesmo comportamento foi observado para a cultivar 60I62 IPRO (38 rpm) e, para a segunda cultivar avaliada, o máximo aproveitamento estimado foi com 25 rpm. Para as sementes classificadas na peneira 6.0 mm, os máximos aproveitamentos estimados foram alcançados com 30 e 24 rpm para as cultivares 60I62 IPRO e 62R63, respectivamente. Por fim, na peneira 7.0 mm, a velocidade de rotação para o máximo aproveitamento na cultivar 60I62 IPRO foi de 36 rpm e, para a cultivar 62R63, o máximo foi atingido com 25 rpm (Figura 1A e B).

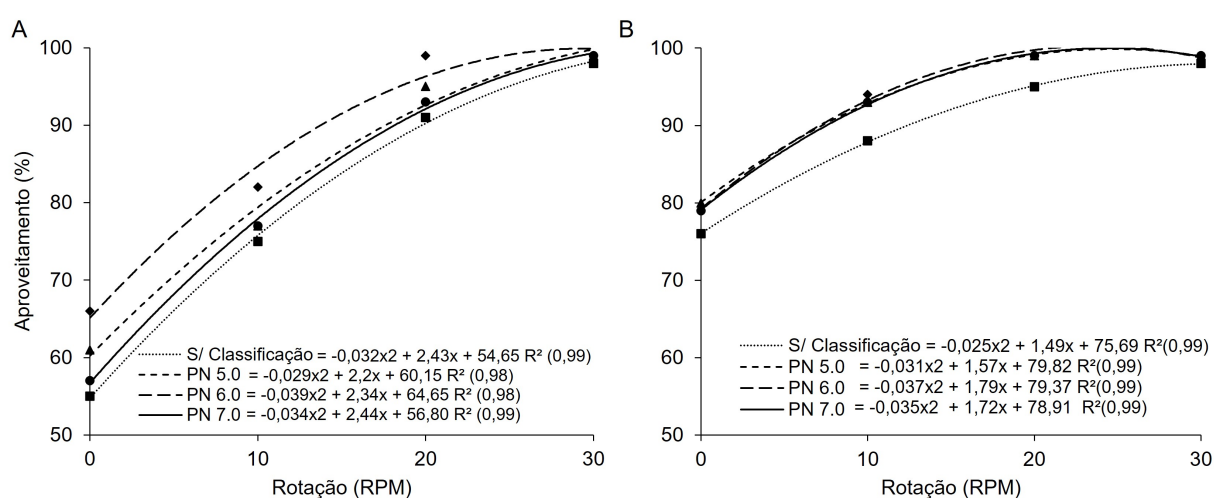


Figura 1 – Aproveitamento de sementes de soja das cultivares 60I62 IPRO (A) e 62R63 (B) com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023.

As diferenças observadas podem estar diretamente relacionadas com a diferença quanto à forma das sementes entre as cultivares e, entre os tamanhos de peneiras para uma mesma cultivar. Sementes com forma mais ovoide tendem a necessitar de maior velocidade de rotação para adquirir velocidade suficiente para sair da espiral, para então serem direcionadas para a fração aproveitada (TOMAZETTI et al., 2022). Por outro lado, as sementes mais esféricas, atingem maiores velocidades com velocidades de rotação menores, tornando o aproveitamento físico de sementes mais fácil. Pelos valores de velocidade de rotação estimados para os máximos aproveitamentos, infere-se que as sementes da cultivar 60I62 IPRO apresentam formato menos esférico em comparação às sementes da cultivar 62R63, uma vez que essa segunda necessitou de menores velocidades de rotação no sentido horário para atingir os pontos de máximo aproveitamento estimado (Figura 1).

Para a variável pureza física não foi observada interação significativa, havendo apenas efeito isolado da classificação nas peneiras e das cultivares avaliados. Na primeira situação, as sementes sem classificação apresentaram redução na pureza física em comparação com as peneiras 6.0 e 7.0 mm, porém, não diferindo da peneira 5.0 mm e ainda, não houve diferença significativa entre as cultivares estudadas (Tabela 9). Menezes et al. (2002) ressaltam a importância de alcançar uma alta porcentagem de pureza física em todas as etapas do beneficiamento, pois é importante para não interferir na qualidade do lote de sementes beneficiadas.

Para a variável peso de mil sementes, houve interação significativa entre os fatores peneira x cultivar. Para a cultivar 60I62 IPRO, o peso de mil sementes das sementes incrementou com o aumento do tamanho da abertura das peneiras de classificação, sendo que, para as sementes não classificadas, o peso de mil sementes foi superior apenas à peneira 5.0 (Tabela 9). Para a segunda cultivar, as sementes não classificadas e classificadas na peneira 5.0 mm apresentaram os menores valores, não diferindo-se significativamente entre si. Entre as cultivares avaliadas, à exceção da peneira 5.0 mm, a cultivar 60I62 IPRO sempre apresentou maior ou igual peso de mil sementes comparativamente às sementes da cultivar 62R63 (Tabela 9).

Tabela 9 – Pureza física e o peso de mil sementes de soja de duas cultivares, com diferentes tamanhos de peneira, beneficiadas no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023

Peneira	Pureza Física (%)	
	Cultivar	
	60I62 IPRO	62R63
S/ Classificação		99,91 b*
PN 5.0		99,94 ab
PN 6.0		99,98 a
PN 7.0		99,98 a
Média	99,97A	99,93 ^a
CV (%)		1,73
Peneira	Peso de Mil Sementes	
	60I62 IPRO	62R63
	60I62 IPRO	62R63
S/ Classificação	145,5 cA**	137,7 cB
PN 5.0	135 dB	137,1 cA
PN 6.0	155,5 bA	145,6 bB
PN 7.0	174,7 aA	173,6 aA
Média	152,68	148,5
CV (%)		1,63

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de probabilidade de 5%.

Observou-se ainda que não há influência da velocidade de rotação no peso de mil sementes, sendo que as diferenças observadas entre as cultivares podem estar relacionadas às características morfológicas da cultivar e do tamanho das sementes após a classificação em diferentes peneiras (Tabela 9). Assim, o tamanho das sementes pode ser determinante, visto que sementes maiores ou com maior massa específica são aquelas que possuem maiores quantidades de reservas, sendo potencialmente as mais vigorosas (PERIPOLLI et al., 2019). De modo geral, quanto maior o teor de reservas nas sementes, maior será o vigor das plântulas originadas (HENNING et al., 2010).

Para a germinação de sementes foi observada interação tripla entre os fatores avaliados. Na condição operacional estática, a cultivar 60I62 IPRO apresentou diferença apenas entre as peneiras 5.0 e 6.0 mm (Tabela 10), sendo que em todas as velocidades de rotação avaliadas, para os dois genótipos, a germinação sempre foi superior ao mínimo exigido para comercialização, conforme legislação vigente (BRASIL, 2013) à exceção da peneira 5.0 mm na cultivar 62R63, na maior velocidade de rotação testada. Para a cultivar 60I62 IPRO, na rotação de 20 rpm, o menor percentual de germinação foi observado no material classificado na peneira 7.0 mm; enquanto em 30 rpm, o material sem classificação apresentou o menor percentual de germinação.

Tabela 10 – Germinação e envelhecimento acelerado de sementes de soja de duas cultivares, com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023

Espiral Rotativo: Los Ceceales, 11/11/2023

		Germinação (%)							
Rotação (rpm)	0		10		20		30		
Cultivar	60I62	62R63	60I62	62R63	60I62	62R63	60I62	62R63	
S/ Classificação	90 abA*	87 aB	90 aA	85 abB	90 abA	87 aA	86 bA	86 abA	
PN 5.0	92 aA	85 abB	89 aA	87 aA	92 aA	82 bB	94 aA	78 cB	
PN 6.0	87 bA	86 abA	91 aA	85 abB	92 aA	84 abB	94 aA	83 bB	
PN 7.0	90 abA	82 bB	90 aA	82 bB	86 bA	83 bB	92 aA	88 aB	
Média	90	85	90	85	90	87	92	84	
CV(%)	2,56								
		Envelhecimento Acelerado (%)							
S/ Classificação	85 aA	81 aB	83 abA	72 bB	83 bA	81 aB	78 cA	77 aA	
PN 5.0	86 aA	75 bB	81 bA	72 bB	86 aA	72 cB	89 aA	71 bB	
PN 6.0	77 cA	73 bB	85 aA	76 aB	86 aA	76 bB	87 aA	71 bB	
PN 7.0	81 bA	74 bB	82 bA	73 bB	80 cA	77 bB	82 bA	79 aB	
Média	82	76	83	73	84	76	84	74	
CV(%)	1,79								

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, em cada velocidade, em nível de probabilidade de 5%.

Para a segunda cultivar avaliada, houve diferença significativa de cinco pontos percentuais (p.p.) entre o material não classificado comparativamente à peneira 7.0 mm, com o separador de espiral em modo estático. Já em 10 rpm houve diferença significativa entre as peneiras 5.0 e 7.0 mm, com cinco p.p. a menos nesta última (Tabela 10). Ao ser empregada a rotação de 20 rpm, o maior percentual de germinação foi observado no material sem classificação, não apresentando diferença significativa da germinação obtida na peneira 6.0 mm. Por fim, na maior velocidade de rotação avaliada, a maior germinação foi observada na peneira 7.0 mm, a qual não apresentou diferença significativa em comparação às sementes não classificadas (Tabela 10).

Entre as cultivares avaliadas, as sementes da cultivar 60I62 sempre apresentaram percentual de germinação maior ou igual às sementes da cultivar 62R63, demonstrando qualidade fisiológica superior (Tabela 10). Na condição operacional estática, não foi observada diferença entre o percentual de germinação na peneira 6.0 mm. Com 10 rpm, as cultivares não apresentaram diferença significativa na peneira 5.0 mm, enquanto nas velocidades de rotação 20 e 30 rpm, as cultivares não apresentaram diferença significativa na variável germinação para sementes não classificadas (Tabela 10).

Ressalta-se que sementes pequenas possuem uma relação de superfície/volume maior do que as grandes, o que facilita a obtenção de água para iniciar o processo de germinação, no entanto, apresentam menor quantidade de reservas (KOPPER et al., 2010). Todavia, sementes maiores, aliado a baixos teores de água, tem maior probabilidade de sofrer danos mecânicos durante o beneficiamento (FRANÇA-NETO, 2007).

Para o vigor de sementes via teste de envelhecimento acelerado, foi observada interação tripla entre os fatores avaliados. Em relação à padronização das peneiras, na condição operacional estática do separador, as sementes da cultivar 60I62 IPRO apresentaram os maiores percentuais de vigor no material sem classificação e na peneira 5.0 mm, enquanto o menor vigor foi obtido na peneira 6.0 mm (Tabela 05). Porém, as sementes da cultivar 62R63 apresentaram o maior percentual de vigor via teste de envelhecimento acelerado no material não classificado. Em 10 rpm, o efeito da padronização das sementes por tamanho demonstrou maior vigor na peneira 6.0 mm para ambas cultivares, sendo que para a

cultivar 60I62 IPRO, não houve diferença significativa do material não classificado. Em 20 rpm, as sementes da cultivar 60I62 IPRO demonstraram maior vigor via teste de envelhecimento acelerado nas peneiras 5.0 e 6.0 mm, com a mesma tendência em 30 rpm e, os menores percentuais de vigor foram observados na peneira 7.0 mm e no material sem classificação, para 20 e 30 rpm, respectivamente. Para a cultivar 62R63, o maior percentual de vigor foi observado no material não classificado nas velocidades de rotação de 20 e 30 rpm, sendo que nesta última, não houve diferença em relação à peneira 7.0 mm.

É importante ressaltar que, apesar de resultados elevados no teste de germinação, isso não implica, obrigatoriamente, que os lotes possuem alto vigor de sementes, conforme observado na peneira 7.0 mm e no material sem classificação. Isso se deve ao fato de que o teste é conduzido em condições favoráveis, o que permite que o lote expresse seu potencial máximo (KRZYZANOWSKI et al., 2020).

