

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



Tese

**Nível de vigor de sementes, adubação, falhas e desempenho de plantas de
soja**

João Roberto Pimentel

Pelotas, 2022

João Roberto Pimentel
Engenheiro Agrônomo

Nível de vigor de sementes, adubação, falhas e desempenho de plantas de soja

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

Orientador:

Prof. Dr. Tiago Zanatta Aumonde (FAEM/UFPEL)

Co-Orientadores:

Prof. Dr. Tiago Pedó (FAEM/UFPEL)

Profa. Dra. Emanuela Garbin Martinazzo Aumonde (FURG)

Pelotas, 2022

Rio Grande do Sul - Brasil

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

P644n Pimentel, João Roberto

Nível de vigor de sementes, adubação, falhas e desempenho de plantas de soja / João Roberto Pimentel; Tiago Zanatta Aumonde, orientador; Tiago Pedó, Emanuela Garbin Martinazzo Aumonde, coorientadores. — Pelotas, 2022.

77 f.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2022.

1. *Glycine max*. 2. Componentes do rendimento. 3. Vigor de sementes. 4. Nutrição mineral. I. Aumonde, Tiago Zanatta, orient. II. Pedó, Tiago, coorient. III. Aumonde, Emanuela Garbin Martinazzo, coorient. IV. Título.

CDD: 631.521

João Roberto Pimentel
Engenheiro Agrônomo

Nível de vigor de sementes, adubação, falhas e desempenho de plantas de soja

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

Data da Defesa: 29/04/2022.

Banca examinadora:

.....
Prof. Dr. Tiago Zanatta Aumonde (Orientador)
Doutor em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas - UFPel.

.....
Prof. Dr. Tiago Pedó
Doutor em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas - UFPel.

.....
Dra. Andrea Martins
Doutora em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas - UFPel

.....
Dra. Angelita Celente Martins
Doutora em Fisiologia Vegetal pela Universidade Federal de Pelotas - UFPel

.....
Dra. Patricia Migliorini
Doutora em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas - UFPel

“Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino”.

Leonardo da Vinci

Dedico...

Aos meus pais Elias e Rosane e a minha noiva Laísa pelo carinho, apoio incondicional e pelo incentivo nas minhas decisões em todos os momentos desta caminhada.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado força, saúde e determinação para vencer esta etapa.

Aos meus pais, Elias e Rosane, e aos meus irmãos, Mauricio e Marcelo, pelo amor, incentivo e por estarem sempre ao meu lado.

À minha noiva Laísa pelo amor, carinho e todo apoio nas minhas decisões.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Tiago Zanatta Aumonde, pela valiosa orientação, pela paciência, conselhos, ensinamentos e amizade.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Tiago Pedó, pelos ensinamentos, dedicação e amizade.

Aos amigos e colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, em especial ao Cristian pelo companheirismo, amizade e ajuda na condução deste trabalho.

A todos os estagiários da linha de pesquisa, pelo comprometimento e apoio durante as atividades desenvolvidas.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes pela oportunidade e a todo corpo docente por todo aprendizado.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo.

A todos vocês, **MUITO OBRIGADO.**

Resumo

PIMENTEL, João Roberto. **Nível de vigor de sementes, adubação, falhas e desempenho de plantas de soja.** 2022. 77f. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

Conhecer a semente que está sendo semeada no solo é essencial para uma lavoura de sucesso. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo verificar a influência do vigor de sementes de soja conjuntamente com falhas na linha de semeadura, velocidade de semeadura e manejo da adubação de base nos atributos de rendimento da cultura da soja em diferentes locais do Rio Grande do Sul e diferentes safras agrícolas. O experimento do capítulo I foi conduzido no município de Pelotas-RS nas safras agrícolas 2016/2017 e 2017/2018 e o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 3 x 4, 3 níveis de vigor, (alto, médio e baixo) e 4 falhas na linha de semeadura (distribuição normal, 1 falha a cada metro linear, 2 falhas a cada metro linear e 3 falhas a cada metro linear) com 4 repetições. No capítulo II, o experimento foi conduzido no município de Caibaté-RS nas safras agrícolas 2017/2018 e 2018/2019 e o delineamento experimental foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 6 x 2 (6 velocidades de semeadura (3,0, 3,7, 5,4, 6,8, 8,0 e 10,1 km h⁻¹) e 2 níveis de vigor (alto e baixo vigor) com 4 repetições. No capítulo III, o experimento foi conduzido na safra agrícola 2017/2018 nos municípios de Caibaté-RS e Pelotas-RS e o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 3 x 4, 3 níveis de vigor (alto, médio e baixo vigor) e 4 doses de NPK na semeadura (0, 150, 300 e 450 kg ha⁻¹) com 4 repetições. Foi avaliado nos experimentos a população de plantas, altura de plantas, altura da inserção do primeiro legume, número de ramificações, número de vagens por planta, número de sementes por planta, massa de sementes por planta, massa de mil sementes e rendimento. O vigor de sementes e a distribuição na linha de semeadura afetam os componentes do rendimento da cultura da soja. O baixo vigor resulta em plantas menores com menor número de vagens por planta e sementes por planta. O rendimento da soja quando estabelecido com sementes de alto vigor produzem mais em relação as de baixo vigor, assim como, produzem mais com uma distribuição uniforme em relação a 3 falhas na linha. A população de plantas reduz consideravelmente com o aumento da velocidade de semeadura e, esse decréscimo se dá de forma mais acentuada quando se utiliza sementes de baixo vigor. A semeadura realizada com uma velocidade entre 3,7 a 5,4 km h⁻¹ combinado com a utilização de sementes de alto vigor são ideais para obter maior rendimento. A adubação com NPK influenciou positivamente os componentes do rendimento e o rendimento da soja. O aumento das doses de NPK não compensa o rendimento quando a semente utilizada é de baixo vigor.

Palavras chave: *Glycine max*; componentes do rendimento; vigor de sementes; nutrição mineral;

Abstract

PIMENTEL, João Roberto. **Seed vigor level, fertilization, failures and performance of soybean plants.** 2022. 77f. Thesis (Doctor of Science) - Program in Science and Technology of Seeds, Faculty of Agronomy Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2022.

Knowing the seed being sown in the soil is essential for successful farming. In this sense, the present work aims to verify the influence of soybean seed vigor together with failures in the sowing line, sowing speed and base fertilization management on soybean yield attributes in different locations in Rio Grande do Sul. South and different agricultural crops. The chapter I experiment was conducted in the municipality of Pelotas-RS in the 2016/2017 and 2017/2018 harvests and the experimental design used was randomized blocks in a 3 x 4 factorial scheme, 3 levels of vigor, (high, medium and low) and 4 failures in the sowing line (normal distribution, 1 failure at each linear meter, 2 failures at each linear meter and 3 failures at each linear meter) with 4 repetitions. In chapter II, the experiment was conducted in the municipality of Caibaté-RS in the 2017/2018 and 2018/2019 harvests and the experimental design was randomized blocks in a 6 x 2 factorial scheme (6 sowing speeds (3.0, 3.7, 5.4, 6.8, 8.0 and 10.1 km h⁻¹) and 2 levels of vigor (high and low vigor) with 4 replications. In chapter III, the experiment was carried out in the agricultural season 2017/2018 in the municipalities of Caibaté-RS and Pelotas-RS and the experimental design used was randomized blocks in a 3 x 4 factorial scheme, 3 levels of vigor (high, medium and low vigor) and 4 doses of NPK at sowing (0, 150, 300 and 450 kg ha⁻¹) with 4 replications. The plant population, plant height, height of insertion of the first legume, number of branches, number of pods per plant, number of seeds were evaluated in the experiments. per plant, mass of seeds per plant, mass of one thousand seeds and yield. Seed vigor and sowing row distribution affect the components of ren ment of the soybean crop. Low vigor results in smaller plants with fewer pods per plant and fewer seeds per plant. Soybean yield when established with high vigor seeds produce more in relation to low vigor, as well as produce more with a uniform distribution in relation to 3 failures in the row. The plant population reduces considerably with increasing sowing speed, and this decrease is more pronounced when low vigor seeds are used. Sowing carried out at a speed between 3.7 to 5.4 km h⁻¹ combined with the use of high vigor seeds are ideal for obtaining higher yields. NPK fertilization positively influenced the yield components and soybean yield. The increase in NPK doses does not compensate for the yield when the seed used is of low vigor.

Keywords: *Glycine max*; components of seed yield; seed vigor; mineral nutrition;

Sumário

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	9
2 CAPÍTULO I – Desempenho de plantas de soja frente a níveis de vigor de sementes e falhas na linha de semeadura.....	18
2.1 INTRODUÇÃO	18
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	19
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
2.4 CONCLUSÕES	32
3 CAPÍTULO II – Influência do vigor de sementes e da velocidade de semeadura no rendimento e componentes do rendimento na cultura da soja .	33
3.1 INTRODUÇÃO	33
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	34
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
3.4 CONCLUSÕES	46
4 CAPÍTULO III – Desempenho de plantas de soja provenientes de sementes com diferentes níveis de vigor submetidas a diferentes níveis de adubação ...	47
4.1 INTRODUÇÃO	47
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	49
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4.4 CONCLUSÕES	64
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
REFERÊNCIAS.....	66

1 Introdução geral

A soja tem como seu centro de origem a região que corresponde à China antiga, no continente asiático. A partir de 200 a.C., a cultura da soja passou a ser difundida para outros países da Ásia como Coréia e Japão e posteriormente para os outros continentes do mundo.

A introdução da cultura da soja no Brasil foi feita por volta do final do séc. XIX, mais especificamente no ano de 1882 na Bahia. Em 1892 foi levada ao estado de São Paulo pelo Instituto Agrônomo para ser cultivada. Apesar dos bons resultados no estado, apenas a partir de 1914, no Rio Grande do Sul, que a cultura passou a apresentar um avanço mais consistente. Mesmo assim, foi considerada como cultura de subsistência por alguns anos e a sua produção não passava de 125 mil toneladas ao ano. Somente em 1941 passou a ser vista como uma grande cultura, ou seja, uma cultura com produção em larga escala.

A soja é uma cultura com grãos ricos em óleos e proteínas, sendo utilizada para a alimentação humana e animal e, na formulação de biocombustíveis, entre outras finalidades (PEREIRA et al., 2017). Assim, em razão da ampla utilização este grão se tornou uma das principais commodities do mundo, apresentando elevada importância na agricultura e economia mundial (RIGO et al., 2015).

É de conhecimento geral que a cultura da soja é de extrema importância mundial, totalizando uma produção de aproximadamente 362 milhões de toneladas em 127 milhões de hectares (USDA, 2021). O Brasil se destaca internacionalmente na produção de grãos de soja, atualmente ocupa o primeiro lugar com uma produção de 135 milhões de toneladas em aproximadamente 38 milhões de hectares (CONAB, 2021).

No Brasil, a região centro-oeste se destaca como a maior produtora, sendo semeados, aproximadamente, 17 milhões de hectares com a cultura, resultando na produção de 61 milhões de toneladas do grão (CONAB, 2021). Logo abaixo da região centro-oeste encontra-se a região sul do Brasil, onde são cultivados 12 milhões de hectares, o que resulta em, aproximadamente, 35% da produção nacional (CONAB, 2021).

A cada safra a cultura da soja está expandindo novas fronteiras e desenvolvendo novas regiões, promovendo a geração de empregos e renda. No entanto, além de promover o crescimento da área cultivada é importante desenvolver tecnologias de cultivo buscando o melhor aproveitamento das áreas, elevação das médias de produtividades e aumento da renda do agricultor. A média brasileira de produtividade de soja atualmente é de 3.529 kg por hectare (CONAB, 2021).

Para o Brasil, a cultura da soja tem expressiva importância socioeconômica e representa uma das principais fontes de renda no agronegócio e, por isso, constata-se que, com o passar dos anos, o nível de exigência dos produtores rurais vem crescendo em relação a otimização no uso de insumos e sementes de qualidade na lavoura (ANTONINI et al., 2018). Isso tem levado a indústria de sementes a aprimorar constantemente para melhorar a produção e a padronização dos lotes, visando a obtenção e comercialização de sementes com alto vigor e germinação (EMBRAPA, 2018).

O vigor de semente, conforme a AOSA (1983), compreende as propriedades da semente que determinam o potencial para emergência e desenvolvimento rápido e uniforme de plântulas normais, sob ampla diversidade de condições ambientais. O vigor merece ser considerado para implantação de uma lavoura, pois envolve uma série de fatores relacionados com a reestruturação celular, retomada do crescimento do embrião e, uma eficiente metabolização, translocação e alocação das estruturas de armazenamento da semente para a plântula em desenvolvimento (AUMONDE et al., 2017). Sendo assim, o vigor de sementes está relacionado com uma série de características das sementes que determinam o quanto essa semente vai estabelecer rápido e uniforme plântulas normais, sob uma gama de condições de ambiente (MARCOS FILHO, 2015). Isto se deve pelo fato de o vigor não ser determinado por uma característica particular, mas por um conjunto delas, associadas ao desempenho das sementes (PESKE et al., 2019).

Diversos estudos têm comprovado o efeito do vigor das sementes em relação a produtividade das culturas. De acordo com Silva (2010) e Scheeren et al. (2010) há um incremento na produtividade de 30% e 9% respectivamente. Kolchinski et al. (2006) verificaram que sementes de alto vigor geram plantas com maior índice de área foliar, produção de matéria seca e produzem cerca de 35% a mais, em relação aquelas originadas de sementes de baixo vigor. Schuch et al. (2009) verificaram que

as plantas de soja, oriundas de sementes de alta qualidade fisiológica, apresentaram maior altura, diâmetro de caule e rendimento de grãos 25% maior do que as obtidas de sementes de baixa qualidade. Segundo Pino et al. (2019) plantas de alto vigor apresentaram maior altura comparadas com plantas de baixo vigor no estágio fenológico V5 e essa diferença na altura potencialmente reflete um maior rendimento de grãos (SCHEEREN et al., 2010; GABRIEL et al., 2018).

A utilização de sementes com alto potencial fisiológico é aspecto determinante a ser considerado para o aumento da produtividade dos cultivos e sendo a base de uma lavoura tecnicamente bem estabelecida (FRANÇA NETO et al., 2010). A qualidade das sementes é influenciada por diversos fatores e, dentre eles, o estado nutricional adequado com fertilização equilibrada com macro e micronutrientes se torna primordial no cenário produtivo de sementes (SAWAN, 2013). De acordo com Peske et al. (2019), a qualidade de sementes se define pelo somatório de seus atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários.

A qualidade fisiológica representa a capacidade da semente em desempenhar funções vitais de germinação, vigor e longevidade (BEWLEY et al., 2013). A germinação e o vigor compõem o atributo fisiológico da qualidade de sementes, atuando de forma direta, pela redução no estabelecimento do estande de plantas, ou de forma indireta, devido a capacidade diferencial de acúmulo de massa seca pelas plantas, sobre a produtividade das culturas (SILVA et al., 2010; KOCH et al., 2017). Sementes de alta qualidade resultam em plântulas de alto desempenho, que geram plantas fortes, vigorosas, bem desenvolvidas e que se estabelecem em diferentes condições edafoclimáticas, com maior velocidade de emergência e de desenvolvimento da lavoura, culminando no fechamento das entrelinhas rapidamente, propiciando também um controle mais eficiente de ervas daninhas. Por outro lado, sementes de vigor médio ou baixo resultam em plântulas fracas, com pouca ou nenhuma possibilidade de se estabelecerem competitivamente no campo.

O uso de sementes de baixo vigor pode acarretar em uma redução na velocidade e na emergência de plântulas, redução na produção de matéria seca, na área foliar e nas taxas de crescimento das plantas, comprometendo todo o ciclo culminando em uma baixa produtividade (PIMENTEL et al., 2017; KOLCHINSKI et al., 2005). Segundo Rossi et al. (2017), o vigor de sementes afeta o desempenho agrônomo sendo um fator determinante na produtividade de soja, uma vez que determina a velocidade de emergência e o estabelecimento das plântulas no campo.

O baixo vigor de sementes resulta em plantas menores, com menor altura de inserção de vagens e com menor número de vagens por planta.

O arranjo de plantas, assim como a forma como as plantas são distribuídas na área de cultivo são estratégias de manejo que mostram resultados distintos na produtividade de grãos, sendo dependente do ano, condições de clima e solo, cultivar, época de semeadura, hábito de crescimento e populações de plantas (BALBIONOT JUNIOR et al., 2015; JARDIM ROSA et al., 2016; CARMO et al., 2018).

Uma uniforme distribuição de plantas sem falhas e nem duplas na linha de semeadura, diminui a competição intraespecífica das plantas de soja apresentam melhor aproveitamento dos recursos ambientais, resultando em desempenho de plantas superior (SILVA et al., 2013; JARDIM ROSA et al., 2016; MODOLO et al., 2016; MATSUO et al., 2017). Segundo Cortez et al. (2006), considera-se como aceitáveis todos os espaçamentos entre plantas de 0,5 a 1,5 vez o espaçamento médio esperado. O valor obtido fora desse limite são considerados falhos (acima de 1,5 vez o espaçamento médio) ou múltiplos (abaixo de 0,5 vez o espaçamento médio).

De acordo com Rambo et al. (2003), o arranjo e distribuição de plantas ocasiona alteração no rendimento de grãos. Esses autores mostraram que a maior competição entre as plantas ocorre na linha de semeadura, desta forma a distribuição uniforme no solo se torna também um fator substancial quando se buscam altos rendimentos. Nesse mesmo sentido, Tourino et al. (2002) salientam que a maior precisão na deposição das sementes na linha de semeadura é um fato relevante e que contribui para o aumento no rendimento uma vez que plantas distribuídas de forma desuniforme implicam em um aproveitamento ineficiente dos recursos disponíveis, como luz, água e nutrientes (CINTRA et al., 2020).

Em relação à soja, falhas na linha de semeadura, além de facilitar a infestação de plantas daninhas, levam ao estabelecimento de plantas de soja com porte reduzido (REYNALDO et al., 2016). O estande de plantas nessas condições fomenta a redução no rendimento de grãos (TOURINO et al., 2002). Em contrapartida, plantas agrupadas ou plantas duplas, podem provocar o desenvolvimento de plantas mais altas sem ramificação com uma menor produção individual estando mais propensas ao acamamento (BASSO et al., 2016).

Desta forma Pinto (2010) argumenta a necessidade de se realizar uma semeadura de qualidade, com distribuição espacial adequada e uniforme das sementes, com isso a semeadora assume um papel importante. O autor menciona ainda que as semeadoras foram desenvolvidas para proporcionar uma distribuição homogênea das sementes, falhas nos equipamentos, utilização de sementes de qualidade inferior e mal padronizadas favorecem a aparição de falhas na lavoura, podendo ocasionar variações morfológicas no desenvolvimento da cultura e conseqüentemente perdas de rendimento.

Um dos parâmetros mais críticos, muitas vezes negligenciado está relacionada a velocidade empregada durante a semeadura, muitas vezes atingindo velocidade superior a 12 km h^{-1} . A correta distribuição espacial das plantas na lavoura está diretamente relacionada a velocidade de semeadura empregada. Um dos pontos chave refere-se à plantabilidade, que é a distribuição precisa da semente em relação à quantidade e distância entre elas, evitando falhas e duplas e obtendo espaços equidistantes entre as mesmas. Mesmo a soja tendo certa capacidade de compensação em função da população de plantas obtida (plasticidade), sua produtividade é afetada com a variação dos espaços entre as sementes. Segundo Copetti (2003), quando há erros de semeadura, a soja suporta variações máximas de até 15% sem ocorrer prejuízo para a produtividade.

Nesse sentido, o processo de semeadura é uma das ações que requerem mais cuidados (ALMEIDA et al., 2010; MACEDO et al., 2016) e um dos mais importantes no sistema produtivo, uma vez que a etapa da semeadura bem realizada tende a proporcionar plantas mais uniformes, com reflexos positivos na produtividade das culturas (FURLANI et al., 2008; WEIRICH NETO et al., 2015).

Segundo Furlani (2010), com o aumento da velocidade de deslocamento ocorre influência negativa na regularidade de distribuição, diminuindo a porcentagem de espaçamentos normais refletindo na produtividade da cultura. Dados de pesquisa e observação a campo demonstram que com os equipamentos utilizados hoje pelos produtores, o emprego de velocidades acima de 8 km/h retira desses equipamentos o caráter de precisão, reduzindo a qualidade de semeadura e aumentando as sementes duplas e falhas. Para equipamentos mecânicos de disco recomenda-se velocidade entre $4 \text{ a } 6 \text{ km h}^{-1}$, e para pneumáticos até 8 km h^{-1} .

Dependendo da velocidade utilizada na semeadura, poderá ocorrer interferência no sistema dosador, o que prejudicará o sistema que individualiza as

sementes, assim como a passagem por ele, pelo tubo condutor, e também a velocidade em que a semente chegará ao sulco de plantio. Além disso, com o aumento de velocidade se revolve mais o solo com a abertura e fechamento de sulco, impactando também na variação de profundidade da semente. Dessa forma, constata-se que, mesmo utilizando-se densidades recomendadas, o processo de semeadura pode proporcionar distribuição desuniforme das sementes na linha além da sua colocação em profundidades maiores do que o planejado. Com isso, podem ocorrer plantas muito próximas umas das outras na linha, que irão competir entre si, inibindo o seu desenvolvimento, e com maiores comprimentos do hipocótilo, com reflexos negativos na produtividade da cultura (MONDO et al., 2012).

A semeadora-adubadora deve conferir uniformidade longitudinal de sementes, com cobertura de solo e profundidade de deposição uniformes (JASPER et al., 2011; SOUZA et al., 2019). Com isso possibilitará a formação de um ambiente que permita que as sementes absorvam a água e encontrem condições favoráveis de temperatura e disponibilidade de oxigênio para iniciar o processo de germinação (SOUZA et al., 2019). A escolha adequada da velocidade de semeadura é de extrema importância para que possa se obter maior produtividade, sendo esse fator operacional muito relevante para à adequada implantação da cultura da soja (SANTOS et al., 2017).

