

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JESSICA APARECIDA KÄFER ESCHER

**VIGOR DE SEMENTES DE SOJA NA DINÂMICA DO NITROGÊNIO NA PLANTA E
NO DESEMPENHO DA CULTURA EM DIFERENTES AMBIENTES DE CULTIVO**

**DOIS VIZINHOS
2024**

JESSICA APARECIDA KÄFER ESCHER

**VIGOR DE SEMENTES DE SOJA NA DINÂMICA DO NITROGÊNIO NA PLANTA E
NO DESEMPENHO DA CULTURA EM DIFERENTES AMBIENTES DE CULTIVO**

**Vigor of soybean seeds on nitrogen dynamics in the plant and cropping
performance in different production environments**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de
Pós-Graduação em Agroecossistemas da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná Câmpus
Dois Vizinhos – UTFPR - DV. como requisito para
obtenção do título de Mestre em Agroecossistemas
Orientador: Prof. Dr^o Carlos André Bahry
Coorientadora: Prof^a Dr^a Anelise Tessari Perboni

DOIS VIZINHOS

2024



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



JESSICA APARECIDA KAER ESCHER

VIGOR DE SEMENTES DE SOJA NA DINÂMICA DO NITROGÊNIO NA PLANTA E NO DESEMPENHO DA CULTURA EM DIFERENTES AMBIENTES DE CULTIVO

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Ciências Agrárias da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Agroecossistemas.

Data de aprovação: 01 de Março de 2024

Dr. Carlos Andre Bahry, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Ivan Ricardo Carvalho, Doutorado - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (Unijui)

Dr. Jean Carlo Possenti, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 01/03/2024.

Dedico este trabalho à minha família, em especial a
minha avó Irma Käfer que mesmo em seus últimos
momentos aqui, sempre devotou a mim todas as
suas orações, seu apoio e amor.

AGRADECIMENTOS

Por certo não conseguirei expressar aqui a minha gratidão a todos que de uma forma ou de outra me ajudaram a chegar até aqui. Mas gostaria de agradecer primeiramente a Deus, que permitiu em sua infinita bondade que mais uma etapa de minha vida se findasse.

Depois a minha família, que quando necessário passaram noites acordados ao meu lado, me ajudando e me incentivando. Minha avó que mesmo consumida pela doença e em seus últimos dias, buscou me auxiliar e me apoiar sempre, vó, a senhora está em todas as minhas orações e pensamentos. Ao meus Pais e meu irmão, que por diversas vezes largaram todos os seus afazeres para me ajudarem, e não me deixaram desistir, mesmo quando não parecia haver outro caminho, vocês sem dúvida por muitas vezes me carregaram no colo.

Agradeço também a família que estou construindo, meu companheiro, que nunca mede esforços para me apoiar, que esteve presente em cada etapa desse projeto, sem dúvida alguma, sem você seria impossível, e é claro, não posso deixar de agradecer a grande motivação dos meus dias, a nossa filha, que já nasceu plantando soja com a mamãe, sem sombra de dúvidas é o meu melhor presente, a minha melhor parte.

Meu orientador, Prof. Dr. Carlos André Bahry, por todo ensinamento, todo apoio, por aguentar e ter paciência com as minhas fases, o senhor é um modelo de profissional, um excelente professor, um excelente orientador e não poderia de deixar de falar, uma excelente pessoa, jamais esquecerei tudo o que fez por mim.

Prof^a Dr^a Anelise Tessari Perboni, minha Co orientadora, pelo ensinamento a mim passado, pelo apoio, pelas horas e horas comigo no relento do sol me auxiliando e me instruindo, muito obrigada.

Gratidão a todos os meus colegas de laboratório que se empenharam e abraçaram esse projeto junto comigo, o apoio e ajuda de vocês foi fundamental para que esse trabalho acontecesse.

Agradeço também a UTFPR e o programa PPGSIS, em todas as suas ramificações, por toda a estrutura, conhecimento e tudo que a mim foi disponibilizado durante esse período. Aos terceirizados, desde a faxineira que deixava o laboratório impecável para as análises, aos que ajudaram no plantio, nas aplicações, que foram

extremamente cuidadosos, dedicados e prestativos, que além de seus serviços compartilharam também conhecimento e sua amizade, em especial ao tratorista Sidinei Kurkievicz, que dedicou várias horas de seu tempo para tal, com muita paciência e maestria.

Por fim, agradeço a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para que esse projeto fosse realizado.

Por isso não tema, pois estou com você;
não tenha medo, pois sou o seu Deus.
Eu o fortalecerei e o ajudarei;
Eu o segurarei com a minha mão direita vitoriosa.

Isaías 41:10

RESUMO

Para se obter maiores produtividades de soja é necessário investir em sementes de qualidade e promover o cultivo em áreas adequadas em fertilidade. O objetivo do trabalho foi avaliar se o vigor de sementes e a fertilidade do solo interferem na dinâmica de nitrogênio nas plantas e o quanto isso impacta na produtividade da soja. Os ensaios foram conduzidos nas safras 2020/21 e 2021/22 na Estação Experimental da UTFPR, Campus Dois Vizinhos. A cultivar utilizada foi a NS 4823 RR, em que as sementes foram submetidas ao envelhecimento acelerado por 0, 24 e 48 horas a 40°C, resultando em sementes com três níveis de vigor. Estas foram submetidas aos testes de germinação, envelhecimento acelerado, comprimento de plântula, índice de velocidade de germinação, condutividade elétrica, e massa de mil sementes. No campo, as sementes contrastantes em vigor foram semeadas em solos com distintos históricos de fertilidade, avaliando-se nos estádios R1, R3 e R5.2 o estande de plantas, clorofila A, B e total, número de nódulos e massa seca de nódulos. Em R8 avaliou-se a produtividade e o teor de nitrogênio nos grãos. Sementes vigorosas geram plântulas mais vigorosas, que contribuem para a manutenção do estande de plantas e podem influenciar positivamente na dinâmica do N na planta e no desempenho produtivo da cultura. No entanto, condições edafoclimáticas também exercem muita influência nesses processos.

Palavras-chave: Qualidade das sementes, Fixação de nitrogênio, Manejo do solo, Produção agrícola.

ABSTRACT

To obtain greater soybean productivity it is necessary to invest in quality seeds and promote cultivation in areas suitable for fertility. The aim of the work was to evaluate whether seed vigor and soil fertility interfere with nitrogen dynamics in plants and how much this impacts soybean productivity. The trials were conducted in the 2020/21 and 2021/22 crop years at the UTFPR Experimental Station, Campus Dois Vizinhos. The cultivar NS 4823 RR was used, in which the seeds were subjected to accelerated aging for 0, 24 and 48 hours at 40°C, resulting in seeds with three levels of vigor. These were subjected to germination, accelerated aging, seedling length, germination speed index, electrical conductivity, and thousand seed mass tests. In the field, the contrasting seeds in force were sown in soils with different fertility histories, evaluating the plant stand, A, B and total chlorophyll, number of nodules and dry mass of nodules at stages R1, R3 and R5.2. In R8, productivity and nitrogen content in the grains were evaluated. Vigorous seeds generate more vigorous seedlings, which contribute to the maintenance of the plant stand and can positively influence the N dynamics in the plant and the productive performance of the crop. However, soil and climate conditions also have a strong influence on these processes.

Keywords: Seed quality, Fixation of nitrogen, Soil management, Productivity agricultural.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Fotografia 1 - Acomodação das sementes em gerbox para dar início ao envelhecimento acelerado.....	23
Fotografia 2 - Testes de germinação sendo instalados.....	24
Fotografia 3 - Análise de Índice de Velocidade de Germinação através da contabilização de protusão radicular.....	25
Fotografia 4 - Leitura de condutividade elétrica.....	27
Fotografia 5 - Localizações dos locais do experimento.....	28
Fotografia 6 - Coleta de plantas para avaliações.....	29
Gráfico 1 - Dados médios de plântulas normais, da cultivar NS 4823 RR®, contrastantes em vigor, pelo teste de envelhecimento acelerado.....	33
Gráfico 2 – Índices de temperatura (°C) e precipitação (mm) obtidos durante o desenvolvimento da cultura.....	34
Gráfico 3 – Índices de temperatura (°C) e precipitação (mm) obtidos durante o desenvolvimento da cultura.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise química do Local 1 e Local 2.....	27
Tabela 2 - Resumo da Análise de Variância para a germinação (G), envelhecimento acelerado (EA), condutividade elétrica (CE), índice de velocidade de germinação (IVG), massa de mil sementes (MMS), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR) e comprimento total de plântula (CTP) de lotes de sementes da cultivar de soja NS 4823 RR®, contrastantes para vigor e safras de cultivo.....	31
Tabela 3 - Dados médios de germinação, condutividade elétrica e massa de mil sementes, da cultivar de soja NS 4823 RR®, em função da interação entre vigor de sementes e safras de cultivo.....	31
Tabela 4 - Dados médios de envelhecimento acelerado (EA), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR) e comprimento total de plântula (CTP) de lotes de sementes de soja da cultivar NS 4823 RR® produzidos em safras distintas.....	33
Tabela 5 - Resumo da Análise de Variância para o estande de plantas em R1 (Est R1), estande de plantas em R3 (Est R3), estande de plantas em R5.2 (Est R5.2), número de nódulos em R1 (NNR1), massa de nódulos em R1 (MNR1), número de nódulos em R3 (NNR3), massa de nódulos em R3 (MNR3), número de nódulos em R5.2 (NNR5.2), massa de nódulos em R5.2 (MNR5.2), clorofila A em R1 (CIAR1), clorofila B em R1 (CIBR1), clorofila total em R1 (CITR1), Clorofila A em R3 (CIAR3), clorofila B em R3 (CIBR3), clorofila total em R3 (CITR3), clorofila A em R5.2 (CIAR5.2), clorofila B em R5.2 (CIBR5.2), clorofila total em R5.2 (CITR5.2), concentração de N nos grãos (NGrãos), produtividade de grãos (PROD) em função da interação entre vigor de sementes e locais de cultivo, da cultivar NS 4823 RR®, na safra 2020/21.....	36
Tabela 6 - Dados médios do parâmetro estande de plantas (plantas m ⁻¹) em R1, R3 e R5.2, para a cultivar NS 4823 RR®, na safra 2020/21.....	36
Tabela 7 - Dados médios dos parâmetros número e massa de nódulos em R1, R3 e R5.2, para a cultivar NS 4823 RR®, em função da interação entre vigor de sementes e locais de cultivo, na safra 2020/21.....	37

Tabela 8 - Dados médios dos parâmetros Clorofila A, B e Clorofila Total em R1, R3 e R5.2, para a cultivar NS 4823 RR®, na safra 2020/21.....	38
Tabela 9 - Dados médios dos parâmetros concentração de N nos grãos (NGrãos) e produtividade de grãos (PROD), para a cultivar NS 4823 RR®, em função da interação entre vigor de sementes e locais de cultivo, na safra 2020/21	39
Tabela 10 - Resumo da Análise de Variância para o estande de plantas em R1 (Est R1), estande de plantas em R3 (Est R3), estande de plantas em R5.2 (Est R5.2), número de nódulos em R1 (NNR1), massa de nódulos em R1 (MNR1), número de nódulos em R3 (NNR3), massa de nódulos em R3 (MNR3), número de nódulos em R5.2 (NNR5.2), massa de nódulos em R5.2 (MNR5.2), clorofila A em R1 (CIAR1), clorofila B em R1 (CIBR1), clorofila total em R1 (CITR1), Clorofila A em R3 (CIAR3), clorofila B em R3 (CIBR3), clorofila total em R3 (CITR3), clorofila A em R5.2 (CIAR5.2), clorofila B em R5.2 (CIBR5.2), clorofila total em R5.2 (CITR5.2), concentração de N nos grãos (NGrãos), produtividade de grãos (PROD) em função da interação entre vigor de sementes e locais de cultivo, da cultivar NS 4823 RR®, na safra 2021/22.....	41
Tabela 11 - Dados médios do parâmetro estande de plantas (plantas m ⁻¹) em R1, R3 e R5.2, para a cultivar NS 4823 RR®, na safra 2021/22.....	42
Tabela 12 - Dados médios dos parâmetros número e massa de nódulos em R1, R3 e R5.2, para a cultivar NS 4823 RR®, na safra 2021/22.....	43
Tabela 13 - Dados médios dos parâmetros Clorofila A, B e Clorofila Total em R1, R3 e 5.2, para a cultivar NS 4823 RR®, na safra 2021/22.....	44
Tabela 14 - Dados médios dos parâmetros concentração de N nos grãos (NGrãos) e produtividade de grãos (PROD), para a cultivar NS 4823 RR®, na safra 2021/22.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CE	Condutividade elétrica
CFA	Clima subtropical úmido mesotérmico
CIAR1	Clorofila A em R1
CIAR3	Clorofila A em R3
CIAR5.2	Clorofila A em R5.2
CIBR1	Clorofila B em R1
CIBR3	Clorofila B em R3
CIBR5.2	Clorofila B em R5.2
CITR1	Clorofila total em R1
CITR3	Clorofila total em R3
CITR5.2	Clorofila total em R5.2
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CPA	Comprimento da Parte Aérea
CR	Comprimento de Raíz
CTP	Comprimento total de plântula
EA	Envelhecimento acelerado
EstR5.2	Estádio Fenológico R5.2
EstR1	Estádio Fenológico R1
EstR3	Estádio Fenológico R3
FBN	Fixação biológica do nitrogênio
G	Germinação
IVG	Índice de velocidade de germinação
MMS	massa de mil sementes
MNR1	Massa de nódulos em R1
MNR3	Massa de nódulos em R3
MNR5.2	Massa de nódulos em R5.2
NNR1	Número de nódulos em R1
NNR3	Número de nódulos em R3
NNR5.2	Número de nódulos em R5.2
PROD	Produtividade de grãos
RAS	Regras de Análises de Sementes
RNA	Ácido Ribonucleico
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