Comparando-se o efeito da cultivar entre as classificações das peneiras, nas diferentes velocidades de rotação avaliadas, observou-se que o vigor pelo teste de envelhecimento acelerado (Tabela 10) manteve superioridade na cultivar 60I62 IPRO continuamente, à exceção do material não classificado em 30 rpm, onde não houve diferença significativa. Assim como o constatado para a variável germinação, o vigor inferior para as sementes da cultivar 62R63 pode ter relação com o maior aproveitamento de sementes que, mesmo apresentando sementes mais esféricas, podem ter sofrido estresses em campo que podem comprometer seu máximo potencial fisiológico, não sendo possível separar no equipamento. Essa diferença pode ser parcialmente reduzida após o beneficiamento das sementes na mesa densimétrica, com o descarte das sementes mais leves.

Em relação ao efeito das velocidades de rotação crescentes sobre o percentual de germinação, para a cultivar 60I62 IPRO (Figura 2A), o material sem classificação apresentou a máxima germinação estimada em 91%, com 7 rpm. Já para a cultivar 62R63, não foi observado efeito significativo do aumento da velocidade de rotação sobre o percentual de germinação das sementes não classificadas (Figura 2B). Ao se avaliar as sementes de soja de peneira 5.0 mm, as sementes das cultivares 60I62 IPRO e 62R63 apresentaram mínima e máxima germinações estimadas nas velocidades de rotação 12 (90%) e 6 (86%) rpm, respectivamente (Figuras 2A e 2B), reforçando a qualidade superior das sementes

da cultivar 60I62 IPRO. Para a peneira 6.0 mm, apenas para a cultivar 60I62 IPRO observou-se efeito significativo das velocidades de rotação no separador de espiral, com o ponto de máxima germinação alcançado em 31,4 rpm, estimada em 94%. Para a peneira 7.0 mm, os menores percentuais estimados de germinação foram observados em 13,3 (88%) e 7,5 (81%) rpm, para as cultivares 60I62 IPRO e 62R63, respectivamente.

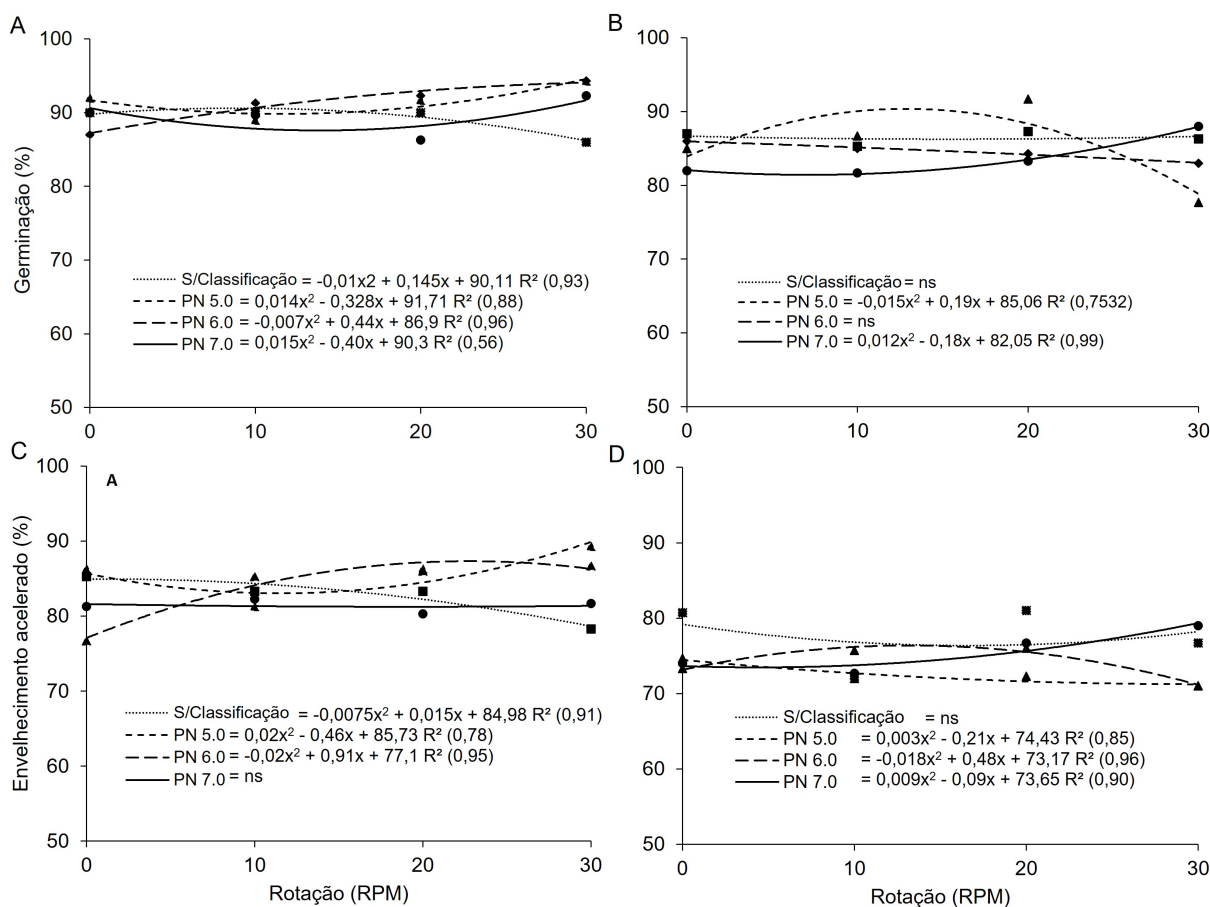


Figura 2 – Germinação (A e B) e envelhecimento acelerado (C e D) de sementes de soja das cultivares 60I62 IPRO (A e C) e 62R63 (B e D) com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023.

Para o envelhecimento acelerado, o efeito das velocidades de rotação no separador de espiral sobre o percentual de vigor das sementes não classificadas apresentou efeito significativo apenas na cultivar 60I62 IPRO, representada por equação quadrática, com máxima germinação estimada em 85%, com uma rpm (Figura 3A), ou seja, de modo geral, o aumento da velocidade de rotação gerou redução no vigor do lote de sementes no material não classificado. Para o material classificado na peneira 5.0 mm da cultivar 60I62 IPRO, de modo geral, houve tendência de aumento do vigor com o incremento da velocidade de rotação no

separador de espiral, apresentando 82% em 10 rpm e 89% em 30 rpm (Figura 1A). Para a peneira 6.0 mm, o máximo vigor estimado pelo teste de envelhecimento acelerado foi de 87% com 23 rpm. Segundo Marcos Filho (2015), o tamanho não é um fator determinante para a qualidade, porém, variações podem ocorrer porque sementes que apresentam maior massa tendem a sofrer maior dano mecânico, enquanto as sementes de menor massa podem não ter completado normalmente o processo de maturação.

Na avaliação das sementes da cultivar 62R63, não se constatou efeito significativo do aumento da velocidade de rotação sobre o vigor via teste de envelhecimento acelerado do material não classificado. Por sua vez, para as sementes padronizadas em 5.0 mm, observou-se comportamento oposto à cultivar 60I62 IPRO, sendo que o menor vigor foi obtido maior velocidade de rotação (71%). Para a classificação dos materiais na peneira 6.0 mm, a cultivar 62R63 apresentou o máximo percentual de vigor estimado com 13 rpm (79%). Enquanto, para a peneira 7.0 mm, constatou-se elevação do percentual de vigor com o incremento da velocidade de rotação no separador de espiral (Figura 3D), com vigor estimado em 74%, 75% e 79% para as velocidades de rotação 10, 20 e 30 rpm, respectivamente.

Em relação aos efeitos da classificação de peneiras sob a viabilidade das sementes, de modo geral, não foram observadas diferenças na condição operacional estática, para ambas as cultivares e, também, para a cultivar 60I62 IPRO em 10 rpm (Tabela 11). Por outro lado, para as sementes da cultivar 62R63, na velocidade de rotação de 10 rpm, as sementes classificadas na peneira 5.0 mm apresentaram maior viabilidade, não diferindo significativamente do material classificado na peneira 6.0. Em 20 rpm, as sementes das duas cultivares apresentaram a menor viabilidade nas peneiras 7,0 e 5,0 mm para 60I62 IPRO e 62R63, respectivamente. Em 30 rpm, para a cultivar 60I62 IPRO o material sem classificação e padronizado na peneira 7.0 mm apresentaram os menores percentuais de viabilidade entre as classificações de peneira avaliadas; no entanto, o valor mínimo observado foi de 86%. Por fim, para a cultivar 62R63, em 30 rpm, foi observado comportamento oposto a primeira, com os maiores níveis de viabilidade sendo obtidos no material sem classificação e padronizado na peneira 7.0 mm; no entanto, a máxima viabilidade observada foi de 87%, valor muito próximo da menor viabilidade para a primeira cultivar, na mesma velocidade de rotação. Entre os

genótipos avaliados, as sementes da cultivar 60I62 IPRO apresentaram maior percentual de sementes viáveis, comparativamente às sementes da cultivar 62R63, com o separador de espiral em modo estático, independente da peneira (Tabela 11). O mesmo comportamento ocorreu em 10 rpm, exceto na peneira 5.0 mm; em 20 rpm à exceção para a peneira 7.0 mm e em 30 rpm para o material não classificado, onde não foram observadas diferenças significativas.

Tabela 11 – Viabilidade e vigor pelo teste do tetrazólio de sementes de soja de duas cultivares, com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023

Rotação (rpm)	0		10		20		30	
Cultivar	60I62	62R63	60I62	62R63	60I62	62R63	60I62	62R63
Peneira (mm)	Viabilidade Tetrazólio							
S/ Classificação	92 aA*	86 aB	90 aA	76 cB	90 abA	85 aB	86 cA	84 abA
PN 5.0	92 aA	84 aB	88 aA	88 aA	93 aA	78 bB	95 aA	80 bB
PN 6.0	87 bA	83 aB	90 aA	84 abB	93 aA	84 aB	93 abA	75 cB
PN 7.0	91 aA	82 aB	91 aA	82 bB	86 bA	85 aA	90 bcA	87 aB
Média	89	84	90	83	90	83	91	82
CV (%)	2,58							
	Vigor Tetrazólio							
S/ Classificação	85 aA	80 aB	85 aA	67 cB	85 aA	73 bB	79 cA	78 aA
PN 5.0	86 aA	76 bB	81 bA	80 aA	85 aA	73 bB	90 aA	72 bB
PN 6.0	80 bA	75 bB	85 aA	75 bB	87 aA	76 abB	90 aA	72 bB
PN 7.0	86 aA	83 aB	86 aA	72 bB	81 bA	77 aB	84 bA	79 aB
Média	84	78	84	73	84	75	86	75
CV (%)	3,53							

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, em cada velocidade, em nível de probabilidade de 5%.

Para a vigor de sementes no teste de tetrazólio, houve interação tripla entre os fatores avaliados. Para o efeito da classificação das peneiras, na condição operacional estática, para a cultivar 60I62 IPRO, a peneira 6.0 mm apresentou o menor percentual de vigor. Para a cultivar 62R63, os menores percentuais foram obtidos nas sementes classificadas nas peneiras 5.0 e 6.0 mm, na mesma condição (Tabela 11). Em 10 rpm, para a cultivar 60I62 IPRO, o menor vigor foi observado na peneira 5.0 mm, enquanto para a 62R63, na mesma velocidade de rotação, o maior vigor foi obtido na peneira 5.0 mm, de modo contrastante ao primeiro material, sendo o menor percentual observado no material sem classificação. Na velocidade de rotação de 20 rpm, de modo geral, também houve comportamento inverso entre as cultivares, sendo constatado que as sementes da cultivar 60I62 IPRO apresentaram menor vigor após a classificação prévia na peneira 7.0 mm, ao passo que, na segunda cultivar avaliada, na mesma peneira foi obtido o maior vigor, não diferindo significativamente da peneira 6.0 mm. Por fim, na maior velocidade de rotação, de

modo similar, os maiores percentuais de vigor foram obtidos nas peneiras 5.0 e 6.0 mm para a cultivar 60I62 IPRO, enquanto as mesmas peneiras apresentaram os menores percentuais para a cultivar 62R63 (Tabela 11).

Para o efeito das cultivares, nas diferentes velocidades de rotação e classificações de peneira, a cultivar 60I62 IPRO sempre apresentou vigor superior pelo teste de tetrazólio comparativamente ao cultivar 62R63, com diferença de até 18 p.p., à exceção na peneira 5.0 em 10 rpm e no material não classificado em 30 rpm, onde não se observou diferença significativa entre as cultivares (Tabela 11).