Relacionando diferentes sistemas de plantio com velocidades entre 4 e 8 km h⁻¹, Chaves (2015) verificou que com o aumento da velocidade de semeadura a produtividade diminuiu e, segundo esse mesmo autor a melhor produtividade foi alcançada quando a velocidade ficou em 5,5 km h⁻¹, fator relacionado a maior quantidade de vagens e melhor estande de plantas. Assim, constata-se que o processo de semeadura é uma atividade importante na implantação das culturas, e deve ser realizado com cuidado para se obter populações adequadas, na profundidade recomendada e plantas espaçadas equitativamente. Do contrário, todo o investimento realizado não irá se traduzir em ganhos de produtividade.

Para o correto incremento da produtividade agrícola, é de fundamental importância o avanço científico e tecnológico em relação ao conhecimento das exigências nutricionais de cada cultura, aprimorando-se, desta forma, o uso dos insumos na propriedade agrícola (GONÇALVES-JUNIOR et al., 2010). No conjunto de boas práticas de produção de soja, além da utilização de sementes de alta qualidade, plantabilidade, velocidade de semeadura, está a adequada nutrição das

plantas. O crescimento de plantas e a produtividade estão relacionadas com o adequado aporte de nutrientes, que prevê que todos os nutrientes estejam em condições satisfatórias para o melhor funcionamento do metabolismo vegetal, tendo em vista as diversas funções que estes apresentam nas plantas (BAILEY-SERRES et al., 2019).

A adubação é utilizada para suprir a necessidade de nutrientes da cultura através do solo, levando em conta as perdas por volatilização, lixiviação, imobilização, fixação e erosão, portanto, quanto mais pobre o solo, maior a exigência de nutrientes para suprir as exigências das plantas (MALAVOLTA, 2006). Segundo esse mesmo autor, a adubação é um dos principais fatores que afetam a produtividade agrícola, acarretando em custos e refletindo na rentabilidade da produção.

A soja é uma cultura de extrema exigência nutricional, sendo eficiente tanto na absorção quanto na translocação de nutrientes (OLIVEIRA et al., 2007). Os nutrientes são divididos em macro e micronutrientes e são assim classificados devido à quantidade exigida pelas plantas; os macronutrientes constituem cerca de 99,5% da massa seca, e os micronutrientes cerca de 0,5%. São considerados macronutrientes: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg e S e, micronutrientes: B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn (EPSTEIN; BLOOM, 2005). De maneira geral, a maior exigência nutricional das plantas, segundo Carvalho et al. (2003), se dá no início da fase reprodutiva, e torna-se mais crítica na época de formação das sementes, devido à grande quantidade de nutrientes translocados para as mesmas.

Os componentes de produção da soja, como número de vagens por planta, número de sementes por vagem e peso específico das sementes, são bastante influenciados pelas condições edafoclimáticas e pelo manejo químico do solo (PEIXOTO et al., 2000), especialmente pelas adubações fosfatada e potássica. Estima-se que são exportados do solo, para produção de 3.000 kg ha⁻¹ de grãos de soja, cerca de 226 kg ha⁻¹ de N; 16 kg ha⁻¹ de P; 94 kg ha⁻¹ de K; 64 kg ha⁻¹ de Ca; 32 kg ha⁻¹ de Mg e 8 kg ha⁻¹ de S (VITTI; LUZ, 1998).

Depois do nitrogênio (N), o fósforo (P) é o principal nutriente que limita o crescimento das plantas, e é assimilado apenas na forma inorgânica (NUNES et al., 2013). O fósforo presente no solo encontra-se apenas parcialmente disponível para as plantas, pois ocorrem processos como formação de precipitados do P com cálcio em solo alcalino ou Fe e Al em solos ácidos (ZHOU et al., 2016), fixação em coloides

minerais e por adsorção específica do P aos óxidos de Fe e Al (PELUCO et al., 2015). O mesmo é de baixa solubilidade e mobilidade no solo, encontrando-se principalmente na forma de ortofosfato derivado do ácido fosfórico. Tem suprimento para as raízes efetuado principalmente pelo processo de difusão, o qual depende principalmente da interação com suas partículas, da umidade do solo e da superfície radicular (SILVA et al., 2014).

Na soja, a deficiência de P diminui o potencial de rendimento pela menor produção de flores e de vagens, maior taxa de aborto destas estruturas e pela produção de sementes com menor massa (ZUCARELI et al., 2006; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2011).

Esse nutriente tem importância para as plantas na constituição de compostos energéticos, como ATP, derivados do inositol (fitinas), fosfolipídios e outros ésteres, transferência de energia da célula, na respiração, fotossíntese, compõe a estrutura dos ácidos nucleicos de cromossomos e sua limitação pode provocar restrições no desenvolvimento (SILVA et al., 2014). É responsável pelo desenvolvimento adequado das raízes e das plântulas no início do seu desenvolvimento, contribuindo para o aumento da resistência aos estresses, na maior eficiência do uso da água, na resistência às doenças, além de estar muito relacionado à produtividade (MALAVOLTA, 2006; BEZERRA et al., 2014).

A deficiência de fósforo diminui o potencial de rendimento das plantas, com efeitos na parte aérea e no sistema radicular. Neste, a principal consequência é a menor formação e atividade dos nódulos fixadores de N, raízes menores e em menor quantidade, comprometendo a exploração do solo por água e nutrientes. Na parte aérea, ocorre menor desenvolvimento vegetativo da planta, resultando em diminuição da área foliar e, conseqüentemente, em menor produção de flores e de vagens (CHAUDHARY et al., 2008).

O potássio (K), é o segundo nutriente mais exportado pela cultura da soja. Em média, são exportados em torno de 18,5 kg de K por tonelada de grãos produzidos (PETTER et al., 2012). A deficiência de K no solo pode não só ocasionar deficiência severa visível nas plantas, mas, essa deficiência atuará diretamente no comprometimento da produtividade (SERAFIM et al., 2012). Pode ocasionar a produção de sementes mais leves, o que, além de afetar o rendimento da cultura, pode resultar em plantas mais baixas e menos produtivas no ciclo subsequente

(PÁDUA et al., 2010). Serafim et al. (2012) observaram aumento no rendimento e no peso específico das sementes, em resposta à adubação com esse nutriente.

O K atua na ativação enzimática, na regulação de abertura e fechamento dos estômatos, no controle osmótico, dentre outras funções (TAIZ; ZEIGER, 2012). A principal fonte de adubação potássica utilizada no Brasil é o cloreto de potássio (KCl), um sal de alta solubilidade e de baixa força de adsorver em coloides do solo (DUARTE et al., 2013).

Em experimento analisando o efeito da adubação com P, K e Zn em soja, Gonçalves Júnior et al. (2010), constataram que a adubação fosfatada e potássica contribuiu com o aumento da produtividade da cultura, em função do maior número de vagens por planta. Resultados semelhantes foram constatados por Batistella Filho et al. (2013), variando a quantidade de fósforo na linha de semeadura da soja entre 0 a 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Sendo assim, a produção de soja no Brasil está cada vez mais tecnificada e cada vez mais se busca maior produtividade ao passo que, as boas práticas de cultivo muitas vezes são negligenciadas. Nesse contexto, o objetivo da pesquisa foi de verificar a influência do vigor de sementes de soja conjuntamente com falhas na linha de semeadura, velocidade de semeadura e manejo da adubação de base nos atributos de rendimento da cultura da soja em diferentes locais do Rio Grande do Sul e diferentes safras agrícolas.

2 Capítulo I – Desempenho de plantas de soja frente a níveis de vigor de sementes e falhas na linha de semeadura

2.1 Introdução

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a principal commodity do Brasil em termos de área cultivada e volume de exportação, sendo a produção nacional do grão na safra 2020/21 de 135 milhões toneladas e a produtividade média de 3.529 kg ha⁻¹. Na região sul do Brasil, são cultivados 12 milhões de hectares, o que resulta em, aproximadamente, 35% da produção nacional (CONAB, 2021).

A utilização de sementes com alto potencial fisiológico é aspecto determinante a ser considerado para o aumento da produtividade dos cultivos e sendo a base de uma lavoura tecnicamente bem estabelecida (FRANÇA NETO et al., 2010). O uso de sementes de baixo vigor pode acarretar em uma redução na velocidade e na emergência de plântulas, redução na produção de matéria seca, na área foliar e nas taxas de crescimento das plantas, comprometendo todo o ciclo culminando em uma baixa produtividade (PIMENTEL et al., 2017; KOLCHINSKI et al., 2005).

A utilização de bons sistemas de manejos de campo e ausência de estresses, proporcionam a obtenção de maior área foliar útil à captação de energia luminosa e acúmulo de carbono (AUMONDE et al., 2017), por proporcionar maior produção e melhor distribuição de fotoassimilados entre tecidos vegetativos e reprodutivos.

Segundo Dias et al. (2010), a semente é a principal forma de difusão de novas tecnologias, sendo que, a qualidade afeta diretamente todo o desenvolvimento da cultura. Para tanto, o vigor torna-se fundamental para alcançarmos altos tetos produtivos. De acordo com Koch et al. (2014), o vigor envolve um conjunto de processos bioquímicos e fisiológicos relacionados à reorganização do sistema de membranas celulares, à hidrólise e à alocação de assimilados em plântula. Sendo considerado fundamental na implantação de uma lavoura, por afetar o crescimento e o rendimento das plantas (ROSSI et al., 2017).

Estudos envolvendo vigor de sementes de soja em ambientes controlados foram realizados por Kolchinski et al. (2005), os quais observaram ganho de 35% no rendimento de sementes. De acordo com Strucker et al. (2019) sementes de alto vigor proporcionam rendimento 20% superior em relação ao baixo vigor e 7% superior ao médio vigor. Estudos de Scheeren et al. (2010), ao avaliarem o rendimento da soja em relação aos diferentes níveis de vigor, observaram incremento de 9% no rendimento de grãos da soja para lotes de alto vigor quando comparados aos de baixo vigor.

Uma uniforme distribuição de plantas sem falhas e nem duplas na linha de semeadura diminui a competição intraespecífica das plantas de soja apresentam melhor aproveitamento dos recursos ambientais, resultando em desempenho de plantas superior (SILVA et al., 2013; JARDIM ROSA et al., 2016; MATSUO et al., 2017). Segundo Cortez et al. (2006), considera-se como aceitáveis todos os espaçamentos entre plantas de 0,5 a 1,5 vez o espaçamento médio esperado. O valor obtido fora desse limite são considerados falhos (acima de 1,5 vez o espaçamento médio) ou múltiplos (abaixo de 0,5 vez o espaçamento médio).

Nesse sentido, a utilização de sementes de alto vigor juntamente com uma distribuição uniforme das sementes na área pode favorecer a maior produtividade da cultura da soja, uma vez que sementes de baixo vigor e sementes mal distribuídas, resultam em efeitos negativos diretos e indiretos sobre a produtividade, já em contrapartida, a utilização de sementes com elevado vigor favorece o estabelecimento do estande, possibilita melhor desenvolvimento inicial de plantas.

Assim sendo, o objetivo do estudo foi avaliar o desempenho de plantas de soja provenientes de sementes com distintos níveis de vigor frente a falhas na linha de semeadura.

2.2 Material e métodos

O experimento foi conduzido a campo nas safras agrícolas 2016/2017 e 2017/18, na área experimental das Plantas de Lavoura, da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas – RS, sob coordenadas 31° 48' 10" de latitude sul e 52° 25' 9" de longitude oeste, e altitude de 67 metros.

O solo da área é classificado como Planossolo Háplico Eutrófico Solódico, pertencente à unidade de mapeamento Pelotas (STRECK et al., 2008), com

características físicas e químicas, na camada de 0-20 cm de: pH (H₂O): 6,0; P: 55,0 mg dm⁻³; K: 88 mg dm⁻³; S: 19,8 mg dm⁻³; Ca: 3,2 cmol_c dm⁻³; Mg: 0,9 cmol_c dm⁻³; Al: 0,3 cmol_c dm⁻³; B: 0,0 mg dm⁻³; Cu: 1,4 mg dm⁻³; Zn: 1,8 mg dm⁻³; Mn: 14,2 mg dm⁻³; Na: 50 mg dm⁻³ CTC: 5,3 cmol_c dm⁻³; saturação por bases: 70%; Matéria orgânica: 2,07%; argila: 19%. O clima do local de cultivo segundo o sistema internacional de Köppen é do tipo Cfa, com chuvas bem distribuídas e verão quente. Dados meteorológicos de temperatura média máxima e mínima, radiação solar média, umidade relativa do ar e precipitação acumulada, do período de condução dos experimentos estão apresentados na Figura 1. Os dados climatológicos foram obtidos pela Estação Agroclimatológica de Pelotas-RS, situada no município de Capão do Leão-RS.

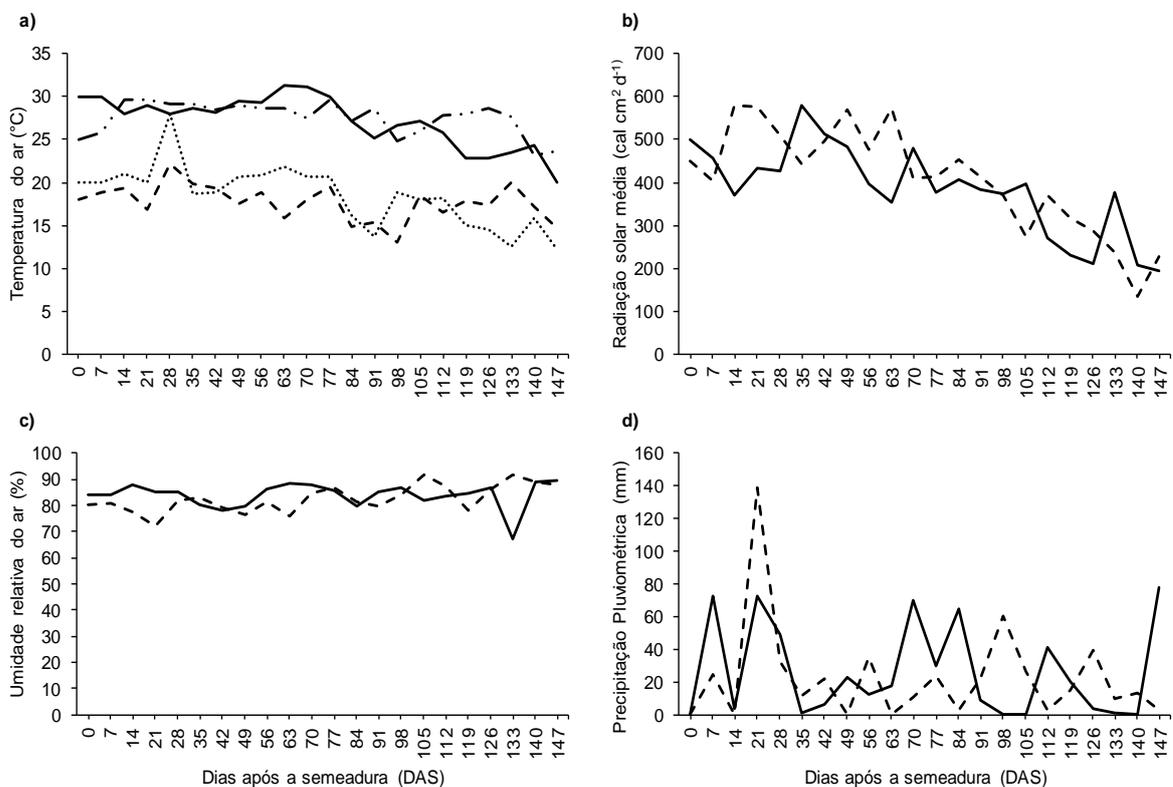


Figura 1 - Temperatura máxima (—) e temperatura mínima do ar (.....) Safra agrícola 2016/2017 e temperatura máxima (-.-.) e temperatura mínima do ar (---) Safra agrícola 2017/2018 (a), radiação solar média Safra agrícola 2016/2017 (—) e Safra agrícola 2017/2018 (---) (b), umidade relativa do ar Safra agrícola 2016/2017 (—) e Safra agrícola 2017/2018 (---) (c) e precipitação pluviométrica Safra agrícola 2016/2017 (—) e Safra agrícola 2017/2018 (---) (d). Fonte: Estação Agroclimatológica de Pelotas-RS (Campus Capão do Leão-RS), 2018.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 3 x 4 (nível de vigor das sementes x falhas na linha de semeadura), com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na combinação de três níveis de vigor (alto,

médio e baixo) e quatro falhas na linha de semeadura a cada metro linear sendo DN (distribuição normal, sem falhas), F1 (1 falha a cada metro linear), F2 (2 falhas a cada metro linear) e F3 (3 falhas a cada metro linear).

As parcelas experimentais foram constituídas de cinco linhas de quatro metros de comprimento, com espaçamento de 0,45 metros na entrelinha, com densidade de semeadura padrão para as duas safras agrícolas, visando atingir estande conforme o nível de vigor, sendo utilizando 14 sementes por metro linear totalizando em média 310.000 sementes por hectares. As três linhas centrais de cada parcela foram consideradas como a área útil, sendo desprezados 0,5 m de cada extremidade, configurando a área útil de 4,05 m².

Para obtenção dos níveis de vigor das sementes de soja, coletou-se diversos lotes de diferentes locais do estado do Rio Grande do Sul e avaliou-se a qualidade dos mesmos no laboratório de sementes pertencente ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Pelotas, visando manter a germinação alta, ou seja, no mínimo 90%, contudo, com vigor distinto (Tabela 1). Para isso, realizou-se o teste de germinação que foi estabelecido a partir de quatro amostras com oito subamostras de 50 sementes para cada lote. As sementes foram dispostas para germinar em rolos de papel de germinação, umedecidas com 2,5 vezes a massa do substrato seco. Os rolos foram mantidos em câmara de germinação do tipo BOD a temperatura de 25°C e a avaliação da porcentagem de plântulas normais foi realizada aos sete dias após semeadura (BRASIL, 2009). Para o vigor, utilizou-se o teste de emergência a campo em solo para o ranqueamento (alto, médio e baixo) a partir de quatro amostras com quatro subamostras de 100 sementes para cada lote e a avaliação da porcentagem de emergência foi realizada aos 21 dias após a semeadura.

Após ter os lotes ranqueados, para a avaliação do rendimento e componentes do rendimento, instalou-se o experimento a campo em duas safras agrícolas, 2016/2017 e 2017/2018. A semeadura manual dos diferentes níveis de vigor, com criteriosa distribuição das sementes, foi realizada em 20/12/16 e 18/12/17, respectivamente. Em ambas as safras agrícolas de cultivo utilizou-se o sistema de semeadura direta.

Tabela 1 - Médias de germinação e emergência a campo dos lotes utilizados no experimento nas duas safras agrícolas, Capão do Leão – RS, 2018

Vigor	Safrá agrícola 2016/2017		Safrá agrícola 2017/2018	
	Germinação (%)	Emergência (%)	Germinação (%)	Emergência (%)
Alto	95a*	98a	92a	97a
Médio	93a	80b	91a	85b
Baixo	90a	65c	89a	73c
CV (%)	6,4	7,2	2,1	5,8

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Em pré-semeadura, cerca de 7 dias antes, foi realizado a lanço a adubação com cloreto de potássio (KCL), utilizando 150 kg ha⁻¹ em área total. No momento da sementeira a adubação em linha foi realizada utilizando 300 kg ha⁻¹ do adubo NPK 03-21-21. As falhas na linha de sementeira foram realizadas depois do estabelecimento da cultura, ou seja, cerca de 10 dias após a emergência sendo que as falhas foram caracterizadas com retirada de 1 (F1), 2 (F2) e 3 (F3) plantas a cada metro linear de cultivo. O controle de pragas e doenças foi realizado de forma preventiva conforme recomendação para a cultura. A colheita foi realizada nos dias 14/05/2017 e 08/05/2018 nas safras agrícolas 2016/2017 e 2017/2018, respectivamente, quando as sementes atingiram aproximadamente 15% de umidade. Após a colheita, foram submetidas a secagem em secador estacionário, sob temperatura do ar de 40°C e umidade relativa do ar entre 40 e 70% (PESKE et al, 2012), até atingirem umidade de 12%.

Avaliou-se a população de plantas com a contagem de 3 metros linear dentro da área útil da parcela e logo após transformou-se para número de plantas por hectare. Para a avaliação dos componentes de rendimento foram amostradas aleatoriamente 10 plantas de cada parcela por tratamento, sendo realizadas as seguintes avaliações: Altura de planta (AP); número de ramificações (NR); número de vagens por planta (NVP); número de sementes por planta (NSP); massa de sementes por planta (MPP); massa de mil sementes (MMS) e rendimento por hectare (REND).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e, se significativos a 5% de probabilidade pelo teste F, submetidos a análise de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

2.3 Resultados e discussão

A análise de variância revelou significância para a interação nível de vigor x falha na linha de semeadura para as variáveis população de plantas (POP), número de vagens por planta (NVP), número de sementes por planta (NSP), massa de sementes por planta (MPP) e massa de mil sementes (MMS) na safra agrícola 2016/2017 e população de plantas (POP) na safra agrícola 2017/2018 (Tabela 2).

