



BRUNO JOSÉ PETERS PAES

**ESTRATÉGIA DE ANÁLISE ESPACIAL DE EXPERIMENTOS
EM BLOCOS INCOMPLETOS NO MELHORAMENTO DO
FEIJOEIRO**

**LAVRAS – MG
2025**

BRUNO JOSÉ PETERS PAES

**ESTRATÉGIA DE ANÁLISE ESPACIAL DE EXPERIMENTOS EM BLOCOS
INCOMPLETOS NO MELHORAMENTO DO FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Vinicius Quintão Carneiro
Orientador

Prof. Dr. Tiago de Souza Marçal
Coorientador

**LAVRAS – MG
2025**

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

Paes, Bruno José Peters.

Estratégia de análise espacial de experimentos em blocos
incompletos no melhoramento do feijoeiro / Bruno José Peters Paes.
- 2024.

53 p. : il.

Orientador(a): Vinícius Quintão Carneiro.

Coorientador(a): Thiago de Souza Marçal.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. Phaseolus vulgaris L. 2. Melhoramento genético. 3.
Modelagem estatística. I. Carneiro, Vinícius Quintão. II. Marçal,
Thiago de Souza. III. Título.

BRUNO JOSÉ PETERS PAES

**ESTRATÉGIA DE ANÁLISE ESPACIAL DE EXPERIMENTOS EM BLOCOS
INCOMPLETOS NO MELHORAMENTO DO FEIJOEIRO**

**SPATIAL ANALYSIS STRATEGY FOR INCOMPLETE BLOCK EXPERIMENTS IN
BEAN BREEDING**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 29 de julho de 2024
Dr. Vinicius Quintão Carneiro – UFLA
Dr. Tiago de Souza Marçal – UFLA
Dr. Magno Antonio Patto Ramalho – UFLA
Dr. Aurinelza Batista Teixeira Condé – EPAMIG

Prof. Dr. Vinicius Quintão Carneiro
Orientador

Prof. Dr. Tiago de Souza Marçal
Coorientador

**LAVRAS – MG
2025**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela saúde, sabedoria e todas as oportunidades oferecidas em toda a minha vida.

Aos meus pais, Lourenço Xavier e Soeli, pelo amor e maior exemplo de força, humildade, honestidade e por sempre estarem ao meu lado ajudando em todas as dificuldades. Ao meu irmão, Jordan e sua esposa, Jayne, pelo apoio, amizade, aconselhamento, palavras de incentivo e companheirismo em vários momentos da minha vida. Amo vocês.

Aos meus padrinhos, Osvaldo e Isabel, e as minhas avós, Anna Rumilda e Annahyr, pelas orações, contribuição na minha educação e apoio moral prestado.

À Laura Kober que sempre esteve ao meu lado. Obrigado, pelo apoio, carinho, incentivo, pelo aconselhamento e pelos momentos de alegria e lazer. Ao Luciano e Sandra Kober, por todo o incentivo e ajuda durante essa fase.

Aos meus queridos amigos que tornaram minha jornada de mestrado mais leve: a Luana por sua ajuda e companheirismo, os quais me fizeram sentir verdadeiramente acolhido em Lavras. Ao Sid e Lenin que tornaram o mestrado mais leve, agradeço pelos bons momentos divididos e pelo futebol do final de semana. Ao Constantino por sua dedicação, sabedoria, animação e coragem que compartilhou comigo.

Ao professor Vinícius Quintão Carneiro pela orientação durante o mestrado, pelos valiosos ensinamentos, paciência, confiança e por sua preocupação com minha trajetória acadêmica, profissional e bem-estar pessoal, além da realização desta pesquisa.

Ao professor Tiago de Souza Marçal, pela coorientação, disponibilidade diária, paciência e pelos conhecimentos transmitidos, que foram essenciais para a concretização deste trabalho e para minha formação acadêmica e profissional.

Ao professor Magno Antonio Patto Ramalho, expressei meu apreço por seu apoio durante a Pós-graduação. Admiro não apenas suas habilidades profissionais, mas também sua generosidade e humildade.

À Dra. Aurinelza Batista Teixeira Condé, membro da banca avaliadora, expressei minha gratidão por ser uma fonte inspiradora na carreira pessoal e profissional.