Em relação à velocidade de rotação de trabalho no separador de espiral rotativo, para as duas cultivares, nas diferentes classificações de peneira, a viabilidade das sementes foi representada por equações quadráticas (Figuras 3A e 3B). No material sem classificação, para a cultivar 60I62 IPRO, o ponto de máxima viabilidade foi estimada em 92% com 4 rpm, seguido de reduções a partir dessa velocidade de rotação, indicando, de modo geral, que o aumento da velocidade de rotação gerou redução da viabilidade. Enquanto para a cultivar 62R63, as sementes sem classificação apresentaram a mínima viabilidade estimada com 15 rpm (80%), com coeficiente de determinação muito baixo (0,36).

Para as sementes de soja classificadas na peneira 5.0 mm, a cultivar 60I62 IPRO apresentou viabilidade mínima estimada em 89% com 11 rpm, seguido de acréscimos na viabilidade de dois e sete p.p. para as velocidades de rotação de 20 e 30 rpm, respectivamente. Enquanto na cultivar 62R63, na peneira 5.0 mm, a máxima viabilidade estimada foi de 85% com o separador de espiral estático, sendo que o acréscimo nas velocidades de rotação para 10, 20 e 30 rpm resultaram em viabilidade estimada pelo teste de tetrazólio de 84, 82 e 79%, respectivamente (Figura 3B). Esse fato evidencia que o maior aproveitamento de sementes da cultivar 62R63 resultaria em decréscimo na qualidade do lote, demonstrando que os materiais respondem de maneira distinta a uma mesma velocidade de rotação de trabalho. Para as sementes de soja classificadas na peneira 6.0 mm, as sementes das cultivares 60I62 IPRO e 62R63 apresentaram ponto de máxima viabilidade no TZ nas velocidades de rotação 28,3 (93%) e 10 rpm (85%), respectivamente. Por fim, na peneira 7.0 mm, as cultivares apresentaram ponto de mínima viabilidade estimada em 88% com 20,8 rpm (60I62 IPRO) e 82% com 2 rpm (62R63), permitindo afirmar, de modo geral, que o acréscimo na velocidade de rotação favoreceu

positivamente a viabilidade das sementes avaliada pelo teste de tetrazólio para a cultivar 62R63, para essa classificação de peneira (Figura 3B).

Diante desses resultados, constataram-se diferenças no comportamento das sementes de soja para as cultivares estudadas, sendo que a medida que se aumentou as velocidades de rotação no separador de espiral rotativo, as cultivares não apresentaram a mesma tendência, independentemente do tamanho. A maioria das diferenças genéticas no tamanho da semente se manifestam como diferenças no número total de células e na taxa de crescimento das sementes, de modo que, sementes grandes podem ter mais células e maior taxa de crescimento do que sementes pequenas (BEWLEY et al., 2013).

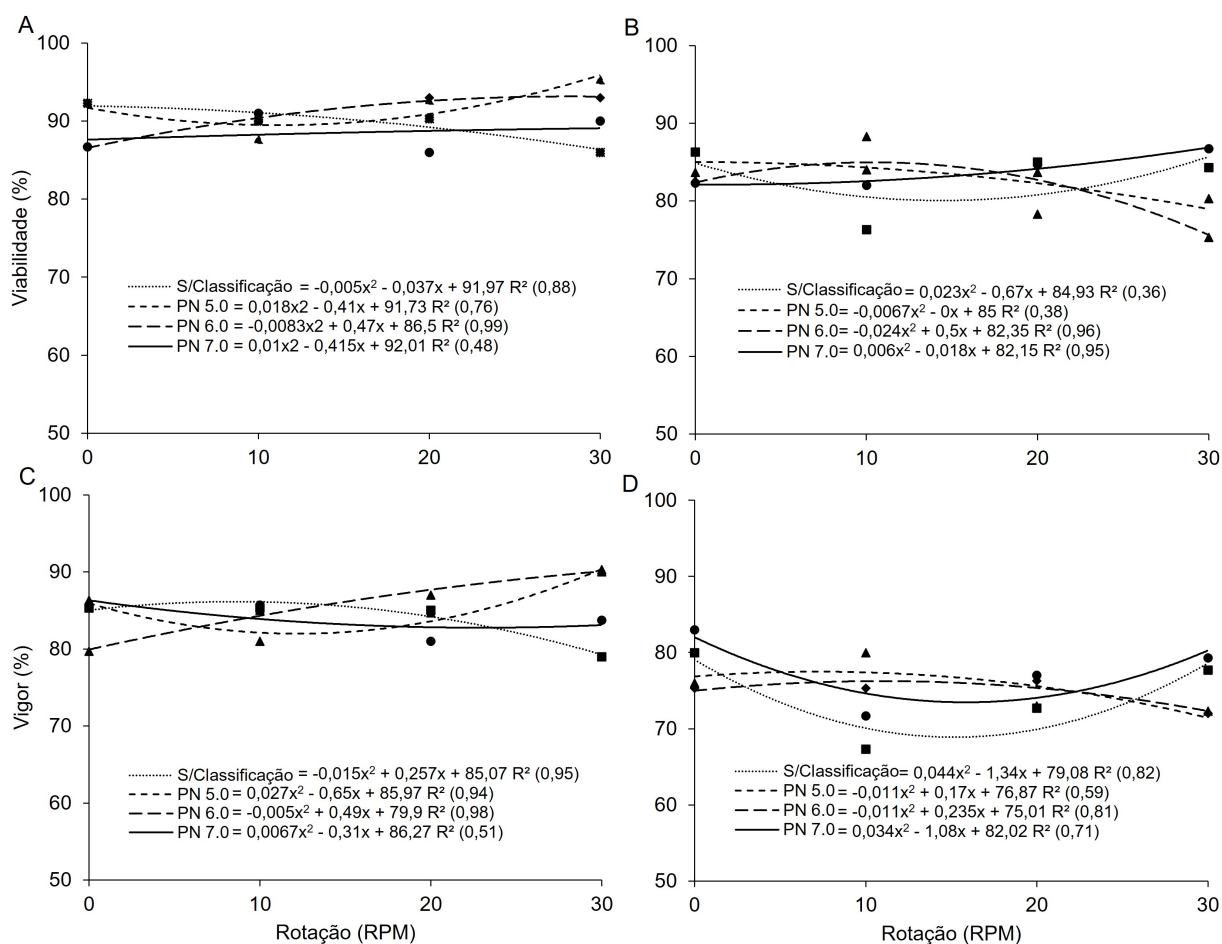


Figura 3 – Viabilidade (A e B) e vigor (C e D) de sementes de soja das cultivares 60I62 IPRO (A e C) e 62R63 (B e D) com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023.

Contudo, diversos estudos apontam que sementes com maior tamanho, mesmo sendo uma característica genética e da condição de produção em campo, possuem influência sobre a formação de plântulas durante a germinação, sendo

esse efeito verificado para soja (PEREIRA et al., 2015), milho (ANDRADE et al., 2019), amendoim (STEINER et al. 2019) e espécies florestais (KUMAR et al., 2016; PADILHA et al. 2021), determinando a formação de plântulas de maior massa seca.

O vigor de sementes avaliado pelo teste de tetrazolio foi representado por equações quadráticas para todas as peneiras, nas duas cultivares avaliadas (Figuras 3C e 3D). Na condição sem classificação, a cultivar 60I62 IPRO apresentou o máximo vigor estimado em 86%, com 8,6 rpm. Já para a cultivar 62R63, foi estimado vigor mínimo de 69%, com 15,2 rpm. Para o material classificado na peneira 5.0 mm, as cultivares 60I62 IPRO e 62R63 apresentaram ponto de mínimo vigor estimado em 82 % (12 rpm) e, máximo vigor estimado em 78% (8 rpm), respectivamente. Já na peneira 6.0 mm, as cultivares apresentaram máximo vigor estimado em 92% (49 rpm) e 76% (11 rpm) para 60I62 IPRO e 62R63, respectivamente. Por fim, na peneira 7.0 mm, foram observados pontos de mínimo vigor estimado em 83% (com baixo coeficiente de determinação) e 73%, com 23,1 e 15,9 rpm.

Para o vigor das sementes determinado pelo teste de condutividade elétrica, observou-se interação tripla entre os fatores avaliados. Na condição operacional estática, para a cultivar 60I62 IPRO, as peneiras 5.0 e 7.0 mm apresentaram os menores valores de condutividade elétrica, indicando vigor superior nessas classificações. Para a cultivar 62R63, na mesma condição, os materiais classificados nas peneiras 5.0, 6.0 e 7.0 mm não diferiram entre si, apresentando vigor superior comparativamente ao material não classificado (Tabela 12).

Tabela 12 – Condutividade elétrica em sementes de soja de duas cultivares, com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023

Rotativo: Los Cedral, 1.º, 2025								
Peneira (mm)	Rotação (rpm)							
	0		10		20		30	
	Cultivar							
	60I62	62R63	60I62	62R63	60I62	62R63	60I62	62R63
S/ Classificação	72,1 aB*	73,5 aA	55,6 aB	101,7 aA	62,1 aB	76,2 bA	71,0 aB	67,8 aA
PN 5.0	43,2 bB	50,7 bA	42,2 bcB	84,1 bA	41,5 bB	71,5 bA	47,9 bB	49,8 bA
PN 6.0	67,6 aB	55,6 bA	38,9 cB	75,7 cA	40,9 bB	88,4 aA	46,9 bB	44,2 bA
PN 7.0	46,5 bB	49,4 bA	48,4 abB	50,7 dA	46,7 bB	92,5 aA	40,4 bB	43,6 bA
Média	57	57	46	78	48	82	51	51
CV (%)	2,4							

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, em cada velocidade, em nível de probabilidade de 5%.

Nas velocidades de rotação de 10, 20 e 30 rpm, o material não classificado sempre apresentou os maiores valores de condutividade elétrica, demonstrando vigor inferior ao material padronizado, à exceção para a cultivar 60I62 IPRO na condição de 10 rpm, onde a peneira 7.0 mm não diferiu significativamente do material não classificado e, para a cultivar 62R63 em 20 rpm, onde as sementes classificadas na peneiras 6.0 e 7.0 mm apresentaram os maiores valores de condutividade elétrica, indicando menor vigor, comparativamente ao material não classificado e/ou classificado na peneira 5.0 mm (Tabela 12).

Estes resultados demonstram que sementes maiores, devido sua maior área superficial, tendem a sofrer um número maior de impactos durante o beneficiamento e, isto pode ser observado no teste condutividade elétrica, que determina o dano no sistema de membrana celular, resultante da deterioração física e fisiológica da semente (CORADI et al., 2020). Assim, no momento da embebição de água, exsudam íons, açúcares e metabólitos em decorrência da alteração da integridade física das membranas celulares. Contudo, com o passar do tempo de embebição, ocorre a reorganização de suas estruturas (FESSEL et al., 2010).

Entre os genótipos, para todas as classificações de peneira, nas diferentes velocidades de rotação, a cultivar 60I62 IPRO apresentou vigor superior, representado pelos valores inferiores de condutividade elétrica comparativamente a cultivar 62R63 (Tabela 12). Assim, pode-se inferir que as sementes da cultivar 60I62 IPRO apresentaram menores danos mecânicos durante as etapas de produção, porém, as características morfológicas da semente de cada cultivar são intrínsecas e podem influenciar nos resultados de condutividade elétrica (PANOBIANCO et al., 1999), o que pode justificar as diferenças observadas entre as cultivares para esta variável (Tabela 12).

As sementes da cultivar 60I62 IPRO, sem classificação e classificadas na peneira de 6.0 mm, apresentaram comportamento quadrático, com pontos de mínima condutividade elétrica nas rotações de 15 e 19 rpm, respectivamente. Nessa condição, pode-se inferir que essa foi a faixa ideal de rotação para essa cultivar, nas classificações supracitadas. Por outro lado, as sementes previamente classificadas nas peneiras de 5.0 e 7.0 mm, após serem beneficiadas em espiral estático, não apresentaram efeito significativo (Figura 4A).