Tabela 2 - Resumo da análise de variância com os quadrados médios para população de plantas (POP), altura de planta (AP), número de ramificações (NR), número de vagens por planta (NVP), número de sementes por planta (NSP), massa de sementes por planta (MPP), massa de mil sementes (MMS) e rendimento (REND). Capão do Leão, RS, UFPel, 2018

F.V	GL	QUADRADOS MÉDIOS ⁽¹⁾							
		Safra agrícola 2016/2017							
		POP	AP	NR	NVP	NSP	MPP	MMS	REND
Vigor (V)	2	4x10 ¹⁰ *	159,1*	3,5*	49 ^{ns}	254*	34*	190*	9157962*
Falhas (F)	3	2,7x10 ⁰⁹ *	312,1*	1,6 ^{ns}	113*	185*	13*	226*	763935,2*
V x F	6	1x10 ⁰⁹ *	33,6 ^{ns}	0,9 ^{ns}	64*	71*	4,8*	106*	33707,3 ^{ns}
Bloco	3	4x10 ⁰⁸	76,3	0,1	5,1	57	0,3	1,5	31541
Resíduo	33	2x10 ⁰⁸	17,8	0,7	19	20	1,6	30	21892
Total	47	–	–	–	–	–	–	–	–
Média	–	198980	74,2	5,8	56	104	17	158	3851,4
CV (%)	–	8,2	5,6	14	7,7	4,2	7,3	3,4	3,8
F.V	GL	Safra agrícola 2017/2018							
		POP	AP	NR	NVP	NSP	MPP	MMS	REND
Vigor (V)	2	4x10 ⁰⁹ *	192*	6,5*	16 ^{ns}	1422*	22*	127*	887768*
Falhas (F)	3	4x10 ⁰⁸ *	212,0*	5,4*	68*	25 ^{ns}	3 ^{ns}	287*	1435836*
V x F	6	4x10 ⁰⁷ *	112,5 ^{ns}	1,2 ^{ns}	8,4 ^{ns}	106 ^{ns}	1,7 ^{ns}	33 ^{ns}	20673,2 ^{ns}
Bloco	3	6702804	331	0,1	51	63	4,1	61	14036
Resíduo	33	1x10 ⁰⁷	48,3	0,9	18	76	4,1	22	21095
Total	47	–	–	–	–	–	–	–	–
Média	–	193506	83,6	4,2	47	103	17,9	169	3639,5
CV (%)	–	1,9	8,3	23	8,9	8,4	11,3	2,7	4,0

⁽¹⁾ Quadrado médio: * e ^{ns} – significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente; CV – coeficiente de variação.

Para a fonte de variação vigor (V) não foram observadas diferenças significativas para número de vagens por planta (NVP) nas duas safras agrícolas. Já, para as falhas (F) apenas o número de ramificações (NR) não foi significativo na safra agrícola 2016/2017 e número de sementes por planta (NSP) e massa por planta (MPP) na safra agrícola 2017/2018 (Tabela 2). Cabe salientar que, a maioria

dos coeficientes de variação ficaram abaixo de 10%, sendo considerados baixos para ensaios a campo (PIMENTEL-GOMES, 1985).

A população de plantas reduziu linearmente em função do vigor e das falhas de semeadura, sendo que, na distribuição normal de plantas obtemos os maiores valores de população, aliado ao alto nível de vigor das sementes para as duas safras, 2016/17 e 2017/2018 (Tabela 3). De uma forma geral é possível observar que, nas duas safras agrícolas, no vigor alto a distribuição normal (DN) teve uma maior população em relação aos outros tratamentos, obtendo um melhor estabelecimento de plantas o que conseqüentemente obteve uma maior produtividade (Tabela 3).

De acordo com Fiss et al. (2018), a distribuição desuniforme de sementes durante a semeadura, resulta no aproveitamento ineficiente dos recursos necessários ao desenvolvimento de plantas, como água, luz e nutrientes, o que conseqüentemente ocasiona a redução da produtividade em virtude da competição intraespecífica na população de plantas. Nesse contexto, segundo Maia et al. (2011), a desuniformidade e a redução do estande podem conduzir não só à redução na produtividade de grãos como também acentuar problemas com plantas invasoras. Nesse sentido, Dias et al., 2010 constatou que o maior vigor de sementes refletiu uma maior habilidade competitiva das plantas com as plantas daninhas.

Tabela 3 - Interação entre falhas na linha de semeadura x nível de vigor para a variável população de plantas. Capão do Leão, RS, UFPel, 2018.

Falhas	População (plantas ha ⁻¹)					
	Safr agrícola 2016/2017			Safr agrícola 2017/2018		
	Nível de vigor			Nível de vigor		
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo
DN	301790 aA*	192690 abB	156330 aC	220850 aA	196627 aB	181162 aC
F1	255960 bA	204440 aB	151655 aC	219181 aA	192157 abB	179740 aC
F2	244425 bA	194990 abB	141045 aC	206025 bA	188185 bB	177530 abC
F3	234155 bA	164575 bB	145715 aB	201980 bA	186982 bB	171650 bC
CV (%)	8,2			1,8		

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A altura das plantas foi maior em plantas obtidas por sementes de alto vigor na safra 2016/17 em relação as de médio e baixo vigor, enquanto, na safra 2017/18 as plantas obtidas pelas sementes de alto e médio vigor foram similares, diferindo estatisticamente as de baixo vigor (Tabela 4). Em relação a falhas é possível

observar que no tratamento distribuição normal (DN) para as duas safras agrícolas a altura de plantas foi maior (Tabela 5). Esses resultados pode ser consequência da maior velocidade de emergência das plântulas provenientes de sementes de alto vigor e produção de plantas com maior habilidade competitiva (PANOZZO et al., 2009).

Alguns autores constataram que sementes de menor vigor deram origem a plantas de menor altura, principalmente nos estádios iniciais do desenvolvimento (POPINIGIS, 1985). Em outros trabalhos, entretanto, tal efeito não foi verificado (MARCOS-FILHO, 1979). A altura de plantas é uma característica importante para a produção de soja, uma vez que plantas mais altas são mais competitivas por luz do que plantas daninhas. Portanto, nota-se que a densidade de plantas conseqüentemente a altura e o vigor das sementes são fatores importantes para evitar perdas de produtividade (ROSSI et al., 2017).

Tabela 4 - Rendimento, altura de planta e número de ramificações para duas safras agrícolas em função do nível de vigor de sementes. Capão do Leão, RS, UFPel, 2018.

Vigor	Rendimento kg ha ⁻¹	
	Safra agrícola 2016/2017	Safra agrícola 2017/2018
Alto	4399,5 a*	3844,6 a
Médio	4166,5 b	3691,7 b
Baixo	2988,2 c	3382,2 c
CV(%)	3,8	4,0
Vigor	Altura de planta (cm)	
	Safra agrícola 2016/2017	safra agrícola 2017/2018
Alto	77,8 a	85,6 ab
Médio	71,9 b	85,7 a
Baixo	73,0 b	79,6 b
CV(%)	5,6	8,3
Vigor	Número de ramificações	
	Safra agrícola 2016/2017	safra agrícola 2017/2018
Alto	5,3 b	3,6 b
Médio	6,1 a	4,0 b
Baixo	6,1 a	4,9 a
CV(%)	14	22,9

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Já, o número de ramificações foi maior em plantas obtidas por sementes de baixo vigor, comparativamente as de médio e alto vigor em ambas as safras (Tabela 4). No entanto, para a safra 2017/2018 o número de ramificações variou conforme o

número de falhas sendo esse valor maior para o tratamento 2 e 3 falhas (Tabela 7). Esta resposta é esperada em virtude da menor população de plantas (Tabela 3) obtidas por este tratamento. Em síntese, plantas provenientes de sementes com baixo vigor tendem a produzir um estande reduzido no campo, dada sua menor capacidade de aproveitamento dos recursos do meio para seu desenvolvimento. Dessa forma o maior espaço entre plantas, resultado da menor população em área induz o menor crescimento em altura, porém maior produção de ramificações das plantas, conforme observado. Nesse sentido, Rossi et al. (2017) evidenciaram o efeito do vigor das sementes na emergência de plântulas a campo e altura de plantas, dentre outros caracteres agrônômicos, sendo estes superiores quando as plantas eram oriundas de sementes com alto vigor.

Tabela 5 - Rendimento e altura de planta para duas safras agrícolas em função das falhas na linha de semeadura. Capão do Leão, RS, UFPel, 2018.

Falhas	Rendimento kg ha ⁻¹	
	Safra agrícola 2016/2017	safra agrícola 2017/2018
DN	4147,9 a*	4064,7 a
F1	3929,4 b	3764,6 b
F2	3780,0 b	3438,8 c
F3	3548,3 c	3289,8 c
CV (%)	3,8	4,0

Falhas	Altura de planta (cm)	
	Safra agrícola 2016/2017	safra agrícola 2017/2018
DN	79,8 a	88,5 a
F1	77,4 a	85,7 ab
F2	70,0 b	80,7 b
F3	69,9 b	79,6 b
CV (%)	5,6	8,3

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os resultados obtidos corroboram com os de Basso et al., 2016 onde observaram um aumento no número de ramificações conforme aumentou o tamanho da falha na linha. Isso pode ser atribuído à competição intraespecífica das plantas de soja pelos fatores do ambiente, especialmente luz o que induz as plantas a um maior ou menor número de ramificações. Em maiores densidades de plantas sem a ocorrência das falhas, há uma menor disponibilidade de fotoassimilados para o crescimento vegetativo, fazendo com que as plantas diminuam a emissão de ramos. Por outro lado, as plantas situadas nas bordas das falhas podem expressar melhor

seu potencial, emitindo assim maior número de ramificações (MARTINS et al. 1999). O número de vagens por planta (Tabela 6) demonstrou que a distribuição normal foi maior ou similar que a maioria das falhas de semeadura em todos os níveis de vigor na safra agrícola 2016/2017. Cabe ressaltar que para o nível de vigor alto e médio o número de vagens por planta foi estatisticamente maior em relação ao baixo vigor em todas as distribuições (Tabela 6). De acordo com Kolchinski et al. (2005), a produção de mais vagens por planta nos níveis de vigor maiores pode ser explicada pelo fato de esses indivíduos apresentarem maior área foliar no momento da floração. Para a safra agrícola 2017/2018, o número de vagens por planta foi maior quando se obteve 3 falhas na linha de semeadura, porém, não diferiu estatisticamente para 2 falhas (Tabela 7). O número de vagens por planta é um componente chave da produtividade, que foi considerado por alguns autores como o aspecto central relacionado à produtividade de grãos (DALCHIAVON & CARVALHO, 2012; NICO et al., 2015; NUNES et al., 2016).

O número de vagens por planta é determinado pelo balanço entre a produção de flores por planta e a proporção destas que se desenvolvem até vagens. Para alguns autores, isto está associado a uma maior competição por luz e uma menor disponibilidade de fotoassimilados em plantas mais adensadas, fazendo com que a planta diminua o número de ramificações e produza um número menor de nós (BOARD e SETTINI, 1986). Esses nós são responsáveis pelo desenvolvimento das gemas reprodutivas, e com isso uma redução do número de ramificações reduz o número de nós potenciais e, como consequência o número de vagens por planta nos tratamentos com distribuição normal (MAUAD et al., 2010). Os resultados encontrados corroboram com os de Tourino et al. (2002), Vazquez (2008), onde todos esses autores argumentam que o número de legumes por planta é um dos componentes de produção das plantas que contribui para maior tolerância à variação na população fazendo com que a soja expresse uma certa capacidade compensatória até um determinado ponto provocado pela alteração na distribuição de plantas na linha de semeadura.

Já, o número de sementes por planta para a safra agrícola 2016/2017 apresentou superioridade da DN em relação às falhas de semeadura para sementes de alto vigor, embora, para os demais níveis de vigor não tenham sido encontradas diferenças significativas entre o DN e as falhas. Na comparação entre os níveis de vigor em cada distribuição foi possível observar um maior número de sementes por

planta no nível alto de vigor em relação ao médio e alto tanto na DN, 1, 2 e 3 falhas (Tabela 6).

Tabela 6 - Massa de mil sementes, número de vagens por planta, número de sementes por planta e massa por planta para a safra agrícola 2016/2017 em função do nível de vigor e das falhas na linha de semeadura. Capão do Leão, RS, UFPel, 2018.

Safra agrícola 2016/2017			
Falhas	Massa de mil sementes (g)		
	Nível de vigor		
	Alto	Médio	Baixo
DN	171 aA*	165 aA	152 aB
F1	162 abA	163 abA	154 aA
F2	152 bA	153 bA	153 aA
F3	156 bA	154 bA	157 aA
CV (%) 3,4			
Número de vagens por planta			
Falhas	Nível de vigor		
	Alto	Médio	Baixo
	DN	62 aA	55 abA
F1	59 abA	53 bA	56 aA
F2	51 bAB	55 abA	47 bB
F3	56 abAB	61 aA	51 abB
CV (%) 7,7			
Número de sementes por planta			
Falhas	Nível de vigor		
	Alto	Médio	Baixo
	DN	119 aA	107 aB
F1	110 bA	108 aAB	101 aB
F2	101 bcA	103 aA	100 aA
F3	101 cA	102 aA	98 aA
CV (%) 4,2			
Massa por planta (g)			
Falhas	Nível de vigor		
	Alto	Médio	Baixo
	DN	20,3 aA	19,1 aA
F1	18,8 aA	18,4 abA	15,4 aB
F2	18,7 aA	16,6 bcAB	16,2 aB
F3	16,0 bA	15,7 cA	15,3 aA
CV (%) 7,3			

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Para a safra 2017/2018 efeito significativo apenas para o vigor foi observado, obtendo um maior número de sementes por planta para o vigor alto e médio em

relação ao nível de vigor baixo. A diferença do número de sementes por planta do nível de vigor alto para o baixo foi na casa dos 20% (Tabela 7). O maior número de sementes por planta no nível alto de vigor está diretamente ligado a maior população estabelecida, assim como, maior número de vagens por planta o que acarretou em um maior rendimento final.

A massa de sementes por planta na safra 2016/2017, mostrou que áreas semeadas com sementes de alto vigor produzem mais que as de baixo vigor, entretanto, é importante destacar que mesmo sementes de alto vigor com três falhas na linha de semeadura tem comportamento similar estatisticamente ao nível baixo de vigor (Tabela 6). Para a safra 2017/2018 apenas o vigor influenciou a massa de sementes por planta, obtendo um maior valor para o nível alto de vigor em relação ao baixo, porém, estatisticamente igual ao nível médio de vigor (Tabela 7). Nesse sentido, sementes de baixo vigor não foram influenciadas pelas falhas de semeadura. Estes resultados podem estar relacionados com efeito do vigor das sementes corroborar com a velocidade de emergência e o estabelecimento das plântulas no campo (ROSSI et al., 2017). Para feijão, a rápida germinação e emergência fecham rapidamente a entre linha, diminuindo a chance da ocorrência de plantas daninhas e promovendo a formação homogênea do estande (MAIA et al., 2011). De acordo com França Neto et al. (2010) sementes de qualidade elevada geram plântulas com melhor desenvolvimento, possuindo maior velocidade de emergência, o que propicia um rápido fechamento das entrelinhas, formação de plantas produtivas com um maior número de vagens por plantas, sementes por plantas assim como massa por planta.

A massa de mil sementes demonstrou interação significativa para o vigor e as falhas na linha de semeadura na safra agrícola 2016/2017 (Tabela 6). Apenas na distribuição normal na linha de semeadura foi constatado maior massa de mil sementes, para o nível alto e médio em relação ao nível baixo de vigor. Na comparação das falhas dentro de cada nível de vigor, é possível observar que a maior massa de mil sementes se deu na distribuição normal, porém, não diferiu estatisticamente quando se tem 1 falha, tanto no nível alto quando no nível médio de vigor. Já para o nível baixo não foi verificada diferenças significativas na massa de mil sementes nas diferentes falhas (Tabela 6). Para a safra 2017/2018 efeito significativo isolado para falhas e nível de vigor foi detectado, obtendo uma maior massa de mil sementes no nível alto de vigor em relação ao nível baixo, no entanto,

sem diferenças estatísticas do nível médio de vigor (Tabela 7). Em relação as falhas dessa mesma safra agrícola a maior massa de mil sementes se deu para distribuição normal e 1 falha (Tabela 7).

Tabela 7 - Massa de mil sementes, número de sementes por planta e massa por planta para a safra agrícola 2017/2018 em função do vigor e massa de mil sementes, número de ramificações e número de vagens por planta para safra agrícola 2017/2018 em função das falhas na linha de semeadura. Capão do Leão, RS, UFPel, 2018.

Vigor	Safra agrícola 2017/2018		
	Massa de mil sementes (g)	Número de sementes por planta	Massa por planta (g)
Alto	171,5 a*	111 a	19,2 a
Médio	169,0 ab	106 a	17,7 ab
Baixo	165,9 b	92 b	16,9 b
CV(%)	2,7	8,4	11,3
Falhas	Safra agrícola 2017/2018		
	Massa de mil sementes (g)	Número de ramificações	Número de vagens por planta
DN	173,8 a	3,5 b	45 b
F1	172,1 a	3,7 b	45 b
F2	165,6 b	5,0 a	48 ab
F3	163,7 b	4,5 ab	49 a
CV (%)	2,7	22,9	8,9

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A massa de mil sementes na soja está diretamente relacionada com a área foliar e a capacidade fotossintética dessa área foliar na fase reprodutiva (GLIER et al., 2015). Plantas que são originadas de sementes de alto vigor, possuem um maior crescimento e maior formação de área foliar nos estádios vegetativos, fato esse, que resulta numa maior capacidade de fotossíntese propiciando melhor formação e nutrição das sementes o que conseqüentemente aumenta a massa de mil sementes (TAVARES et al., 2013; GLIER et al., 2015).

A maior massa de sementes por planta foi obtida pelas de alto vigor e menor pelas de baixo. Este resultado corrobora com o maior número de sementes obtidos por planta do alto vigor comparativamente as de baixo (Tabela 7), Strucker et al. (2019), ao estudarem o efeito do vigor das sementes a campo, encontraram um incremento de 20% no rendimento de sementes, com o uso de sementes de alto vigor comparativamente as de baixo, independente da cultivar de soja utilizado.

O rendimento de sementes de soja em função do vigor das sementes nas safras agrícolas 2016/17 e 2017/18 mostrou superioridade com o uso de sementes

de alto vigor comparativamente as de médio e baixo vigor (Tabela 4). Na safra 2016/2017 o rendimento das plantas oriundas de sementes de alto vigor foi 47% maior em relação às plantas oriundas de sementes de baixo vigor. Na safra agrícola 2017/2018 essa superioridade foi cerca de 13% (Tabela 4).

Em relação à distribuição de plantas, o maior rendimento em ambas as safras foi observado na distribuição normal (DN) em relação às falhas. Na safra agrícola 2016/2017 a distribuição normal produziu 5,5%, 9,7% e 16,8% em relação a 1, 2 e 3 falhas, respectivamente. Da mesma forma, na safra agrícola 2017/2018 esses números foram 7,9%, 18,2% e 23,5%, respectivamente (Tabela 5).

Os incrementos de produtividade das sementes de alto vigor comparativamente as de baixo, podem estar relacionados as maiores taxas de crescimento e um sistema radicular mais agressivo, o que favorecem maior resistência as condições ambientais adversas, refletindo no maior número de vagens e de sementes, conseqüentemente, em maiores produtividades (FRANÇA-NETO et al., 2016). Em relação a ocorrência de falhas na semeadura e a produtividade das plantas, Fiss et al. (2018) observaram que com a ocorrência de falhas o aumento da produção das plantas localizadas nas bordas de falhas não é capaz de compensar a perda de produção ocasionada pelo espaço vazio nas linhas. Assim, os autores evidenciam que a distribuição adequada de sementes de soja ao longo da linha de semeadura resulta na maior produtividade da cultura.

Kolchinski et al. (2005) constaram em seu estudo um aumento de rendimento de até 35% na população de soja proveniente de sementes de alto vigor, quando comparada as de baixo vigor. Em seu trabalho, Tavares et al. (2013) verificaram que sementes de alto vigor aumentaram o rendimento em mais de 15%. França-Neto et al. (2018) para a cultura da soja, as sementes de alto vigor garantiram o estabelecimento de plantas de alto desempenho, o que representou elevação na produtividade de até 10%.

Assim, torna-se evidente a importância da utilização de sementes de alta qualidade para a obtenção de uma lavoura bem estabelecida e altamente produtiva, haja vista que sementes de alto vigor, resultam em plantas com melhor desenvolvimento e capacidade de competitividade maior, o que conseqüentemente tende a refletir em plantas mais produtivas. Além disso, mesmo com o uso de sementes de qualidade superior não se despreza a execução de adequadas técnicas de semeadura e manejo, quando o objetivo é uma lavoura com alta

rentabilidade. Nesse sentido, sementes distribuídas uniformemente na linha de semeadura tendem a resultar em um estande com plantas superiores quanto a diversos caracteres agronômicos de desenvolvimento e produtividade, sendo que, o aumento da produção individual das plantas na linha de semeadura com falhas não compensa a perda de produção causada pela falta destas, nesse sentido a distribuição uniforme ao longo da linha de semeadura proporciona maior produtividade na cultura da soja.

2.4 Conclusões

O vigor de sementes e a distribuição na linha de semeadura afetam os componentes do rendimento da cultura da soja. O vigor das sementes é um fator determinante na produtividade da cultura, uma vez que determina o estabelecimento das plântulas no campo.

O baixo vigor resulta em plantas menores com menor número de vagens por planta e sementes por planta. O rendimento da soja quando estabelecido com sementes de alto vigor é maior em relação as estabelecidas com sementes de baixo vigor.

A distribuição normal na linha de semeadura, ou seja, sem falhas resulta em maior rendimento.

3 Capítulo II – Influência do vigor de sementes e da velocidade de semeadura no rendimento e componentes do rendimento da cultura da soja

3.1 Introdução

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a cultura oleaginosa mais cultivada no mundo, além de ocupar o quarto lugar de cultura de grãos mais produzida. A nível mundial, foram cultivados na safra de 2020/21 uma área de 127,7 milhões de hectares, atingindo uma produção total de 363,57 milhões de toneladas de soja (USDA, 2021).