'	Minutos
°	Graus
°C	Graus Celsius
A%	Saturação de Alumínio
Cm	Centímetros
ha	Hectare
K	Potássio
Kg	Quilograma
L	Litro
m	Metro
m ²	Metro quadrado
mL	Mililitro
mm	Milímetro
Mo	Matéria Orgânica
N	Nitrogênio
N ₂	Dinitrogênio
NH ₃	Amônia
NH ₄ ⁺	Amônio
NO ₃	Nitrato
P	Fósforo
V%	Saturação de Bases

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivos Específicos	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	A Semente	16
3.1.1	Germinação e vigor	17
3.2	Manejo e fertilidade do solo	18
3.3	Fixação biológica de nitrogênio na soja	20
4	MATERIAL E METODOS	22
4.1	Descrição inicial do experimento.....	22
4.2	Obtenção do material vegetal.....	23
4.3	Envelhecimento acelerado (EA)	23
4.4	Condução do experimento em laboratório.....	24
4.4.1	Germinação (G).....	24
4.4.2	Comprimento de plântula (CP)	24
4.4.3	Índice de velocidade de germinação (IVG).....	25
<u>4.4.3.1</u>	<u>Percentagem de germinação (%G):</u>	<u>25</u>
<u>4.4.3.2</u>	<u>Índice de velocidade de germinação (IVG):.....</u>	<u>25</u>
4.4.4	Condutividade elétrica (CE).....	26
4.4.5	Massa de mil sementes (MMS)	26
4.5	Condução do experimento a campo	27
4.5.1	Descrição das áreas e implantação do experimento	27
4.5.2	Avaliações a campo	28
<u>4.5.2.1</u>	<u>Estande de plantas</u>	<u>28</u>
<u>4.5.2.2</u>	<u>Clorofila</u>	<u>28</u>
<u>4.5.2.3</u>	<u>Nodulação</u>	<u>29</u>
<u>4.5.2.4</u>	<u>Produtividade</u>	<u>29</u>
<u>4.5.2.5</u>	<u>Nitrogênio no grão</u>	<u>29</u>
4.6	Dados meteorológicos	30
4.7	Delineamento experimental	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1	Resultados obtidos na etapa de laboratório	31

5.2	Resultados obtidos na etapa de campo	34
5.2.1	Safra 2020/2021	34
5.2.2	Safra 2021/2022	40
CONSIDERAÇÕES FINAIS		47

1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja é considerada a maior *commodity* agrícola do mundo e está entre as culturas que mais obtiveram crescimento expressivo nas últimas décadas, em especial no Brasil, que desde 2020 ocupa o posto de maior produtor de soja (ARAGÃO; CONTINI, 2021; USDA, 2023).

No Brasil essa oleaginosa está presente há cerca de 140 anos, porém, somente por volta dos anos 80 é que seu cultivo começou a ser mais explorado em escala de área, quando deu-se a expansão para os estados do Mato Grosso e Goiás (FREITAS, 2011; GAZZONI, 2018).

Ao longo dos anos a produção nacional apresentou sempre crescimento constante; contudo, a estimativa de produção para a safra 2023/2024 é de 149.403,70 mil de toneladas (CONAB, 2024). Ficando 3,4% menor quando comparada a safra anterior, devendo-se isso a instabilidade climática que acometeu todo o território nacional durante a safra.

Apesar do aumento área continuar, passa a ser menos expressivo, sendo esperado para a safra 23/24 um crescimento de 2,3% (CONAB, 2024), principalmente em áreas de pastagens degradadas.

Com o aumento cada vez mais diminuto de novas áreas e a demanda pelo produto continuar aumentando ano a ano, torna-se ainda mais necessário a intensificação de pesquisas afim de aumentar a produtividade (MANTELI, et al., 2019), que esta estimada em 3.314 Kg/ha, desta forma sofrendo queda de 5.5% em relação a safra anterior (CONAB, 2024)

Altas produtividades só se tornam possíveis pelo elevado nível de tecnificação que os produtores vêm adotando, mediante a melhoria dos suportes técnicos e das tecnologias, as quais proporcionaram a melhor utilização de fertilizantes e defensivos agrícolas dentre outros (WERNER, 2020).

Aliado a isso, sementes de qualidade superior são imprescindíveis para lavouras de alto potencial produtivo, bem como a relação com outros fatores, como o solo, o manejo e, não menos importante, os fatores climáticos. Os campos de produção de sementes, apesar de possuírem um rígido controle de qualidade, estão suscetíveis às condições adversas, impactando diretamente no potencial fisiológico da semente (WENDT et al., 2017).

O vigor de uma semente pode ser considerado como a velocidade que esta leva para germinar, e a capacidade de estabelecimento dessa plântula na lavoura, o

que afeta diretamente o potencial produtivo (KRZYZANOWSKI; FRANÇA-NETO; HENNING, 2018).

O vigor das sementes influencia diretamente no potencial agrônômico da cultura; sementes com baixo vigor tendem a dar origem a plantas menores e menos produtivas, a depender de sua densidade populacional (ROSSI; CAVARIANI; DE BARROS et al., 2017).

Na busca pela redução de custos de suas lavouras, ainda se verifica produtores rurais optando por utilizar sementes próprias. Com isso, na maioria das vezes, o vigor destas acaba por ser comprometido, devido às condições inadequadas de produção e de armazenamento (KAEFER et al., 2019).

O responsável pela escolha das sementes a serem semeadas deve-se atentar para os padrões de qualidade recomendados, além é claro do adequado manejo de solo e da cultura ao longo de seu desenvolvimento, tendo em vista que são muitos os fatores que determinam a produtividade de uma lavoura (ROSSI et al., 2017).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo do trabalho foi avaliar se o vigor de sementes e a fertilidade do solo interferem na dinâmica de nitrogênio nas plantas e o quanto isso impacta na produtividade da soja.

2.2 Objetivos Específicos

- Quantificar o efeito do vigor contrastante na formação inicial de plântulas de soja.
- Verificar em que nível o vigor de sementes e o ambiente de produção influenciam no estande de plantas da soja durante o ciclo.
- Analisar se o vigor e o ambiente de produção influenciam na nodulação da soja e no teor de N nos grãos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A Semente

Por definição, a semente é considerada como sendo um óvulo maduro e fecundado, que possui no interior de seu tegumento uma planta embrionária e substâncias de reserva (SILVEIRA BARROS NETO et al., 2014; ZHANG et al., 2021).

Essas substâncias de reserva são responsáveis por fornecer a energia e os nutrientes necessários para que ocorra a protusão radicular e, posteriormente, a germinação, até que essa plântula tenha emitido suas primeiras folhas (SILVEIRA BARROS NETO et al., 2014; ZHANG et al., 2021).

As substâncias de reservas presentes na semente são um conjunto de lipídeos, carboidratos, proteínas e minerais, que afetam o estabelecimento inicial da cultura (MARCOS FILHO, 2015; WERNER et al., 2020). Um estudo realizado por Henning et al. (2010) atestou que sementes com maior conteúdo de reserva apresentam maior vigor.

Esses nutrientes que compõem as reservas das sementes influenciam na formação dos cotilédones e do eixo embrionário (TEIXEIRA et al., 2006; WERNER et al., 2020; MORAES, 2021).

O estabelecimento das plântulas na lavoura também é afetado por fatores edafoclimáticos, visto que a soja é muito sensível às oscilações do ambiente de produção (FELICETI et al., 2020).

Mesmo após terminado o processo de formação das sementes a sua qualidade ainda pode ser afetada, visto que, após atingir o ponto de maturidade fisiológica a semente inicia o processo de deterioração; esse momento que é considerado ideal para colheita (MARCOS FILHO, 2015).

Na pós-colheita das sementes, as condições e o período de armazenamento merecem destaque. O armazenamento é considerado um dos períodos mais críticos para as sementes, isso porque é nesse período que estas ficam passíveis a peroxidação de lipídeos, que é agravada se não houver um equilíbrio entre umidade relativa e temperatura do ar (SMANIOTTO et al., 2014; ANJOS, 2023; KAEFER et al., 2019).

Para ser considerada como semente, esta precisa ter uma série de atributos de qualidade, sendo eles: físico, sanitário, genético e fisiológico (FRANÇA – NETO et al., 2016; ROSSI et al., 2017; WERNER et al., 2020).

A qualidade fisiológica refere-se ao potencial de germinação e vigor (SILVA et al., 2016). A semente pode ter seu potencial fisiológico afetado em qualquer momento, desde sua produção, armazenamento ou até mesmo durante a semeadura (MARCOS FILHO, 2013; SILVA et al., 2016).

A utilização de sementes com alta qualidade fisiológica torna a produção mais segura, uma vez que sementes com maior qualidade possuem maior capacidade de resiliência ao serem expostas às adversidades ambientais, como por exemplo estresse hídrico (LUDWING et al., 2023).

Deste modo, fica evidente a necessidade do uso de sementes de procedência, as quais por si só já garantirão grande parte do sucesso da lavoura, e quando aliadas às boas práticas de manejo, conferem ao produtor uma maior segurança ao longo da safra (VENTURA et al., 2020).

3.1.1 Germinação e vigor

A germinação é a capacidade que a semente possui de dar origem a uma plântula normal. O vigor está relacionado ao potencial dessa plântula, a sua capacidade de resiliência na fase inicial de estabelecimento, sua capacidade de manter-se viva sob diferentes condições, até que consiga ter suas raízes suficientemente expandidas para buscar nutrientes e água, e suas primeiras folhas, para que seja capaz de fazer fotossíntese suficiente para todos os seus processos metabólicos (BAALBAKI et al., 2009; MARCOS FILHO, 2013; SILVA et al., 2016).

Henning et al. (2010) relatam existir relação entre vigor e as reservas disponíveis na semente; deste modo, uma semente com maior vigor tem maior quantidade de reservas para o processo de germinação.

Outros estudos desenvolvidos por diversos pesquisadores apontam que o vigor possui uma ligação direta com o estande de plantas, assim como está relacionado com a diminuição da formação do dossel (ROSSI et al., 2017; RODRIGUES et al. 2018, KRZYZANOWSKI et al., 2018, NAKAO et al., 2018, COELHO et al., 2019, PESKE et al., 2019).

Desta forma entende-se que, sementes com menor vigor originam plântulas menores, e ainda menos tolerantes às intempéries climáticas, estando dessa forma o vigor relacionado à produtividade (ROSSI et al., 2017; RODRIGUES et al. 2018,

KRZYZANOWSKI et al., 2018, NAKAO et al., 2018, COELHO et al., 2019, PESKE et al., 2019).

Ao utilizar sementes de baixo vigor a lavoura fica exposta às possíveis perdas ocasionadas por fatores estressantes, podendo levar à ressemeadura, onerando ainda mais o produtor rural (COELHO et al., 2019).

Deste modo, a realização dos testes de germinação e vigor são imprescindíveis, a fim de avaliar o quanto o lote de sementes está ou não deteriorado, possibilitando a seleção de lotes que apresentem altos níveis de qualidade (MARCOS FILHO, 2015a).

Os testes de vigor são capazes de identificar pequenas variações na deterioração em lotes de sementes (BAALBAKI et al., 2009). Vários são os tipos de testes recomendados para sementes de soja, destacando o envelhecimento acelerado (MARCOS – FILHO, 2000; VIEIRA et al., 2003, RODRIGUES, 2020) e a condutividade elétrica (CUSTÓDIO; MARCOS – FILHO, 1997, VIEIRA et al., 2003).

Kolchinski et al. (2015) verificaram que sementes de alto vigor, quando expostas às condições menos favoráveis, tendem a apresentar maior percentagem de emergência e uniformidade de estabelecimento em comparação às sementes de baixo vigor.

Além de influenciar na uniformidade do estande de plantas, Khaliliaqdam et al. (2012) verificaram que o baixo vigor das sementes compromete a produtividade de grãos, devido ao estabelecimento irregular das plantas na lavoura.

3.2 Manejo e fertilidade do solo

Muitos são os fatores que determinam o sucesso de uma lavoura de soja, dentre eles o uso de sementes de procedência, com elevado vigor (PESKE et al., 2019). Outro fator importante ao crescimento e desenvolvimento das plantas é a fertilidade e o manejo do solo, uma vez que estes impactam nos mais diversos processos da planta, que culminam na redução de produtividade (OLIVEIRA; SANTOS, 2011; SEIXAS et al., 2020).

Um solo bem manejado deve apresentar atributos químicos, físicos e biológicos adequados para potencializar o desempenho das culturas (BERTOLLO; LEVIEN, 2019). Para isso, deve-se atender às correções de pH do solo e ao adequado balanço de nutrientes (ABDELNOOR, 2019), a microbiota presente no solo, com ênfase em culturas dependentes de associações simbióticas, como a soja (ZIMMER et al., 2020).

Quando se tem um manejo adequado do solo, como a manutenção de palhada, é possível reduzir os impactos de déficits hídricos curtos, além de possibilitar o incremento gradual de matéria orgânica, melhorar a temperatura, aeração e a umidade do solo (TAVARES et al., 2012; CHIODEROLI et al., 2012; CORTEZ et al., 2019).

No Brasil, a grande maioria dos solos cultivados tem por característica a acidez e a baixa disponibilidade de nutrientes (BLANCO, 2015), que se intensificam com a agricultura intensiva se não monitorado e corrigido (BROCH; RANNO, 2012; CONTINI et al., 2019), merecendo atenção.

O pH atua como um regulador da disponibilidade de nutrientes para as plantas, uma vez que quando está menor que 5,6 ou superior a 8, interfere na forma química dos nutrientes os deixando indisponíveis para estas. Outro ponto é que solos ácidos têm por características elevados teores de alumínio trocável, acidez potencial ($H + Al$), baixa saturação de bases e, com isso, baixa disponibilidade de nutrientes (MOREIRA; MORAES, 2018).

Em determinadas áreas produtoras do Paraná é possível observar a chamada compactação química, onde o solo possui em sua característica a acidez superficial. Ou seja, possui em sua camada superficial do solo (0-10cm) alumínio tóxico, baixos teores de cálcio, culminando na interrupção do crescimento radicular, afetando a produtividade, uma vez que a planta não consegue aprofundar suas raízes em busca de água e nutrientes, tornando-a suscetível também aos veranicos (SBCS, 2019).