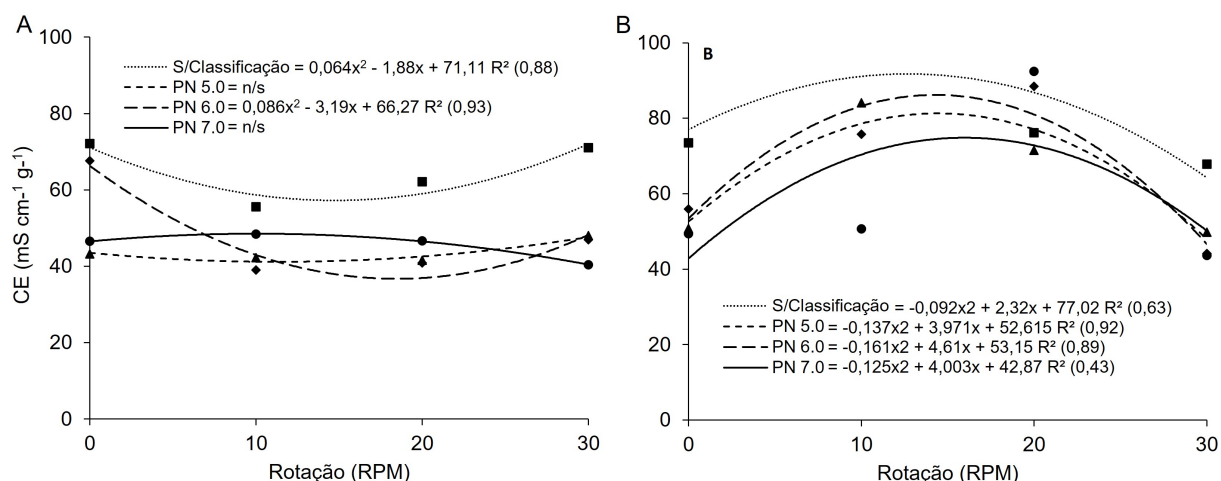


Figura 4 – Condutividade elétrica em sementes de soja das cultivares 60I62 IPRO (A) e 62R63 (B) com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023. *ns: não significativo.

Para a cultivar 62R63 não foi constatada a mesma tendência da primeira cultivar, uma vez que foram observados comportamentos quadráticos, com pontos de máxima condutividade elétrica em 13, 15, 14 e 16 rpm, para as sementes sem classificação e classificadas nas peneiras 5.0, 6.0 e 7.0 mm, respectivamente. Comparando-se as velocidades de rotação de trabalho, verifica-se que a provável faixa ideal de velocidade de rotação para a cultivar 60I62 IPRO foi praticamente a faixa onde foram obtidos os piores resultados de vigor para a cultivar 62R63 pelo teste de condutividade elétrica, reforçando a hipótese que se deve regular o separador de espiral rotativo de acordo com teste prévio da qualidade do material que está sendo beneficiado. A maior condutividade elétrica pode gerar reflexos negativos no ambiente de produção, visto que as sementes com maior incidência de fissuras, tendem a liberar maior quantidade de exsudato ao serem semeadas, podendo perder íons inorgânicos, proteínas, aminoácidos e açúcares para a solução do solo, influenciando diretamente na emergência das plântulas (POWER, 2022; SOLEYMANI, 2019).

Ressalta-se a existência de diferenças de tamanho e forma entre sementes de distintas cultivares de soja, sendo estas características influenciadas durante o processo de produção. A massa de mil sementes, a forma e o tamanho podem apresentar variações dependendo da safra e condições ambientais (MICHELS et al. 2014), manejo (DERETTI et al., 2022), assim como do genótipo (COELHO et al., 2007; MICHELS et al., 2014). Tais diferenças podem influenciar de forma direta as

tomadas de decisões durante o beneficiamento de sementes, ao ponto de ter que reorganizar a sequência das máquinas, bem como suas regulagens, a fim de aprimorar o processo (FRANÇA-NETO et al., 2016).

3.2 Experimento II

De acordo com os resultados da análise de variância, verificou-se interação tripla entre os fatores avaliados para todas as variáveis analisadas, à exceção da pureza física, que apresentou interações duplas entre peneiras e velocidade de rotação e entre peneira e cultivar (Tabela 13).

Tabela 13 – Resumo da análise de variância das variáveis descarte (DESC), peso de mil sementes (PMS), pureza física (PF), germinação (GER), envelhecimento acelerado (EA), teste de tetrazólio (VIATZ - viabilidade e VIGTZ - vigor) e condutividade elétrica (CE) de sementes de duas cultivares de soja previamente classificadas por tamanho e submetidas ao beneficiamento em separador de espiral rotativo com diferentes velocidades de rotação. Los Cedrales, PY, 2023.

F.V.	G.L.	DESC	PMS	PF	GER	EAC	VIATZ	VIGTZ	CE
Bloco	2	0,203	23,82	0,34	0,41	33,84	5,76	54,59	110,31
Peneira (P)	3	105,51*	9404,84*	16,86*	1824,018	2014,71*	1554,29*	1884,29*	32549,15*
Velocidade(V)	3	4490,37*	219,67*	5,27*	393,37*	504,48*	509,51*	522,96*	2391,59*
Cultivar (C)	1	2028,60*	429,26*	0,62 ^{ns}	2981,51*	3700,17*	2410,04*	3504,17*	7410,04*
P x V	9	8,46*	19,55*	2,66*	646,28*	684,63*	563,39*	586,50*	5492,36*
P x C	3	17,93*	20,29*	0,91*	303,23*	335,28*	285,68*	297,86*	1645,95*
V x C	3	470,88*	76,29*	0,40 ^{ns}	213,26*	250,94*	169,24*	327,86*	3535,88*
P x V x C	9	4,05*	42,95*	0,26 ^{ns}	41,64*	54,20*	63,17*	47,70*	2903,39*
Resíduo	62	0,66*	3,37	0,28	3,879	6,63	4,34	5,83	24,2
Total	93								
CV(%)	-	13,63	1,54	1,75	3,23	4,4	3,2	3,86	2,49

*Significativo a 5% de probabilidade de erro; ^{ns} não significativo; F.V: fontes de variação; G.L.: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação.

Após o beneficiamento das sementes de soja no separador de espiral rotativo, observou-se para a condição operacional estática e nas velocidades de rotação de 10 e 20 rpm que as sementes sem classificação prévia apresentaram maior porcentagem de descarte, independente da cultivar. No entanto, com 30 rpm, não houve diferença significativa entre as peneiras, para ambas as cultivares estudadas. Comparando-se as cultivares em cada velocidade de rotação do separador de espiral rotativo, observou-se que a cultivar 60I62 IPRO apresentou maior percentual de descarte que a cultivar 62R63, sendo o separador de espiral operado em modo estático e nas rotações 10 e 20 rpm, independentemente do tamanho da abertura da peneira. Porém, na rotação de 30 rpm, não houve diferença entre as cultivares em

cada tamanho de peneira analisado (Tabela 14). Esse resultado na maior velocidade de rotação, se deve ao fato de que quanto maior a velocidade de rotação no sentido horário no equipamento avaliado, maior é a força centrífuga exercida sobre as sementes e, conseqüentemente, maior é a velocidade que elas adquirem, aumentando a saída da espiral para a fração aproveitada, mesmo para sementes menos esféricas (Tabela 08).

Considerando-se os resultados de qualidade fisiológica obtidos no Experimento I do Capítulo 2, pode-se inferir que o maior descarte de sementes na cultivar 60I62 IPRO pode ter influenciado positivamente a qualidade fisiológica da fração aproveitada, principalmente na condição operacional estática e nas velocidades de rotação de 10 e 20 rpm.

Tabela 14 – Percentual de descarte de sementes de soja de duas cultivares, com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação do separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023

Relativo: Ess. Saurides, P. 1, 2020								
Peneira	Rotação (rpm)							
	0		10		20		30	
	Cultivar							
	60I62	62R63	60I62	62R63	60I62	62R63	60I62	62R63
S/ Classificação	45,03 aA*	24,4 aB	25,17 aA	11,6 aB	8,53 aA	4,77 aB	1,53 aA	2,07 aA
PN 5.0	39,07 cA	20,23 bB	23,07 bA	7,37 bB	5,07 bA	1,23 bB	0,63 aA	0,73 aA
PN 6.0	34,5 dA	20,87 bB	18,33 cA	5,73 bB	1,43 cA	0,57 bB	0,73 aA	0,47 aA
PN 7.0	42,87 bA	21,27 bB	23,13 bA	6,77 bB	6,9 bA	1,07 bB	0,73 aA	0,57 aA
Média	40,36	21,69	22,42	7,86	5,48	1,91	0,90	0,96
CV (%)	13,63							

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, em cada velocidade, em nível de probabilidade de 5%.

Na Figura 5, constatou-se que para a cultivar 60I62 IPRO, todos os tamanhos de peneira analisados apresentaram comportamento quadrático e, à medida em que se aumentou a velocidade de rotação do separador de espiral, menor foi o descarte, sendo na velocidade de rotação de 30 RPM o ponto mínimo de descarte, independentemente do tamanho de peneira utilizado (Figura 5A). Porém, para a cultivar 62R63, observou-se que os menores descartes foram observados nas rotações de 30, 25, 24 e 25 rpm, para as sementes sem classificação e nas peneiras 5.0, 6.0 e 7.0 mm, respectivamente (Figura 5 B). Este fato pode estar relacionado à velocidade de rotação aplicada no separador de espiral, na qual pode ter promovido uma força gravitacional maior (SAMPAIO, 2005) às sementes e estas tenham

aumentado sua velocidade e, conseqüentemente, tenham sido direcionadas para a fração aproveitada do equipamento, mesmo que a forma da semente não fosse efetivamente esférica. Ainda, a necessidade de menores velocidades de rotação para gerar o ponto de mínimo descarte na cultivar 62R63 em comparação à cultivar 60I62 IPRO, demonstram que as sementes da primeira são mais esféricas, necessitando de menor força centrífuga para saírem da espiral.

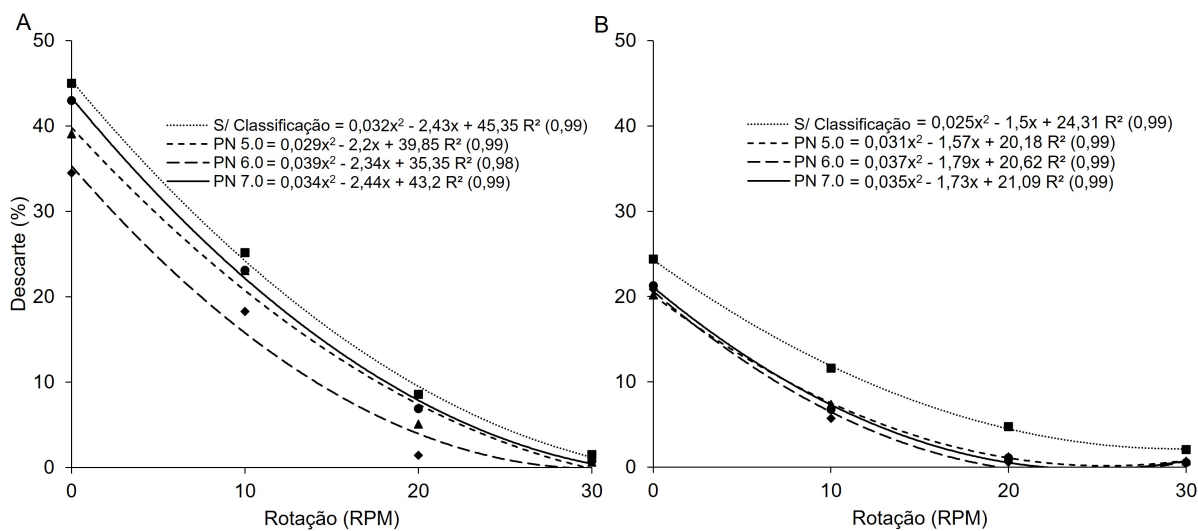


Figura 5 – Descarte de sementes de soja das cultivares 60I62 IPRO (A) e 62R63 (B) com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação do separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023.