Ao programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, representado pelo coordenador Dr. José Ailton Rodrigues Nunes, pelo constante apoio e contribuição ao crescimento do programa. Estendo meus sinceros agradecimentos aos demais professores do programa por todo o conhecimento compartilhado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudos e a Universidade Federal de Lavras, pela formação sólida, gratuita e de excelência.

Agradeço a todos os colegas do programa de melhoramento de feijão da UFLA. Aos que passaram pelo programa: Rafaela, Miguel, Júlio, Domingos, Dique, Andreza, Danilo, João, João Vitor, Constantino, Guilherme, Matheus e Edésio. Cada um de vocês foi fundamental durante esta jornada. Agradeço a convivência harmoniosa e por tornarem nosso ambiente de trabalho mais alegre e divertido.

Agradeço à equipe do Centro de Melhoramento de Tabaco (CMT) da empresa British American Tobacco (BAT) pelo incentivo e mentoria que me levou a realização desta pós-graduação.

A todos que, de alguma forma, contribuíram e não foram mencionados, expresso meu mais profundo agradecimento por tudo que fizeram e representaram em minha jornada acadêmica.

RESUMO GERAL

O feijão comum do grupo comercial carioca é o mais produzido e consumido do Brasil. Devido à sua importância, a Universidade Federal de Lavras tem conduzido um programa de seleção recorrente de feijão carioca, que se encontra no décimo oitavo ciclo. Resultados de sucesso têm sido observados ao longo destes ciclos como por exemplo a recomendação de diversas cultivares. A obtenção de linhagens superiores de feijão envolve a avaliação destas linhagens em variadas condições ambientais por meio de experimentos com diferentes números de tratamentos, repetições e delineamentos experimentais. Abordagens como modelos mistos e análises espaciais têm auxiliado na análise dos dados oriundos destes experimentos e, conseqüentemente, no aumento da acurácia de seleção no melhoramento do feijoeiro. Portanto, o objetivo deste trabalho foi verificar o efeito de incluir a informação espacial das parcelas de experimentos em delineamentos de blocos incompletos na acurácia da seleção de linhagens de feijão carioca. Além disso, propôs-se uma alternativa de seleção de linhagens de feijão carioca por meio da comparação destas com testemunhas referências. Um conjunto de 500 linhagens de feijão carioca do décimo oitavo ciclo de seleção recorrente da UFLA foi avaliado, juntamente com 6 testemunhas, em delineamento de blocos aumentados quanto à produtividade, aspecto dos grãos e arquitetura de plantas. Foram selecionadas 250 linhagens para serem avaliadas novamente com as testemunhas quanto aos mesmos caracteres. Esse experimento foi conduzido em delineamento de látice quadrado. Os dados de avaliação das linhagens foram submetidos a análises individuais e conjuntas de variância/deviance com e sem incorporação da informação espacial das parcelas. A seleção das melhores linhagens foi realizada com base na comparação destas em relação às melhores testemunhas avaliadas em cada safra. Os modelos com inclusão da informação espacial foram mais precisos e acurados. Por meio das estimativas de médias ajustadas para as linhagens nestes modelos e da comparação destas com as testemunhas, foram selecionadas 52 linhagens com elevada produtividade e qualidade comercial dos grãos.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.; melhoramento genético; modelagem estatística.

ABSTRACT

The common bean of the carioca commercial group is the most produced and consumed in Brazil. Due to its importance, the Federal University of Lavras has been conducting a recurrent selection program for carioca beans, which is in its eighteenth cycle. Successful results have been observed throughout these cycles, such as the recommendation of various cultivars. The development of superior bean lines involves the evaluation of these lines under varied environmental conditions through experiments with different numbers of treatments, replications, and experimental designs. Approaches such as mixed models and spatial analyses have assisted in the analysis of data from these experiments and, consequently, in increasing the accuracy of selection in bean breeding. Therefore, the objective of this study was to verify the effect of include spatial information from experimental plots in incomplete block designs on the accuracy of selecting carioca bean lines. In addition, an alternative for selecting carioca bean lines was proposed through comparison with reference checks. A set of 500 carioca bean lines from the eighteenth cycle of recurrent selection at UFLA were evaluated, along with six checks, in augmented block design for productivity, grain appearance, and plant architecture. 250 lines were selected to be re-evaluated with the checks for the same traits. This experiment was conducted in a square lattice design. The evaluation data of the lines were subjected to individual and joint variance/deviance analyses with and without the incorporation of spatial information from the plots. The selection of the best lines was based on the comparison of these lines with the best checks evaluated in each season. Models including spatial information were more precise and accurate. Through the estimates of adjusted means for the lines in these models and their comparison with the checks, 52 lines with high productivity and commercial grain quality were selected.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L.; plant breeding; statistical modeling.