Na safra 2020/21 o Brasil atingiu o patamar de maior produtor de soja, produzindo 135,91 milhões de toneladas, distribuídas em uma área de 38,5 milhões de hectares, alcançando produtividade média de 3,53 toneladas por hectares (CONAB, 2021). Essa elevada competitividade da soja mostra a necessidade de se utilizar técnicas cada vez mais ajustadas e sementes com alta qualidade, para garantir a manutenção do Brasil nesse posto.

Uma das principais etapas do processo produtivo é a semeadura, sendo a velocidade que o conjunto trator+semeadora utiliza um dos parâmetros mais importantes para a obtenção de uma população de plantas adequadas. Velocidades de deslocamento muito elevadas, fazem com que as sementes sejam distribuídas de maneira desuniforme, com áreas de plantas adensadas e outras com deficiência de plantas (REYNALDO et al., 2016). Plantas provenientes de áreas assim tendem a diminuir o rendimento, já que a produção se torna heterogênea entre plantas (MODOLO et al., 2012).

Além disso, a utilização de sementes de alto vigor juntamente com uma adequada velocidade de semeadura pode favorecer a maior produtividade da cultura da soja, uma vez que sementes de baixo vigor e uma alta velocidade de semeadura, resultam em efeitos negativos diretos e indiretos sobre a produtividade, já em contrapartida, a utilização de sementes com elevado vigor com uma velocidade adequada favorece o estabelecimento do estande, possibilita melhor desenvolvimento inicial de plantas e conseqüentemente uma maior produtividade.

Assim sendo, o objetivo do estudo foi avaliar a influência do vigor de sementes e da velocidade de semeadura no rendimento e componentes do rendimento da cultura da soja.

3.2 Material e métodos

O experimento foi conduzido a campo nas safras agrícolas 2017/2018 e 2018/2019, em área de lavoura comercial localizado no município de Caibaté, RS, sob coordenadas geográficas de 28° 17' 16" de latitude sul e 54° 38' 16" de longitude oeste e altitude média de 286 metros.

O solo foi classificado como Latossolo Distrófico Vermelho Típico (EMBRAPA, 2013), com características químicas e físicas de pH (H₂O): 6,0; P: 13,4 mg dm⁻³; K: 106 mg dm⁻³; S: 6,5 mg dm⁻³; Ca: 7,7 cmol_c dm⁻³; Mg: 3,5 cmol_c dm⁻³; Al: 0,0 cmol_c dm⁻³; B: 0,5 mg dm⁻³; Cu: 9,3 mg dm⁻³; Zn: 2,2 mg dm⁻³; Mn: 29 mg dm⁻³; Na: 6 mg dm⁻³ CTC: 15,0 cmol_c dm⁻³; saturação por bases: 77,1%; matéria orgânica: 2,70% e 72% de argila. O clima do local de cultivo segundo o sistema internacional de Köppen é do tipo Cfa, com chuvas bem distribuídas e verão quente. Dados meteorológicos de temperatura média máxima e mínima, radiação solar média, umidade relativa do ar e precipitação acumulada, do período de condução dos experimentos estão apresentados na Figura 1.

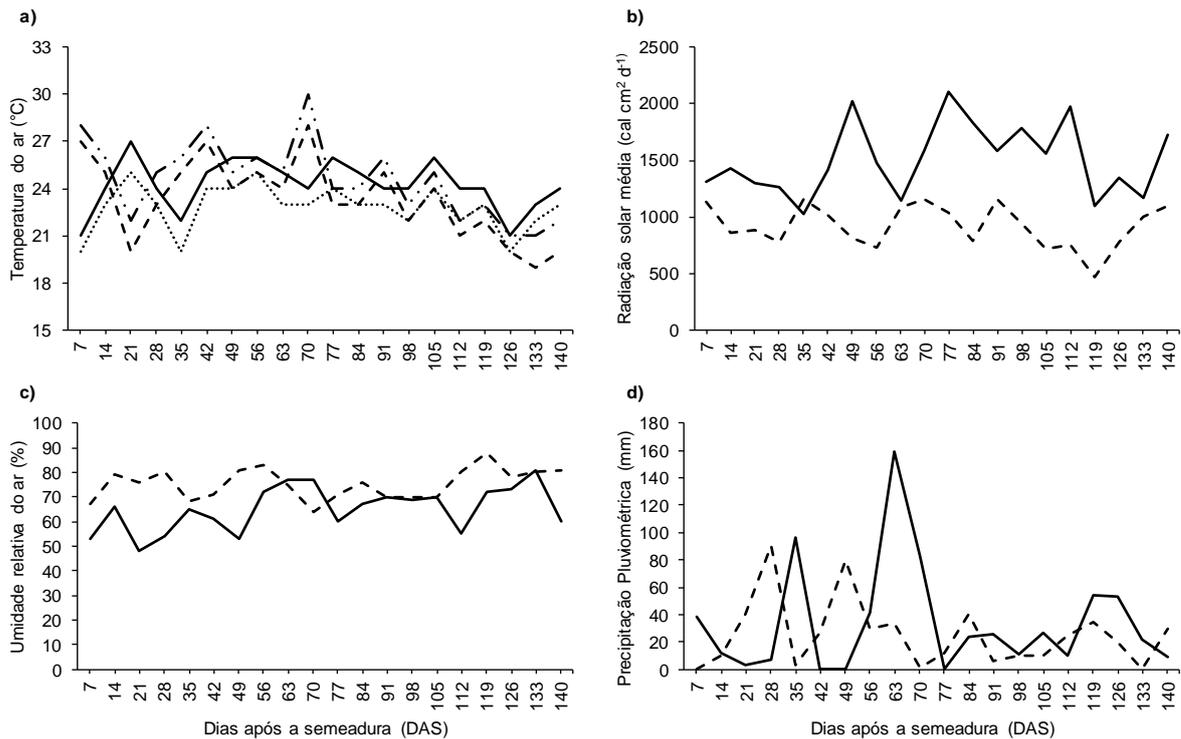


Figura 1 - Temperatura máxima (—) e temperatura mínima do ar (.....) Safra agrícola 2017/2018 e temperatura máxima (-.-) e temperatura mínima do ar (---) Safra agrícola 2018/2019 (a), radiação solar média Safra agrícola 2017/2018 (—) e Safra agrícola 2018/2019 (---) (b), umidade relativa do ar Safra agrícola 2017/2018 (—) e Safra agrícola 2018/2019 (---) (c) e precipitação pluviométrica Safra agrícola 2017/2018 (—) e Safra agrícola 2018/2019 (---) (d). Fonte: Instituto nacional de meteorologia (São Luiz Gonzaga-RS), 2019.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 6 x 2 (velocidade de semeadura x nível de vigor das sementes), com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na combinação de seis velocidades de semeadura (3,0, 3,7, 5,4, 6,8, 8,0 e 10,1 km h⁻¹) e dois níveis de vigor (alto e baixo).

As parcelas experimentais foram constituídas de oito linhas de quinze metros de comprimento, com espaçamento de 0,45 metros na entrelinha, com densidade de semeadura padrão para as duas safras agrícolas, visando atingir estande conforme o nível de vigor, sendo utilizado 10 sementes por metro linear, totalizando em média 222.000 sementes por hectare. As três linhas centrais de cada parcela com três metros de comprimento foram consideradas como a área útil da parcela, totalizando 4,05 m².

Para obtenção dos níveis de vigor das sementes de soja, coletou-se diversos lotes de diferentes locais do estado do Rio Grande do Sul e avaliou-se a qualidade dos mesmos no laboratório de análise de sementes do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Pelotas, visando manter os lotes com germinação de no mínimo 90%, contudo, com vigor distinto

(Tabela 1). Para isso, realizou-se o teste de germinação que foi estabelecido a partir de quatro amostras com oito subamostras de 50 sementes, para cada lote. As sementes foram dispostas para germinar em rolos de papel de germinação, umedecidas com 2,5 vezes a massa do substrato seco. Os rolos foram mantidos em câmara de germinação do tipo BOD a temperatura de 25°C e a avaliação da porcentagem de plântulas normais foi realizada aos sete dias após sementeira (BRASIL, 2009).

Na determinação do vigor das sementes de soja, utilizou-se o teste de emergência a campo em canteiros contendo solo para o ranqueamento a partir de quatro amostras com quatro subamostras de 100 sementes para cada lote e a avaliação da porcentagem de emergência foi realizada aos 21 dias após a sementeira.

Tabela 1 – Médias de germinação e emergência a campo dos lotes utilizados no experimento nas duas safras agrícolas, Capão do Leão – RS, 2018

Vigor	Safrá agrícola 2017/2018		Safrá agrícola 2018/2019	
	Germinação (%)	Emergência (%)	Germinação (%)	Emergência (%)
Alto	96	95	97	96
Baixo	82	73	90	69

Após ter os lotes ranqueados, para a avaliação do rendimento e componentes do rendimento instalou-se o experimento a campo em duas safras agrícolas, 2017/2018 e 2018/2019. A sementeira dos diferentes níveis de vigor, com diferentes velocidades de deslocamento na sementeira, utilizando uma sementeira mecânica modelo MF 509, foi realizada em 16/11/17 e 20/11/18, respectivamente. Em ambas as safras agrícolas foi utilizado o sistema de sementeira direta. Em pré-sementeira, cerca de 7 dias antes, foi realizado a lança a adubaçãõ com cloreto de potássio (KCL), utilizando 150 kg ha⁻¹ em área total. No momento da sementeira foi realizado adubaçãõ em linha utilizando 300 kg ha⁻¹ do adubo NPK (03-21-21).

O controle de pragas e doenças foi realizado de forma preventiva conforme recomendações para a cultura. A colheita foi realizada nos dias 05/04/2018 e 12/04/2019 nas safras agrícolas 2017/2018 e 2018/2019, respectivamente, quando as sementes atingiram aproximadamente 15% de umidade. Após a colheita, as sementes foram submetidas a secagem em secador estacionário, sob temperatura do ar de 40°C e umidade relativa do ar entre 40 e 70% (PESKE et al, 2012), até atingirem umidade de 12%.

Avaliou-se a população de plantas com a contagem de 3 metros linear dentro da área útil da parcela e logo após transformou-se para número de plantas por hectare. Para a avaliação dos componentes de rendimento foram amostradas aleatoriamente 10 plantas de cada parcela por tratamento, sendo realizadas as seguintes avaliações: Altura de plantas aos 30 DAS (Ap30); População de plantas (Pop); Altura de plantas final (Ap); número de ramificações (Nr); número de sementes por planta (Nsp); massa de sementes por planta (Mpp); número de vagens total (Nvt); e rendimento por hectare (REND).

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e, quando significativos pelo teste F a 5% de probabilidade, foram submetidos a análise de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.3 Resultados e discussão

De acordo com os dados da análise de variância (Tabela 2), observou-se que na primeira safra (2017/2018), houve interação entre os fatores velocidade de semeadura e vigor das sementes apenas para a variável população de plantas. Em se tratando do fator isolado velocidade de semeadura, constatou-se efeito significativo para as variáveis população de plantas (Pop), número de sementes/planta (Nsp), massa de sementes/planta (Mpp), número de vagens/planta (Nvp) e rendimento (Rend). Já considerando apenas o fator vigor de sementes, houve efeito significativo para todas as variáveis analisadas (Tabela 2).

Em decorrência da velocidade de semeadura, algumas falhas podem ocorrer no estande de plantas, depositando um número menor do que aquele estabelecido inicialmente ou mesmo em função dos danos mecânicos, que podem comprometer a integridade física da semente (HENNING et al., 2010; CANTARELI et al., 2015). O comprometimento do tegumento ou mesmo do eixo embrionário acarretará plântulas anormais e, por vezes, têm o seu desenvolvimento comprometido pela limitação de reservas provenientes dos cotilédones (REYNALDO et al., 2016). No que diz respeito a falhas e ao arranjo populacional Correia et al. (2020), obtiveram resultados semelhantes quando avaliaram o efeito da velocidade de semeadura de até 8,2 km h⁻¹.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância de duas safras agrícolas com os quadrados médios para população de plantas (Pop), altura de plantas aos 30 DAS (Ap30), altura de plantas final (Apf), número de ramificações (Nrp), número de sementes por planta (Nsp), massa de sementes por planta (Mpp), número de vagens por planta (Nvp) e rendimento (Rend) de soja em função da velocidade de semeadura (km h^{-1}) e vigor de sementes (baixo e alto). Capão do Leão, RS, UFPel, 2019.

FV	GL	Safr 2017/2018							
		Pop	Ap30	Apf	Nr	Nsp	Mpp	Nvp	Rend
Velocidade (V)	5	1x10 ^{9*}	0,44 ^{ns}	7,6 ^{ns}	2,2 ^{ns}	675*	26,0*	289*	1427130*
Vigor (v)	1	7x10 ^{9*}	16,4*	884*	10,0*	1180*	28,7*	252*	2097190*
V x v	5	1x10 ^{8*}	0,3 ^{ns}	1,9 ^{ns}	0,7 ^{ns}	49,6 ^{ns}	0,3 ^{ns}	14,9 ^{ns}	6021 ^{ns}
Bloco	3	3x10 ⁷	0,1	2,5	0,3	5,6	0,6	25,5	2383
Resíduo	33	3x10 ⁷	0,4	6,6	0,9	40,9	0,4	12,5	17372
Total	47	–	–	–	–	–	–	–	–
Média	–	186847	10,8	100	3,3	105,3	20,9	54,1	3941,8
CV (%)	–	3,1	6,0	2,5	29	6,0	3,1	6,5	3,3
FV	GL	Safr 2018/2019							
		Pop	Ap30	Apf	Nr	Nsp	Mpp	Nvp	Rend
Velocidade (V)	5	3x10 ^{8*}	0,4 ^{ns}	165*	2,2*	382*	13,1*	55,8*	955289*
Vigor (v)	1	3x10 ^{9*}	48*	1621*	4,6*	2655*	0,2 ^{ns}	481,3*	847997*
V x v	5	7x10 ^{7ns}	0,7 ^{ns}	23,8*	1,1 ^{ns}	135*	0,4 ^{ns}	30,8*	40533 ^{ns}
Bloco	3	9x10 ⁷	0,8	4,2	1,5	12,6	0,04	0,8	14766
Resíduo	33	2x10 ⁷	0,6	9,5	0,7	20,9	1,13	6,5	32565
Total	47	–	–	–	–	–	–	–	–
Média	–	184060	9,9	94	1,4	66,5	13,5	36,2	2515
CV (%)	–	2,9	8,0	3,2	57	6,8	7,8	7,0	7,1

(1) Quadrado médio: * e ^{ns} – significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. FV – fonte de variação; GL – graus de liberdade; CV – coeficiente de variação.

Para a safra 2018/2019, verificou-se interação significativa para as variáveis Apf, Nsp e Nrp. Considerando os efeitos isolados, observou-se para o fator velocidade de semeadura, apenas a variável altura de plantas aos 30 DAS não resultou em efeito significativo. Para o fator vigor de sementes, não houve efeito significativo somente para a variável massa de sementes por planta (Tabela 2). Estas características estão menos associadas ao vigor da semente e mais ao efeito da estrutura da planta, de modo que o número de ramificações é um efeito de plasticidade da cultura.

Na safra 2017/2018, ocorreu uma redução na população de plantas a partir da velocidade de 6,8 km h^{-1} , mesmo com a utilização de sementes de alto vigor (Tabela 3). Este fato pode estar intrinsecamente relacionado com falhas na linha de semeadura ocasionadas pela velocidade excessiva, que, por consequência, contribuiu significativamente na redução da população de plantas (BRANDELERO et al., 2015), mesmo que tenha sido utilizado sementes de alto vigor.

Assim, a desuniformidade de distribuição das plantas na linha com o aumento da velocidade de semeadura pode ocorrer devido maior impacto das sementes no interior do tubo condutor e menor velocidade de queda, especialmente para sistemas não pneumáticos (BOTTEGA et al., 2017), sendo que, em algumas situações, populações de plantas indesejadas podem estar relacionadas apenas com o manejo da semeadura.

Ainda na Tabela 3, constatou-se que a população de plantas foi reduzindo a medida em que se aumentou a velocidade de semeadura quando utilizou-se sementes de baixo vigor. Sementes com baixo nível de vigor tendem a ter uma velocidade de germinação reduzida, além de formar plântulas anormais, as quais não conseguem sobreviver, resultando em diminuição da população mesmo em velocidades adequadas (VANZOLIN; CARVALHO, 2002; SCHEEREN et al., 2010).

Destaca-se que o aumento da velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora durante a semeadura prejudica consideravelmente o desempenho das sementes de vigor inferior, já que estas já tendem a proporcionar estandes desuniformes, com aumento de locais com plantas adensadas (espaçamentos duplos) e espaços vazios, o que torna a população de plantas ainda menor (MODOLO et al., 2012; REYNALDO et al., 2016).

Considerando o estudo isolado do fator velocidade (Tabela 4), observou-se que o aumento da velocidade de semeadura proporcionou menor Nsp, Mp, Nvp e o rendimento das plantas de soja na safra 2017/2018, independente do vigor inicial das sementes.

De modo geral, a velocidade começou a afetar esses parâmetros a partir de 6,8 km h⁻¹, com as piores médias ocorrendo na maior velocidade, 10,1 km h⁻¹. Apesar da maior velocidade de semeadura aumentar a capacidade operacional (CASTELA JÚNIOR et al., 2014), Bortoli et al. (2021) verificaram que velocidades próximas a 4 km h⁻¹ são preferíveis para a semeadura da soja, já que proporciona distribuição mais uniforme das plantas no campo, corroborando com os dados obtidos neste trabalho.

O mesmo comportamento foi observado na safra 2018/2019, já que a partir da velocidade de semeadura de 6,8 km h⁻¹, o rendimento das plantas de soja passou a reduzir a medida em que se aumentou a velocidade de semeadura. Este mesmo comportamento também foi observado para as variáveis Pop e Mpp (Tabela 4).

Tabela 3 - Interação velocidade x vigor para população de plantas na safra agrícola 2017/2018. Capão do Leão, RS, UFPel, 2019.

Velocidade	População de plantas (plantas ha ⁻¹)	
	Nível de vigor	
	Alto	Baixo
3,0	209638 Aa*	188055 Ba
3,7	215555 Aa	182927 Bab
5,4	210277 Aa	173485 Bbc
6,8	189833 Ab	171916 Bbc
8,0	186283 Ab	165499 Bc
10,1	184469 Ab	164223 Bc
CV (%)	3,1	

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

Em maiores velocidades ocorre diminuição da deposição de sementes no solo, além do aumento de espaçamentos falhos e duplos, o que pode gerar competição intraespecífica entre as plantas de soja e interespecífica com as plantas daninhas que podem surgir nos locais com espaços falhos, afetando o rendimento individual das plantas (REYNALDO et al., 2016).

Já com relação a variável ao Nr na safra 2018/2019, constatou-se que os resultados não se apresentaram consistentes (Tabela 4). Ressalta-se que em períodos de desenvolvimento e crescimento vegetativo das plantas de soja, houve baixos índices pluviométricos, resultando na alteração da arquitetura das plantas de soja (CRUZ et al., 2016).

Tanto para a safra 2017/2018, bem como para a safra 2018/2019 (Tabela 5), observou-se que as plantas de soja oriundas de sementes de alto vigor, apresentaram média superior àquelas plantas originadas de sementes de baixo vigor, com exceção da variável Nvp, na qual as plantas oriundas de sementes de baixo vigor, apresentaram maior número de ramificações. Este fato pode estar relacionado com a menor população de plantas que essas sementes deram origem. Com menor competição, as plantas de soja aumentam o número de galhos para ocupar os espaços vazios da lavoura. Entretanto, esse maior número de ramos não se reflete no aumento de vagens por planta, já que nem todos esses são galhos reprodutivos (CARVEZAN et al., 2018).

Tabela 4 - Número de sementes por planta, população de plantas, massa por planta, número de ramificações, número de vagens por planta e rendimento para duas safras agrícolas em função da velocidade de semeadura. Capão do Leão, RS, UFPel, 2019.

Velocidade	Safra agrícola 2017/2018	Safra agrícola 2018/2019
	Número de sementes por planta	População de plantas (plantas ha ⁻¹)
3,0	117,6 a*	192569 a
3,7	111,7 a	186791 ab
5,4	109,8 ab	188806 ab
6,8	100,8 bc	183694 bc
8,0	98,5 c	178322 cd
10,1	93,3 c	174181 d
CV (%)	6,0	2,9
Velocidade	Massa por planta (g)	Número de ramificações
3,0	22,7 a	1,5 ab
3,7	22,7 a	2,0 a
5,4	21,8 a	1,6 ab
6,8	20,5 b	2,0 a
8,0	19,7 b	0,6 b
10,1	18,1 c	1,1 ab
CV (%)	3,1	57,0
Velocidade	Número de vagens por planta	Massa de sementes por planta (g)
3,0	59,7 a	12,1 c
3,7	59,7 a	15,6 a
5,4	58,2 ab	14,4 ab
6,8	53 bc	13,0 bc
8,0	47,8 cd	13,3 bc
10,1	46,3 d	12,9 bc
CV (%)	6,5	7,8
Velocidade	Rendimento (kg ha ⁻¹)	Rendimento (kg ha ⁻¹)
3,0	4355,4 a	2581,3 b
3,7	4383,0 a	3149,6 a
5,4	4024,9 b	2487,6 b
6,8	3932,9 b	2386,3 bc
8,0	3686,6 c	2352,9 bc
10,1	3267,9 d	2132,5 c
CV (%)	3,3	7,1

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

Estes resultados corroboram com os observados por Dias et al. (2009), no qual obtiveram efeitos negativos na cultura a medida em que aumentaram a velocidade de semeadura. Conforme os autores, o aumento da produtividade da soja é influenciado pelo arranjo de plantas, decorrente do aumento da radiação solar no dossel. Quando esse arranjo é desuniforme, apenas o atributo vigor da semente

não terá como compensar 100% da arquitetura da planta e nos incrementos de produtividade.