Com relação a pureza física da porção descartada no espiral rotativo, de modo geral, observou-se para ambas cultivares que as amostras sem classificação prévia apresentaram menor porcentagem de pureza física (Tabela 15). Henning et al. (2020) apontam que o beneficiamento das sementes de soja no padronizador, além de classificar as sementes por tamanho, contribui na eliminação de impurezas. Ao comparar as sementes previamente classificadas, sem influência da cultivar, constatou-se que as sementes sem classificação apresentaram maior quantidade de impurezas na fração descarte do separador de espiral rotativo (Tabela 15). Sobre o efeito das velocidades de rotação sobre o percentual de pureza física, o descarte apresentou, independente da cultivar, pureza física máxima nas rotações de 17 e 10 rpm, para as amostras sem classificação e classificadas na peneira 5.0 mm, respectivamente (Figura 6).

Ainda, só foi observado diferença significativa na pureza física entre as sementes das cultivares nas amostras sem classificação, possuindo a cultivar 60I62

I PRO maior pureza física do que a cultivar 62R63, independentemente da velocidade de rotação utilizada no separador de espiral rotativo (Tabela 15). Os resultados obtidos reforçam a necessidade de padronização das sementes em classes de tamanhos antes da passagem no separador de espiral rotativo. Uma situação comum dentro da indústria de beneficiamento de sementes de soja é a presença de vagens e restos da cultura que entram dentro na máquina de pós-limpeza, mesmo após a passagem na máquina de pré-limpeza. Essa situação ocorre principalmente no início da colheita das cultivares, com sementes mais úmidas, gerando alta carga de material inerte indesejável e, na busca por oportunizar maior fluxo nas moegas, esses materiais acabam passando parcialmente para as próximas etapas do beneficiamento com a utilização de peneiras maiores na máquina de pré-limpeza. Caso o separador de espiral esteja instalado logo após a máquina de pós-limpeza, eles ainda podem receber vagens e restos de cultura que comprometem o fluxo de sementes, podendo até mesmo exigir interrupções para limpeza das espirais em função do total comprometimento da passagem das sementes, impactando negativamente na capacidade de produção diária.

Tabela 15 – Pureza física de sementes de soja de duas cultivares, com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação do separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023

Cultivar: 60I62 IPRO				
Peneira	Rotação (rpm)			
	0	10	20	30
S/ Classificação	96,6 b*	99,3 a	98,7 b	97,0 b
PN 5.0	99,6 a	99,8 a	99,7 a	98,7 a
PN 6.0	99,9 a	99,9 a	99,3 a	99,5 a
PN 7.0	99,9 a	99,9 a	99,7 a	99,2 a
Média	99,0	99,7	99,4	98,6
Cultivar: 62R63				
Peneira	Cultivar			
	60I62 IPRO		62R63	
S/ Classificação	98,2 bA*		97,6 bB	
PN 5.0	99,3 aA		99,6 aA	
PN 6.0	99,8 aA		99,4 aA	
PN 7.0	99,7 aA		99,7 aA	
Média	99,25		99,07	
CV (%)	1,75			

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, em cada velocidade, em nível de probabilidade de 5%.

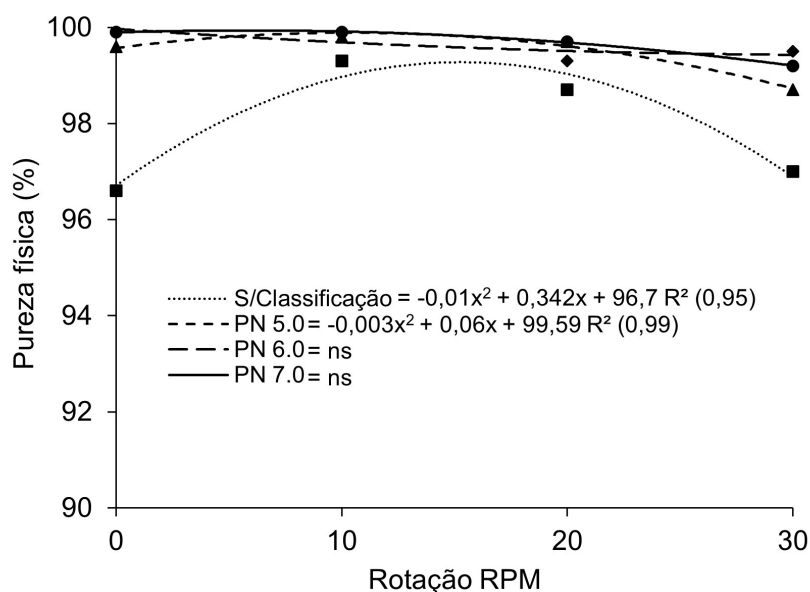


Figura 6 – Pureza física de sementes de soja com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023. *ns: não significativo.

Na avaliação do peso de mil sementes da fração descarte, constatou-se que as sementes previamente classificadas na peneira 7.0 mm apresentaram os maiores valores de peso de mil sementes, independentemente da cultivar e da velocidade de rotação (Tabela 16). Salienta-se que o peso de mil sementes depende da umidade em que se encontram as sementes no momento do beneficiamento e, do intervalo de padronização, caso sejam previamente classificadas. Além disso, as características morfológicas, que são intrínsecas de cada cultivar, também influenciam no valor final do peso de mil sementes.

As sementes da cultivar 60I62 IPRO sem classificação prévia ao beneficiamento no separador de espiral rotativo, apresentaram peso de mil sementes superior ao da cultivar 62R63, no caso de o separador de espiral permanecer estático e nas velocidades de 10 e 20 rpm (Tabela 16). Ainda, na classificação 6.0 mm, a mesma cultivar apresentou peso de mil sementes superior nas rotações de 20 e 30 rpm. As sementes da cultivar 62R63 apresentaram peso de mil sementes superior apenas na rotação de 10 rpm, previamente classificadas na peneira de 5.0 mm (Tabela 16). Essa diferença de peso de mil sementes, numa mesma classificação de peneira, se deve também, em parte, ao intervalo de classificação utilizado e as possíveis diferenças de retenção dentro do intervalo de 1,0 mm entre as cultivares.

Tabela 16 – Peso de mil de sementes de soja de duas cultivares, com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023

Peneira	Rotação (rpm)							
	0		10		20		30	
	Cultivar							
	60I62	62R63	60I62	62R63	60I62	62R63	60I62	62R63
S/ Classificação	134,7 cA	126,7 cB	134,7 cA	129,0 cB	136,7 cA	130,0 cB	135,3 cA	134,7 cA
PN 5.0	131,0 cA	115,3 dB	126,7 dB	130,3 cA	129,7 dA	131,7 cA	133,3 cA	135,7 cA
PN 6.0	144,3 bA	140,0 bB	141,7 bA	143,0 bA	154,7 bA	143,3 bB	154,3 bA	144,3 bB
PN 7.0	173,7 aA	166,0 aB	174,7 aA	172,3 aA	175,0 aA	171,3 aA	175,3 aA	174,3 aA
Média	145,93	137,0	144,5	143,7	149,0	144,1	149,6	147,3
CV (%)	1.54							

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, em cada velocidade, em nível de probabilidade de 5%.

Para a cultivar 60I62 IPRO, observou-se comportamento quadrático para variável peso de mil sementes, nas sementes classificadas nas peneiras 5.0 e 6.0 mm anteriormente ao beneficiamento no separador de espiral rotativo, sendo que para as sementes sem classificação e classificadas na peneira 7.0 m, não houve efeito significativo (Figura 7A). No entanto, observou-se para esta cultivar pontos de menor peso de mil sementes nas velocidades de rotação de 12,5 para a peneira de 5.0 mm e 19,1 para a peneira de 6.0 mm (Figura 7A).

Os pontos de máximo peso de mil sementes estimado, no descarte gerado a partir do beneficiamento da cultivar 62R63 no separador de espiral rotativo, foram obtidos em 6,5, 26,4 e 29,5 rpm, para as sementes sem classificação e classificadas na peneira 5.0 e 7.0 mm, respectivamente. Para a peneira de 6.0 mm não houve ajuste de nenhuma equação, não havendo diferença significativa à medida que aumentaram as velocidades de rotação do separador de espiral (Figura 7B).

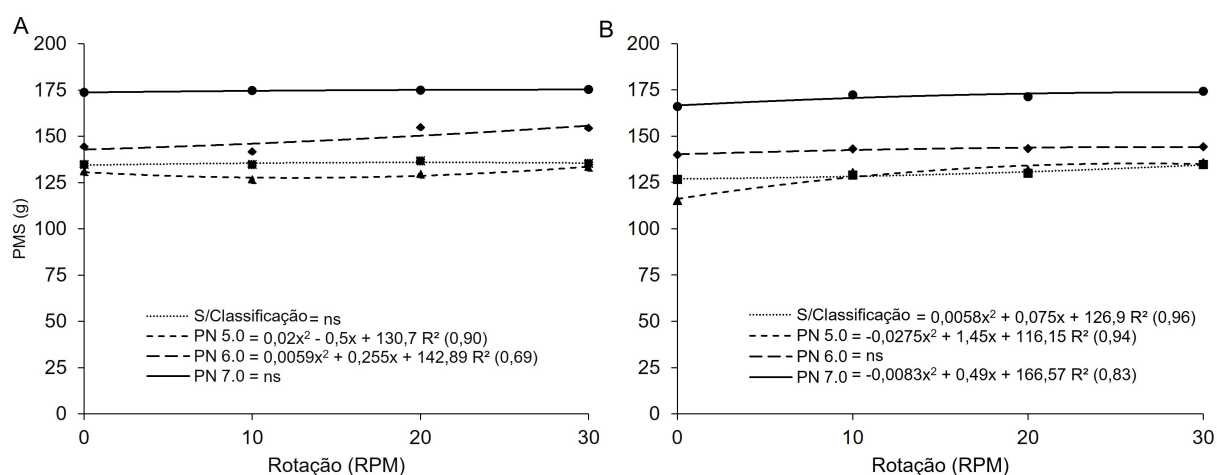


Figura 7 – Peso de mil sementes (PMS) de soja de duas cultivares, 62R6 IPRO (A) e 62R63 (B) com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023

Na avaliação de germinação do descarte na condição operacional estática, constatou-se, para ambas as cultivares, que as sementes sem classificação prévia ao beneficiamento no separador de espiral rotativo apresentaram maior percentual de germinação (Tabela 17). No entanto, ao aplicar as diferentes velocidades de rotação no separador de espiral, de modo geral, observou-se uma tendência de obtenção de maiores percentuais de germinação nas duas maiores classificações de peneira, para ambas as cultivares (Tabela 17). Entre as cultivares, observou-se que praticamente em todas as velocidades de rotação e peneiras avaliadas, o descarte da cultivar 60I62 IPRO apresentou maior percentual de germinação em comparação com o descarte proveniente da cultivar 62R63 (Tabela 16). Estes resultados comprovam que a regulação do separador de espiral rotativo deve ser adequada à condição física de cada lote de sementes de soja.

Para o vigor, avaliado pelo teste de envelhecimento acelerado, foi observado o mesmo comportamento da variável germinação. Destaca-se que na velocidade de rotação nula, o descarte proveniente das sementes sem classificação apresentou o maior percentual de vigor, independente da cultivar (Tabela 17). Porém, ao se aplicar velocidade de rotação horária no separador de espiral, as sementes classificadas nas peneiras 6.0 e 7.0 mm, apresentaram maior porcentagem de vigor, independentemente da cultivar utilizada no beneficiamento (Tabela 17). Comparando-se as cultivares em cada velocidade de rotação do separador de espiral, observou-se que o vigor via teste de envelhecimento acelerado das sementes avaliadas a partir do descarte da cultivar 60I62 IPRO apresentaram vigor

superior às sementes do descarte da cultivar 62R63, em todos os tamanhos de peneiras analisados, com exceção das sementes sem classificação prévia ao beneficiamento no separador de espiral rotativo em 20 rpm, onde não houve diferença significativa e em 30 rpm, onde a cultivar 62R63 apresentou descarte com vigor superior (Tabela 16).

Caso haja um alto percentual de sementes com vigor considerado satisfatório para os padrões do descarte, entende-se que se torna essencial a busca contínua da regulagem ideal de qualquer equipamento que esteja em operação no beneficiamento. Por outro lado, é oportuno ressaltar que é desejável a presença de sementes de boa qualidade no descarte do separador de espiral rotativo a fim de minimizar os riscos de estarem sendo direcionadas sementes de baixa qualidade para a fração aproveitada. Ludwig et al. (2011) destacam que a regulagem do equipamento pode mudar conforme o produto empregado e as características físicas das sementes utilizadas.