Quanto aos nutrientes, cada cultura possui uma demanda específica; no caso da soja, os nutrientes requeridos em maior escala são nitrogênio, fósforo e potássio (SFREDO, 2008). A demanda e a absorção de cada nutriente, além de variar entre as culturas, varia também durante o ciclo delas, devido à função que cada nutriente exerce dentro da planta (FAGERIA, 2009).

Dentre os nutrientes, o Nitrogênio pode ser considerado o mais importante para a soja, não apenas para suprir a demanda dos compostos nitrogenados, mas por se tratar de uma aleuro oleaginosa, que tem na composição do seu grão cerca de 6,5% de nitrogênio (HUNGRIA; CAMPO; MENDES 2001; MEYER et al., 2022).

O N é um macronutriente essencial ao desenvolvimento das plantas; sua deficiência afeta todo o funcionamento fisiológico como a fotossíntese, a formação de raízes, crescimento das folhas, produção e translocação de fotoassimilados, dentre outros, a baixa disponibilidade de N ocasiona diminuição do crescimento e redução na produtividade de grãos (TAIZ; ZIEGER, 2004; FAGAN et al., 2007).

O fósforo pode ser assimilado pelas plantas apenas na forma inorgânica (NUNES et al., 2013). Devido à sua baixa mobilidade no solo e à formação de precipitados deste com o alumínio e o cálcio, além da fixação nos coloides (ZHOU et al., 2016), este nutriente acaba por ser apenas parcialmente disponível (PIMENTEL, 2022).

Esse nutriente, assim como o nitrogênio, afeta diversos processos das plantas, como a fotossíntese, por ser parte constituinte da ATP (SILVA et al., 2014); afeta também o desenvolvimento da cultura em estágio inicial (BEZERRA et al., 2014). Chaudhary et al. (2008) destacam que a parte mais afetada pela deficiência de fósforo, no caso da soja, é a formação e a atividade dos nódulos fixadores de N.

A deficiência de potássio afeta diretamente o rendimento, por estar ligado ao processo de ativação enzimática, regulação estomática, controle osmótico, dentre outras funções (TAIZ; ZEIGER, 2012; PIMENTEL, 2022).

A fertilidade do solo pode ser construída por meio de um manejo assertivo e constante, que forneça a quantidade correta de nutrientes e corrija o pH. Práticas como o plantio direto, rotação de culturas, plantas de cobertura melhora a atividade biológica do solo e contribui para a construção de um perfil com características físicas, químicas e biológicas que propiciem o crescimento e desenvolvimento adequado das culturas (COELHO, 2006; KAPPES; ZANCANARO, 2014).

3.3 Fixação biológica de nitrogênio na soja

Apesar de estar presente em 78% da atmosfera na forma de dinitrogênio (N_2), sendo, portanto, o elemento com maior abundância da atmosfera (MARIN et al., 1999; MEYER et al., 2022), o N acaba por não ficar disponível nessa quantidade para os sistemas biológicos, devido à inércia de sua ligação química, tornando a disponibilidade deste bastante restrita (SPATZAL, 2015).

Ao mesmo tempo, o nitrogênio é considerado um dos nutrientes que mais limita o potencial produtivo das plantas (FRANCO; DÖBEREINER, 1994).

O N é responsável por várias reações e faz parte da estrutura da clorofila, proteínas e enzimas (HARPER, 1994, ZUBERER, 2021, MEYER et al., 2022), sendo considerado um nutriente essencial. Seu balanço no sistema pode afetar a taxa fotossintética, a formação de raízes e a taxa de crescimento raízes/folhas e a translocação de fotoassimilados (TAIZ; ZIEGER, 2004).

O principal efeito da deficiência deste nutriente está relacionado com a diminuição do crescimento das plantas e, conseqüentemente, da produtividade (FAGAN et al., 2007).

A soja demanda, aproximadamente, 78 Kg de N para cada 1000 kg de grãos produzidos (MEYER, et al., 2022); destes, em média, 24Kg permanecem nos restos culturais e 54 Kg são destinados para os grãos e exportados após sua colheita (SEIXAS et al., 2020).

Existem algumas fontes principais de nitrogênio para suprir a demanda das plantas. A primeira fonte é o solo, onde o nitrogênio é absorvido através do nitrato (NO_3^-) ou amônio (NH_4^+) (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 1999). A segunda, os adubos nitrogenados, que representam a forma assimilada com maior rapidez pelas plantas (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2007).

A terceira fonte trata-se da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN). Todas as formas têm seu desempenho altamente dependente de fatores externos, como os climáticos, genéticos e agronômicos. Salvagiotti et al. (2008) constataram que, entre 40 a 80% da absorção de nitrogênio pela soja é realizada por meio da FBN.

O N_2 possui ligações triplas em sua estrutura química, sendo um gás muito estável à temperatura ambiente e, por isso, de difícil absorção direta (EVANS; BURRIS, 1992). Apenas alguns grupos de bactérias conseguem converter ou reduzir enzimaticamente o N_2 à amônia, que é incorporada. Estas bactérias são denominadas de diazotróficas e o mecanismo responsável por incorporar o nitrogênio na biomassa é denominado de fixação biológica de nitrogênio (FBN) (MARIN, et al., 1999; ZHENG et al., 2016).

As bactérias fixadoras de N possuem uma enzima denominada de dinitrogenase, que rompem as ligações triplas do N_2 da atmosfera à amônia (NH_3), a mesma forma utilizada nos adubos químicos (ZHENG et al., 2016).

No caso da soja, as bactérias pertencentes ao gênero *Bradyrhizobium* são capazes de estabelecer uma relação simbiótica com a planta (SICZEK; LIPIEC, 2011), formando estruturas especializadas nas raízes denominadas de nódulos, onde ocorre o processo de FBN (REID et al., 2011).

A simbiose entre as bactérias e a planta de soja ocorre, pois, a leguminosa fornece fotoassimilados para o desenvolvimento das bactérias, enquanto estas são responsáveis por manter o ambiente com baixa quantidade de oxigênio, tornando o adequado para a eficiência da fixação de nitrogênio (MEYER et al., 2022).

As espécies *Bradyrhizobium japonicum* e *Bradyrhizobium elkanii* são as bactérias fixadoras de N na soja (SICZEK; LIPIEC, 2011; SUZUKI et al., 2013). O processo de fixação envolve processos complexos, que iniciam com a adaptação das bactérias às plantas e finaliza com a fixação de N₂ atmosférico.

Pedrozo et al. (2018) destacam que esse processo ocorre ainda no estágio vegetativo V2, atingindo o pico de produção de nódulos durante o estágio reprodutivo R2; então, começa a decrescer, quando a planta começa a remobilizar nitrogênio para a formação e enchimento dos grãos.

Os primeiros nódulos se desenvolvem em locais específicos das raízes de soja, nas regiões de alongamento e nas zonas de formação dos pelos radiculares, sendo estas o local preferencial para a infecção (BHUVANESWARI et al., 1980; DASHORA, 2011), nódulos ativos são caracterizados por serem rugosos e possuem coloração rosada em seu interior (HUNGRIA et al., 2007; LIBÓRIO, 2019).

A nodulação pode ser afetada por diversos fatores como temperatura, pH do solo, disponibilidade hídrica e disponibilidade de alguns nutrientes no solo uma vez que esses participam de processos vitais a nodulação (FAGAN et al., 2007; MEYER et al., 2022).

Deste modo, para se obter adequada nodulação, é recomendado que seja realizada a inoculação das sementes a cada safra, assim como o uso de inoculantes de boa qualidade, buscando suprir a deficiência de nitrogênio de forma mais barata, lucrativa e sustentável (MEYER et al., 2022).

4 MATERIAL E METODOS

4.1 Descrição inicial do experimento

O experimento foi realizado em esquema bifatorial (Vigor, Local), aonde a variação de vigor foi obtida através do processo de envelhecimento acelerado descrito no item 4.3, e o local tratasse de dois ambientes distintos em fertilidade do solo.

A semente após ter seu vigor contrastado passou por testes em laboratório descritos no item 4.4 para que se pudesse obter uma melhor caracterização e entendimento da mesma frente aos diferentes níveis de vigor.

Após isso as sementes seguiram para o campo, a onde foram semeadas em distintos locais, e então submetidas a diferentes tratamentos descritos no item 4.5.

O experimento repetiu-se em duas safras: 2020/21 e 2021/2022

4.2 Obtenção do material vegetal

As sementes para iniciar os ensaios das safras 2020/21 e 2021/22 foram obtidas de uma empresa de sementes do sudoeste do Paraná, sendo estas da categoria C2, segundo a Lei nº 10.711, Art. 28. (MAPA, 2003). A cultivar de soja utilizada foi a NS 4823 RR®, de GMR 4.8.

Após o recebimento das amostras estas foram acondicionadas em ambiente com temperatura constante de 18°C até a realização dos protocolos.

4.3 Envelhecimento acelerado (EA)

As sementes de soja obtidas e armazenadas no laboratório foram separadas em 3 lotes com 6 Kg cada. Após, estas foram submetidas ao envelhecimento acelerado para contrastar os lotes pelo vigor (Fotografia 1). Para tanto, adotou-se três períodos de envelhecimento à 41°C, tempo zero (controle), 24 e 48 horas.

Fotografia 1 - Acomodação das sementes em gerbox para dar início ao envelhecimento acelerado.



Fonte: Autor (2024)

O processo de envelhecimento acelerado foi realizado conforme adaptação da metodologia descrita por Krzyzanowski et al. (1999).

Após o período de envelhecimento acelerado, visando reduzir a umidade das sementes para a realização dos testes e o ensaio a campo, estas foram secas em secador de amostras, com temperatura de 34°C e circulação de ar constante, por 24 horas. O Lote não submetido ao envelhecimento acelerado também passou por esse processo para padronização. Ao final, os três lotes estavam com umidade de, aproximadamente, 12%.

Após padronizadas as sementes passaram pelo teste de germinação, e os resultados expressos em percentagem de vigor, obtendo-se sementes com 77, 67 e

54%, as quais foram classificadas a partir deste, como alto, médio e baixo vigor respectivamente.

4.4 Condução do experimento em laboratório

O experimento foi realizado no Laboratório de Culturas Anuais, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos. Os testes para avaliar a qualidade das sementes foram:

4.4.1 Germinação (G)

A análise de germinação deu-se pelo método indicado nas Regras de Análises de Sementes - - RAS (BRASIL, 2009).

Fotografia 2 - Testes de germinação sendo instalados.



Fonte: Autor (2024)

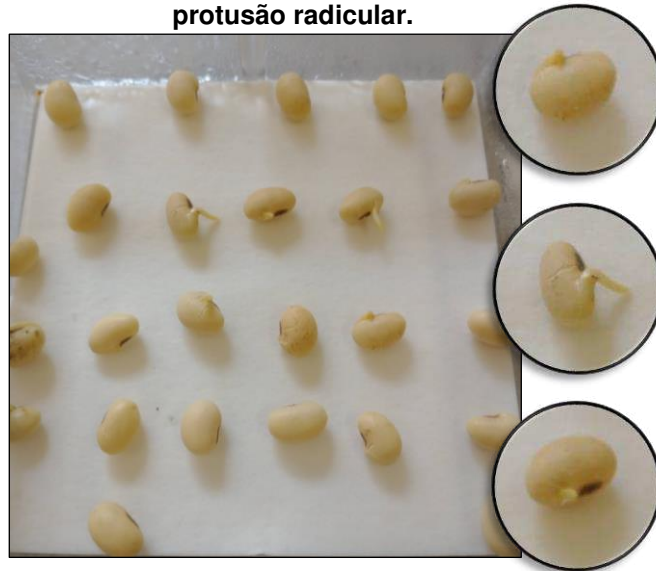
4.4.2 Comprimento de plântula (CP)

Para a realização desta adaptou-se a metodologia descrita por Nakagawa (1999), para tal, foram utilizadas 10 sementes em 4 repetições por tratamento, estas foram colocadas em substrato papel Germintest previamente umedecidos com 2,5 vezes o seu peso seco com água destilada, as sementes foram acomodadas no terço superior do papel em sentido longitudinal, posteriormente enrolado e acomodado em saco plástico, e então posto em germinador biomatic a 25°C com luminosidade durante 8 dias. Ao findar-se o prazo do teste, separou-se a parte aérea (CPA) da raiz (CR) com auxílio de um bisturi, e mediu-se ambas as partes apenas as plântulas com desenvolvimento considerado normal, os resultados foram contabilizados e expressos em cm médio por plântula.

4.4.3 Índice de velocidade de germinação (IVG)

Para tal teste adaptou-se a metodologia de MAGUIRE (1962), onde as gerbox foram lavadas e esterilizadas conforme descrito anteriormente, e nelas foram depositadas 3 folhas de papel germitest, previamente umedecido com 2,8 vezes o seu peso seco em água destilada, sobre o papel foram distribuídas 25 sementes (Fotografia 3) para cada tratamento com 4 repetições.

Fotografia 3 - Análise de Índice de Velocidade de Germinação através da contabilização de protusão radicular.



Fonte: Autor (2024)

As caixas gerbox foram acomodadas em germinadores com temperatura controlada de 25°C durante os 8 dias de testes. Contagens de protusão radicular (Fotografia 3) foram realizadas todos os dias às 14:00 ao correr dos 8 dias. Os resultados foram tabelados e então foram calculados a percentagem de germinação (%G) e índice de velocidade de germinação (IVG), aonde:

4.4.3.1 Percentagem de germinação (%G):

$$\%G = \left(\frac{N}{A} \right) * 100$$

Sendo:

%G: percentagem de germinação;

N: número de sementes germinadas;

A: número de sementes amostradas;

4.4.3.2 Índice de velocidade de germinação (IVG):

$$IVG = \frac{(\sum \frac{N_i}{T_i}) * 100}{\%G}$$

Sendo:

IVG: índice de velocidade de germinação;

Ni: número de sementes germinadas no tempo I;

Ti: tempo após a instalação

%G: percentagem de germinação;

4.4.4 Condutividade elétrica (CE)

Para a realização do teste de condutividade elétrica, foram selecionadas 50 sementes intactas por tratamento e 4 repetições, as quais foram pesadas com balança de precisão e posteriormente depositadas em um copo plástico, contendo 75 mL de água destilada, o material foi então acomodado em germinador com temperatura de 25°C por 24 horas. Passadas as 24 horas, realizou-se a leitura com condutivímetro CG 2000 (Fotografia 4), sempre intercalando uma leitura de tratamento com uma leitura da prova branca (somente água destilada), a metodologia foi adaptada de Matthews; Bradnock (1967).