INDICADORES DE IMPACTO

O presente estudo contribui para o melhoramento do feijão carioca ao demonstrar que a inclusão da informação espacial das parcelas nos modelos estatísticos aumenta a precisão experimental e a acurácia de seleção, resultando em um avanço genético mais eficiente. A aplicação de modelos mistos e análises espaciais na avaliação de linhagens possibilitou a identificação mais precisa de genótipos superiores, o que impacta diretamente a produtividade agrícola e a qualidade comercial dos grãos. Esses resultados beneficiam produtores rurais e programas de melhoramento genético, promovendo uma agricultura mais sustentável e produtiva. O impacto econômico do trabalho se reflete no desenvolvimento de cultivares mais adaptadas e produtivas, contribuindo para a segurança alimentar e para a competitividade da cadeia produtiva do feijão.

Além disso, a pesquisa fortalece a adoção de métodos estatísticos que influenciam futuras estratégias de melhoramento vegetal e impulsionam a inovação tecnológica no setor agrícola. A seleção de linhagens superiores com base na comparação com testemunhas referência garante um critério mais assertivo para a recomendação de novas cultivares. Dessa forma, o trabalho está diretamente alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente no que tange à promoção da agricultura sustentável (ODS 2) e ao fomento do trabalho decente e crescimento econômico (ODS 8). No contexto da extensão universitária, o impacto se estende ao meio ambiente, à tecnologia e à produção, promovendo práticas que aumentam a eficiência da seleção às condições de cultivo, beneficiando diretamente agricultores e profissionais do setor agrícola. Assim, os achados desta pesquisa auxiliam no desenvolvimento agrícola, consolidando a importância da inovação científica para a sustentabilidade da produção de feijão carioca no Brasil.

INPACT INDICATORS

The present study contributes to the improvement of carioca bean breeding by demonstrating that incorporating spatial information from plots into statistical models enhances experimental precision and selection accuracy, leading to more efficient genetic progress. The application of mixed models and spatial analyses in the evaluation of breeding lines enabled the more precise identification of superior genotypes, directly impacting agricultural productivity and the commercial quality of the grains. These results benefit rural producers and breeding programs, promoting more sustainable and productive agriculture. The economic impact of this work is reflected in the development of more adapted and productive cultivars, contributing to food security and the competitiveness of the bean production chain.

Additionally, this research strengthens the adoption of statistical methods that influence future plant breeding strategies and drive technological innovation in the agricultural sector. The selection of superior breeding lines based on comparison with reference checks ensures a more assertive criterion for recommending new cultivars. Thus, this study is directly aligned with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), particularly in promoting sustainable agriculture (SDG 2) and fostering decent work and economic growth (SDG 8). In the context of university extension, its impact extends to the environment, technology, and production, promoting practices that enhance selection efficiency under specific cultivation conditions, directly benefiting farmers and agricultural professionals. Therefore, the findings of this research support agricultural development, reinforcing the importance of scientific innovation for the sustainability of carioca bean production in Brazil.