Tabela 17 – Germinação e envelhecimento acelerado de sementes de soja de duas cultivares, com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023

rpm	0		10		20		30	
	60I62	62R63	60I62	62R63	60I62	62R63	60I62	62R63
Peneira	Germinação (%)							
S/ Classificação	90 aA*	84 aB	76 cA	58 bB	64 cA	66 cA	38 cB	45 dA
PN 5.0	84 bA	65 dB	85 bA	61 bB	90 aA	63 cB	72 bA	61 cB
PN 6.0	85 bA	72 cB	92 aA	72 aB	91 aA	82 aB	90 aA	80 bB
PN 7.0	83 bA	80 bB	87 bA	74 aB	86 bA	76 bB	91 aA	86 aB
Média	86	75	85	66	83	72	73	68
CV (%)	3,23							
Peneira	Envelhecimento Acelerado (%)							
S/ Classificação	85 aA*	77 aB	66 cA	48 bB	57 cA	53 bA	29 cB	36 dA
PN 5.0	77 bA	59 cB	80 bA	51 bB	85 aA	53 bB	65 bA	53 cB
PN 6.0	76 bA	65 bB	86 aA	65 aB	81 abA	74 aB	85 aA	70 bB
PN 7.0	75 bA	73 aA	82 abA	65 aB	79 bA	70 aB	82 aA	77 aB
Média	78	69	79	57	76	63	65	59
CV(%)	4,4							

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, em cada velocidade, em nível de probabilidade de 5%.

Para o efeito das rotações crescentes no espiral, os resultados de germinação referente ao descarte oriundo das cultivares 60I62 IPRO e 62R63 apresentaram comportamento quadrático para todas as classificações de peneiras (Figura 8A). Na cultivar 60I62 IPRO, para o descarte proveniente das sementes sem classificação, observou-se diminuição da germinação a medida em que se aumentou a rotação do espiral, com valores estimados em 78%, 61% e 38% para as rotações de 10, 20 e 30 rpm, respectivamente. Para a cultivar 62R63, no material sem classificação, a queda foi mais intensa com o aumento das rotações nos espirais, com redução estimada em 60 p.p. em 30 rpm comparativamente ao separador espiral em modo estático (Figura 8B). Ainda, para o material classificado na PN 5.0mm da cultivar 60I62 IPRO, observou-se ponto de máxima germinação com 11,9 rpm, estimada em 90%.

Os valores de vigor do descarte originado após o beneficiamento das sementes da cultivar 60I62 IPRO no espiral rotativo, avaliado pelo teste de envelhecimento acelerado, mostrou resultado semelhante ao de germinação, no qual observou-se, para todas as sementes classificadas ou não, comportamento quadrático, com pontos de máximo vigor aos 25, 12, 21, e 26 rpm para as sementes sem classificação e classificadas nas peneiras de 5.0, 6.0 e 7.0 mm, respectivamente (Figura 8C). Já para a segunda cultivar, o material sem classificação apresentou vigor estimado pelo EA em 56%, 44% e 39% em 10, 20 e 30 rpm, respectivamente, demonstrando redução no vigor com o acréscimo das rotações de trabalho. Isso se deve pela redução do descarte gerado com o acréscimo das rotações em sentido horário, permanecendo na espiral apenas sementes com menor qualidade fisiológica.

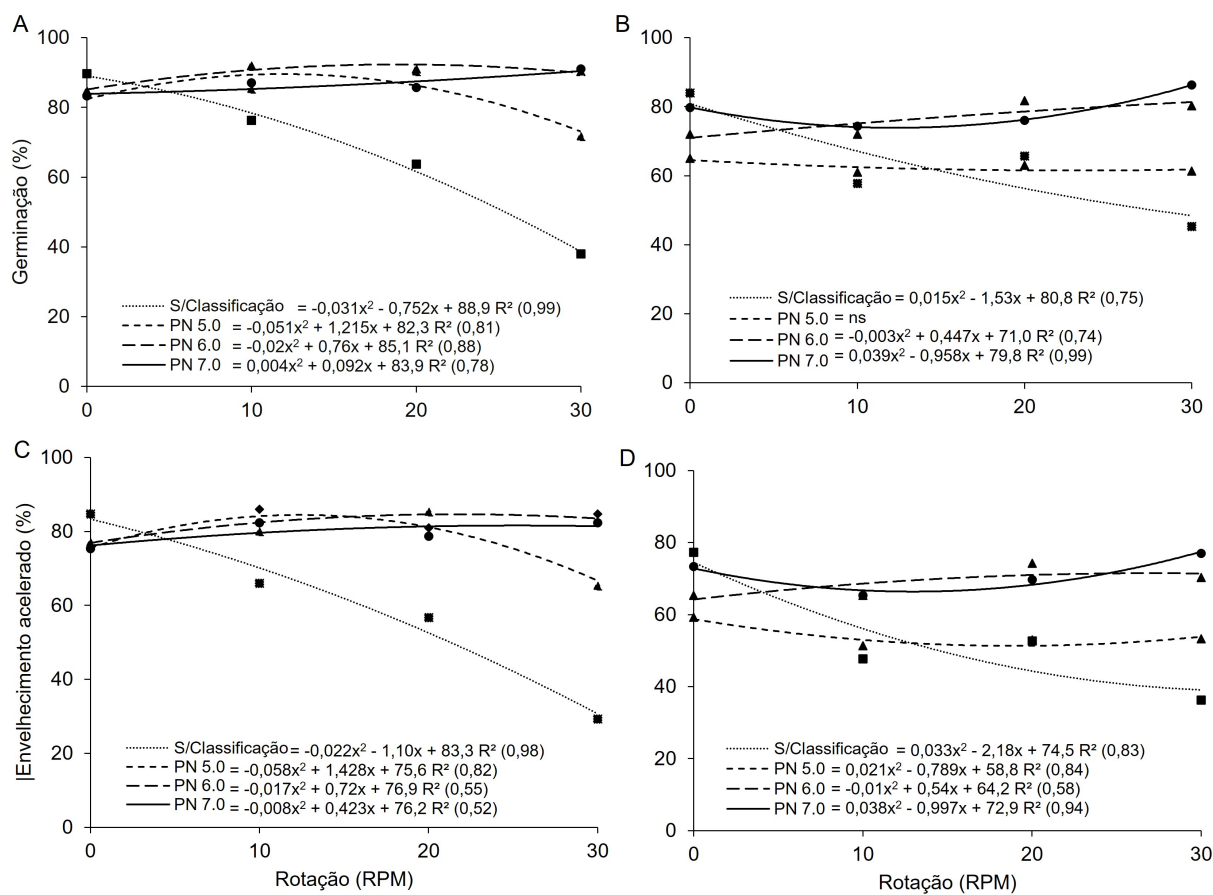


Figura 8 – Germinação (A e B) e envelhecimento acelerado (C e D) de sementes de soja de duas cultivares, 60I62 IPRO (A e C) e 62R63 (B e D), com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023. *ns: não significativo.

Para as sementes beneficiadas no separador de espiral na condição operacional estática, observou-se que o descarte da cultivar 60I62 IPRO apresentou viabilidade e vigor igual ou superior a 84 e 77%, respectivamente, sem diferença entre as classificações de peneira, apresentando qualidade superior ao descarte da cultivar 62R63 nas peneiras 5.0 e 6.0 mm (Tabela 18). Ainda na condição operacional estática, para a cultivar 62R63, constatou-se que as sementes sem classificação apresentaram descarte com viabilidade superior em comparação com o descarte oriundo de sementes previamente classificadas (Tabela 18). Este fato comprova que a classificação anterior à passagem no separador de espiral, a depender da cultivar, aumenta a eficiência deste equipamento (FRANÇA-NETO et al., 2016).

Para o equipamento operando com rotação horária, com velocidade de rotação de 10 a 30 rpm, de modo geral, o vigor e a viabilidade sempre foram superiores para a cultivar 60I62 IPRO. Ainda, também de modo geral, foi observado

que os maiores percentuais de vigor e viabilidade avaliados pelo teste de tetrazólio foram obtidos nos materiais padronizados nas peneiras 6.0 e 7.0 mm (Tabela 18).

Tabela 18 – Viabilidade e vigor pelo teste do tetrazólio em sementes de soja de duas cultivares, com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023

rpm	0		10		20		30	
	60I62	62R63	60I62	62R63	60I62	62R63	60I62	62R63
Peneira	Viabilidade Tetrazólio (%)							
S/ Classificação	88 aA*	87 aA	77 cA	57 cB	65 cB	73 bA	42 cA	45 dA
PN 5.0	85 aA	68 dB	85 bA	68 bB	88 abA	62 cB	72 bA	61 cB
PN 6.0	85 aA	74 cB	91 aA	71 abB	90 aA	81 aB	91 aA	78 bB
PN 7.0	84 aA	82 bA	89 abA	74 aB	85 bA	79 aB	89 aA	86 aA
Média	86	78	86	68	82	74	74	68
CV (%)	3,2							
Peneira	Vigor Tetrazólio (%)							
S/ Classificação	80 aA*	77 aA	66 cA	45 cB	58 cB	63 bA	33 cA	34 dA
PN 5.0	79 aA	58 cB	80 bA	55 bB	81 abA	54 cB	66 bA	54 cB
PN 6.0	77 aA	66 bB	86 aA	63 aB	85 aA	75 aB	82 aA	71 bB
PN 7.0	77 aA	76 aA	84 abA	60 abB	78 bA	70 aB	83 aA	79 aA
Média	78	69	79	56	76	66	66	60
CV (%)	3,86							

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, em cada velocidade, em nível de probabilidade de 5%.

O reflexo das velocidades de rotação de trabalho no espiral, sobre a viabilidade e o vigor no tetrazólio, foi representado por equações quadráticas, em todas as classificações de peneira (Figura 9). Os efeitos das velocidades crescentes de rotação na operação do separador em espiral foram mais pronunciados no material sem classificação para o vigor de ambas as cultivares. Para 60I62 IPRO, foram observados valores estimados de vigor via TZ em 69%, 54% e 34% nas rotações de 10, 20 e 30 rpm, respectivamente. Já para 62R63, os valores estimados de vigor via TZ no material sem classificação foram de 60%, 49% e 40% para 10, 20 e 30 rpm, respectivamente. Sendo assim, para o material sem classificação, foi observado redução do vigor com o acréscimo das rotações de trabalho no separador em espiral.