Fotografia 4 - Leitura de condutividade elétrica



Fonte: Autor (2024)

O resultado da leitura do condutivímetro (Fotografia 4) bem como do peso das amostras foram tabelados, e posteriormente dividiu-se o resultado da leitura pelo peso correspondente da amostra. O resultado é expresso em C.E. ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$).

4.4.5 Massa de mil sementes (MMS)

A massa de mil sementes foi determinada seguindo a metodologia indicada nas RAS (BRASIL, 2009).

4.5 Condução do experimento a campo

4.5.1 Descrição das áreas e implantação do experimento

Os ensaios de campo conduzidos nas safras 2020/21 e 2021/22 foram realizados na Estação Experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, na Unidade de Ensino e Pesquisa de Culturas Anuais.

O local apresenta altitude média de 509 metros, Latitude 25°44'03" e 25°46'05" Sul e Longitude entre 53°03'01" e 53°03'10" W. A classificação do solo é Latossolo Vermelho Distroférrico típico (OLIVEIRA; SARTOR, 2012).

O clima é classificado como Cfa – Clima subtropical úmido mesotérmico, sem estação seca definida. A temperatura média anual fica em torno de 20 a 22°C. O verão é quente e as geadas são pouco frequentes no inverno (IAPAR, 2009).

A semeadura dos três lotes estabelecidos no laboratório se deu em meados do mês de outubro, para ambas as safras, em duas áreas contrastantes para química do solo, nomeadas de Local 1 (para a área de menor fertilidade, com presença de Al em ambas as camadas de solo, nível de pH baixo e baixos teores de fosforo), e Local 2 (para a área com menor índice de pH, menor presença de Al, e maiores teores de fosforo) (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise química do Local 1 e Local 2.

Área	Prof.	MO	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V%	Sat. Al
	cm	g/dm ³	CaCl ₂	mg/dm ³								%	%
Local 2	0-10	26,0	5,3	50,5	0,40	4,50	1,15	0,00	4,25	6,07	10,32	58,2	0,0
	10-20	23,0	5,1	25,5	0,24	4,62	1,22	0,00	4,97	6,10	11,08	55,2	0,0
Local 1	0-10	36,2	4,5	1,6	0,50	3,90	1,90	0,31	6,69	6,30	13,00	48,5	4,7
	10-20	32,2	4,4	1,3	0,47	3,50	1,70	0,37	8,36	5,67	14,03	40,4	6,1

*Local 2: os nutrientes P, K, Ca, Mg foram extraídos com solução de resina. Apresentando classe de interpretação de: 0-10cm= P (alto), K (baixo), Ca (alto), Mg (alto) e 10-20cm= P (médio), K (baixo), Ca (alto), Mg (alto).

*Local 1: os nutrientes P, K, Ca, Mg foram extraídos com solução de melich-1. Apresentando classe de interpretação de: 0-10cm= P (muito baixo), K (baixo), Ca (alto), Mg (alto) e 10-20cm= P (muito baixo), K (muito baixo), Ca (alto), Mg (alto).

Fonte:Autor, 2024.

Em ambas as áreas e safras a cultura antecessora foi a aveia branca, a qual foi dessecada aproximadamente 15 dias antes da semeadura, com pulverizador agrícola tratorizado, utilizando-se de glifosato a uma dosagem de 3 L/ha.

Previamente à semeadura as sementes receberam tratamento com Standak Top® (2 mL Kg⁻¹ sementes) e para a safra 2020/21 foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*.

Fotografia 5- Localizações dos locais do experimento.



Fonte: Autor (2023)

A taxa de semeadura foi de 16,3 sementes por metro linear e a adubação contrastou entre os locais. Na de maior fertilidade aplicou-se 372 Kg/ha do formulado 02-20-15 e na de menor fertilidade, 250 Kg/ha.

O manejo de plantas daninhas, pragas e doenças após a semeadura seguiu as recomendações técnicas da cultura, a partir de monitoramento semanal das áreas, aplicando-se os defensivos agrícolas recomendados.

4.5.2 Avaliações a campo

4.5.2.1 Estande de plantas

Para a avaliação de estande foram demarcados dois metros na linha de semeadura, com três repetições por tratamento, excluindo-se as 2 linhas da bordadura de cada extremidade, contabilizando-se as plantas nos estádios R1, R3 e R5.2 (FEHR; CAVINESS, 1977).

4.5.2.2 Clorofila

A análise de clorofila deu-se com o auxílio do clorofilômetro Clorofilog®, medindo-se o índice de clorofila A, B e total das folhas. Adotou-se o trifólio mais novo e completamente expandido nas plantas, com três plantas por repetição e um total de três repetições por tratamento. Os estádios em que se avaliou foram R1, R3 e R5.2.

4.5.2.3 Nodulação

A avaliação de nódulos nas plantas se deu nos estádios R1, R3 e R5.2. Para tanto, a fim de minimizar as perdas de raízes e nódulos, foi utilizada uma retroescavadeira (Fotografia 6).

Fotografia 6- Coleta de plantas para avaliações



Fonte: Autor (2021)

Nessa etapa foram coletadas 10 plantas por repetição, e 3 repetições por tratamento, excluindo as linhas da bordadura. Após realizada a coleta das plantas, e retirado o máximo possível de solo aderido às raízes, estas plantas foram levadas ao Laboratório de Culturas Anuais.

Realizou-se a extração dos nódulos das raízes das plantas e procedeu-se a contagem. Após, estes foram levados para a estufa de secagem, por 48 horas a 65°C, com posterior pesagem em balança analítica, com precisão de 0,0001g.

4.5.2.4 Produtividade

As parcelas para avaliação de produtividade de grãos foram compostas por 5 linhas de 2 metros de comprimento, totalizando 4,5m². As plantas coletadas foram trilhadas em trilhadora elétrica.

Os grãos foram limpos, tiveram sua umidade determinada em determinador portátil digital e o peso mensurado em balança de precisão. A umidade foi padronizada para 12% e a produtividade extrapolada em Kg/ha.

4.5.2.5 Nitrogênio no grão

As amostras obtidas da colheita das parcelas foram encaminhadas para o Laboratório de Qualidade Agroindustrial (LAQUA), da UTFPR Campus Pato Branco,

onde foram realizadas as análises de nitrogênio nos grãos em triplicada, pelo método de Micro Kjeldahl (VIEIRA et. al, 2016).

4.6 Dados meteorológicos

As informações referentes à temperatura média máxima, temperatura média mínima e a média mensal, bem como a precipitação ocorridas durante os ensaios, em ambas as safras, foram extraídas do Gebiomet (Grupo de estudos em biometeorologia – UTFPR- Dois Vizinhos) e apresentadas na modalidade de Gráficos (Gráficos 2 e 3).

4.7 Delineamento experimental

O delineamento adotado em laboratório foi o inteiramente casualizado, com 4 repetições para os testes de qualidade e três repetições para a determinação de N nos grãos. Em campo adotou-se o delineamento de blocos ao acaso, com três repetições.

Os dados foram submetidos à análise de variância e comparados por Scott Knott, a 5% de probabilidade. O Programa utilizado foi o Genes (CRUZ, 2013).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Resultados obtidos na etapa de laboratório

A análise de variância indicou que houve interação entre vigor de sementes e anos para as variáveis germinação, condutividade elétrica e massa de mil sementes. Em relação ao fator vigor verificou-se significância para o envelhecimento acelerado. Junto ao fator ano, as variáveis envelhecimento acelerado, índice de velocidade de germinação e comprimento de parte aérea apresentaram significância (Tabela 2).

Tabela 2 - Resumo da Análise de Variância para a germinação (G), envelhecimento acelerado (EA), condutividade elétrica (CE), índice de velocidade de germinação (IVG), massa de mil sementes (MMS), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR) e comprimento total de plântula (CTP) de lotes de sementes da cultivar de soja NS 4823 RR®, contrastantes para vigor e safras de cultivo

FV	GL	G	EA	CE	IVG
Rep	3	13,937	18,521	0,00012	0,0138
Vigor	2	839,120**	1099,588**	0,0055**	0,1427ns
Ano	1	303,170**	143,424*	0,02989**	6,2424**
VigorxAno	2	138,620*	2,074ns	0,00144**	0,1191ns
Resíduo	15	28,190	28,296	0,0001	0,048
FV	GL	MMS	CPA	CR	CTP
Rep	3	2,293	2,071	2,7463	8,240
Vigor	2	18,899**	3,927ns	11,249ns	28,426ns
Ano	1	3675,796**	381,684**	454,314**	1668,834**
VigorxAno	2	31,342**	3,392ns	9,744ns	22,556ns
Resíduo	15	1,451	3,464	4,713	11,705

****Significativo a 1% pelo Teste F; * Significativo a 5% pelo Teste F; ns, – não significativo. FV – fator de variação. GL – Graus de Liberdade. Fonte: Autoria própria (2023)**

A germinação das sementes provenientes dos lotes de menor vigor reduziu em ambos os anos, especialmente no primeiro. No segundo ano, tanto as sementes com maior vigor inicial e intermediário não diferiram (Tabela 3).

Tabela 3 - Dados médios de germinação, condutividade elétrica e envelhecimento acelerado, da cultivar de soja NS 4823 RR®, em função da interação entre vigor de sementes e safras de cultivo

Vigor	3A				3B	
	Germinação (%)		Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)		Envelhecimento Acelerado (%)	
	Ano1	Ano2	Ano1	Ano2		
Maior	99 Aa*	97 Aa	0,125 Ac	0,063 Bb		
Intermediário	88 Bb	97 Aa	0,140 Ab	0,091 Ba	Ano1	68 a
Menor	71 Bc	85 Ab	0,196 Aa	0,096 Ba	Ano2	64 b
CV (%)	5,93		8,45			8,06

***Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo Teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade. Fonte: Autoria própria (2023)**

Vale destacar que a germinação é o último fator a sofrer alterações significativas em função de sementes contrastantes para vigor (KRZYZANOWSKI; FRANÇA-NETO, 2022). No presente estudo foi possível constatar tal alteração.

No primeiro ano de avaliação o lote de menor vigor inicial apresentou germinação padrão abaixo da recomendada pela legislação brasileira, de acordo com a instrução normativa MAPA 45/2013, que é de 80% (MAPA, 2013). Apesar de diferir significativamente no segundo ano, a qualidade das sementes quanto à germinação ficou acima desse limite mínimo para o lote de menor vigor.

No comparativo entre anos, não houve diferença na germinação para o lote de maior vigor. No segundo ano, os lotes com vigor intermediário e menor apresentaram maior percentagem de germinação que os lotes submetidos às mesmas condições de envelhecimento no primeiro ano.

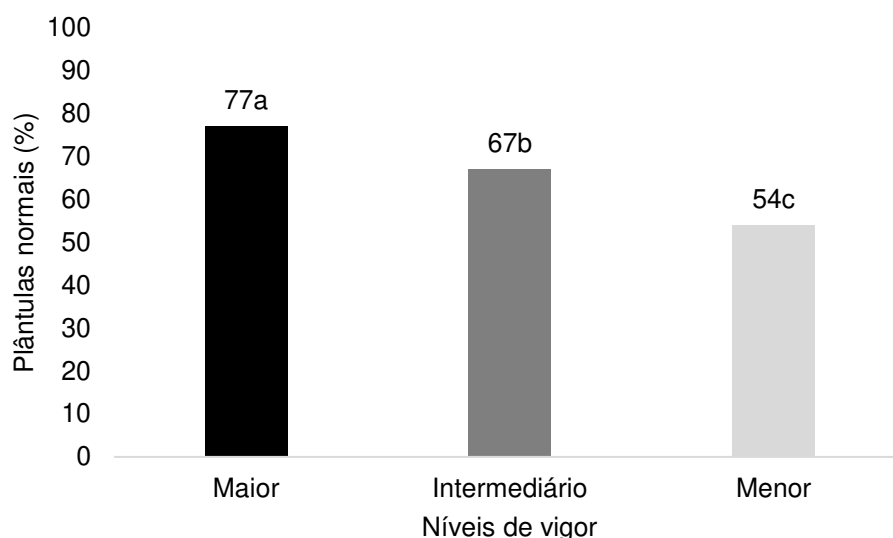
A condutividade elétrica das sementes foi menor, em ambos os anos, no lote de maior vigor, não constatando-se diferença entre os lotes de vigor intermediário e menor no ano dois. Em relação aos anos, no primeiro a condutividade foi maior que no segundo, para todos os lotes.

Esse teste busca avaliar a integridade do sistema de membranas das sementes. Sementes de maior qualidade possuem o sistema mais bem organizado e, portanto, lixiviam menos para o ambiente, apresentando menor valor (KRZYZANOWSKI et al., 2018; KRZYZANOWSKI; FRANÇA-NETO, 2022). O oposto é verificado em sementes com sistema de membranas parcialmente comprometido.

O vigor dos lotes de sementes, determinado pelo envelhecimento acelerado padrão, indica redução significativa quando as sementes de menor qualidade são expostas a um novo estresse (Gráfico 1).

Corroborando com esses resultados, Santos (2021) ao verificar a influência da qualidade de sementes da cultivar NA5909 RR® quando submetidas ao estresse hídrico após semeadura, constatou que sementes com maiores índices de vigor (94%) garantem maior emergência e melhor estabelecimento a campo, com 70% de plântulas normais na primeira contagem da emergência a campo em comparação às sementes de menor vigor testadas (84%), que apresentaram 50% de plântulas normais emergidas na primeira contagem.

Gráfico 1 - Dados médios de plântulas normais, da cultivar NS 4823 RR®, contrastantes em vigor, pelo teste de envelhecimento acelerado.



***Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade. Fonte: Autoria própria (2023)**

Em relação aos anos (Tabela 3), os lotes formados na primeira safra apresentaram maior percentagem de plântulas normais, pelo envelhecimento acelerado, em relação aos lotes do segundo ano do estudo, indicando a variação que pode ocorrer entre safras na produção de sementes. Este mesmo padrão de resposta quanto ao vigor também foi verificado no IVG e no comprimento de plântulas (Tabela 4).

Tabela 4 - Dados médios de índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR) e comprimento total de plântula (CTP), Massa de mil sementes (MMS) de lotes de sementes de soja da cultivar NS 4823 RR® produzidos em safras distintas

distintas							
4A					4B		
	IVG	CPA (cm)	CR (cm)	CT (cm)		MMS (g)	
						Ano 1	Ano2
					Maior	167,60 Ba	191,00 Aa
Ano 1	8,32 a	13,13 a	14,28 a	27,41 a	Intermediário	162,60 Bb	191,80 Aa
Ano 2	7,30 b	5,15 b	5,58 b	10,7 b	Menor	169,40 Ba	191,10 Aa
CV (%)	2,8	20,37	21,86	17,94		0,67	

***Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo Teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade. Fonte: Autoria própria (2023)**

A massa de mil sementes foi menor nos lotes provenientes do primeiro ano em relação ao segundo (Tabela 4), indicando que se trata de uma variação em função da condição de cultivo do que do próprio vigor.

Bigolin et al. (2022), ao avaliarem a massa de mil sementes de duas cultivares de soja, DM 5958 RSF® IPRO® e a NS6909 IPRO®, a partir de lotes de sementes contrastantes para em três níveis de vigor (67, 65 e 55%) e provenientes de duas épocas de semeadura, novembro/2018 e janeiro/2019), verificaram que a massa variou entre as épocas de cultivo. Na primeira época não houve diferença nessa variável em função do vigor das sementes, sendo constatada tal diferença na época 2.

Apenas no primeiro ano, o lote de vigor intermediário apresentou massa inferior aos demais (Tabela 4). Bagatini et al. (2019) ao avaliarem os fatores que influenciam na produção de sementes alta qualidade no Rio Grande do Sul, em 5 produtores licenciados e 3 safras, ~~os autores~~ verificaram, por meio de testes para avaliar a qualidade das sementes, que as que apresentaram maior germinação também obtiveram maior vigor.

Sementes com menor vigor geram plântulas menores (Tabela 4), com menor capacidade de persistir quando exposta a alguma condição estressante (SANTOS, 2021), podendo contribuir negativamente para o adequado desenvolvimento da lavoura, visto que estas estão mais suscetíveis às intemperes, como por exemplo o estresse hídrico.

Ao testar sementes de soja com dois níveis de vigor (90% e 72%), semeadas em duas épocas contrastantes na região do Matopiba, Rodrigues et al. (2018) constataram que sementes com alto vigor incrementam a produtividade da lavoura em até 30%.

5.2 Resultados obtidos na etapa de campo

5.2.1 Safra 2020/2021

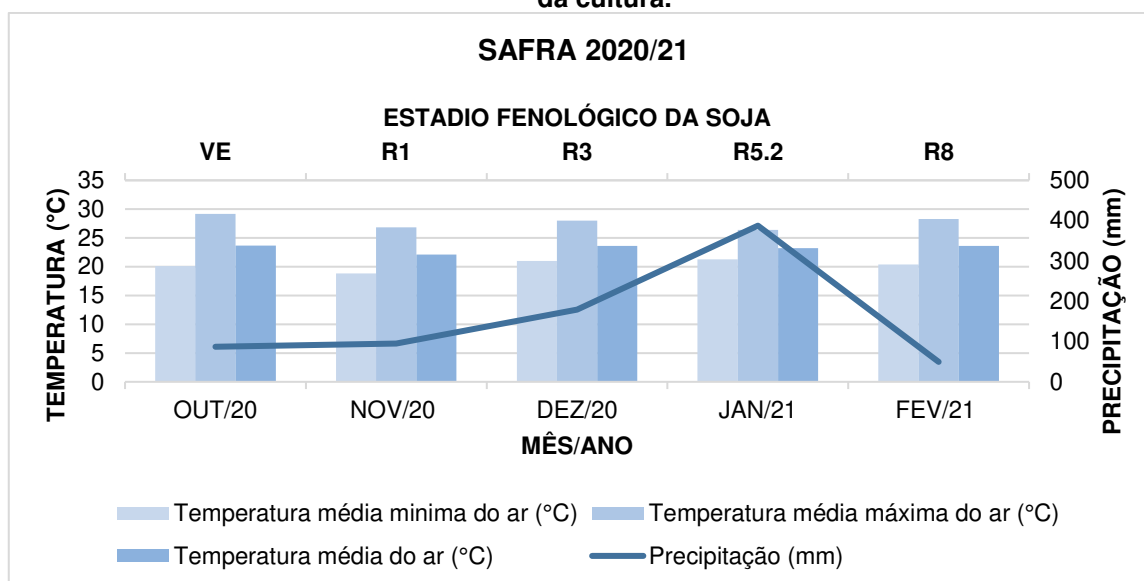
No Gráfico 2 tem-se o registro das condições meteorológicas prevalentes durante o ciclo da soja no ensaio.

Durante desenvolvimento da cultura observou-se que as temperaturas médias variaram entre 22 e 24°C, estando dentro dos padrões adequados para a cultura da soja, que pode responder favoravelmente às temperaturas próximas à 30°C, desde que não ocorra déficit hídrico (FERRARI; PAZ; SILVA, 2015; SEIXAS et al., 2020).

A demanda hídrica da soja, de acordo com Seixas et al. (2020), atinge o pico no período de florescimento/enchimento de grãos, chegando a 8 mm por dia, e uma média de 450 a 800 mm em todo o seu ciclo.

Nesse ensaio observou-se que o acumulado de chuva foi de 800 mm ao longo do ciclo da cultura, tendo entre os estádios de R1 e R5.2 média de 11 mm/dia, superior ao descrito pelo autor, proporcionando desta forma adequadas condições hídricas para o crescimento e o desenvolvimento da cultura.

Gráfico 2 – Índices de temperatura (°C) e precipitação (mm) obtidos durante o desenvolvimento da cultura.



Fonte: Adaptado de Gebiomet (2023)

As variáveis respostas que apresentaram interação entre os fatores vigor de sementes e local de cultivo foram o número e massa de nódulos nos três estádios de coleta, clorofila A e clorofila total no estágio R3, N nos grãos e produtividade (Tabela 5).

O estande de plantas nos diferentes estádios de desenvolvimento apresentou significância em ambos os fatores analisados isoladamente. As demais leituras de clorofila, B e Total em R1 e a clorofila A em R5.2 tiveram significância no fator local de cultivo (Tabela 5).

Tabela 5 - Resumo da Análise de Variância para o estande de plantas em R1 (Est R1); estande de plantas em R3 (Est R3); estande de plantas em R5.2 (Est R5.2); número de nódulos em R1 (NNR1); massa de nódulos em R1 (MNR1); número de nódulos em R3 (NNR3); massa de nódulos em R3 (MNR3); número de nódulos em R5.2 (NNR5.2); massa de nódulos em R5.2 (MNR5.2); clorofila A em R1 (CIAR1); clorofila B em R1 (CIBR1); clorofila total em R1 (CITR1); Clorofila A em R3 (CIAR3); clorofila B em R3 (CIBR3); clorofila total em R3 (CITR3); clorofila A em R5.2 (CIAR5.2); clorofila B em R5.2 (CIBR5.2); clorofila total em R5.2 (CITR5.2); concentração de N nos grãos (NGrãos); produtividade de grãos (PROD) em função da interação entre vigor de sementes e locais de cultivo, da cultivar NS 4823 RR®, na safra 2020/21

FV	Est R1	Est R3	Est R5.2	NNR1	MNR1
Blocos	8,91365	9,67881	10,2814	7,18077	0,00004
Vigor	124,00507**	66,52583**	68,86217**	268,9903**	0,00631**
Local	67,63684**	72,2454**	61,15234**	450,29119**	0,00329**
VigorxLoc	1,85375ns	3,81916ns	5,28736ns	207,32808**	0,0016**
Resíduo	5,27631	5,8017	5,29229	8,2622	0,00007
FV	NNR3	MNR3	NNR5.2	MNR5.2	CIAR1
Blocos	36,02461	0,00088	72,61544	0,00026	0,67486
Vigor	59,39961ns	0,00955*	800,9305**	0,04131**	1,27792ns
Local	2596,79689**	0,01949**	19066,81**	0,36074**	25,01042**
VigorxLoc	982,14128**	0,01448**	674,455**	0,02742**	0,54042ns
Resíduo	38,08931	.00205	56,40216	0,00207	0,89919
FV	CIBR1	CITR1	CIAR3	CIBR3	CITR3
Blocos	0,19444	1,65889	2,48819	0,51222	5,05833
Vigor	0,09125ns	2,12167ns	16,08**	0,21292ns	18,365**
Local	0,735*	35,04167**	27,95042**	0,96ns	39,015**
VigorxLoc	0,02625ns	0,52667ns	10,83167**	1,43375ns	7,125*
Resíduo	0,10311	1,36122	0,4712	0,87622	1,713
FV	CIAR5.2	CIBR5.2	CITR5.2	NGrãos	PROD
Blocos	2,125	0,02486	2,37375	0,00088	32220,16351
Vigor	2,49042ns	0,12167ns	3,32042ns	0,2247**	4748395,64**
Local	14,10667*	0,02042ns	15,52042ns	0,39784**	788699,75**
VigorxLoc	0,91542ns	0,03167ns	0,61292ns	0,19899**	141504,81*
Resíduo	3,027	0,41053	3,58942	0,00265	26853,01

****Significativo a 1% pelo Teste F; * Significativo a 5% pelo Teste F; ns, – não significativo. FV – fator de variação. GL – Graus de Liberdade. Fonte: Autoria própria (2023)**

O estande de plantas não variou nos diferentes estádios de desenvolvimento entre os lotes provenientes de sementes de maior vigor e intermediário, sendo superior ao verificado no tratamento implantado com sementes de menor vigor. Quanto aos locais de cultivo, este fator não influenciou no estande de plantas (Tabela 6).

Tabela 6 - Dados médios do parâmetro estande de plantas (plantas m⁻¹) em R1, R3 e R5.2, para a cultivar NS 4823 RR®, na safra 2020/21

6A			
Vigor	Estande R1	Estande R3	Estande R5.2
Maior	21,8 a	18,6 a	18,6 a
Intermediário	19,7 a	17,5 a	17,3 a
Menor	14,2 b	13,2 b	13,0 b
CV (%)	12,39	14,66	14,12
6B			
Local	Est R1	Est R3	Est R5.2
Local 1	16,9 a	14,7 a	14,7 a
Local 2	20,2 a	18,2 a	17,9 a
CV (%)	12,39	14,66	14,12

***Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade. A – comparação no fator vigor de sementes; B – comparação no fator locais de cultivo. Fonte: Autoria própria (2023)**

Resultados semelhantes foram encontrados por Carneiro et al. (2020), que avaliaram duas cultivares, SYN1366C IPRO® e CD2728 IPRO®, categoria de sementes S2 (MAPA, 2003). Os autores constataram que em ambas as cultivares, as sementes com menor vigor tiveram menor emergência a campo.

Deste modo, pode-se estabelecer uma relação entre vigor e estande de plantas, em que à medida que o vigor das sementes reduz, o estande de plantas tende a diminuir (ROSSI et al., 2017; RODRIGUES et al. 2018, KRZYZANOWSKI et al., 2018, NAKAO et al., 2018, COELHO et al., 2019, PESKE et al., 2019).

O número e a massa de nódulos avaliadas em R1, R3 e R5.2 indicam que houve maior contraste entre os lotes de sementes utilizadas para implantação do ensaio no local de maior fertilidade em comparação ao local de menor fertilidade, de uma forma geral (Tabela 7).

Tabela 7 - Dados médios dos parâmetros número e massa de nódulos em R1, R3 e R5.2, para a cultivar NS 4823 RR®, em função da interação entre vigor de sementes e locais de cultivo, na safra 2020/21

Vigor	NN R1		MN R1 (g)		NN R3	
	Local 1	Local 2	Local 1	Local 2	Local 1	Local 2
Maior	11,3Ba	31,7Aa	0,035Ba	0,091Aa	28,9Bb	73,3Aa
Intermediário	10,9Aa	14,4Ab	0,023Aa	0,027Ab	47,7Aa	48,1Ab
Menor	9,5 Aa	11,6Ab	0,003Ab	0,013Ac	36,9Bb	54,5Ab
CV (%)	19,30		26,34		12,80	
Vigor	MN R3 (g)		NN R5.2		MN R5.2 (g)	
	Local 1	Local 2	Local 1	Local 2	Local 1	Local 2
Maior	0,116Bb	0,270Aa	19,9Ba	88,9Aa	0,156Ba	0,523Aa
Intermediário	0,130Ab	0,150Ab	20,5Ba	85,3Aa	0,110Ba	0,343Ab
Menor	0,207Aa	0,203Ab	18,7Ba	54,0Ab	0,139Ba	0,273Ac
CV (%)	25,26		15,69		17,70	

***Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo Teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade. Local 1 – área de menor fertilidade; Local 2 – área de maior fertilidade. Fonte: Autoria própria (2023)**

Áreas corrigidas apresentam um ambiente mais propício para o crescimento e desenvolvimento da soja, logo, matérias primas e insumos de qualidade tendem a se destacar, como é o caso das sementes. Em áreas de menor fertilidade, este fator por si só pode ser um limitante à resposta diferencial de insumos de melhor qualidade, visto que a limitação é outra, como por exemplo, solos ácidos ou com restrição de nutrientes (REUNIÃO, 2014).

Meyer et al. (2022) explicam que as bactérias fixadoras de N precisam estabelecer uma relação de simbiose com a planta; esta fornece fotoassimilados para o desenvolvimento das bactérias, enquanto estas fazem a fixação de N.

França-Neto; Krzyzanowski (2018), em uma revisão sobre o vigor e o desempenho de sementes, verificaram que uma planta mais vigorosa terá mais condições para a realização de fotossíntese, reflexo das condições adequadas do

ambiente de produção, uma vez que se desenvolve mais rápido, e com isso escapam da competição com outras espécies por recursos do ambiente de produção.