Ao comparar lotes de sementes de alto e baixo vigor, Schuch et al. (2009) obtiveram os melhores resultados nas variáveis altura das plantas, diâmetro de caule e rendimento de grãos (25% superior) naqueles lotes de alto vigor. O número de sementes por planta é influenciado por efeitos genéticos, fisiológicos e pelas condições da planta ao longo do período de formação do legume.

As demais variáveis com significância estatística para o vigor apresentaram maiores médias no nível de vigor alto (Tabela 5). Esse comportamento ocorre devido as plantas originadas a partir de sementes com vigor superior proporcionam uniformidade na germinação, permitindo que todas as plantas consigam competir por recursos de maneira igualitária (CANTARELLI et al., 2015). Dessa forma, são formadas plantas com altura homogênea, com maior área foliar, principalmente no florescimento, permitindo que ocorra maior número de vagens e assim garantindo rendimento mais elevado (KOLCHISKI et al., 2005; EBONE et al., 2020).

Na safra agrícola de 2018/2019 o maior número de sementes por planta foi obtido ao se utilizar sementes de alto vigor combinado com a velocidade de 3,7 km h⁻¹, sendo que esta variável está ligada ao número total de vagens, que também teve melhor desempenho com esta mesma combinação (Tabela 6). Esses resultados são contrários aos obtidos na literatura, que indicam que esses componentes da produtividade não são alterados com o aumento de velocidade, porém, as condições climáticas ótimas interferem significativamente neste tipo de característica (JASPER et al., 2011; CASTELA JÚNIOR et al., 2014; NAVES et al., 2020).

Tabela 5 - População de plantas, altura de plantas 30DAS, rendimento, número de sementes por planta, número de vagens por planta, massa por planta, número de ramificações e altura de plantas final para as safras agrícolas 2017/2018 e 2018/2019 em função do nível de vigor inicial das sementes de soja. Capão do Leão, RS, UFPel, 2019.

Vigor	Safra agrícola 2017/2018		Safra agrícola 2018/2019	
	População de plantas			
Alto	186847 ^{ns}		192352 a*	
Baixo	186847 ^{ns}		175769 b	
CV(%)	3,1		2,9	
Vigor	Altura de plantas 30DAS (cm)			
Alto	11,3 a		11,3 a	
Baixo	10,1 b		10,1 b	
CV(%)	6,0		8,0	
Vigor	Altura de plantas (cm)			
Alto	104,4 a		94 ^{ns}	
Baixo	95,8 b		94 ^{ns}	
CV(%)	2,5		3,2	
Vigor	Número de ramificações			
Alto	2,9 b		1,1 b	
Baixo	3,8 a		1,7 a	
CV(%)	29,0		57,0	
Vigor	Número de sementes por planta			
Alto	110,2 a		66,5 ^{ns}	
Baixo	100,3 b		66,5 ^{ns}	
CV(%)	6,0		6,8	
Vigor	Massa por planta (g)			
Alto	21,7 a		13,5 ^{ns}	
Baixo	20,1 b		13,5 ^{ns}	
CV(%)	3,1		7,8	
Vigor	Número de vagens total			
Alto	56,4 a		36,2 ^{ns}	
Baixo	51,8 b		36,2 ^{ns}	
CV(%)	6,5		7,0	
Vigor	Rendimento (kg ha ⁻¹)			
Alto	4150,8 a		2648,0 a	
Baixo	3732,8 b		2382,1 b	
CV(%)	3,3		7,1	

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. ^{ns} – não significativo

Com relação à altura de plantas (Tabela 6), constatou-se uma redução na medida em que se aumentou a velocidade de semeadura, bem como com a utilização de sementes com baixo nível de vigor. As velocidades de 3,7; 5,4 e 8 km

h^{-1} foram as que proporcionaram maior altura de plantas, mesmo estas não diferindo estatisticamente da velocidade de 6,8 e 8,0 $km\ h^{-1}$.

Tabela 6 - Interação velocidade x vigor para número de sementes por planta, número de vagens por planta e altura de plantas na safra agrícola 2018/2019. Capão do Leão, RS, UFPel, 2019.

Velocidade	Número de sementes por planta		Número de vagens total		Altura de plantas (cm)	
	Nível de vigor		Nível de vigor		Nível de vigor	
	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Alto	Baixo
3,0	66,2 Ab*	60 Aa	36,2 Ac	33,5 Aa	96,5 Abc	81 Bc
3,7	92 Aa	64,5 Ba	47 Aa	34,2 Ba	104 Aa	91 Bab
5,4	82,7 Aa	61 Ba	42,5 Aab	33,7 Ba	103,5 Aa	93,2 Ba
6,8	69 Ab	56,7 Ba	38,2 Abc	31,7 Ba	99,5 Aab	90,2 Bab
8,0	68,5 Ab	54,7 Ba	37,5 Abc	32,7 Ba	104,5 Aa	89,5 Bab
10,1	65,5 Ab	57,7 Ba	34,7 Ac	32,2 Aa	91,5 Ac	84,7 Bbc
CV(%)	6,8		7,0		3,2	

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

Diante destes resultados, ressalta-se que o baixo vigor das sementes, reflete na diminuição da velocidade de crescimento das plantas, o que prejudica a altura destas, já que parte das reservas das sementes é utilizada na recuperação das organelas e tecidos danificados, característica essa de sementes de baixo vigor (VANZOLINI; CARVALHO, 2002). Além disso, a redução na população de plantas, causado por falhas na semeadura, resultará em maior incidência da radiação solar e evaporação da água retida no solo (EBONI et al., 2020), bem como na competição de plantas daninhas.

Determinados tipos de estresse abiótico durante as fases de antese e de fecundação resultam na redução do número de sementes, o que pode ser atribuído à deficiência no suprimento de sacarose. Se o suprimento de fotoassimilados for insuficiente, podem ocorrer a formação de sementes pequenas ou “xoxas” em decorrência do menor conteúdo de matéria seca transferido à semente e, em muitos casos, o abortamento de flores e sementes (JALEEL et al., 2009). A causa dessas ocorrências é a limitação do suprimento de carboidratos devido à redução da taxa fotossintética ainda no estágio vegetativo, por exemplo. Nos estádios finais da formação da semente, a formação de sementes menores, leves, enrugadas e deformadas, afetarão a qualidade fisiológica e os componentes de rendimento como massa de mil sementes e produtividade (CANTARELI et al., 2015; CAVERZAN et al., 2018).

Além da altura de plantas aos 30 DAS, rendimento e número de ramificações, que também foram significativos para efeito do vigor na safra de 2017/2018, este também foi significativo para a população de plantas.h⁻¹ na safra 2018/2019. O maior vigor permitiu que fosse estabelecido uma maior população de plantas. As sementes com maior vigor permitem que o crescimento inicial seja uniforme, com melhor estabelecimento das plantas, com desenvolvimento de estruturas produtivas melhores, além de permitir que o solo seja coberto rapidamente, diminuindo assim a competição das plantas de soja com plantas daninhas (HENNING et al., 2010; CARVEZAN et al., 2018;

Ao avaliar diferentes níveis de vigor e população de plantas de 220.000 plantas ha⁻¹, Ebone et al. (2020) verificaram que ao utilizar sementes de baixo vigor, as plântulas apresentaram atraso na emergência. Os autores explicam que em decorrência da menor área foliar e menor acúmulo de fotoassimilados ao longo do ciclo houve um menor número de vagens e queda na produtividade.

O ajuste na velocidade do conjunto trator-semeadora-adubadora é indispensável para se obter ganhos de produtividade, sendo a definição deste fator operacional de grande relevância à adequada implantação da cultura da soja (SANTOS et al., 2017). Aliado a isso, como observado por outros autores, o mecanismo sulcador da semeadora e a velocidade de trabalho pode influenciar, além do desempenho operacional da plantadeira, na forma como a semente é depositada e na profundidade de semeadura, interferindo na porcentagem de germinação e na população de plantas, visto que em profundidades de enterro superiores a 6 cm o processo germinativo é dificultado (MATOS et al., 2021).

De maneira geral, é notório que o aumento da velocidade de semeadura pode reduzir o número de espaçamentos aceitáveis, aumentando o número de espaçamentos duplos ou múltiplos sendo fundamental definir uma velocidade de semeadura que atenda às recomendações do fabricante da semeadora, visando evitar má distribuição de sementes e alteração no estande de plantas refletindo em menor rendimento da cultura. Além disso, sementes de alto vigor resultam em plantas com melhor capacidade de competir com as adversidades do meio, resultando em maior rendimento frente aquelas plantas originadas de sementes de baixo vigor.

3.4 Conclusões

A população de plantas reduz com o aumento da velocidade de semeadura, e esse decréscimo se dá de forma mais acentuada com a utilização de sementes de baixo vigor. A altura de plantas, tanto aos 30 DAS quanto a altura no final do ciclo é menor quando as plantas são formadas a partir de sementes de baixo vigor.

A utilização da velocidade média de 3,7 a 5,4 km h⁻¹, combinado com a utilização de sementes de soja de alto vigor, é mais adequado para realizar a semeadura de sementes de soja e obter maior rendimento.

4 Capítulo III – Desempenho de plantas de soja provenientes de sementes com diferentes níveis de vigor submetidas a diferentes níveis de adubação

4.1 Introdução

A soja [*Glycine max* (L) Merrill] pertence à família Fabaceae (NOGUEIRA et al., 2009) e é considerada uma das espécies agrícolas de maior importância global. A cultura é empregada como insumo para fabricação de diversos produtos, como óleo, farelo, farinha, proteína texturizada e demais derivados alimentícios com alto valor nutricional para humanos e animais (SEDIYAMA; TEIXEIRA; REIS, 2005). Ademais, a soja é reconhecida como a principal oleaginosa do mundo, com teor de proteínas de aproximadamente 40%, o que é considerado elevado frente aos demais grãos oleaginosos como girassol, canola e amendoim. Por isso, a cultura é considerada a principal fonte de proteínas para alimentação animal, além do seu óleo ser o segundo mais consumido mundialmente (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014; CARVALHO, 2019).

Dados de produção da cultura demonstram a importância da mesma. Nesse contexto, na safra 2019/20 foram plantados em todo o mundo 122,647 milhões de hectares, o que gerou um total de 337,298 milhões de toneladas produzidas (USDA, 2020). Já no Brasil, a área plantada ano 2019/20 correspondeu a 36,950 milhões de hectares, o que totalizou 124,845 milhões de toneladas produzidas (CONAB, 2020) o que evidencia a importância da espécie para o país, assim como para as demais regiões do mundo.

Em virtude da relevância da soja para a economia e da demanda crescente por insumos advindos da cultura, são constantemente despendidos inúmeros esforços para aumento da produção, visando principalmente o aumento de rendimento por área. Nesse sentido, a utilização de sementes com alto vigor torna-se fundamental para que haja a máxima expressão do potencial produtivo da espécie e cultivar empregada, o que influencia diretamente na germinação,

emergência, crescimento de plântulas no campo e até no rendimento de grãos (ROSSI, CAVARIANI, FRANÇA-NETO, 2017).

As relações entre os níveis de vigor das sementes e a produtividade das plantas vem sendo alvo de diversas pesquisas. Rodrigues et al. (2018) em seu estudo verificou que o alto vigor das sementes de soja contribuiu para o estabelecimento de plantas e as características agronômicas, gerando acréscimos superiores a 30% na produtividade da cultura. Tavares et al. (2013) e Schuch et al. (2009), analisando diferentes combinações de vigor de sementes em populações de soja, observaram que a população formada por sementes de alto vigor apresentou rendimento de grãos 15 e 25% superior quando comparada a população formada por sementes de menor vigor, respectivamente.

Além do vigor das sementes, o manejo de nutrientes para as plantas é um dos principais fatores considerados limitantes para produção (SEDIYAMA, 2016). Os nutrientes influenciam no desenvolvimento das plantas e alteram a composição química das sementes formadas (VEIGA et al., 2010), sendo assim, de grande relevância para a produção não só em quantidade como em qualidade.

Nesse contexto, a soja é uma espécie bastante exigente em nutrientes e eficiente na absorção e translocação de determinados elementos, principalmente nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e enxofre (S) (EMBRAPA, 2008). De maneira geral, os aumentos na produtividade também implicam na maior necessidade de nutricional pelos vegetais (DEUNER et al., 2015), entretanto, quando se emprega sementes de baixa qualidade, o suprimento nutricional não é aproveitado pelas plantas, tornando economicamente inviável.

Logo, estudos que relacionem o vigor das sementes com o manejo nutricional empregado são de suma importância, especialmente para uma cultura de tamanha importância como a soja, além de necessários já que estes são relativamente escassos, pois normalmente são realizadas pesquisas que se limitam a avaliar a concentração de nutrientes independente do vigor das sementes.

Por isso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de plantas de soja oriundas de sementes com níveis de vigor distintos e submetidas a diferentes doses de adubação.

4.2 Material e métodos

O experimento foi conduzido a campo na safra agrícola 2017/18 em dois locais do Rio Grande do Sul, um em área de lavoura comercial localizado no município de Caibaté-RS, sob coordenadas geográficas de 28° 17' 16" de latitude sul e 54° 38' 16" de longitude oeste e altitude média de 286 metros. Outro, na área experimental da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas – RS, sob coordenadas 31° 48' 10" de latitude sul e 52° 25' 9" de longitude oeste, e altitude de 67 metros.

Na área de Caibaté-RS, o solo é classificado como Latossolo Distrófico Vermelho Típico (EMBRAPA, 2013), com características químicas e físicas de pH (H₂O): 6,3; P: 8,7 mg dm⁻³; K: 48 mg dm⁻³; S: 12,9 mg dm⁻³; Ca: 7,3 cmol_c dm⁻³; Mg: 3,8 cmol_c dm⁻³; Al: 0,0 cmol_c dm⁻³; B: 0,0 mg dm⁻³; Cu: 3,1 mg dm⁻³; Zn: 1,2 mg dm⁻³; Mn: 29 mg dm⁻³; Na: 6 mg dm⁻³ CTC: 11,2 cmol_c dm⁻³; saturação por bases: 84%; matéria orgânica: 2,49% e 60% de argila.

Na área de Pelotas-RS, o solo é classificado como Planossolo Háplico Eutrófico Solódico, pertencente à unidade de mapeamento Pelotas (STRECK et al., 2008), com características físicas e químicas, na camada de 0-20 cm de: pH (H₂O): 5,3; P: 55,0 mg dm⁻³; K: 88 mg dm⁻³; S: 19,8 mg dm⁻³; Ca: 3,2 cmol_c dm⁻³; Mg: 0,9 cmol_c dm⁻³; Al: 0,8 cmol_c dm⁻³; B: 0,0 mg dm⁻³; Cu: 1,4 mg dm⁻³; Zn: 1,8 mg dm⁻³; Mn: 14,2 mg dm⁻³; Na: 50 mg dm⁻³ CTC: 5,3 cmol_c dm⁻³; saturação por bases: 60%; Matéria orgânica: 2,07%; argila: 19%. O clima dos dois locais de cultivo segundo o sistema internacional de Köppen é do tipo Cfa, com chuvas bem distribuídas e verão quente. Dados meteorológicos de temperatura média máxima e mínima, radiação solar média e precipitação acumulada, do período de condução dos experimentos estão apresentados na Figura 1.

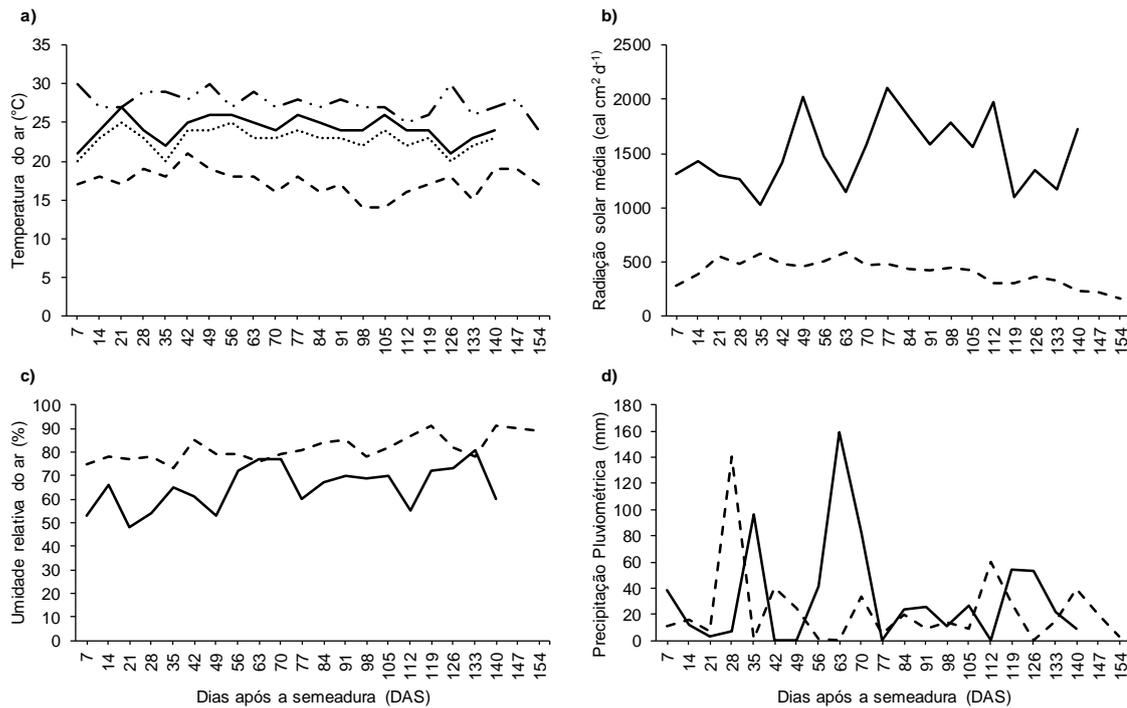


Figura 1 - Temperatura máxima (—) e temperatura mínima do ar (.....) Caibaté-RS e temperatura máxima (-.-.-) e temperatura mínima do ar (---) Pelotas-RS (a), radiação solar média Caibaté-RS (—) e Pelotas-RS (---) (b), umidade relativa do ar Caibaté-RS (—) e Pelotas-RS (---) (c) e precipitação pluviométrica Caibaté-RS (—) e Pelotas-RS (---) (d). Fonte: Instituto nacional de meteorologia (São Luiz Gonzaga-RS) e Estação Agroclimatológica de Pelotas-RS (Campus Capão do Leão-RS), 2018.

Para Caibaté-RS, os dados climatológicos foram obtidos através da Estação do Instituto nacional de meteorologia que está situada em São Luiz Gonzaga-RS. Para Pelotas-RS, os dados climatológicos foram obtidos pela Estação Agroclimatológica de Pelotas-RS situada no município de Capão do Leão-RS.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 3 x 4 (nível de vigor das sementes x doses de NPK na sementeira), com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na combinação de três níveis de vigor (alto, médio e baixo) e quatro doses de NPK na sementeira (0, 150, 300 e 450 kg ha⁻¹).

As parcelas experimentais foram constituídas de cinco linhas de quatro metros de comprimento, com espaçamento de 0,45 metros na entrelinha, com densidade de sementeira padrão para os dois locais, visando atingir estande conforme o nível de vigor, sendo utilizando 12 sementes por metro linear totalizando 266.666 sementes por hectares. As três linhas centrais de cada parcela foram consideradas como a área útil, sendo desprezados 0,5 m de cada extremidade, configurando a área útil de 4,05 m².

Para obtenção dos níveis de vigor das sementes de soja, coletou-se diversos lotes de diferentes locais do estado do Rio Grande do Sul e avaliou-se a qualidade dos mesmos no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Pelotas, visando manter a germinação estatisticamente igual, contudo, com vigor distinto (Tabela 1). Para isso, realizou-se o teste de germinação que foi estabelecido a partir de quatro amostras com oito subamostras de 50 sementes para cada lote. As sementes foram dispostas para germinar em rolos de papel de germinação, umedecidas com 2,5 vezes a massa do substrato seco. Os rolos foram mantidos em câmara de germinação do tipo BOD a temperatura de 25°C e a avaliação da porcentagem de plântulas normais foi realizada aos sete dias após sementeira (BRASIL, 2009). Para o vigor, utilizou-se o teste de emergência a campo em solo para o ranqueamento a partir de quatro amostras com quatro subamostras de 100 sementes para cada lote e a avaliação da porcentagem de emergência foi realizada aos 21 dias após a sementeira.

Tabela 1 – Médias de germinação e emergência a campo dos lotes utilizados no experimento, Capão do Leão – RS, 2018.

Vigor	Germinação (%)	Emergência a campo (%)
Alto	92 a*	97a
Médio	91 a	85b
Baixo	89 a	73c
CV (%)	2,1	5,8

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Após ter os lotes ranqueados, para a avaliação do rendimento e componentes do rendimento instalou-se o experimento a campo. A sementeira manual dos diferentes níveis de vigor, com criteriosa distribuição das sementes, foi realizada em 21/11/17 e 07/12/17 em Caibaté-RS e Pelotas-RS, respectivamente. Em ambos os locais de cultivo utilizou-se o sistema de sementeira direta. Em pré-sementeira, cerca de 7 dias antes, foi realizado a lança a adubação com cloreto de potássio (KCl), utilizando 100 kg ha⁻¹ em área total. Os níveis de adubação (0, 150, 300 e 450 kg ha⁻¹) do adubo NPK (3-21-21) foi estabelecido na sementeira. O controle de pragas e doenças foi realizado de forma preventiva conforme recomendação para a cultura. A colheita foi realizada nos dias 06/04/2018 e 30/04/2018 em Caibaté-RS e Pelotas-RS, respectivamente, quando as sementes atingiram aproximadamente 15%

de umidade. Após a colheita, foram submetidas a secagem em secador estacionário, sob temperatura do ar de 40°C e umidade relativa do ar entre 40 e 70% (PESKE et al., 2012), até atingirem umidade de 12%. Para a avaliação dos componentes de rendimento foram amostradas aleatoriamente 10 plantas de cada parcela por tratamento, sendo realizadas as seguintes avaliações: Altura de planta (AP); altura da inserção do primeiro legume (AIPL); número de ramificações (NR); número de vagens por planta (NVP); número de sementes por planta (NSP); massa de sementes por planta (MPP); rendimento por hectare (REND); massa de mil sementes (MMS).

Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e, quando significativa a interação níveis de vigor x doses de NPK foram desmembrados para os efeitos simples o fator de variação qualitativa (níveis de vigor). Da mesma forma, o fator quantitativo (doses de NPK) foi submetido à regressão linear, onde o maior grau significativo do polinômio foi testado pelo teste t a 5% de probabilidade, e este procedimento foi realizado para cada nível do fator de variação qualitativa. As variáveis que não apresentaram interação foram submetidos ao desmembramento dos efeitos principais pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, e o fator quantitativo foi submetido a uma regressão linear geral.

4.3 Resultados e discussão

A partir da análise dos dados (Tabela 2), para o município de Caibaté-RS foi constatada interação significativa entre os fatores vigor e doses para as variáveis altura da inserção do primeiro legume (AIPL), número de vagens por planta (NVP), número de sementes por planta (NSP), massa de sementes por planta (MPP) e massa de mil sementes (MMS). Contudo, não houve interação entre os fatores analisados para as variáveis altura de planta (AP), número de ramificações (NR) e rendimento (REND).

Avaliando os dados referente ao município de Pelotas-RS, pode-se observar que houve interação ente os níveis de vigor e doses de NPK para as variáveis altura de planta (AP), número de sementes por planta (NSP) e rendimento (REND) (Tabela 2). No entanto, para as variáveis altura da inserção do primeiro legume (AIPL), número de ramificações (NR), número de vagens por planta (NVP), massa de

sementes por planta (MPP) e massa de mil sementes (MMS) não houve interação entre os fatores estudados.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância com os quadrados médios para altura de planta (AP), altura da inserção do primeiro legume (AIPL), número de ramificações (NR), número de vagens por planta (NVP), número de sementes por planta (NSP), massa de sementes por planta (MPP), rendimento (REND) e massa de mil sementes (MMS). Capão do Leão, RS, UFPel, 2018.

F.V	GL	QUADRADOS MÉDIOS ⁽¹⁾							
		CAIBATÉ-RS							
		AP	AIPL	NR	NVP	NSP	MPP	REND	MMS
Vigor (V)	2	20,6 ^{ns}	72,0*	20,2*	613*	1764,3*	74,9*	1,009*	451,8*
Doses (D)	3	35,5 ^{ns}	37,0*	2,47 ^{ns}	445,3*	2057,5*	69,4*	3045599*	249,3*
V x D	6	14,6 ^{ns}	42,4*	5,4 ^{ns}	148,7*	480,7*	1,89*	45804,9 ^{ns}	15,20*
Bloco	3	39,50	15,1	2,80	87	175,9	0,5	23534	8,94
Resíduo	33	44,70	11,6	4,20	29,4	129,7	0,4	21193	5,23
Total	47	–	–	–	–	–	–	–	–
Média	–	96,3	24,8	5,2	57,6	119,8	19,1	4094,5	172
CV (%)	–	6,9	13,7	39	9,4	9,5	3,6	3,55	1,32
F.V	GL	PELOTAS-RS							
		AP	AIPL	NR	NVP	NSP	MPP	REND	MMS
		Vigor (V)	2	270,3 ^{ns}	144,0 ^{ns}	0,8 ^{ns}	1,1 ^{ns}	411,9*	6,0*
Doses (D)	3	306,4 ^{ns}	24,8 ^{ns}	0,5 ^{ns}	157,5*	911,8*	57,2*	3487392*	379,4 *
V x D	6	341,3*	108,2 ^{ns}	3,8 ^{ns}	9,9 ^{ns}	60,9*	1,17 ^{ns}	126546,7*	9,93 ^{ns}
Bloco	3	229,5	23,7	0,9	2,7	28,9	0,09	12967	2,52
Resíduo	33	108,0	45,7	2,20	4,6	21,5	0,70	44839	5,96
Total	47	–	–	–	–	–	–	–	–
Média	–	102,4	35,1	2,7	29	71,1	13	3183,2	175
CV (%)	–	10,1	19,2	55,2	7,38	6,5	6,60	6,65	1,4

⁽¹⁾ Quadrado médio: * e ^{ns} – significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente; CV – coeficiente de variação.

As avaliações para a altura da inserção do primeiro de legume, obtidos para o município de Caibaté-RS, permitiram constatar que as doses de NPK utilizadas não impactaram em diferenças para esta variável. Contudo, as plantas que receberam a dose de 450 kg ha⁻¹ apresentaram menor altura da inserção do primeiro de legume (Figura 2a). O fornecimento de nutrientes em níveis que possam suprir a deficiência do solo e a demanda das plantas desde o estabelecimento do estande, resulta no desenvolvimento de plantas com alto potencial produtivo (DEUNER et al., 2015; TALIMAN et al., 2019).

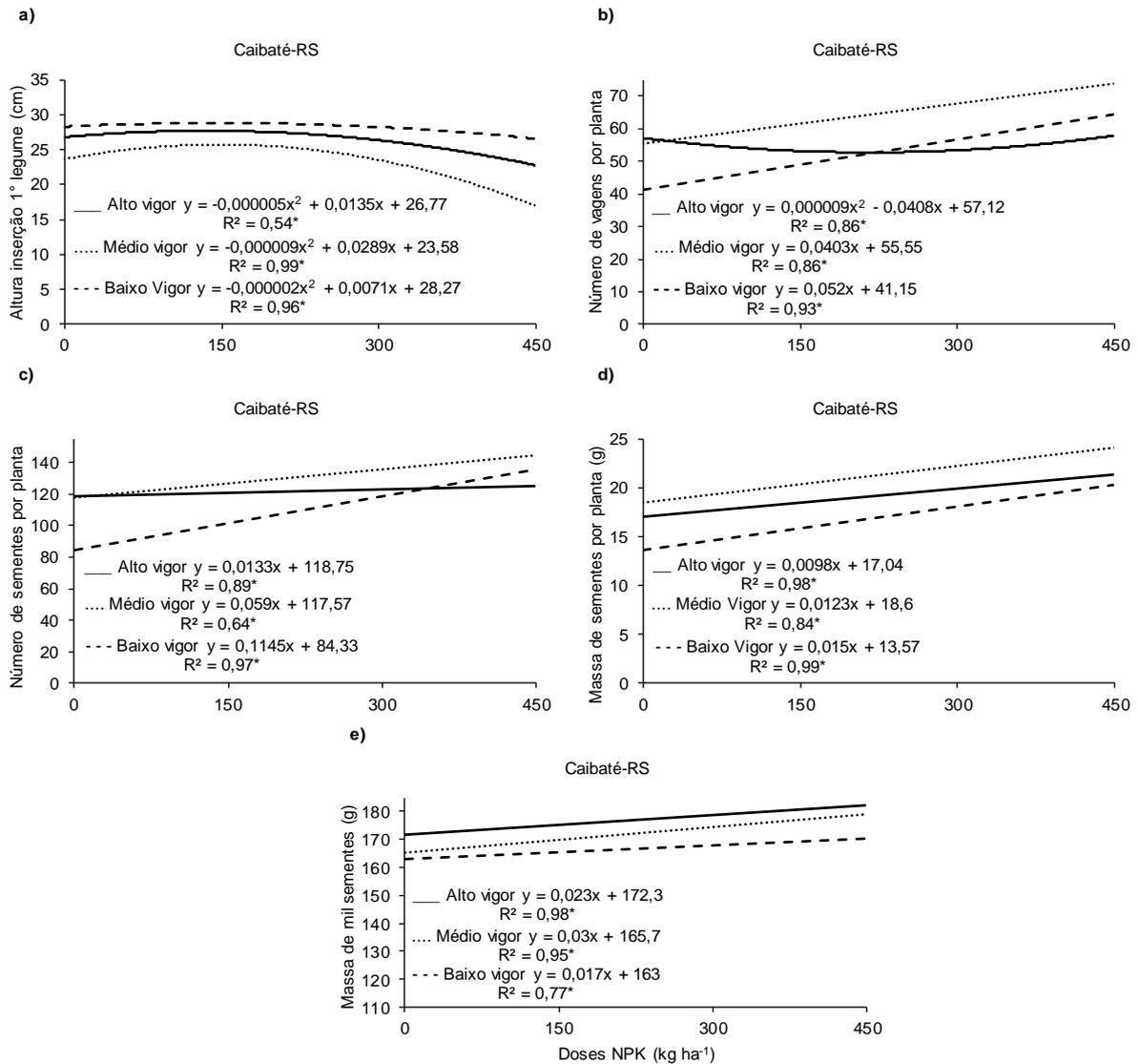


Figura 2 - Interação para dose de NPK x vigor em Caibaté-RS para altura da inserção do primeiro legume (a), número de vagens por planta (b), número de sementes por planta (c), massa de sementes por planta (d) e massa de mil sementes (e). Capão do Leão, RS, UFPel, 2018. Nível significância de *5% e ^{ns} Não significativo

Para o número de vagens por planta, aquelas oriundas de sementes de baixo e médio vigor apresentaram valores crescentes conforme a dose de NPK utilizada, sendo os menores valores obtidos na dose zero e os maiores na dose de 450 kg ha⁻¹ (Figura 2b). Ao avaliar esse efeito no tratamento testemunha (quando não houve aplicação de adubo), as plantas advindas de sementes de alto vigor, apresentaram valores superiores para o número de vagens por planta. Portanto, para esta variável, sementes de alto vigor são menos responsivas ao fator adubação quando comparado a níveis inferiores de vigor.

Dentre os nutrientes essenciais, o fósforo é de suma importância e desempenha diversas funções nas plantas, participando de processos metabólicos,

da transferência de energia, da fase inicial dos órgãos reprodutivos, do desenvolvimento radicular e da formação de frutos e sementes (MALAVOLTA, 2006). Assim, a deficiência do nutriente nas plantas pode implicar na menor produção de flores e vagens, maior taxa de aborto destes órgãos, que resulta no menor rendimento dos vegetais e em sementes com menor massa (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2011).

Ao utilizar sementes de baixo e médio vigor, a variável número de sementes por planta, apresentou valores crescentes de acordo com a dose de adubo empregada, resultando em valores superiores quando utilizada a dose de 450 kg ha⁻¹. Já aquelas plantas oriundas de sementes de alto vigor não apresentaram diferença pronunciada no número de sementes por planta de acordo com as doses de NPK utilizadas (Figura 2c).

Uma das características que auxiliam na formação da produtividade em soja é o número de sementes, de modo que, se houver determinado estresse abiótico no período inicial do estágio reprodutivo, o abortamento de flores e de sementes resultará no menor número de sementes por planta, ainda que o número de vagens seja elevado (KOLCHINSKI et al., 2005; DEUNER et al., 2015). Por vezes, a falta de nutrientes inviabiliza o grão de pólen ou mesmo os processos iniciais de enchimento de grão, quando a planta demanda de um maior aporte nutricional e da translocação de fotoassimilados da parte aérea.

Analisando a massa de sementes por planta (Figura 2d) e a massa de mil sementes observa-se que para as duas variáveis respostas as plantas provenientes de sementes de alto, médio e baixo vigor apresentou valores crescentes de acordo com a dose de NPK empregada, sendo os menores valores obtidos na dose zero e os maiores na dose de 450 kg ha⁻¹ (Figura 2e).

Um fator limitante se atribui aos níveis de fertilidade estudados aqui, de modo que a falta é prejudicial e o excesso pode limitar determinadas características produtivas, conforme se observa na lei dos incrementos não proporcionais, proposto por Mitscherlich (1909). A planta é responsiva até uma certa quantidade de nutrientes e isso favorece o acúmulo de massa seca quando a planta inicia a fase de enchimento de grãos.

Na Tabela 3, observa-se o desdobramento dos efeitos simples da interação entre doses de NPK e níveis de vigor em Caibaté-RS para algumas variáveis respostas. Quanto à altura da inserção do primeiro legume, houve diferença para o

fator níveis de vigor das sementes. Nesse sentido, quando aplicado 150 kg ha^{-1} de adubo, as plantas provenientes de sementes de alto vigor apresentaram valores superiores, em relação as de médio vigor. As plantas oriundas de sementes de baixo vigor não diferiram das demais. Quando empregada a dose de 450 kg ha^{-1} de NPK, as plantas provenientes de sementes de médio vigor apresentaram valores inferiores para a altura da inserção do primeiro legume quando comparada àquelas oriundas de sementes de alto e baixo vigor (Tabela 3).

A altura da vagem em relação ao solo influencia consideravelmente nos processos relacionados à colheita mecanizada, sendo preferível valores acima de 13 cm (LIMA et al., 2009). Conforme os dados apresentados neste trabalho (Tabela 3), o menor valor foi de 17 cm, o que favorece os aspectos de colheita.

Em relação ao número de vagens por planta, quando não houve a aplicação de adubo durante a semeadura as plantas provenientes de sementes de baixo vigor apresentaram valores significativamente inferiores quando comparado aos obtidos pelas plantas de sementes de alto e médio vigor. Já quando aplicadas as demais doses, as plantas oriundas de sementes de médio vigor apresentaram valores superiores quando comparada àquelas de alto e baixo vigor, exceto para a dose 150 kg ha^{-1} em que as plantas de sementes de médio vigor diferiram apenas daquelas de alto vigor (Tabela 3).

Quando analisado o número de sementes por planta, pode-se observar que quando empregadas as doses zero e 150 kg ha^{-1} de NPK as plantas de sementes de baixo vigor apresentaram valores significativamente inferiores quando comparada àquelas de alto e médio vigor. Já quando utilizada a dose de 300 kg ha^{-1} as plantas provenientes de sementes com diferentes níveis de vigor não diferiram entre si.

Em contrapartida, quando aplicada a dose de 450 kg ha^{-1} de adubo, as plantas de sementes de médio vigor apresentaram valores superiores para o número de sementes por planta quando comparada àquelas de alto vigor, nesse caso, as plantas provenientes de sementes de baixo vigor não apresentaram diferença para a variável resposta quando compara as demais (Tabela 3).

Tabela 3 - Desdobramento dos efeitos simples da interação entre doses de NPK e níveis de vigor em Caibaté-RS para as variáveis altura da inserção do primeiro legume, número de vagens por planta, número de sementes por planta, massa de sementes por planta e massa de mil sementes. Capão do Leão, RS, UFPel, 2018.

Caibaté-RS			
Altura da inserção do primeiro legume (cm)			
Doses NPK (kg ha ⁻¹)	Alto vigor	Médio vigor	Baixo vigor
0	26 A*	23,5 A	28,2 A
150	30 A	26 B	29 AB
300	24 A	23,2 A	28 A
450	23,5 A	17 B	26,5 A
CV(%)	13,7		
Número de vagens por planta			
Doses NPK (kg ha ⁻¹)	Alto vigor	Médio vigor	Baixo vigor
0	57,5 A	54,5 A	41,2 B
150	52 B	65 A	47 B
300	54,5 B	64 A	60,5 AB
450	57,5 B	75 A	62,7 B
CV(%)	9,4		
Número de sementes por planta			
Doses NPK (kg ha ⁻¹)	Alto vigor	Médio vigor	Baixo vigor
0	119,5 A	117,5 A	87,5 B
150	120 A	132,7 A	98 B
300	122 A	123,2 A	116,2 A
450	125,5 B	150,5 A	138,7 AB
CV(%)	9,5		
Massa de sementes por planta (g)			
Doses NPK (kg ha ⁻¹)	Alto vigor	Médio vigor	Baixo vigor
0	17,1 B	19,0 A	13,6 C
150	18,4 B	20,3 A	15,8 C
300	19,6 A	20,8 A	17,9 B
450	21,6 B	25 A	20,4 C
CV(%)	3,6		
Massa de mil sementes (g)			
Doses NPK (kg ha ⁻¹)	Alto vigor	Médio vigor	Baixo vigor
0	172 A	164 B	164 B
150	175 A	172 A	165 B
300	179 A	175 B	166 C
450	182 A	178 B	172 C
CV(%)	1,32		

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Com o início da fase reprodutiva e da formação das vagens, a planta apresentará uma demanda considerável de nutrientes, acumulados na parte aérea da planta ou disponível no solo. Quando esse suprimento é escasso ou insuficiente,

a planta poderá priorizar aspectos qualitativos em detrimento dos quantitativos (RODRIGUES et al., 2018). Ou seja, o abortamento de algumas sementes favorecerá a formação de outras, com atributos físicos, genéticos, fisiológicos e sanitário superior.

Para a massa de sementes por planta, pode-se observar que para todas as doses de NPK aplicadas as plantas oriundas de sementes de médio vigor apresentaram valores significativamente superior quando comparadas as de baixo vigor, as quais apresentaram os menores valores (Tabela 3).

Já para a massa de mil sementes, pode-se constatar que no tratamento testemunha, sem aplicação de adubo, as plantas de sementes de alto vigor apresentaram valores superiores para a variável analisada quando comparada àquelas de médio e baixo vigor. Já quando aplicada a dose de 150 kg de NPK ha⁻¹ pode-se observar que os valores superiores para a massa de mil sementes foram obtidos pelas de sementes de alto e médio vigor, quando comparadas as de baixo vigor, que apresentam os menores resultados. Quando aplicadas as doses de 300 e 450 kg ha⁻¹ de adubo, as plantas de sementes de alto vigor apresentaram valores significativamente superior, seguidas por àquelas de médio e baixo vigor, respectivamente (Tabela 3).

Analisando a altura de plantas, número de sementes por planta e rendimento das plantas de soja provenientes de sementes com diferentes níveis de vigor em relação a aplicação de doses de NPK em Pelotas (Figura 3), observa-se que para a altura de plantas, as plantas provenientes de sementes de médio e alto vigor apresentaram respostas significativas quanto a aplicação de diferentes doses de adubo. Nesse sentido, as plantas oriundas de sementes de médio vigor apresentaram maior valor para altura de plantas quando aplicado 300 kg ha⁻¹ de NPK, ao passo que as de alto vigor apresentaram valores superiores quando empregada a dose de 150 kg ha⁻¹ do adubo. Já as plantas provenientes de sementes de baixo vigor apresentaram resposta pouco significativa da adubação para a altura de plantas (Figura 3a).

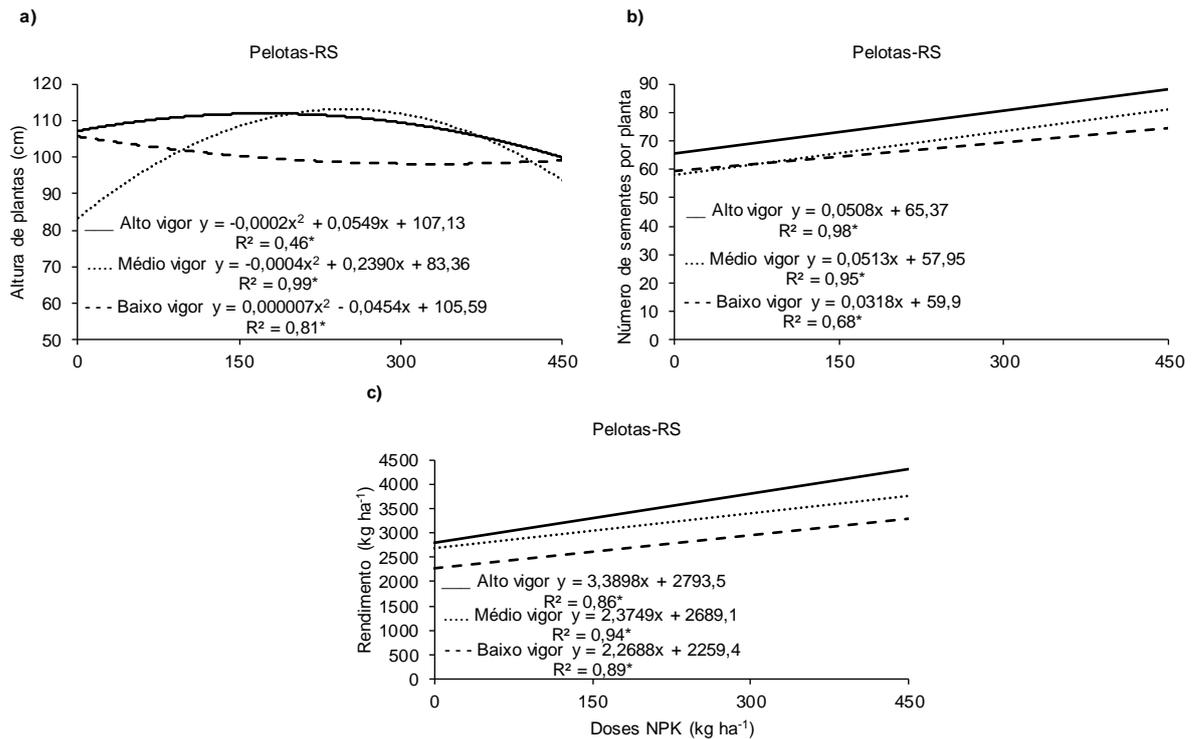


Figura 3 - Interação para dose de NPK x vigor em Pelotas-RS para altura de plantas (a), número de sementes por planta (b) e rendimento (c). Capão do Leão, RS, UFPel, 2018. Nível significância de *5% e ^{ns} Não significativo

Quanto ao número de sementes por planta e o rendimento, pode-se observar que as variáveis respostas apresentaram para as plantas provenientes dos três níveis de vigor, valores crescentes de acordo com a dose de NPK aplicadas, sendo os menores valores apresentados na dose zero e os maiores da dose de 450 kg ha⁻¹ (Figura 3b e 3c). Novamente, o efeito é mais pronunciado em função da adubação. Esse fato pode ser explicado pelo maior acúmulo da precipitação (Figura 1d), ao longo dos meses da condução do ensaio, o que contribuiu para o pegamento de maior número de legumes, e conseqüentemente maior número de sementes por planta.