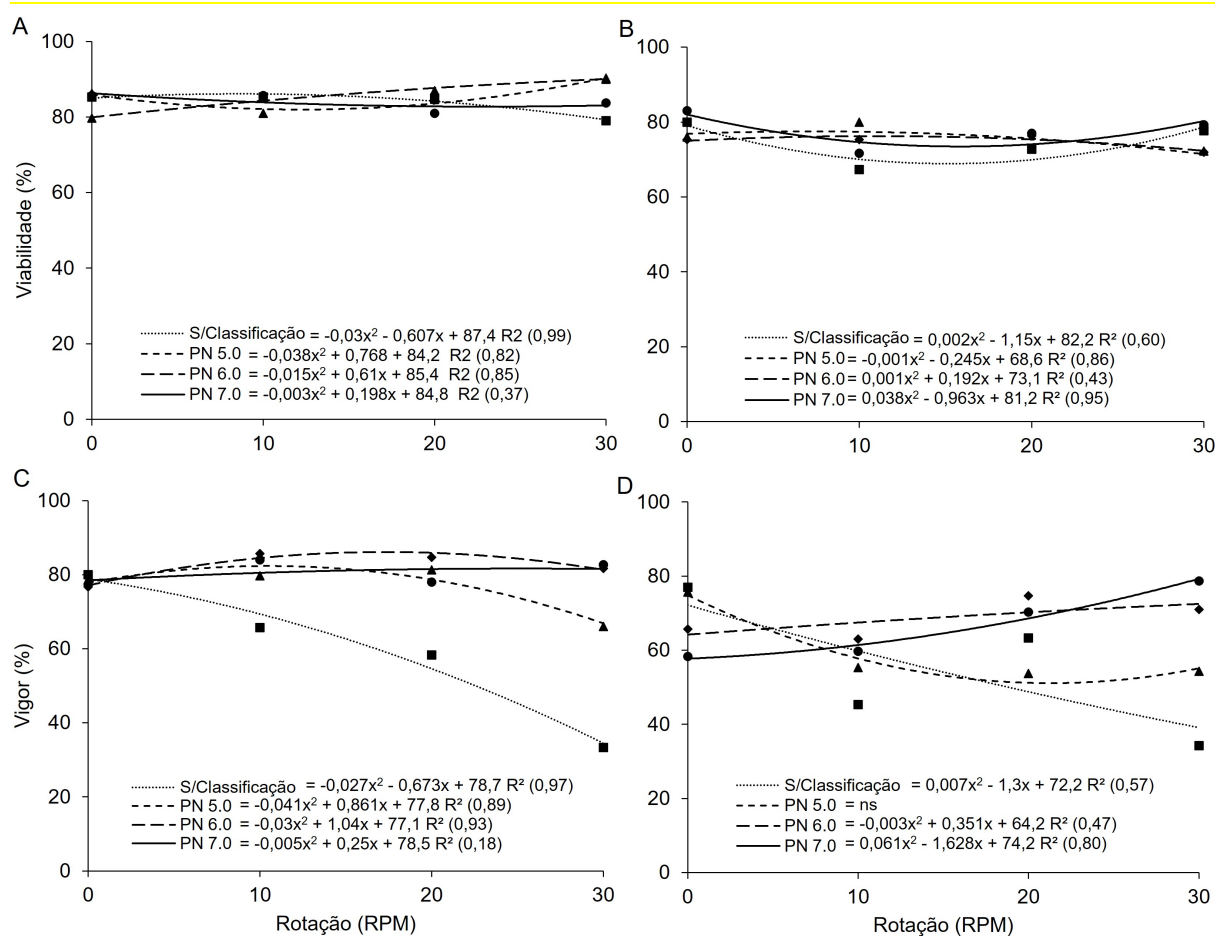


Figura 9 – Viabilidade (A e B) e vigor (C e D) de sementes de soja de duas cultivares, 60I62 IPRO (A e C) e 62R63 (B e D), com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação do separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023. *ns: não significativo.

Para todas as velocidades de rotação, independentemente da cultivar, as sementes classificadas previamente ao beneficiamento no separador de espiral rotativo apresentaram, em quase todas as situações, descarte com menor condutividade elétrica em comparação ao descarte proveniente do beneficiamento de sementes sem classificação (Tabela 18). Logo, destaca-se que o padronizador de sementes de soja, se utilizado anteriormente ao separador de espiral, tende a eliminar sementes com características morfológicas indesejáveis (MOREANO et al., 2013). No entanto, na condição operacional estática, observou-se que o descarte da cultivar 60I62 IPRO apresentou maior condutividade elétrica nas peneiras de 6.0 e 7.0 mm (Tabela 18). Ressalta-se que sementes de soja maiores podem ser mais propensas a sofrer danos mecânicos devido à sua estrutura mais exposta e ao maior tamanho, quando estão sendo beneficiadas (ANANIAS et al., 2022).

Analisando-se o efeito das cultivares, para as diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo, observou-se que na peneira de 5.0 mm, o descarte originado da cultivar 60I62 IPRO apresentou menor quantidade de lixiviados no teste de condutividade elétrica em relação ao descarte da cultivar 62R63, a exceção em 30 rpm, quando a primeira cultivar apresentou menor vigor via teste de condutividade elétrica comparativamente ao cultivar 62R63 (Tabela 19). Todavia, na peneira 6.0 mm, houve diferença significativa entre as cultivares em todas as velocidades de rotação, com exceção da velocidade de rotação de 30 rpm. O mesmo resultado não foi observado para a peneira 7.0 mm, onde resultado significantes entre as duas cultivares só foi observado nas velocidades de rotação de zero e 20 rpm, no qual o descarte proveniente da cultivar 60I62 apresentou maior condutividade elétrica (Tabela 19).

Tabela 19 – Condutividade elétrica em sementes de soja de duas cultivares, com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023

rpm	0		10		20		30	
	60I62	62R63	60I62	62R63	60I62	62R63	60I62	62R63
Peneira	Condutividade Elétrica (mS cm ⁻¹ g ⁻¹)							
S/ Classificação	80,2 bB*	112,0 aA	97,6 aB	163,3 aA	155,1 aA	109,7 bB	217,3 aA	205,7 aB
PN 5.0	77,1 bB	88,6 bA	49,3 bcB	82,8 bA	38,6 cB	166,0 aA	105,8 bA	95,0 bB
PN 6.0	91,9 aA	80,1 bB	45,1 cB	81,7 bA	46,1 bcB	90,2 cA	45,8 cA	48,6 cA
PN 7.0	93,5 aA	53,2 cB	59,4 bA	53,1 cA	51,8 bB	101,7 bA	43,7 cA	47,7 cA
Média	85,7	83,5	62,9	95,2	72,9	116,9	103,15	99,3
CV (%)	2,49							

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de probabilidade de 5%.

Para o efeito das velocidades de rotação no separador de espiral, nas sementes de soja da cultivar 60I62 IPRO, observou-se para todos os tamanhos de abertura de peneira comportamento quadrático, com redução na condutividade elétrica até a velocidade de rotação de 6, 13, 21 e 27 rpm nas sementes sem classificação e classificadas nas peneiras de 5.0, 6.0 e 7.0 mm, respectivamente. Após esta redução, observou-se também aumento na condutividade elétrica do descarte, independentemente se houve classificação prévia ou não (Figura 10A).

Já para a cultivar 62R63, observou-se comportamento semelhante ao cultivar 60I62 IPRO apenas se não houve classificação das sementes anteriormente ao beneficiamento no separador de espiral rotativo. Para as sementes previamente classificadas, constatou-se comportamento quadrático, com pontos de máxima

condutividade elétricas nas velocidades de rotação de 18, 11, e 17 rpm, para as peneiras de 5.0, 6.0 e 7.0 mm, respectivamente (Figura 10B).

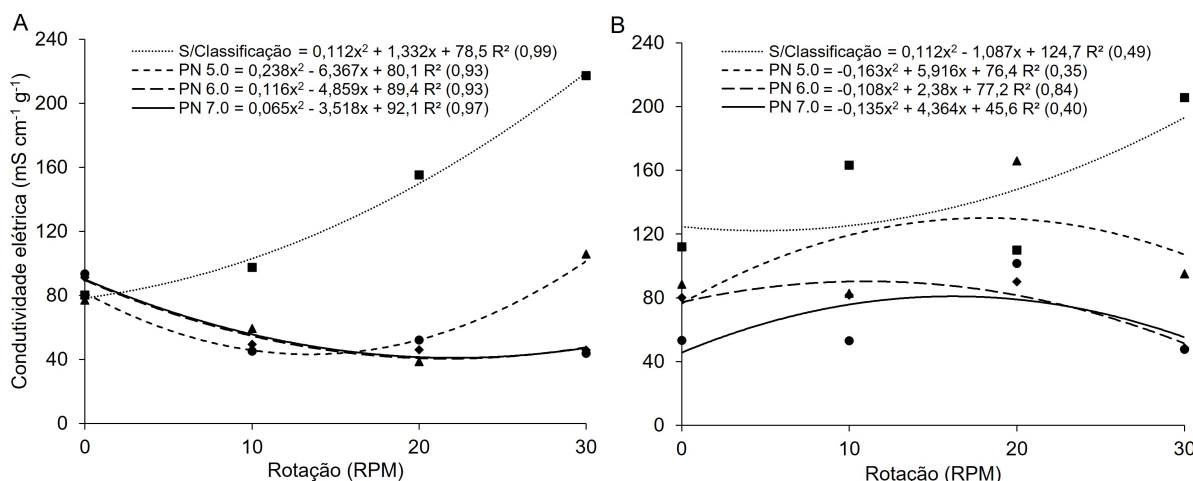


Figura 10 – Condutividade elétrica em sementes de soja de duas cultivares, 60I62 IPRO (A) e 62R63 (B), com diferentes tamanhos de peneira, submetidas a diferentes velocidades de rotação no separador de espiral rotativo. Los Cedrales, PY, 2023.

Cabe ressaltar que quanto maior a condutividade elétrica das sementes do descarte, pressupõe-se que o separador de espiral rotativo teve a capacidade de separar sementes com maior quantidade de danos. Infere-se isso, mais uma vez que a condutividade elétrica é um teste que permite a detecção rápida de deterioração de sementes e, seu nível de danos mecânicos, baseando-se no processo de dano de membranas celulares e liberação de lixiviados que ocorre quando as sementes são embebidas em água, devido à redução da integridade celular (SOLEYMANI, 2019).

4 Conclusões

As sementes de soja sem classificação prévia apresentam menor aproveitamento de beneficiamento e inferior qualidade física e fisiológica, comparativamente às sementes previamente classificadas, após a passagem em separador de espiral rotativo, independentemente da cultivar.

Para uma mesma classificação de peneira, o aproveitamento de sementes de soja no separador de espiral rotativo pode variar em até 43 pontos percentuais entre a condição de operação estática e a velocidade de rotação de 30 rpm.

Para uma mesma velocidade de rotação, há diferenças na qualidade fisiológica das sementes aproveitadas, entre as diferentes classificações de peneira e cultivares.

O separador de espiral rotativo operando em modo estático gera descarte de sementes de até 45%, não sendo recomendada a operação nessa condição.

As sementes de soja dos lotes das duas cultivares respondem de maneira distinta quanto ao aproveitamento e à qualidade fisiológica, após o beneficiamento no separador de espiral rotativo.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aproveitamento e descarte no beneficiamento de sementes de soja é distinto entre os separadores de espiral estático e rotativo e a qualidade das sementes aproveitadas nos separadores de espiral apresenta relação com a intensidade de descarte gerado.

As sementes de soja de diferentes cultivares apresentam comportamentos distintos quanto ao aproveitamento de sementes e quanto à qualidade fisiológica, após o beneficiamento nos separadores de espiral rotativo e estático.

A padronização por tamanho, anterior ao beneficiamento nos separadores de espiral estático ou rotativo, promove melhoria no aproveitamento de sementes, com reflexos positivos sobre os atributos físicos e fisiológicos das sementes aproveitadas, sendo recomendável a utilização dessa sequência nas unidades de beneficiamento de sementes de soja.

Para a obtenção dos melhores percentuais de aproveitamento e de qualidade fisiológica das sementes beneficiadas, as velocidades de rotação no separador de espiral rotativo devem ser diferentes de acordo com o tamanho das sementes e conforme a cultivar.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAGATELI, J. R.; DORR, C. S.; SCHUCH, L. O. B.; MENEGHELLO, G. E. Productive performance of soybean plants originated from seed lots with increasing vigor levels. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 2, p. 151-159, 2019.
- BEWLEY J. D.; BRADFORD, K.; HILHORST, H. Seeds: **Physiology of development, germination and dormancy**. 3.ed. New York: Springer. 2013, 392 p.
- BHERING, L. L. A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 2, p. 187-190, 2017.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013. Anexo XXIII - Padrões para produção e comercialização de sementes de soja. **Diário Oficial da União**, 18 set. 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395 p.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590 p.
- CAVALCANTE, J. A.; GADOTTI, G. I.; PINHEIRO, R. DE M.; SILVA, R. N. O., OLIVEIRA, F. K.; MORAES, D. M. Vigor and anaerobic metabolism of soybean seeds evaluated by ethanol test. **Journal of Seed Science**, v. 45, e202345007, 2023.
- COELHO, C. M. M.; COIMBRA, J. L. M.; SOUZA, C. A.; BOGO, A.; GUIDOLIN, A. F. Diversidade genética em acessos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência Rural**, v. 37, p. 1241-1247, 2007.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Monitoramento agrícola – Safra 2022/23. v. 9, n. 10, junho de 2023.
- COSTA, E. M.; DE MORAES NUNES, B.; VENTURA, M. V. A.; ARANTES, B. H. T.; MENDES, G. R. Efeito fisiológico de inseticidas e fungicida sobre a germinação e vigor de sementes de soja (*Glycine max* L.). **Científica Multidisciplinary Journal**, v. 5, n. 2, p. 77- 84, 2018.
- CRUZ, M. R.; SOARES, J. N; SOARES, L. H. Assessment of the physiological quality of soybean seed during the beneficiation processing. **Revista Cerrado Agrociências**, v. 13, p. 57-65, 2022.
- DELARMELINO-FERRARESI, L. M.; VILLELA, F. A.; AUMONDE, T. Z. Desempenho fisiológico e composição química de sementes de soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.9, n.1, p.14-18, 2014.
- DERETTI, A. F. H. et al. 2022. Resposta de cultivares de soja redução na densidade de plantas no planalto norte catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 21, p. 123-136.