Em pesquisa realizada com feijão caupi, buscando avaliar a fertilidade do solo e a interferência da aplicação de lodo de curtume na nodulação, Teixeira et al. (2006) constataram que a prática de inoculação com a estirpe de *Bradyrhizobium* sp. BR2001 e a correção de P e K proporcionaram incremento no número e na massa de nódulos, em torno de 50% e 54%, respectivamente, aos 35 dias após a emergência da cultura (TEIXEIRA et al., 2006).

Nos locais de condução deste estudo, contrastante para a química do solo, verificou-se similaridade à pesquisa de Teixeira et al (2006). No Local 1, com menor fertilidade, os teores de P de 0-10 e 10-20cm foram considerados muito baixos. No local de maior fertilidade observou-se classificação como alto e médio, nas mesmas camadas, respectivamente. (Tabela 1).

Essas concentrações de P, juntamente com a maior concentração de alumínio na área de menor fertilidade, pode elevar a retenção deste nutriente no sistema, reduzindo sua disponibilidade às plantas e comprometendo a FBN (MOREIRA; MORAIS, 2018).

Os dados médios de clorofila A e Total no estágio R3 foram semelhantes entre os lotes contrastantes para vigor na área de maior fertilidade. Na área de menor fertilidade, observou-se resultado inferior destas variáveis respostas no tratamento implantado com sementes de menor vigor. Houve maior proporção de Clorofila A e Total na área de menor fertilidade em relação à de maior fertilidade, à exceção do tratamento com sementes de menor vigor, o qual não apresentou diferença (Tabela 8).

Tabela 8 - Dados médios dos parâmetros Clorofila A, B e Clorofila Total em R1, R3 e R5.2, para a cultivar NS 4823 RR®, na safra 2020/21

8A				
Vigor	CIA R3		CIT R3	
	Local 1	Local2	Local 1	Local 2
Maior	44,3Aa	40,9Ba	53,5Aa	50,7Ba
Intermediário	43,8Aa	40,2Ba	53,4Aa	49,1Ba
Menor	39,7Ab	40,2Aa	49,4Ab	48,9Aa
CV (%)	1,65		2,58	
8B				
Local	CIA R1	CIB R1	CIT R1	CIA R5.2
Local 1	34,8 b	6,2 a	41,0 b	46,6 a
Local 2	36,8 a	6,6 a	43,4 a	45,1 a
CV (%)	2,65	5,02	2,76	3,80

***Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo Teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade. A – Interação entre vigor de sementes e locais de cultivo; B – comparação no fator locais de cultivo. Local 1 – área de menor fertilidade; Local 2 – área de maior fertilidade. Fonte: Autoria própria (2023)**

As leituras de clorofila A e total no estágio R1 indicam maior concentração na área de maior fertilidade. Para a clorofila B não se verificou diferença, bem como para a clorofila A em R5.2.

A molécula de clorofila é composta de $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ (MEYER et al., 2022). Ao analisar os dados obtidos a partir da análise de solo (Tabela 1), é possível identificar que, apesar do solo de maior fertilidade apresentar maiores teores de Ca, P e pH mais elevado, o solo de baixa fertilidade apresenta maior teor de MO, K e CTC, mas teor de alumínio maior, o que pode ter influenciado na disponibilidade dos nutrientes para a formação das moléculas de clorofila nas plantas.

Ao analisar cada área, a implantação com lote de maior vigor proporcionou maior exportação de N na área de menor fertilidade em relação aos demais lotes. Na área de maior fertilidade estes não diferiram (Tabela 9).

Tabela 9 - Dados médios da concentração de N nos grãos (NGrãos) e produtividade de grãos (PROD), para a cultivar NS 4823 RR®, em função da interação entre vigor de sementes e locais de cultivo, na safra 2020/21

Vigor	N Grão (% 100g)		Produtividade (Kg ha ⁻¹)	
	Local1	Local2	Local1	Local2
Maior	5,88 Aa	5,96 Aa	2915,5 Ba	3568,1 Aa
Intermediário	5,56 Bb	5,86 Aa	2541,8 Ab	2671,6 Ab
Menor	5,31 Bc	5,86 Aa	1555,8 Bc	1861,1 Ac
CV (%)	0,90		6,50	

***Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo Teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade. Local 1 – área de menor fertilidade; Local 2 – área de maior fertilidade. Fonte: Autoria própria (2023)**

A produtividade de grãos, de uma forma geral, foi maior na área de maior fertilidade; à exceção do lote de sementes de vigor intermediário, que não diferiu entre as áreas. Na comparação entre lotes contrastantes para vigor, em cada área de cultivo, observou-se que sementes de maior vigor condicionaram maior produtividade de grãos, seguida do vigor intermediário e menor (Tabela 9).

Corroborando com os resultados encontrados (Tabela 9), Peske et al. (2019) verificaram que sementes menos vigorosas são responsáveis por originar plantas menores, potencialmente menos tolerantes aos fatores edafoclimáticos e, como consequência, menos produtivas, e com menor qualidade de grãos.

Carneiro et al. (2020) ao testarem duas cultivares de soja, CD 2728 IPRO® e SYN 1366C IPRO®, com dois níveis de vigor cada (37% e 32%, 63 e 62%, respectivamente), verificaram que a produtividade foi maior, independentemente da cultivar, quando se utilizou sementes de maior vigor para a implantação da lavoura.

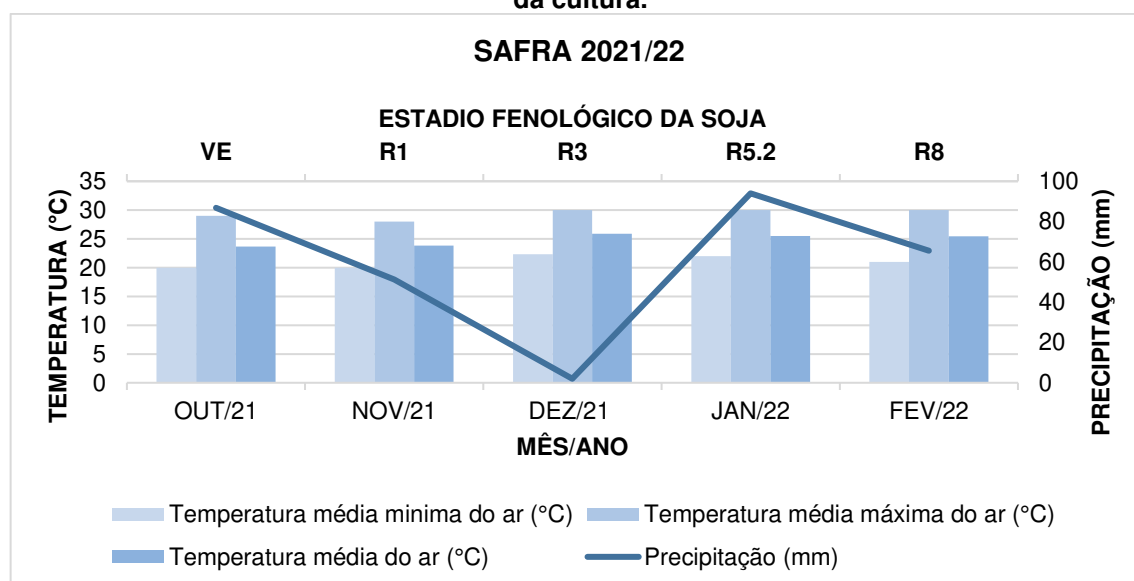
5.2.2 Safra 2021/2022

A temperatura média na safra 2021/22 ficou entre 20° e 30°C, ocorrendo picos de temperatura em determinados dias próximos à 40°C, incompatível para o adequado crescimento e desenvolvimento da soja, que responde favoravelmente às temperaturas de até 30°C (SEIXAS et al., 2020).

Temperaturas acima de 40°C provocam alterações no metabolismo das plantas, reduzindo o crescimento das mesmas, fato que é agravado por déficit hídrico (FARIAS et al. 2007; FERRARI et al. 2015).

A precipitação esteve abaixo do desejado para o adequado crescimento e desenvolvimento das plantas, que é de 450 a 800mm durante seu ciclo (EMBRAPA, 2011). No mês de dezembro não houve registro de chuva, se estendendo essa condição até metade de janeiro. Houve acúmulo de 280 mm ao longo do ciclo, e nos estádios mais críticos entre R1 e R5.2 fechou média de 2,2mm/dia (Gráfico 3). Farias et al. (2007) descreve que o ideal para o período reprodutivo da soja seria de 8mm/dia.

Gráfico 3 – Índices de temperatura (°C) e precipitação (mm) obtidos durante o desenvolvimento da cultura.



Fonte: Adaptado de Gebiomet (2023)

A análise de variância (Tabela 10) indicou interação entre os fatores para as variáveis respostas estande de plantas em R3, número de nódulos em R1 e R5.2 e massa de nódulos em R3 e R5.2, assim como para clorofila A, B e total em R3 e N nos grãos.

Houve significância no fator vigor de sementes para o estande de plantas em R5.2, massa de nódulos em R1, número de nódulos em R3, clorofila A, B e total em R5.2 e produtividade de grãos.

Observou-se significância no fator local de cultivo para o estande em R1, número de nódulos em R3, clorofila B e total em R1 e em R5.2 e para a produtividade de grãos.

Tabela 10 - Resumo da Análise de Variância para o estande de plantas em R1 (Est R1), estande de plantas em R3 (Est R3), estande de plantas em R5.2 (Est R5.2), número de nódulos em R1 (NNR1), massa de nódulos em R1 (MNR1), número de nódulos em R3 (NNR3), massa de nódulos em R3 (MNR3), número de nódulos em R5.2 (NNR5.2), massa de nódulos em R5.2 (MNR5.2), clorofila A em R1 (CIAR1), clorofila B em R1 (CIBR1), clorofila total em R1 (CITR1), Clorofila A em R3 (CIAR3), clorofila B em R3 (CIBR3), clorofila total em R3 (CITR3), clorofila A em R5.2 (CIAR5.2), clorofila B em R5.2 (CIBR5.2), clorofila total em R5.2 (CITR5.2), concentração de N nos grãos (NGrãos), produtividade de grãos (PROD) em função da interação entre vigor de sementes e locais de cultivo, da cultivar NS 4823 RR®, na safra 2021/22

FV	Est R1	Est R3	Est R5.2	NNR1	MNR1
Blocos	.77778	2,33333	2,92593	5,05333	0,00008
Vigor	6,22222ns	46,22222**	54,2963**	128,80889**	0,01089**
Local	118,51852**	7,40741ns	16,66667ns	241,51185**	0,00012ns
VigorxLoc	1,18519ns	12,74074*	8,22222ns	44,8563*	0,00039ns
Resíduo	2,77778	3,0	3,72593	7,29822	0,00018
	7,81	9,28	10,76	14,08	23,92
FV	NNR3	MNR3	NNR5.2	MNR5.2	CIAR1
Blocos	20,47148	0,00004	3,29333	0,00007	1,07658
Vigor	119,19185**	0,00726**	8,64889ns	0,00046ns	1,92379ns
Local	450,66667**	0,00698**	2,49185ns	0,00846**	6,33796ns
VigorxLoc	46,34889ns	0,00277**	159,78963**	0,00174*	0,25547ns
Resíduo	12,63993	0,00019	5,55289	0,0004	1,57864
	21,49	17,79	13,78	28,95	3,11
FV	CIBR1	CITR1	CIAR3	CIBR3	CITR3
Blocos	0,02137	0,15696	1,87276	0,00667	1,92
Vigor	1,02931ns	2,20054ns	0,15617ns	0,13005ns	0,0967ns
Local	3,57796**	13,26107*	77,784**	29,5704**	203,2732**
VigorxLoc	0,18387ns	0,77869ns	18,63557**	0,85349*	27,43265**
Resíduo	0,3711	2,29427	2,09839	0,21067	2,95208
	6,87	3,08	3,47	5,42	3,42
FV	CIAR5.2	CIBR5.2	CITR5.2	NGrãos	PROD
Blocos	1,0371	0,13735	0,75478	0,00725	1300,68277
Vigor	31,12376**	1,38269*	52,63924**	0,20829**	43121,16556**
Local	0,83627ns	2,64007**	10,36659*	1,0127**	10438,90074**
VigorxLoc	3,16882ns	0,18377ns	1,63286ns	0,07125*	127,7805ns
Resíduo	1,77787	0,22062	2,22847	0,01593	899,27799
	2,87	4,83	2,65	3,02	4,70

****Significativo a 1% pelo Teste F; * Significativo a 5% pelo Teste F; ns, – não significativo. FV – fator de variação. Fonte: Autoria própria (2023)**

O estande de plantas avaliado em R1 foi maior na área de maior fertilidade, independentemente do lote de sementes (Tabela 11A). No estágio R3, apenas no tratamento com o lote de vigor intermediário o estande variou entre as áreas, sendo menor na de menor fertilidade (Tabela 11B). O menor estande neste estágio ocorreu quando se utilizou sementes de menor vigor, assim como verificado no estágio R5.2.

Apesar do resultado obtido em R3, é possível notar que ao chegar em R5.2 (Tabela 11C), os tratamentos com vigor intermediário e mais elevado não diferenciaram entre si, diferenciando-se apenas do menor vigor.

Tabela 11 - Dados médios do parâmetro estande de plantas (plantas m⁻¹) em R1, R3 e R5.2, para a cultivar NS 4823 RR®, na safra 2021/22

	11A		11B		11C
Local	Estande R1	Vigor	Estande R3		Estande R5.2
			Local1	Local2	
Local 1	19,1 b	Maior	19,3 Aa	19,3 Ab	18,3 a
		Intermediário	18,7 Ba	22,7 Aa	20,3 a
Local 2	23,6 a	Menor	16,3 Ab	15,7 Ac	15,2 b
CV (%)					

***Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo Teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade. A – comparação no fator locais de cultivo; B – interação entre vigor de sementes e locais de cultivo; C – comparação no fator vigor de sementes. Local 1 – área de menor fertilidade; Local 2 – área de maior fertilidade.**

Fonte: Autoria própria (2023)

Pimentel (2022) avaliou o desempenho de plantas de soja oriundas de sementes com distintos níveis de vigor (97%, 85% e 73%) cultivadas em condições distintas quanto à adubação (doses de NPK na semeadura de 0, 150, 300 e 450 Kg/ha). O autor verificou que, independentemente das doses, sementes de baixo vigor condicionaram pior estabelecimento da cultura.