Na Tabela 4, pode-se observar o desdobramento dos efeitos simples entre doses de NPK e níveis de vigor em Pelotas-RS. Com relação à altura de plantas, pode-se constatar que quando aplicada a dose zero de NPK, as plantas oriundas de sementes de médio vigor apresentaram os menores valores, frente aquelas de baixo e alto vigor. Ao empregar 150 kg ha⁻¹ de adubo as plantas provenientes de sementes de baixo vigor apresentaram altura significativamente menor quando comparadas às aquelas de alto vigor. Com relação às doses de 300 e 450 kg ha⁻¹ de NPK, as

plantas provenientes de sementes com diferentes níveis de vigor não diferiram significativamente entre si quanto à altura de plantas.

Tabela 4 - Descobramento dos efeitos simples da interação entre doses de NPK e níveis de vigor em Pelotas-RS para as variáveis altura de plantas, número de sementes por planta e rendimento. Capão do Leão, RS, UFPel, 2018.

Pelotas-RS			
Altura de plantas (cm)			
Doses NPK (kg ha ⁻¹)	Alto vigor	Médio vigor	Baixo vigor
0	105 A*	83,7 B	106,2 A
150	118,2 A	107,2 AB	98,5 B
300	103 A	113 A	100 A
450	102 A	93,2 A	98,5 A
CV(%)	10,1		
Número de sementes por planta			
Doses NPK (kg ha ⁻¹)	Alto vigor	Médio vigor	Baixo vigor
0	66 A	56 B	63 AB
150	72,5 A	68 A	58,2 B
300	79,7 A	74,5 AB	71,5 B
450	89 A	79,5 B	75 B
CV(%)	6,5		
Rendimento (kg ha ⁻¹)			
Doses NPK (kg ha ⁻¹)	Alto vigor	Médio vigor	Baixo vigor
0	3011,6 A	2670,8 A	2299,6 B
150	3089,7 A	3145,4 A	2648,2 B
300	3580,5 A	3256,6 A	2722,3 B
450	4542,9 A	3821,2 B	3409,3 C
CV(%)	6,6		

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A altura das plantas é influenciada, principalmente pelas características genéticas, mas limitada pela disponibilidade de recursos no ambiente de cultivo (DEUNER et al., 2015). Ademais, plantas mais altas permitem uma maior luminosidade incidindo nas folhas e, conseqüentemente, um maior aproveitamento fotossintético (ROSSI; CAVARIANI; FRANÇA-NETO, 2017), incrementando a formação e o desenvolvimento de sementes e grãos. Scheeren (2002), observou que plântulas provenientes de sementes com alto vigor, produziram plantas com maior tamanho inicial, o que refletiu em um aumento de 9% no rendimento de grãos frente aquelas de menor vigor.

Quando analisado o número de sementes por planta (Tabela 4), pode-se observar que no tratamento testemunha, em que não houve aplicação de NPK as

plantas oriundas de sementes de alto vigor apresentaram valores significativamente superior quando comparadas as de médio vigor. Quando empregada a dose de 150 kg ha⁻¹ de adubo, as plantas de sementes de alto e médio vigor apresentaram valores superiores para o número de sementes por planta quando comparada àquelas de baixo vigor. Semelhantemente quando utilizadas as doses de 300 e 450 kg ha⁻¹ de adubo, as plantas de sementes de alto vigor também apresentaram valores superiores para a variável resposta analisada.

O número de sementes possui relação direta com a floração e a ocorrência de estresses abióticos (a exemplo da deficiência nutricional). O incremento de massa seca na semente depende, dentre outros fatores, da disponibilidade de nutrientes, água e área foliar bem desenvolvida (MAUAD et al., 2010; OLIVEIRA JÚNIOR; PROCHNOW; KLEPKER, 2011). Portanto, a adubação de base auxilia nesse processo e dará condições para que a planta complete seu ciclo de desenvolvimento e a formação do maior número de sementes viáveis.

Tendo em vista que tanto o nitrogênio como o fósforo e potássio são fundamentais para o desenvolvimento e produtividade das plantas, atuando em diversos processos metabólicos essenciais (MALAVOLTA, 2006; BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2020), as menores doses de adubo empregadas no estudo podem justificar os menores valores obtidos para variáveis de crescimento como número de vagens por plantas, número de sementes por plantas, massa de sementes por planta e rendimento. Por outro lado, as maiores doses do adubo resultaram no maior desempenho das plantas de soja quanto as variáveis respostas analisadas.

Quanto ao rendimento (Tabela 4), pode-se constatar que as plantas provenientes de sementes de baixo vigor apresentaram valores significativamente inferiores quando comparadas àquelas de médio e alto vigor, independentemente da dose de NPK utilizada. Práticas de manejo como a disponibilidade adequada de nutrientes para as plantas são fundamentais para o bom desenvolvimento dos vegetais e produtividade (OLIVEIRA JÚNIOR; PROCHNOW e KLEPKER, 2011; WERNER et al., 2020).

O sucesso de uma lavoura produtiva depende tanto da utilização de sementes com alta qualidade como de um ambiente de cultivo propício, com nutrientes disponíveis em quantidades adequadas. Kolchinski (2005) constataram acréscimos superiores a 35% no rendimento de sementes ao utilizarem sementes de alto vigor

em comparação com aquelas de baixo vigor. Silva (2010) constatou um aumento de 30% na produtividade de soja quando utilizadas sementes de alto vigor.

Quando analisado o número de vagens por planta, a massa de sementes por plantas, a massa de mil sementes em Pelotas-RS e o rendimento em Caibaté-RS em função das doses de NPK (Figura 4), observa-se que as plantas apresentam uma resposta crescente em relação a adubação. Nesse sentido, para todas as variáveis os menores valores foram apresentados no tratamento testemunha, ou seja, quando não houve a aplicação de NPK, enquanto os valores mais elevados foram obtidos quando utilizada a maior dose do adubo. Entretanto, para estas variáveis não houve interação entre os níveis de vigor das sementes e a aplicação de adubação.

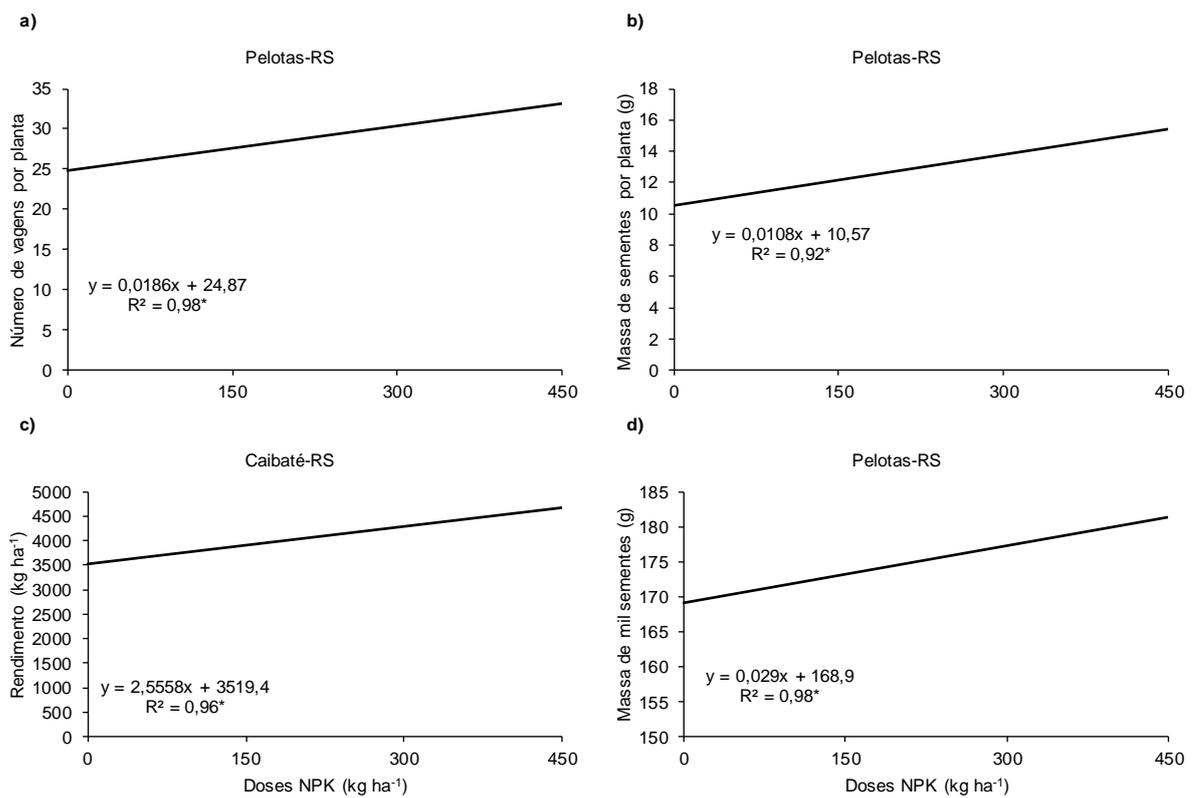


Figura 4 - Número de vagens por planta (a) massa de sementes por plantas (b), massa de mil sementes (d) em Pelotas-RS e rendimento (c) em Caibaté-RS em função das doses de NPK. Capão do Leão, RS, UFPel, 2018. Nível significância de *5% e ^{ns} Não significativo.

O ambiente de cultivo, mais especificamente, o solo, possui níveis de fertilidade que, muitas vezes, não é suficiente para atender as necessidades nutricionais da planta. Nestes casos, a adubação entra como ferramenta essencial

para o desenvolvimento em área foliar, massa seca e formação de grãos, dentre outros processos. Com relação a fisiologia da planta, Taliman et al. (2019) relatam que a atividade da Rubisco é maior quando realizado adubações de base usando fósforo. A ausência desse e de outros nutrientes pode comprometer o rendimento da cultura.

Na Tabela 5, observa-se o número de ramificações e rendimento em Caibaté-RS, bem como a massa de sementes por planta e a massa de mil sementes em Pelotas-RS, em função dos diferentes níveis de vigor. Assim, para a o número de ramificações pode-se notar que plantas provenientes de sementes de médio vigor apresentaram valores superiores quando comparadas as de alto vigor. Já para o rendimento as plantas oriundas de sementes de alto vigor apresentaram desempenho superior, em relação as de médio e baixo vigor. O rendimento quando se utilizou sementes de alto vigor foi superior 48% comparado com a utilização de sementes de baixo vigor.

Tabela 5 - Número de ramificações e rendimento para Caibaté-RS, massa de sementes por planta e massa de mil sementes para Pelotas-RS em função do vigor. Capão do Leão, RS, UFPel, 2018.

Caibaté-RS		
Vigor	Número de ramificações	Rendimento (kg ha ⁻¹)
Alto vigor	4,18 b*	4774 a
Médio vigor	6,43 a	4288 b
Baixo vigor	5,25 ab	3221 c
CV (%)	38,7	3,5
Pelotas-RS		
Vigor	Massa de sementes por planta (g)	Massa de mil sementes (g)
Alto vigor	13,7 a*	179 a
Médio vigor	12,8 b	175 b
Baixo vigor	12,5 b	171 c
CV (%)	6,6	1,39

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Nesse contexto, as respostas de crescimento avaliadas neste estudo variaram conforme as doses de adubo aplicadas e de acordo com os níveis de vigor das sementes, em ambos os ambientes de produção em que foram testados. De maneira geral, tanto no município de Caibaté-RS como em Pelotas-RS as plantas oriundas de sementes com os diferentes níveis de vigor apresentaram valores crescentes para as variáveis analisadas, de acordo com as doses de NPK empregadas, havendo assim um menor desempenho das plantas de soja quando

não utilizado o adubo; e maior crescimento e rendimento de plantas quando empregada a maior dose de NPK.

Plantas oriundas de sementes de alto vigor também apresentaram valores superiores para massa de sementes por plantas e a massa de mil sementes, quando comparadas àquelas de médio e baixo vigor (Tabela 5). Conforme Werner et al. (2020), a massa de sementes é o componente que mais contribui para o incremento de produtividade cultura da soja.

Além da importância da adubação, os resultados deste estudo demonstraram que para a maioria das variáveis analisadas, as plantas provenientes de sementes com alto vigor apresentaram melhores desempenhos frente aquelas de baixo vigor mesmo quando empregadas diferentes doses de adubo, o que evidencia a importância da utilização de sementes de alta qualidade mesmo quando disponibilizada as melhores condições para o crescimento vegetativo das espécies.

4.4 Conclusões

A adubação de NPK influencia positivamente o crescimento e produtividade de plantas de soja provenientes de sementes com diferentes níveis de vigor.

As plantas oriundas de sementes de alto vigor apresentam melhor desempenho frente aquelas de menor vigor associadas as doses de NPK utilizadas.

O aumento da dose de NPK não compensa o rendimento quando a semente utilizada é de baixo vigor.

5 Considerações finais

O vigor de sementes e a distribuição na linha de semeadura afetam os componentes do rendimento da cultura da soja. O vigor das sementes é um fator determinante na produtividade da cultura, uma vez que determina o estabelecimento das plântulas no campo. A população de plantas é reduzida quando se utiliza sementes de baixo vigor, independente do manejo adotado não assegurando estande adequado.

A semeadura realizada de maneira adequada sem falhas na linha, resulta em maior rendimento em relação aquelas que tiveram falhas na linha de semeadura, sendo, possível observar que o maior rendimento individual das plantas nas bordas das falhas não compensa o rendimento final das plantas que estavam com distribuição uniforme.

Em geral, todos os componentes do rendimento são superiores quando na distribuição normal (DN) em relação as falhas (F1, F2 e F3). Sementes de alto vigor semeadas a velocidade de 3,7 a 5,4 km h⁻¹ resultam no maior rendimento da soja em relação a sementes de baixo vigor e velocidade acima de 5,4 km h⁻¹.

O rendimento da soja aumenta de forma crescente com o aumento das doses de adubação NPK. No entanto, é possível observar que esse aumento é de maneira mais acentuada quando se utiliza sementes de alto vigor.

As boas práticas de semeadura com uma distribuição uniforme das sementes na área com o mínimo de falhas e duplas, com uma velocidade adequada de semeadura, adubação equilibrada conjuntamente com a utilização de sementes de alto vigor são fatores indispensáveis para os produtores que buscam a excelência na produção minimizando assim os riscos e aumentando a rentabilidade de suas lavouras.

Referências

- ALBRECHT, L.P.; BRACCINI, A.L.; ÁVILA, M.R.; SCAPIM, C.A.; BARBOSA, M.B.; STÜLP, M. Sementes de soja produzidas em época de safrinha na região oeste do estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.31, n.1, p.121-127, 2009.
- ALMEIDA, R.A.S.; SILVA, C.A.T.; SILVA, S.L. Desempenho energético de um conjunto trator-semeadora em função do escalonamento de marchas e rotações do motor. **Agrarian**, v. 3, n.7, p. 63-70, 2010.
- ANTONINI, R.C., R.P. BORTOLOTTI, J.F. ZAMBERLAN, D. DALLA NORA, M.P.B. PASINI & J.E. FIORIN. 2018. Adoção e uso da agricultura de precisão na região das missões do Rio Grande do Sul. *Holos*. 4:106-121.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. **Seed vigour testing handbook**, AOSA, Zurich, Contribution nº 32 to the handbook on seed testing. 1983, 88p.
- AUMONDE, T. Z.; PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E. G.; VILLELA, F. A. **Estresses ambientais e a produção de sementes: Ciência e Aplicação**. 1. ed. Pelotas: Editora Santa Cruz, 2017. v. 1. 313p.
- AUMONDE, T. Z.; PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E. G. Fisiologia da Qualidade de Sementes. In: Peske, S.T.; Villela, F.A.; Meneghello, G.E. (Org.). **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 4ed. Pelotas: Becker e Peske, 2019, v. 4, p. 105-145.
- BAILEY-SERRES, J.; PARKER, J.E.; AINSWORTH, E.A.; OLDROYD, G.E.D.; SCHROEDER, J.I. Genetic strategies for improving crop yields. **Nature**, v. 575, p. 109-118, 2019.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; PANISON, F. Semeadura cruzada em cultivares de soja com tipo de crescimento determinado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, p. 1215-1226, 2015.
- BASSO, C. J.; MURARO, D. S.; AGUIAR, A. C. M.; LIRA, M. Resposta da soja frente a falhas na distribuição de semente. **Revista cultivando o saber**, v. 9, n. 4, p. 451-460, 2016.
- BATISTELLA FILHO, Felipe.; FERREIRA, M. E.; VIEIRA, R. D.; DA CRUZ, M. C. P.; CENTURION, M. A. P.; SYLVESTRE, T. B.; RUIZ, J. G. C. L. Adubação com fósforo e potássio para produção e qualidade de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 7, p. 783-790, 2013.
- BEWLEY, J.D., BRADFORD, K.J., HILHORST, H.W.M. AND NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy**. Springer, New York, 2013.

- BEZERRA, M. A. F.; OLIVEIRA, F. A.; BEZERRA, F. T.C.; PEREIRA, W. E.; SILVA, S. A. Cultivation of cowpea in oxisols under the residual effect of phosphorus fertilization. **Revista Caatinga**, v. 27, n.1, p. 109-115. 2014.
- BOARD, J. E.; MODALI, H. Dry matter accumulation predictors for optimal yield in soybean. **Crop Science**, v. 45, n. 5, p. 1790-1799, 2005.
- BORD, J.E.; SETTIMI, J.R. Photoperiodo effect before and after flowering on branch development in determinate soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.78, p.995-1002, 1986.
- BORTOLI, Luan Felipe et al. Sowing speed can affect distribution and yield of soybean. **Australian Journal of Crop Science**, v. 15, n. 1, p. 16-22, 2021.
- BOTTEGA, E. L.; VIAN, T.; GUERRA, N.; OLIVEIRA NETO, A. M. Diferentes dosadores de sementes e velocidades de deslocamento na semeadura do milho em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 22, p. 1-5, 2017.
- BRANDELERO, E. M.; ADAMI, P. F.; MODOLO, A. J.; BAESSO, M. M.; FABIAN, A. J. Seeder performance under different speeds and its relation to soybean cultivars yield. **Journal of Agronomy**, v. 14, n. 3, p. 139-145, 2015.
- BRASIL - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DA REFORMA AGRÁRIA. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS, 2009, 399p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **CultivarWeb**. 2022. Disponível em:
https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php.
 Acesso em: 02 fev. 2022.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000.
- CANTARELI, Leandro Damero et al. Variabilidade de plantas de soja originadas de sementes de diferentes níveis de qualidade fisiológica. **Acta Agronômica**, v. 64, n. 3, p. 234-238, 2015.
- CARMO, E. L.; BRAZ, G. B. P.; SIMON, G. A.; SILVA, A. G.; ROCHA, A. G. C. Desempenho agrônomo da soja cultivada em diferentes épocas e distribuição de plantas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 1, p. 61-69, 2018.
- CARRARO; I. M.; PESKE, S. T. Uso de sementes de soja no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, pg. 75-80, 2005.
- CARVALHO, M. F. P. **Complexo de soja brasileiro no contexto da guerra comercial entre EUA e China**. 2019. 66 f. Dissertação (Mestrado em economia) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Porto Alegre – RS, 2019.

CARVALHO, Marco Antonio Camilo; FURLANI JUNIOR, E.; ARF, O.; SÁ, M.E.; PAULINO, H.B.; BUZETTI, S. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio e teores foliares deste nutriente e de clorofila em feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.2, p.445-450, 2003.

CARVALHO, N. M. NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: FUNEP, 2012, 590p.

CASTELA JUNIOR, Marcos Antonio et al. Influência da velocidade da semeadora na semeadura direta da soja. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 19, 2014.

CAVERZAN, Andréia et al. How does seed vigor affect soybean yield components? **Agronomy Journal**, v. 110, n. 4, p. 1318-1327, 2018.

CHAUDHARY, Muhammad Iqbal; ADU-GYAMFI, J. J.; SANEAKA, H.; NGGUYEN, N. T.; SUWA, R.; KANAI, S.; EL-SHEMY, H. A.; LIGHTFOOT, D. A.; FUJITA, K. The effect of phosphorus deficiency on nutrient uptake, nitrogen fixation and photosynthetic rate in mashbean, mungbean and soybean. **Acta Physiology Plant**, v. 30, p. 537-544, 2008.

CHAVES, R. G. **Sistemas de Manejo do solo e velocidade de semeadura da soja**. Dourados/UFGD-MS, 2015. 46p.

CINTRA, P. H.; COMPAGNON, A. M.; ARRIEL, F. H.; VENTURA, G. S.; SANTOS, M. L.; PIMENTA NETO, A. M. Variabilidade espacial e qualidade na semeadura de soja. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 3, p. 1206-1221, 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2020/2021**: Boletim de grãos – julho/2021. Brasília, DF: Conab, 2021.

COPETTI, E. Plantadoras: Distribuição de sementes. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, n.18, p.14-17, 2003.

CORREIA, T. P.S.; LOPES, A. G. C.; FAGGION, F.; SILVA, P. R. A.; SOUSA, S. F. G. Semeadura de soja em função de mecanismos dosadores e velocidade operacional. **Energia na Agricultura**, v. 35, n. 2, p. 190-198, 2020.

CORTEZ, J.W.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P.; LOPES, A. Distribuição longitudinal de sementes de soja e características físicas do solo no plantio direto. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.2, p.502-510, 2006.

CRUZ, S. C. S.; SENA-JUNIOR, D. G.; SANTOS, D. M. A.; LUNEZZO, L. O.; MACHADO, C. G. Cultivo de soja sob diferentes densidades de semeadura e arranjos espaciais. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, p.1-6, 2016.

DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.2, p.541-552, 2012.