DIAS, G. H. O.; LISBOA, L. A. M.; FERREIRA, J. P. D. S.; ROCHA, E. A. Desenvolvimento de cultivares de soja de crescimento indeterminado após a poda apical. **Research Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e46510513688, 2021.

DRUMOND, A. A. L.; SALES, J. F.; ZUCHI, J.; CAMELO, G. N.; SOUZA, M. M. V. Physiological quality of castor seeds (*Ricinus communis* L.) after processing. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 2, p. 224–232, 2019.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. Embrapa Soja, 2016. 82 p.

FERRAZZA, F. L. F.; JACOBOSKI, D. T. K.; WYREPKOWSKI, A.; RODRIGUES, L.; FIGEUIRO, A. G.; PARANGINSKI, R. T. Qualidade de sementes e parâmetros produtivos de sementes de soja submetidas a diferentes tratamentos de sementes antes da semeadura. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, 2020.

FERREIRA, R. L.; DE SÁ, M. E. Contribuição de etapas do beneficiamento na qualidade fisiológica de sementes de dois híbridos de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 99-110, 2010.

FERREIRA, R. L.; SÁ, M. E. Contribuição de etapas do beneficiamento na qualidade fisiológica de sementes de dois híbridos de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 4, p. 99-110, 2010.

FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; PADUA, G. P.; COSTA, N. P.; HENNING, A. A. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade - Série Sementes**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 2007, p.1-12. (Circular Técnica, 40).

FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C. Use of the tetrazolium test for estimating the physiological quality of seeds. **Seed Science and Technology**, v. 50, n. 2, p. 31-44, 2022.

FRANÇA-NETO, J.B. AND KRZYZANOWSKI, F. C. Tetrazolium: an important test for physiological seed quality evaluation. **Journal of Seed Science**, v. 41, p. 359-366, 2019.

GREGG, B. R. Quality control in processing foundation seed. In: **Short Course for Seedsmen's Proceedings**. Mississippi. Miss. State University. p. 100-111, 1972.

HENNING, F. A.; MERTZ, L. M.; JACOB JUNIOR, E. A.; MACHADO, R. D.; FISS, G.; ZIMMER, P. D. Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 727-734, 2010.

HESSEL, C. L. E. et al. Mesa densimétrica e qualidade Fisiológica de sementes de brachiária. **Informativo ABRATES**, v. 22, n. 3, p. 73-76, 2012.

KOPPER, A. C.; MALAVASI, M. M.; MALAVASI, U. C. Influência da temperatura e do substrato na germinação de sementes de *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kuntze. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 2, p. 160-165, 2010.

KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B.; MARCOS FILHO, J. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 2 ed. Londrina: ABRATES. 2020. 601 p.

KUMAR, R.; SHAMET, G. S; ALAM, N. M.; JANA, C. Influence of Growing Medium and Seed Size on Germination and Seedling Growth of *Pinus gerardiana* Wall. **Compost Science & Utilization**, v. 24, p. 98-104, 2016.

LOPES, M. M.; PRADO, M. O. D.; SADER, R.; BARBOSA, R. M. Efeitos dos danos mecânicos e fisiológicos na colheita e Beneficiamento de sementes de soja. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 2, p. 230-238, 2011.

LOPES, M. M.; PRADO, M. O. D.; SADER, R.; BARBOSA, R. M. Efeitos dos danos mecânicos e fisiológicos na colheita e beneficiamento de sementes de soja. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 2, p. 230-238, 2011.

MADUREIRA, A., MOLINARI, M.D.C., MARIN, S.R.R.; PAGLIARINI, R. F.; HENNING, F. A.; NEPOMUCENO, A. L.; FINATTO, T.; HENNING, L. M. M. Correlations between lignin content and related genes, weathering deterioration, and soybean seed quality at pre-harvest. **Journal of Crop Science and Biotechnology** (2023).

MANGENA, P. Analysis of correlation between seed vigour, germination and multiple shoot induction in soybean (*Glycine max* L. Merr.). **Heliyon**, v. 7, n. 9, e07913, 2021.

MARCOS FILHO, J. 2019. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2 ed. Londrina: ABRATES. 660 p.

MATHIAS, V.; COELHO, C. M. M. Rendimento por peneiras de classificação e vigor em resposta às épocas de colheita de sementes de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 61, 2018.

MELO, L.F.; MARTINS, C. C.; SILVA, G. Z.; BONETI, J. E. B.; VIEIRA, R. D. Beneficiamento na qualidade física e fisiológica de sementes de capim Mombaça. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 667-674, 2016.

MENEGUZZO, M. R. R.; MENEGHELLO, G. E.; NADAL, A. P.; XAVIER, F. M.; DELLAGOSTIN, S. M.; CARVALHO, I. R.; GONÇALVES, V. P.; LAUTENCHLEGER, F.; LÂNGARO, N. C. Seedling length and soybean seed vigor. **Ciência Rural**, v. 51, n. 7, e20190495, 2021.

MICHELS, A. F.; SOUZA, C. A.; COELHO, C. M. M.; ZILIO, M. Qualidade de feijão crioulo produzidas no Oeste e Planalto catarinense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 620-632, 2014.

MIQUELÃO, L. F. S.; OLIVEIRA, D. M. C.; MACHADO, M. R. B.; BATISTA, R. A.; SABUNDJIAN, M. T. Influência da classificação de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) na germinação e vigor. **Revista científica eletrônica de ciências aplicadas da FAIT**. v. 2, p. 1-6, 2028.

MOREANO, T.B.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; FRANÇA-NETO, J. DE B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; MARQUES, O. J. Evolução da qualidade física de sementes de soja durante o beneficiamento. **Informativo Abrates**, v. 23, n. 3, p. 25-31, 2013.

NEVES, J. M. G.; OLIVEIRA, J. A.; SILVA, H. P.; REIS, R. G. E.; ZUCHI, J.; VIEIRA, A. R. Quality of soybean seeds with high mechanical damage index after processing and storage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 11, p.1025-1030, 2016.

PADILHA, M. S.; DONATTO, N. M.; SOBRAL, L. S. Qualidade fisiológica de sementes de *Peltophorum dubium* (Sprengel.) Toubert classificadas pelo tamanho. **Biofix Scientific Journal**, v. 6, p. 20-27, 2021.

PANOBIANCO, M.; VIEIRA, R. D.; PERECIN, D. Electrical conductivity as an indicator of pea seed aging of stored at different temperatures. **Scientia Agrícola**, v. 64, p.119-124, 2007.

PEREIRA, C. E.; ALBURQUERQUE, K. S.; OLIVEIRA, J. A. Qualidade física e fisiológica de sementes de arroz ao longo da linha de beneficiamento. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 2995-3002, 2012.

PEREIRA, W. A.; PEREIRA, S. M. A.; DIAS, D. C. F. S. Dynamics of reserves of soybean seeds during the development of seedlings of different commercial cultivars. **Journal of Seed Science**, v. 37, p. 63-69, 2015.

PERIPOLLI, M.; SANCHOTENE, D. M.; LIMA, C. S.; CRISTOFARI, L. P.; PIVETTA, M.; CONCEIÇÃO, G. M.; ROSADO, G. F. Qualidade fisiológica de sementes de soja provenientes de dois tamanhos de peneira. **Revista Vivências**, v. 15, n. 29, p. 267-277, 2019.

PESKE, S. T.; LABBÉ, L. M. B.; PANOZZO, L. E. Beneficiamento de Sementes. In: PESKE, S. T.; VILELLA, F. A.; MENEGUELLO, G. E. (eds.). **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**. 4th ed. Pelotas: Becker e Peske, 2019. p. 407-464.

POWELL, A. A. Seed Vigour in the 21st century. **Seed Science and Technology**, v. 50, n. 1, p. 45-73, 2022.

QUADROS, D. G. ANDRADE, A. P.; OLIVEIRA, G. C.; OLIVEIRA, E. P.; MOSCON, E. S. Componentes da produção e qualidade de sementes dos cultivares marandu e xaraés de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf colhidas por varredura manual ou mecanizada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 5, p. 2019-2028, 2012.

ROCHA G. C.; NETO, A. R.; CRUZ, S. J. S.; CAMPOS, G. W. B.; CASTRO, A. C. de O.; SIMON, G. A. Qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas e armazenadas. **Revista Científica**, v. 1, p. 50-65, 2017.

SAMPAIO, C. H.; TAVARES. Concentração em calhas e espirais. In: SAMPAIO, C. H. (eds.). **Beneficiamento gravimétrico: uma introdução aos processos de**

concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade. 1ed. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2005. p. 339–464.

SANTIN, G.; AGUIAR, G. A. Avaliação de vigor de sementes de soja através do teste de condutividade elétrica. **Revista Científica Rural**, v. 25, n. 1, 2023.

SILVA, W. S.; COMPAGNON, A. M.; BARCELOS, M. R. V.; R NETO, N. D.; BORGES, G. T. O. M. Colheita mecanizada de soja em função da plataforma de corte em área com e sem dessecação. **Científica - Multidisciplinary Journal**, v. 10, n. 1, p.1-9, 2023.

SOLEYMANI, A. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seed vigor tests for the prediction of field emergence. **Industrial Crops and Products**, v. 131, p. 378-386, 2019.

STEINER, F.; ZUFFO, A. M.; BUSCH, A.; SOUSA, T. O.; ZOZ, T. Does seed size affect the germination rate and seedling growth of peanut under salinity and water stress? **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, p. 1-9, 2019.

TOMAZETTI, M. B.; ROSSETTI, C.; AUMONDE, T. Z.; PEDÓ T. Qualidade de Sementes de Soja durante o Beneficiamento. In: PEDÓ, T.; ROSSETTI, C.; TUNES, L. V. M; AUMONDE, T. Z. (eds.). **Prospecção da ciência e tecnologia de sementes nas Regiões Sul e Planalto Central do Brasil**. 1th ed. Nova Xavantina: Pantanal Editora, 2022. p. 64-80.

TROGELLO, E.; NOBRE, D. A. C; KOLLING, E. M.; MODOLO, A. J.; TROGELLO, A. Acompanhamento de uma unidade beneficiadora de sementes de milho – Estudo de caso. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 2, p.193-201, 2013.

WENDT, L. et al. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de soja por meio de imagens. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 3, p. 280-286, 2014.

ZAGUI, G.; NERES, D. C. D. C. Danos mecânicos e qualidade fisiológica no beneficiamento de sementes de soja, TMG 1180 RR. **Connection Line**, v. 18, p. 118–132, 2018.

ZORATO, M. F. Tegumento de sementes de soja e seu impacto na qualidade. **SEED News**, v. 32, p. 24-29, 2018.

RISSE, J.; MISRA, M.; KNAPP, A.; BERN, C. Conditioning shriveled soybean seed. Part II. Correlation of physiological characteristics with physical properties. **Transactions of ASAE. St. Josephv**, v. 34, n. 2, p. 487-491, 1991.

JARRIN, J. A. O. **Some characteristics of the spiral separation of soybean seed.** 1979. 63 f. Tese (Doutorado em Agronomia) Mississippi State University, Mississippi State, 1979.

PESKE, F.B.; PESKE, S.T. Estamos preparados para a transição de UBS para IBS? **Revista Seed News**. v. 26, n. 3, p. 1-8, 2022.

PROFILE INDUSTRIES. Inovando o beneficiamento de sementes. **Revista Seed News**. v. 33, n. 4, p. 1-8, 2019.

KLEIN. L. M.; HENDERSON, J.; STOESZ, A. D. Equipment for cleaning seeds. In: ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **Yearbook of Agriculture - Seeds**. Washington, p. 307-321, 1962.

VAUGHAN, C.; GREGG, B.; DELOUCHE, J. **Beneficiamento e manuseio de sementes**. Brasília: AGIPLAN, 1976. 195p.