O número de nódulos em R1 foi maior nos tratamentos implantados com sementes de maior vigor e intermediário na área de maior fertilidade em comparação à de menor fertilidade; não observando-se diferença entre as áreas para o lote de menor vigor (Tabela 12A). Em menor fertilidade não foi possível estabelecer uma relação entre número de nódulos e vigor de sementes, em R1 e em R5.2. Na área de maior fertilidade verificou-se maior número de nódulos no lote de sementes de maior vigor, em R1.

Quanto à massa de nódulos em R3, esta foi maior no maior vigor de sementes, na área de maior fertilidade. No comparativo entre áreas de cultivo, este valor foi maior nos lotes de maior e menor vigor na área de menor fertilidade, não diferindo em relação às áreas para o lote de vigor intermediário.

Em R5.2 maior proporção de massa de nódulos foi observada na área de maior fertilidade, porém, sem diferença entre os lotes. A massa de nódulos em R1 foi maior quando se utilizou sementes de maior vigor para implantação da área, assim como o número de nódulos em R3 (Tabela 12B); este também foi superior na área de maior fertilidade (Tabela 12C).

Tabela 12 - Dados médios dos parâmetros número e massa de nódulos em R1, R3 e R5.2, para a cultivar NS 4823 RR®, na safra 2021/22

12A								
Vigor	NN R1		MN R3 (g)		NN R5.2		MN R5.2 (g)	
	Local1	Local2	Local1	Local2	Local 1	Local2	Local 1	Local 2
Maior	19,4Ba	25,6Aa	,147Aa	,075Ba	19,6Aa	12,2Bc	,064Aa	,073Aa
Intermediário	9,1Bb	20,3Ab	,052Ac	,055Ab	12,5Bb	22,8Aa	,028Bb	,097Aa
Menor	19,5Aa	21,2Ab	,082Ab	,049Bb	18,2Aa	17,3Ab	,060Ba	,095Aa
CV (%)								
12B								
Vigor	MNR1 (g)		NNR3		Local		NNR3	
Maior	0,0981 a		21,0 a		Local 1		12,2 b	
Intermediário	0,0357 b		14,4 b					
Menor	0,0328 b		14,2 b		Local 2		20,9 a	
CV (%)								

***Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade. A – Interação entre vigor de sementes e locais de cultivo; B – comparação no fator vigor de sementes; C – comparação no fator locais de cultivo. Fonte: Autoria própria (2023)**

A nodulação da soja pode ser influenciada por diferentes fatores. Fagan et al. (2007) destaca que o manejo adequado de solo, a temperatura e a umidade deste merecem destaque. A temperatura considerada ideal para a atividade das bactérias fixadoras é de 25°C (ZHANG et al., 1996); sendo que o estresse hídrico promove a limitação de oxigênio, reduzindo a respiração das bactérias moduladoras, além de ocorrer outros processos fisiológicos que afetam na nodulação (HUNGRIA ; VARGAS, 2000).

Altas temperaturas aliadas à baixa umidade do solo, especialmente na fase reprodutiva da soja, ampliam o fechamento estomático, o que limita a fotossíntese e, por consequência, o processo de fixação biológica de N.

Possivelmente, no presente estudo, a variação no número e massa de nódulos pode ter ocorrido devido ao longo período de déficit hídrico observado no local do experimento (Figura 11). Isso prejudicou o adequado funcionamento da soja e, possivelmente, a interação com as bactérias fixadoras de N, que também foram prejudicadas pelas condições adversas.

Apesar de se utilizar maquinário apropriado para minimizar as perdas de raízes e nódulos durante a coleta no campo, o solo muito seco, ao ser removido, mesmo que com todo o cuidado, também pode ter contribuído para a perda de material amostral.

O teor de clorofila A, B e Total em R3 foi superior nas plantas de soja da área de maior fertilidade, na maior parte das observações. Quanto à comparação entre os níveis de vigor dos lotes utilizados, para cada área de cultivo, este foi variável, não sendo possível estabelecer uma relação sólida entre vigor e clorofila em R3. Na área

de maior fertilidade observou-se maior valor para clorofila A no lote de maior vigor. O oposto foi verificado na área de menor fertilidade (Tabela 13A).

Tabela 13 - Dados médios dos parâmetros Clorofila A, B e Clorofila Total em R1, R3 e R5.2, para a cultivar NS 4823 RR®, na safra 2021/22

13A								
Vigor	CIA R3		CIB R3		CIT R3			
	Local1	Local2	Local1	Local2	Local 1	Local2		
Maior	38,2Bb	45,3Aa	7,1Ba	10,0Aa	45,3Bb	55,3Aa		
Intermediário	40,7Ba	43,0Ab	7,4Ba	9,3Aa	48,0Ba	52,2Ab		
Menor	40,8Aa	42,3Ab	7,6Ba	9,4Aa	48,5Ba	51,7Ab		
CV (%)								
13B				13C				
Vigor	CIAR5.2	CIBR5.2	CITR5.2	Local	CIBR1	CITR1	CIBR5.2	CITR5.2
Maior	48,3 a	10,0 a	58,7 a	Local1	8,5 a	48,4 a	10,1 a	56,9 a
Interm.	46,6 a	9,9 a	56,5 b					
Menor	44,4 b	9,3 b	53,6 c	Local2	9,2 a	49,9 a	9,4 a	55,6 a
CV (%)								

***Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo Teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade. A – interação entre vigor de sementes e locais de cultivo; B – comparação no fator vigor de sementes; C – comparação no fator locais de cultivo. Local 1 – área de menor fertilidade; Local 2 – área de maior fertilidade.**

Fonte: Autoria própria (2023)

Quanto às clorofilas em R5.2, clorofila A e B foram maiores nos lotes de maior vigor e intermediário. Já a clorofila total foi superior no lote de maior vigor, seguido do intermediário e, com menor desempenho, o tratamento em que se utilizou sementes de baixo vigor para implantação (Tabela 13B).

Apesar da significância pela análise de variância, não se observou diferença por Scott Knott para clorofila B e total em R1 e em R5.2 em função das áreas de cultivo contrastantes (Tabela 13C).

O teor de N no grão (Tabela 14) foi superior no local com maior fertilidade, não se constatando diferença em função do vigor das sementes. No local de menor fertilidade, o tratamento com maior vigor destacou-se positivamente dos demais, indicando maior resiliência ao estresse.

Tabela 14 - Dados médios dos parâmetros concentração de N nos grãos (NGrãos) e produtividade de grãos (PROD), para a cultivar NS 4823 RR®, na safra 2021/22

14A			14B		14C	
Vigor	N nos grãos (% 100g)		Produtividade (Kg ha ⁻¹)		Local	Produtividade
	Local1	Local2				
Maior	4,25 Ba	4,47 Aa	718,3 a		Local 1	617,3 a
Intermediário	3,75 Bb	4,35 Aa	622,1 b			
Menor	3,91 Bb	4,32 Aa	574,1 c		Local 2	659,0 a
CV (%)						

***Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo Teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade. A – interação entre vigor de sementes e locais de cultivo; B – comparação no fator vigor de sementes; C – comparação no fator locais de cultivo. Local 1 – área de menor fertilidade; Local 2 – área de maior fertilidade.**

Fonte: Autoria própria (2023)

O desbalanço nutricional pode afetar o processo fotossintético e a translocação de N para os grãos (TAIZ et al., 2004; FAGAN et al., 2007; ZUBERER, 2021; MEYER et al., 2022).

Os resultados para a percentagem de N nos grãos ficaram aquém do que normalmente é verificado na soja, em torno de 6,5% (HUNGRIA; CAMPOS; MENDES, 2001). Isso se deve, provavelmente, ao longo período de déficit hídrico e amplitude térmica observada na safra em questão, que acabou por comprometer o desempenho da soja (Figura 13).

A produtividade de grãos foi severamente comprometida pelas condições meteorológicas ocorridas nesta safra (Figura 13). Apesar da produtividade baixa, ao se utilizar sementes de maior vigor a produtividade é favorecida (Tabela 14B).

Armoa Báez et al. (2020), ao analisarem o balanço hídrico e a produtividade da soja, utilizando-se de quatro níveis de déficit hídrico (sem déficit, moderado, alto e severo) verificaram redução de 42% no desempenho da cultura, nos déficits mais severos. Esse resultado evidencia como a escassez hídrica limita a produtividade da soja, algo constatado nesta safra (Tabela 14).

A produtividade média da soja no BR, na safra 2021/22, foi de 3.026kg por hectare. No estado do PR foi de 2.161 kg por hectare (CONAB, 2022). No presente estudo os valores tiveram desempenho inferior ao Estado inclusive; mais uma vez indicando o impacto negativo do clima no local do ensaio (Tabela 14).

A área de cultivo não influenciou na produtividade de grãos nessa safra. Diante das reduzidas produtividades, o fator limitante foi disponibilidade de água e a amplitude térmica. Nessas condições, mesmo havendo maior disponibilidade de nutrientes no solo, sem água estes não são absorvidos adequadamente pelas plantas.

Gava et al. (2015) avaliaram os efeitos do estresse hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento da soja, para a realização do ensaio, as sementes foram dispostas em linhas dentro da casa de vegetação com solo arenoso. Os autores constataram que a restrição hídrica ocorrida entre os estádios R4 e R6 reduziu a produtividade de grãos em torno de 1000 Kg/ha em comparação ao tratamento que recebeu suporte hídrico.

Pode-se observar também que até o final da fase vegetativa as plantas na área de maior fertilidade apresentavam maior crescimento que as da área de menor fertilidade, devido à restrição nutricional e pH do solo nesta última (Tabela 01). Porém, com o déficit hídrico durante toda a fase reprodutiva esse fator foi anulado e pode até ter comprometido as plantas da área de maior fertilidade, pois tendo estas plantas

maior área foliar, mais transpiração apresentam, o que numa condição limitante pode ser prejudicial a seu desempenho.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sementes de maior vigor inicial condicionam maior germinação e vigor de plântulas, porém, a procedência do lote também é um fator que pode influenciar nos resultados.

O maior vigor das sementes contribui para a redução da mortalidade de plantas de soja ao longo do ciclo da cultura.

O número e a massa de nódulos, de uma forma geral, tendem a ser maior quando a soja é cultivada em área de maior fertilidade. No entanto, as condições meteorológicas exercem influência nesse processo.

O teor de clorofila ao longo do ciclo da soja sofre muita variação em função das condições edafoclimáticas, mas o vigor das sementes pode exercer efeito positivo nessa variável resposta.

A concentração de N nos grãos pode ser influenciada positivamente em função do vigor das sementes e das condições de química do solo, assim como a produtividade de grãos.

REFERÊNCIAS

- ABDELNOOR, R. V. Cultivares de soja. Centro-Sul do Brasil, microrregiões 1, 2 e3 e REC 401 do país. **Embrapa Soja**. 2019. Disponível em:<<https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1073397/cultivaresde-soja-macrorregioes-1-2-3-e-rec-401-centro-sul-do-brasil>>.
- ANJOS, M. C. R. dos et al. **Potencial fisiológico de sementes de soja resfriadas sob diferentes temperaturas**. 2023.
- ARAGÃO, A.; CONTINI, E. O agro no Brasil e no Mundo: uma síntese do período de 2000 a 2020. **Embrapa SIRE**, 2021
- ARMOA BÁEZ, M. S. et al. Balanço hídrico e produtividade da soja cultivada sob diferentes níveis de déficit hídrico no Sul do Brasil. **Investigación Agraria**, v. 22, n. 1, p. 3-12, 2020.
- BAALBAKI, R. et al. Seed vigor testing handbook: contribution n. 32 to **The handbook on seed testing**. 2009..
- BAGATINI, N. et al. Produção de sementes prêmio na cultura da soja. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 6, n. 2, p. 33-40, 2019.
- BERTOLLO, A. M. LEVIEN, R. Compactação do solo em Sistema de Plantio Direto na palha, **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.25, n.3, p. 208-218, 2019.
- BEZERRA, A. F. M. et al., Balanço de massa de Fósforo Total e o Estado Trófico em Reservatórios do Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** 19(2), 67-76,2014.
- BHUVANESWARI, TV; TURGEON, B. G.; BAUER, W. D. Eventos iniciais na infecção da soja (*Glycine max* L. Merr) por *Rhizobium japonicum*: I. Localização de células radiculares infectáveis. **Fisiologia Vegetal** , v. 66, n. 6, pág. 1027-1031, 1980.
- BIGOLIN, G. et al. Influência do vigor de sementes no rendimento e qualidade fisiológica de sementes de soja. **Enciclopédia Biosfera**, v. 19, n. 40, 2022.
- BLANCO, I. B.; **Adubação da cultura da soja com dejetos suínos e cama de aviário**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia e Agricultura)-Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Energia e Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2015.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes** Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Avaliação do sistema de recomendação de adubação nitrogenada em aveia. **REUNIÃO DA COMISSÃO SULBRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA**, v. 19, p. 51-52, 1999

BROCH, D. L.; RANNO, S. K. **Fertilidade do solo, adubação e Nutrição da Cultura da Soja.** Tecnologia e produção: soja e milho. 2012. Disponível em: http://www.diadecampo.com.br/arquivos/materias/%7BCD77A770-CC48-45DA91A2-5B01AEEAE04A%7D_02_fertilidade_do_solo_cultura_da_soja.pdf

CARNEIRO, T. H. M. et al. Efeito do vigor de sementes sobre as características fisiológicas e produtivas da soja. **Acta Iguazu**, v. 9, n. 2, p. 122-133, 2020.

CHAUDHARY, M. I. et al. O efeito da deficiência de fósforo na absorção de nutrientes, fixação de nitrogênio e taxa fotossintética em feijão-frade, feijão-mungo e soja. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 537-544, 2008.

CHIODEROLI, C. A. et al. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 37-43, 2012.