DEUNER, C.; MENEGHELLO, G. E.; BORGES, C. T.; GRIEP, L.; ALMEIDA, A. S.; DEUNER, S. Rendimento e qualidade de sementes de soja produzidas sob diferentes manejos nutricionais. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 3, p. 357-365, 2015.

DIAS, MAN; MONDO, VHV; CICERO, SM. Vigor de sementes de milho associado à mato-competição. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 2, p. 093-101, 2010.

DIAS, V. D. O.; ALONÇO, A. D. S.; BAUMHARDT, U. B.; BONOTTO, G. J. Distribuição de sementes de milho e soja em função da velocidade e densidade de semeadura. **Ciência Rural**, v. 39, n. 6, p. 1721-1728, 2009.

DUARTE, I. N.; PEREIRA, H. S.; KORNDORFER, G. H. Ligações do sal cloreto de potássio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia-GO, v. 43, n. 2, p. 195-200, 2013.

EBONE, L.A.; CARVEZAN, A.; TAGLIARI, A.; CHIOMENTO, J.L.T.; SILVEIRA, D.C.; CHAVARRIA, G. Soybean seed vigor: uniformity and growth as key factors to improve yield. **Agronomy**, v.10, n.4, p.1-15, 2020.

Embrapa. 2018. **Visão 2030: O futuro da agricultura brasileira**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília – DF. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.

EPSTEIN, Emanuel; BLOOM. A. J.; Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives, 2nd ed. **Sinauer Associates**, Sunderland, MA. 2005.

FISS, G., SCHUCH, L. O. B., PESKE, S. T., CASTELLANOS, C. I. S., MENEGHELLO, G. E., & AUMONDE, T. Z. Produtividade e características agronômicas da soja em função de falhas na semeadura. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 61, 2018.

FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A. A importância do uso de semente de soja de alta qualidade. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 20, n. 1 e 2, p.37-38, 2010.

FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A. **A alta qualidade da semente de soja: fator importante para a produção da cultura** Londrina: Embrapa Soja, 2018. 24p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 136).

FRANÇA-NETO, JB; KRZYZANOWSKI, FC; HENNING, AA; PÁDUA, GP; LORINI, I; HENNING, FA. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 82 p. (Documento, 380).

FURLANI, C. E. A.; JÚNIOR, A. P.; CORTEZ, J. W.; SILVA, R. P. E.; GROTTA, D. C. C. Influência do manejo da cobertura vegetal e da velocidade de semeadura no estabelecimento da soja (*Glycine max*). **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.18, n.3, p. 227-233, 2010.

FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P.; CARVALHO FILHO, A.; CORTEZ, J.W.; GROTTA, D.C.C. Semeadora-adubadora: exigências em função do preparo do solo, da pressão de inflação do pneu e da velocidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.1, p.345-352, 2008.

GABRIEL, M.; MURARO, D. S.; ROSA, G. M.; WASTOWSKI, A. D.; KULCZYNSKI, S. M.; SILVA, J. C.; CARVALHO, I. R.; SZARESKI, V. J.; STUMM, J. O. Chemical Control of Asian Soybean Rust and Its Effect in the Yield and Quality of Soybean Seeds. **Journal of Agricultural Science**. v. 10, p. 518-526, 2018.

GLIER, C.A.S.; JÚNIOR, J.B.D.; FACHIN, G.M.; COSTA, A.C.T.; GUIMARÃES, V.F.; MROZINSKI, C.R. Defoliation percentage in two soybean cultivars at different growth stages. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.6, p.567-573, 2015.

GONÇALVES JÚNIOR, Affonso Celso; NACKE, H.; MARENGONI, N. G.; CARVALHO, E. A. de; COELHO, G. F. Produtividade e componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 660-666, 2010.

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

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. (Documentos Embrapa, 349).

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H. J.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agriculture & Biology**, v.11, n.1, p.100-105, 2009.

JARDIM ROSA, C. B. C.; MARCHETTI, M. E.; SERRA, A. P.; SOUZA, L. C. F.; ENSINAS, S. C.; SILVA, E. F.; LOURENTE, E. R. P.; DUPAS, E.; MORAES, E. M. V.; MATTOS, F. A.; MARTINEZ, M. A.; CONRAD, V. A.; EL KADRI, T. C.; JESUS, M. V. Soybean agronomic performance in narrow and wide row spacing associated with NPK fertilizer under no-tillage. **African Journal Agricultural Research**, v. 11, n. 32, p. 2947-2956, 2016.

JASPER, R.; JASPER, M.; ASSUMPÇÃO, P.S.M.; ROCIL, J.; GARCIA L.C. Velocidade de semeadura da soja. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.1, p.102-110, 2011.

KOCH, F., DELLAGOSTIN, S.M., VILLELA, F.A. AND AUMONDE, T.Z. Deterioração de sementes em pré e pós-colheita. In: AUMONDE, T.Z., PEDÓ, T., MARTINAZZO, E.G. AND VILLELA, F.A., Eds., **Estresses ambientais e a produção de sementes: Ciência e aplicação**, Ed. Cópias Santa Cruz, Pelotas, 2017, p.115-138.

KOCH, F.; PEDÓ, TIAGO; MARTINAZZO, E.G.; AUMONDE, TIAGO ZANATTA; VILLELA, F.A. Efeito da irrigação no desempenho fisiológico e na atividade respiratória de sementes de soja. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, p. 2935-2942, 2014.

KOCH, F.; SANTOS, L.A.; AISENBERG, G.R.; SALAU, G.M.; PEDÓ, TIAGO; VILLELA, F.A.; AUMONDE, T. Z. Irrigação por aspersão e expressão isoenzimática em plântulas de soja. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 10, p. 1-5, 2016.

KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B.; PESKE, S. T. Vigor de sementes e competição intraespecífica em soja. **Ciência Rural**, v. 35, n. 6, p. 1248-1256, 2005.

KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L.O.B; PESKE, S.T. Crescimento inicial de soja em função do vigor das sementes. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.12, n.2, p.163-166, 2006.

LIMA, E. D. V.; CRUSCIOL, C. A. C.; CAVARIANI, C.; NAKAGAWA, J. Características agronômicas, produtividade e qualidade fisiológica da soja "safrinha" sob semeadura direta, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n.1, p. 69-80, 2009.

MACEDO, D.X.S.; NICOLAU, F.E.A.; NASCIMENTO, H.C.F.; COSTA, E.; CHIORDEROLI, C.A.; LOUREIRO, D.R. Operational performance of a tractor-seeder according to the velocity and working depth. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.20, n.3, p.280-285, 2016.

MAIA, LGS; SILVA, C.A.; RAMALHO, MAP; ABREU, ÂFB. VARIABILIDADE GENÉTICA ASSOCIADA À GERMINAÇÃO E VIGOR DE SEMENTES DE LINHAGENS DE FEIJOEIRO COMUM. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 35, n. 2, p. 361-367, mar./abr., 2011.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Livro ceres, 2006. 638p.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed., Londrina: ABRATES, 2015, 660 p.

MARTINS, M.C.; CÂMARA, G.M.S.; PEIXOTO, C.P.; MARCHIORI, L.F.S.; LEONARDO, V.; MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura, densidades de plantas e desempenho vegetativo de cultivares de soja. **Scientia Agricola**, Piracicaba-SP, v. 56, n. 4, p. 851-858, 1999.

MATOS, E. S.; MANTOVANI, A.; NASCIMENTO, J.; ARCORVERDE, S. N.; & SECRETTI, M. L. Mecanismos sulcadores e velocidade de semeadura na plantabilidade e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 11, n. 1, p. 36-42, 2021.

MATSUO, N.; TAKAHASHI, M.; YAMADA, T.; TAKAHASHI, M.; HAJIKA, M.; FUKAMI, K.; TSUCHIYA, S. Effects of water table management and row width on the growth and yield three soybean cultivars in southwestern Japan. **Agricultural Water Management**, v. 192, p. 85–97, 2017.

MAUAD, M; SILVA, T.L.B; NETO, A.I.A; ABREU, V.G. Influência da densidade de semeadura sobre características agrônômicas na cultura da soja. **Revista Agrarian Dourados**, v.3, n.9, p.175-181, 2010.

MERTZ, L.M.; HENNING, F.A.; SOARES, R.C.; BALDIGA, R.F.; PESKE, F.B.; MORAES, D.M. Alterações fisiológicas em sementes de arroz expostas ao frio na fase de germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, v.31, n.2, p.262-270, 2009.

MITSCHERLICH, E.A. Das gesetzs des minimums und das gesetzs des abnehmenden bodenertrages. **Landwirtschaftliche Jahrbucher**, Berlin, v.38, p.537-552, 1909.

MODOLO, A. J.; SCHIDLOWSKI, L. L.; STORCK, L.; BENIN, G.; VARGAS, T. O.; TROGELLO, E. Rendimento de soja em função do arranjo de plantas. **Revista de Agricultura**, v. 19, n. 3, p. 216-219, 2016.

MODOLO, Alcir José et al. Seeding quality and soybean yields from using different furrowers and operation speeds. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 3009-30015, 2012.

MONDO, V.H.V.; CICERO, S.M.; DOURADO-NETO, D.; PUPIM, T.L.; DIAS, M.A.N. Vigor de sementes e desempenho de plantas de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n.1 p.143-155, 2012.

NAVES, Rayan Fernandes et al. Desempenho agrônômico da soja em diferentes velocidades de semeadura e profundidades de deposição do adubo em plantio direto. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, 2020.

NICO, M.; MIRALLES, D. J; KANTOLIC, A. G. Fotoperíodo pós-florescimento e interação da radiação na determinação da produtividade da soja: Efeitos fotoperiódicos diretos e indiretos. **Field Crops Research**, v.176, p.45-55, 2015.

NOGUEIRA, A. P. O.; DEDIYAMA, T.; BARROS, H. B.; TEIXEIRA, R. C. Morfologia, crescimento e desenvolvimento. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenas, 2009.

NUNES, A.C.; BEZERRA, F.M.L.; SILVA, R.A.; JUNIOR, J.L.C.S.; GONÇALVES, F.B.; SANTO, G.A. Agronomic aspects of soybean plants subjected to deficit

irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.7, p.654-659, 2016.

NUNES, Ernane Nogueira; FERNANDES, Y. T. D.; MONTENEGRO, I. N. de A.; ALVES, C. A. B.; SOUTO, J. S. Eficiência da translocação de nutrientes em plantas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 5, p. 90 - 95, 2013.

OLIVEIRA JÚNIOR, Adilson; PROCHNOW, L. I.; KLEPKER, D. Soybean yield in response to application of phosphate rock associated triple superphosphate. **Scientia Agrícola**, v. 68, n. 3, p. 376-385, 2011.

OLIVEIRA, Fabio Alves de; SFREDO, G. J.; CASTRO, C. de; KLEPKER, D. Fertilidade do solo e nutrição da soja. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 8 p. (Embrapa Soja. **Circular técnica**, 50).

PÁDUA, G.P. de; ZITO, R.K.; ARANTES, N.E.; FRANÇA NETO, J. de B. Influência do tamanho da semente na qualidade fisiológica e na produtividade da cultura da soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, p.9-16, 2010.

PEIXOTO, C.P.; CÂMARA, G.M. de S.; MARTINS, M.C.; MARCHIORI, L.F.S.; GUERZONI, R.A.; MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componentes da produção e rendimento de grãos. **Scientia Agrícola**, v.57, p.89-96, 2000.

PELUCO, R.G.; MARQUES JÚNIOR, J.; SIQUEIRA, D.S.; PEREIRA, G.T.; BARBOSA, R.S.; TEIXEIRA, D.B. Mapeamento do fósforo adsorvido por meio da cor e da suscetibilidade magnética do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.3, p.259-266, 2015.

PEREIRA, C.C.A.; LADEIRA, L. A.; BORGES NETO, P.C.; COSTA, A.S.V. Influência do biodiesel na produção de soja. **Revista Vozes dos Vales**, v.12, p.1-14, 2017.

PESKE, S.T.; VILLELA, F.A.; MENEGUELLO, G.E. **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**, 4ed, 2019. 573p.

PETTER, F. A.; SILVA, J. A.; PACHECO, L. P.; ALMEIDA, F. A.; ALCANTARA NETO, F.; ZUFFO, A. M.; LIMA, L. B. Desempenho agrônômico da soja a doses e épocas de aplicação de potássio no cerrado piauiense. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural And Environment of Sciences**, v. 55, n. 3, p.190- 196, set. 2012.

PIMENTEL, J. R.; TROYJACK, C.; DUBAL, I. T. P.; KOCH, FELIPE; Monteiro, M.A; ESCALERA, R. A. V; SZARESCKI, V. J.; CARVALHO, I. R.; NASCIMENTO, H. W. F.; MARTINAZZO, E.G; PEDROSO, C.E.S.; Schuch, L.O.B.; PEDÓ, T.; AUMONDE, T. Z. Desenvolvimento inicial e componentes do rendimento em resposta à associação entre nível de vigor e profundidade de semeadura na cultura do trigo. **Revista brasileira de tecnologia agropecuária**, v. 2, p. 18-24, 2018.

PIMENTEL, João R.; MONTEIRO, Manoela. A.; AUMONDE, Tiago. Z.; PEDÓ, Tiago. Nutrição de plantas, vigor de sementes e estresses abióticos. In: AUMONDE, Tiago. Z.; PEDÓ, Tiago.; MARTINAZZO, Emanuela. G.; VILLELA, Francisco. A. **Estresses ambientais e a produção de sementes: Ciência e Aplicação**. 1ª ed. Pelotas: Cópias Santa Cruz, v. 1, 2017, p. 89-113.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. São Paulo: USP/ESALQ, 1985, 467p.

PINO, M.; SCHUCH, L.; CASTELLANOS, C.; KOCH, F.; SZARESKI, V. J.; PIMENTEL, J. R.; TROYJACK, C.; CARVALHO, I. R.; MARTINS, A. B. N.; LIMA, F. S.; PETER, M.; MONTEIRO, M.A.; DEMARI, G. H.; AUMONDE, T. Z.; PEDÓ, T. Individual and population behavior of soybean plants grown in rows with different proportions of high- and low-vigor seeds. **Australian Journal of Crop Science**. v. 13, n. 01, p. 151-158, 2019.

PINTO, J. F. **Comportamento da plasticidade de plantas de soja frente a falhas e duplas dentro de uma população**. 2010. 43 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas/RS, 2010.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafos, 1991. 343p.

RAMBO, L.; COSTA, J.A.; PIRES, J.L.F.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F. Rendimento dos grãos de soja em função do arranjo de plantas. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.33, n.3, p.405-411, 2003.

REYNALDO, E. F. et al. Influência da Velocidade de Deslocamento na Distribuição de Sementes e Produtividade de Soja. **Revista Engenharia na agricultura**, v. 24 n. 1, p. 63-67, 2016.

RIGO, A.A.; DAHMER, A.M.; STEFFENS, C.; STEFFENS, J. Characterization of soybean cultivars genetically improved for human consumption. **International Journal of Food Engineering**, v.1, n.1, p.1-7, 2015.

RODRIGUES, D. S.; SCHUCH, L. O. B.; MENEGHELLO, G. E.; PESKE, S. T. Desempenho de plantas de soja em função do vigor das sementes e do estresse hídrico. **Revista Científica Rural**, v.20, n.2, p.144-158, 2018.

ROSSI, R. F.; CAVARIANI, C.; FRANÇA-NETO, J. de B. 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.

SANTOS, T.D.; MEERT, L.; BORGHI, W.A.; SILVA, P.S.; FIGUEIREDO, A.S.T. Desenvolvimento inicial de plantas de soja e qualidade de semeadura em função da velocidade de deslocamento da semeadora e textura do solo. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v.10, p.97-103, 2017.

SAWAN, Z.M. Direct and residual effects of plant nutrition's and plant growth retardants, on cottonseed. **Agricultural Sciences**, v. 4, p. 66-88, 2013.

SCHEEREN, B. Vigor de sementes de soja e produtividade. 2002. 45p. **Tese** (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

SCHEEREN, B.R.; PESKE, S.T.; SCHUCH, L.O.B.; BARROS, A.C.A. Qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, n.3 p.035-041, 2010.

SCHUCH, L. O. B.; KOLCHINSKI, E. M.; FINATTO, J. A. Qualidade fisiológica da semente e desempenho de plantas isoladas em soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.31, n.1, p.144-149, 2009.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; REIS, M. S. Melhoramento de soja. In: BORÉM, A. (ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 2005. 553-603 p.

SEDIYAMA, T. **Produtividade da soja**. Ed. 1, Mecenas, Londrina. 310 p, 2016.

SERAFIM, M. E.; ONO, F. B.; ZEVIANI, W. M.; NOVELINO, J. O.; SILVA, J. V. Umidade do solo e doses de potássio na cultura da soja. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.43, p.222-227, 2012.

SHAO, H.B.; CHU, L.Y.; JALEEL, C.A.; ZHAO, C.X. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, v.331, p.215-225, 2008.

SILVA, C. S. **Vigor de sementes de soja e desempenho da cultura**. 2010. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. UFPel. Pelotas – RS.

SILVA, C. S.; SCHUCH, L. O. B.; OLIVO, M.; SEUS, R. Desempenho de plantas isoladas de soja, biometria e qualidade fisiológica das sementes. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia, Uruguaiana**, v.19, n.1, p.1-9. 2013.

SILVA, J. A.; OLIVEIRA, A. P.; MOURA, M. F.; SILVA, J. A.; ARAÚJO, M. A. M. Efeito residual da adubação fosfatada em três cultivos sucessivos com feijão-caupi. **Revista Caatinga**, v.27, 31-38. 2014.

SOUZA, C.A.A.; RAFULL, L.Z.L.; ARCOVERDE, S.N.S.; BOTTEGA, E.L.; ORLANDO, R.C. Desempenho de semeadora-adubadora de milho de segunda safra em semeadura direta. **Revista Agrarian**, v.12, n.45, p.346-353, 2019.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2 ed. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 222 p, 2008.

STRUKER, S.; CARVALHO, I. R.; SZARESCKI, V. J.; BARBOSA, M. H.; SOUZA, V. Q.; Conte, G. G.; MARTINS, A. B. N.; CAVALCANTE, J. A.; KOCH, FELIPE.; SCHUCH, L. O. B.; AUMONDE, T. Z.; VILLELA, F.A.; PEDÓ, T. Influence of seeds vigor in the attributes of soybean yield. **Revista De Ciências Agrárias (LISBOA)**, v. 42, p. 698-703, 2019.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto AlegreRS: Artmed, 2012, 720 p.

TAVARES, L.C.; RUFINO, C.A.; BRUNES, A.P.; TUNES, L.M.; BARROS, A.C.S.A.; PESKE, S.T. Desempenho de sementes de soja sob deficiência hídrica: rendimento e qualidade fisiológica da geração F1. **Ciência Rural**, v.43, n.8, p.1357-1363, 2013.

TEIXEIRA, I.R.; BORÉM, A.; ARAÚJO, G.A.A.; ANDRADE, M.J.B. Teores de nutrientes e qualidade fisiológica de sementes de feijão em resposta à adubação foliar com manganês e zinco. **Bragantia**, v. 64, n. 1, p. 83- 88, 2005.

TOURINO, C. C. M.; REZENDE, M. P.; SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agrônômicas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol.37, nº.8, Brasília Ago. 2002.

TALIMAN, N. A.; DONG, Q.; ECHIGO, K.; RABOY, V.; SANEOKA, H. Effect of phosphorus fertilization on the growth, photosynthesis, nitrogen fixation, mineral accumulation, seed yield, and seed quality of a soybean low-phytate line. **Plants**, v. 8, n. 5, p. 119, 2019.

TAVARES, L. C. et al. Performance of soybean seeds under water stress: yield and physiological quality of F1 generation. **Ciência Rural**, v. 43, n. 8, p. 1357-1364, 2013.

USDA, United States Department of Agriculture. **2021 Agricultural Statistics Annual**: Chapter III - Statistics of oilseeds, fats, and oils, 2021.

VANZOLINI, Silvelena; CARVALHO, Nelson Moreira. Efeito do vigor de sementes de soja sobre o seu desempenho em campo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, p. 33-41, 2002.

VAZQUEZ, G. H.; CARVALHO, N. M.; BORBA, M. M. Z. Redução na população de plantas sobre a produtividade e a qualidade fisiológica da semente de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 30, n. 2, p. 1-11, 2008.

VEIGA, A. D.; VON PINHO, E. V. R.; VEIGA, A. D.; PEREIRA, P. H. A. R.; OLIVEIRA, K. C.; VON PINHO, R. G. Influência do potássio e da calagem na composição química, qualidade fisiológica e na atividade enzimática de sementes de soja. **Ciência e Agrotecnologia**, vol. 34, n. 4, p. 953- 960, 2010.

VITTI, Godofredo Cesar; LUZ, P.H.C. Manejo químico do solo para alta produtividade da soja. In: CÂMARA, G.M.S., ed. **Tecnologia da produção**. Piracicaba, 1998. p.84-112.

WEIRICH NETO, P.H.; FORNARI, A.J.; JUSTINO, A.; GARCIA, L.C. Qualidade na semeadura do milho. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.1, p.171-179, 2015.

WERNER, C. J.; PETER, M.; BALEM, E. M.; BELLÉ, C.; CEOLIN, E. L.; ZANATTA, T. P.; PEDÓ, T. Adubação fosfatada em soja: produtividade e qualidade fisiológica das sementes. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 36157-36177, 2020.

ZHOU, T.; DU, Y.; AHMED, S.; LIU, T.; REN, M.; LIU, W.; YANG, W. Genotypic Differences in Phosphorus Efficiency and the Performance of Physiological Characteristics in **Response to Low Phosphorus Stress of Soybean in Southwest of China**. *Frontiers in Plant Sciences*. v. 7. pg. 1776. 2016.

ZUCARELI, C.; RAMOS JUNIOR, E.U.; BARREIRO, A.P.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C. Adubação fosfatada, componentes de produção, produtividade e qualidade fisiológica em sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v.28, p.9-15, 2006.