COELHO, A. M. Nutrição e adubação do milho. **EMBRAPA**, Circular Técnica 78.2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/490410/1/Circ78.pdf>.

COELHO, Elisângela Borges et al. Influência do tamanho da semente na qualidade fisiológica da soja. **Ipê Agronomic Journal**, v. 3, n. 1, p. 71-79, 2019.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra Brasileira – Grãos, Safra 2021/2022**. [Brasília], 2023. Disponível em <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4536-safra2021-22-cresce-4-em-relacaoao-ciclo-anterior-e-esta-estimada-em-265-7-milhoes-de-toneladas2#:~:text=Conab%20%2D%20Safra%202021%2F22%20cresce,265%2C7%20milh%C3%B5es%20de%20toneladas>> Acesso em: 04 abr 2023.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safra- Estimativa de Evolução de Grãos**. Brasília. 2024. URL: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safraestimativa-de-evolucao-graos.html>.

conceitos e testes. Londrina: ABRATES, 1999. p. 2.1-2.24

CONTINI, E., et al. Milho: caracterização e desafios tecnológicos. **Embrapa**, 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195075/1/Milho-caracterizacao.pdf>.

CORTEZ, J. W. et al. Manejo da palhada e adubação na produção da soja e cobertura do solo. **Nativa**, v. 7, n. 5, p. 506-512, 2019.

CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v.35, n.3, p.271-276, 2013

CUSTÓDIO, C. C.; MARCOS FILHO, Júlio. Potassium leachate test for the evaluation of soybean seed physiological quality. **Seed Science and Technology**, v. 25, n. 3, p. 549-564, 1997.

DASHORA, K. Nitrogen yielding plants: the pioneers of agriculture with a multipurpose. **American-Eurasian Journal of Agronomy**, v. 4, n. 2, p. 34-37, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Tecnologias de Produção de Soja: Região Central do Brasil 2012 e 2013. Londrina: **Embrapa Soja**, 2011. 262p.

EVANS, H. J.; BURRIS, R. H. Highlights in biological nitrogen fixation during the last 50 years. **Biological nitrogen fixation**. New York: **Chapman and Hall**, p. 1-42, 1992.

FAGAN, E. B. et al. Fisiologia da fixação biológica do nitrogênio em soja-Revisão. **Revista da FZVA**, v. 14, n. 1, p. 89-106, 2007.

FAGERIA, N. K. et al. Foliar fertilization of crop plants. **Journal of plant nutrition**, v. 32, n. 6, p. 1044-1064, 2009.

FARIAS, J. R. B. et al. **Ecofisiologia da Soja**. Londrina: Embrapa CNPSO, 2007. 9p. (Circular Técnica, No48)

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of science and Technology, 1977. 11p. Special Report, 80

FELICETI, M. L. et al. Grupos de maturidade relativa frente à qualidade fisiológica das sementes de soja. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 27410-27421, 2020.

FERRARI, E.; DA PAZ, A.; DA SILVA, A. C.. Déficit hídrico e altas temperaturas no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas. **Nativa**, v. 3, n. 1, p. 67-77, 2015.

FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWKI, F. C. O vigor e o desempenho das sementes. **Anuário ABRASEM**. 2018. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/-digital/bitstream/item/194696/1/p-32-a-36-AnuarioAbrasem-2018-Final.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2023

FRANÇA-NETO, J. de B. et al. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. 2016.. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1057882/tecnologia-da-producao-de-semente-de-soja-de-alta-qualidade>>. Acesso em: 05 de janeiro de 2023.

FRANCO, A. A.; DOBEREINER, J. A biologia do solo ea sustentabilidade dos solos tropicais. **Summa Phytopathologica**, v. 20, n. 1, 1994.

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

GAVA, R. et al. O estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 9, n. 6, p. 349-359, 2015.

GAZZONI, D. L.; DALL'AGNOL, A.. **Paralelo entre a soja no mundo e no Brasil**. 2018.

GEBIOMET Grupo de Estudos em Biometeorologia.UTFPR Universidade Tecnológica Federal do Paraná. **Download Dados Clima DV**. Disponível em: <http://www.gebiomet.com.br/downloads.php>.

HARPER, J.E. Nitrogen metabolism. In: BOOTE, K.J., BENNETT, J.M., SINCLAIR, T.R., et al. **Physiology and determination of crop yield**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1994. Chapt.11A. p.285-302. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/1994.physiologyanddetermination.c19>. DOI: <https://doi.org/10.2134/1994.physiologyanddetermination.c19>

HENNING, F. A. et al. Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. **Bragantia**, v. 69, p. 727-734, 2010..

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C.. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro**. 2007.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. de C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. 2001.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. AT. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. **Field crops research**, v. 65, n. 2-3, p. 151-164, 2000.

HUNGRIA, M; CAMPO, R. J; MENDES, I. C. Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. Londrina - PR: **EMBRAPA SOJA**, 2001.

KAEFER, J. T.. et al. Influência do armazenamento na qualidade fisiológica de sementes de soja. **CIÊNCIA & TECNOLOGIA (Cruz Alta)**, v. 3, p. 13-22, 2019.

KAPPES, C.; ZANCANARO, L. **Manejo da fertilidade do solo em sistemas de produção no Mato Grosso**. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO,3.; SIMPÓSIO SOBRE LEPTÓPTEROS COMUNS A MILHO, SOJA E ALGODÃO,1., 2014, Salvador. Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global:palestras. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2014. p.358-381

KHALILIAQDAM, N. et al. Resposta quantitativa da longevidade de sementes de soja sob condições controladas. **Jornal Americano-Eurasiano de Ciências Agrícolas e Ambientais** , v. 2, pág. 224-230, 2012.

KRZYZANOSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes**:

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; DIAS, DCFS. Deterioração e vigor da semente. **Revista Seeds News**, v. 25, 2022.

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A. A alta qualidade da semente de soja: fator importante para a produção da cultura. **Embrapa: Circular Técnica 136**. Londrina, PR. 2018. URL: CT136-online.pdf (embrapa.br).

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. de B.; HENNING, A. A. . A alta qualidade da semente de soja: fator importante para a produção da cultura. **Circular técnica**, v. 136, n. 1, 2018. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1091765>. Acesso: 10 de Janeiro 2023 .

LIBÓRIO, P. H. da S.. **Desempenho simbiótico e produtivo de cultivares de soja submetidas a co-inoculação com Azospirillum**. 2019.

LUDWIG, E. J. et al. Estresse hídrico na qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas com tiametoxam e polímeros. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 10, p. e44121043427-e44121043427, 2023.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination and in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, p. 176-177, 1962.

MANTELI, Claudia et al. Inoculação e coinoculação de sementes no desenvolvimento e produtividade da cultura da soja. **Revista Cultivando o Saber**, v. 12, n. 2, p. 1-11, 2019.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO; **Instrução normativa MAPA 45/2013** (D.O.U 18/09/2013) – 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/publicacoes-sementes-e-mudas/copy_of_INN45de17desetembrode2013.pdf>

MARCOS FILHO, J.. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2.ed. Londrina: ABRATES, 2015. 659p.

MARCOS FILHO, J.. **Importância do potencial fisiológico da semente de soja**. Informativo Abrates, v. 23, n. 1, p. 21-24, 2013.

MARCOS-FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 4, p. 363-374, 2015a.

MARCOS-FILHO, J.; et al., Tamanho da semente e teste de envelhecimento acelerado para soja. **Scientia Agricola**, v.57, n.3, p.473- 482, 2000.

MARIN, V.A. et al. **Fixação biológica de nitrogênio: Bactérias fixadoras de nitrogênio de importância para a agricultura tropical**. 1999.

Matthews, S.; Bradnock, W.T. (1967). **The detection of seed samples of wrinkle-seeded peas (Pisum sativum L) of low planting value. Proceedings of the International Seed Testing Association**, 32, 553-563.

MEYER, M. C. et al. Bioinsumos na cultura da soja. **Embrapa Soja**, 2022.

MORAES, J. L.. **MOBILIZAÇÃO DE RESERVAS EM EIXO EMBRIONÁRIO DE SOJA (Glycine max L. Merr.) DURANTE A GERMINAÇÃO**. 2021.

MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C. **Nutrição e adubação da cultura da soja: Macronutrientes**. 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/325069952_Nutricao_e_adubacao_da_cultura_da_soja_Macronutrientes

NAKAO, A. H. et al. Características agronômicas e qualidade fisiológica de sementes de soja em função da adubação foliar com boro e zinco. **Revista Cultura Agronômica**, v. 27, n. 3, p. 312-327, 2018.

NUNES, E. N. et al. Eficiência da translocação de nutrientes em plantas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 5, p. 12, 2013.

OLIVEIRA, I. C. B.; SARTOR, L. R. Análise de P e K no solo do município de dois vizinhos – PR. **II Congresso de Ciência e Tecnologia Da UTFPR-Câmpus Dois Vizinhos**. 2012.

PEDROZO, A.; DE OLIVEIRA, N. J. G.; ALBERTON, O.. Fixacao biologica de nitrogenio e aspectos agronomicos da soja (*Glycine max* (L.) Merr.) sob diferentes doses de inoculante. **Acta Agronomica**, v. 67, n. 2, p. 297-303, 2018.

PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGHELLO, G. E. Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos. **Editora Universitária/UFPel, Pelotas**, 2012.

PIMENTEL, J. R.. **Nível de vigor de sementes, adubação, falhas e desempenho de plantas de soja**. 2022.

RODRIGUES, D. da S. et al. Desempenho de plantas de soja em função do vigor das sementes e do estresse hídrico. **Revista Científica Rural**, Bagé-RS, volume 20, nº 2, ano 2018.

RODRIGUES, M. **Vigor-S: sistema para avaliação automatizada do vigor de sementes de soja**. 2020. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ROSSI, R. F.; CAVARIANI, C.; DE BARROS FRANÇA-NETO, J.. Vigor de sementes, população de plantas e desempenho agrônômico de soja. **Revista de Ciências Agrárias-Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 60, n. 3, p. 215-222, 2017.

SALVAGIOTTI, F.; et al., Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. **Field Crops Research**, v. 108, p. 1–13, 2008.

SANTOS, C. V. dos et al. **Qualidade fisiológica de sementes de soja sob estresse em pós-semeadura em solo seco**. 2021.

SBCS- Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2ª Ed. Núcleo Estadual do Paraná (NEPAR). **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, p. 482, 2019

SEIXAS, C. D. S. et al. **Tecnologias de produção de soja**. 2020.

SFREDO, G. J.. **Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral**. Londrina: Embrapa Soja, 2008.

SICZEK, A.; LIPIEC, J. Soybean nodulation and nitrogen fixation in response to soil compaction and surface straw mulching. **Soil & Tillage Research**, v. 114, p. 50–56, 2011.

SILVA, T. A. da et al. Condicionamento fisiológico de sementes de soja, componentes de produção e produtividade. **Ciência Rural**, v. 46, p. 227-232, 2016.

SMANIOTTO, T. A. S.; RESENDE, O.; MARÇAL, K. A. F.; OLIVEIRA, D. E. C. DE; SIMON, G. A. Qualidade fisiológica das sementes de soja armazenadas em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v. 18, n. 4, p. 446-453, 2014. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br/revista/v18n04/v18n04a13.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2023.

SPATZAL, T. The center of biological nitrogen fixation: FeMo-Cofactor. **Journal of Inorganic and General Chemistry**, p. 10-17, 2015.

SUZUKI, Y. et al. Effects of temperature on competition and relative dominance of *Bradyrhizobium japonicum* and *Bradyrhizobium elkanii* in the process of soybean nodulation. **Plant and soil**, v. 374, p. 915-924, 2014.

TAIZ, L. et al. Fisiologia vegetal. 3 edição. **Porto alegre—Artmed**, p. 613-641, 2004.

TEIXEIRA, K. R. G. et al. Efeito da adição de lodo de curtume na fertilidade do solo, nodulação e rendimento de matéria seca do caupi. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, p. 1071-1076, 2006.

USDA – **UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE**. PSD Data Sets. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads> Acesso em 15 nov. 2023.

VENTURA, M. V. A. et al. Comparison of conventional and transgenic soybean production costs in different regions in Brazil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e154973977-e154973977, 2020.

VIEIRA, A. F. et al., **METODOLOGIAS PARA DETERMINAÇÃO DE NITROGÊNIO**. 2016.

VIEIRA, R.D.; BITTENCOURT, S.R.M.; PANOBIANCO, M. Seed vigor: an important component of seed quality in Brasil. **Ista News Bulletin**, Zürich, n. 126, p.21-22, 2003.

WENDT, L. et al. Relação entre testes de vigor com a emergência a campo em sementes de soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 2, p. 166-171, 2017.

WERNER, H. A. et al. Qualidade fisiológica de sementes de soja (*Glycyne max* L. Merrill) tratadas com micronutrientes. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e787997761-e787997761, 2020.

ZHANG, F. et al. Crescimento de plantas promovendo nodulação de rizobactérias e soja [*Glycine max* (L.) Merr.] e fixação de nitrogênio em temperaturas subótimas da zona radicular. **Anais de Botânica**, v. 77, n. 5, pág. 453-460, 1996.

ZHANG, H. HU. Z.; YANG, Y. et al. O perfil transcriptoma revela a dinâmica espaço-temporal da expressão gênica essencial para o desenvolvimento de sementes de soja. **Genomics BMC**, n. 22, A. 453, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12864-021-07783-z>. Acesso em: 15 nov. 2023.

ZHENG, M.; LI, D.; LU, X.; ZHU, X.; ZHANG, W.; HUANG, J.; FU, S.; LU, X.; MO, J. Effects of phosphorus addition with and without nitrogen addition on biological nitrogen fixation in tropical legume and non-legume tree plantations. **Biogeochemistry**, v. 131, p. 65–76, 2016.

ZIMMER, G. et al. **Produção de matéria seca em cultivares de soja tolerante e suscetível à deficiência de fósforo.** 2020. Disponível em: https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2020/CA_04305.pdf.

ZUBERER, D. A. Fixação biológica de dinitrogênio (N₂): introdução e não simbiótica. In: **Princípios e aplicações da microbiologia do solo**. Elsevier, 2021. pág. 423-453.