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE.....	10
1	INTRODUÇÃO GERAL	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Aspectos sobre o feijão comum	13
2.2	Melhoramento de feijão carioca.....	15
2.3	Seleção recorrente do feijoeiro	17
2.4	Experimentação aplicada ao melhoramento do feijoeiro	19
	REFERÊNCIAS	22
	SEGUNDA PARTE - ARTIGO	27
	ARTIGO - Análise espacial de experimentos em blocos incompletos no melhoramento do feijoeiro.....	28
1	INTRODUÇÃO	30
2	MATERIAL E MÉTODOS	31
2.1	Material Experimental.....	31
2.2	Análises estatísticas	33
2.3	Seleção de linhagens	35
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	47
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO GERAL

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é fonte de proteína de alta qualidade, vitaminas, fibras alimentares e minerais como o Ca, Mg, K, Cu, Fe e Zinco (Akond, *et al.*, 2011; Blair, 2013). Apesar de ser uma leguminosa presente na dieta da maioria dos brasileiros, o consumo do feijão tem reduzido nos últimos anos (Embrapa, 2021). Além da importância alimentar, as lavouras de feijoeiro geram empregos para diversos trabalhadores, uma vez que o seu cultivo é realizado durante todo o ano e requer grande quantidade de mão de obra (Moura; Brito, 2015).

O feijão comum é cultivado em praticamente todo o território nacional, tanto por produtores com baixo nível tecnológico, quanto por aqueles que empregam elevada tecnologia, como por exemplo, uso da irrigação. Apesar da média nacional de produtividade de grãos do feijoeiro ser baixa (1571 kg.ha⁻¹), a cultura tem potencial para superar os 3000 kg.ha⁻¹ em áreas irrigadas (EMBRAPA, 2021). Os cinco principais estados brasileiros produtores da cultura (Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso, Goiás e São Paulo) são responsáveis por mais de dois terços do total produzido.

O tipo comercial carioca se destaca, dentre os diversos grupos comerciais de feijão, como o preferido entre os consumidores brasileiros. Devido à grande importância desse grupo comercial, os programas de melhoramento da cultura têm se dedicado ao desenvolvimento de novas cultivares que atendam as demandas dos produtores, comerciantes e consumidores. Estes programas de melhoramento são em sua maior parte de origem pública. Dentre estas, destacam-se a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), o Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR), o Instituto Agrônômico de Campinas (IAC) e algumas universidades, destacando-se as universidades federais de Lavras (UFLA) e Viçosa (UFV) (Lemos *et al.*, 2020).

O programa de melhoramento de feijoeiro da UFLA tem se dedicado ao desenvolvimento de linhagens de feijão carioca com elevada produtividade, bom aspecto comercial dos grãos, arquitetura ereta de plantas e resistência aos principais patógenos da cultura (Lemos, 2017; Silva *et al.*, 2010). A seleção recorrente é uma das principais estratégias empregadas por esse programa de melhoramento. Esta estratégia visa obter populações com maior frequência de alelos favoráveis para características de interesse, de

forma gradativa, por meio de sucessivos ciclos de avaliação, seleção e recombinação (Hallauer, 1992; Ramalho, *et al.*, 2012).

Um dos programas de seleção recorrente conduzidos pela UFLA baseia-se na seleção visando recombinação de progênies de feijão carioca com grãos de bom aspecto comercial e principalmente elevada produtividade de grãos (Ramalho, *et al.*, 2005). Este programa iniciou em 1990 e já foram conduzidos dezessete ciclos com ganhos progressivos ao longo do tempo. A estimativa de progresso genético no oitavo ciclo de seleção deste programa foi de 26,4%, acumulando um progresso de 3,3% por ciclo de seleção (Silva *et al.*, 2010).

Além do progresso genético observado ao longo dos ciclos da seleção recorrente, verifica-se o sucesso do programa da UFLA também pelo grande número de cultivares recomendadas. A UFLA em conjunto com a UFV, a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e a Embrapa já foram responsáveis pela recomendação de cultivares de feijão carioca no Estado de Minas Gerais. Exemplos destas são BRSMG Amuleto, BRSMG Zape, BRSMG Uai, BRSMG Madrepérola, BRSMG Talismã (Abreu *et al.*, 2004; Carneiro *et al.*, 2012; MAPA, 2021; Ramalho *et al.*, 2016).

Uma das etapas de grande importância na recomendação de novas cultivares de feijão é a avaliação e seleção das melhores linhagens no programa de melhoramento. Inicialmente, um grande número de linhagens é avaliado em ensaios preliminares conduzidos em poucos locais, anos ou safras. Em algumas situações estes experimentos são conduzidos em delineamentos de blocos incompletos com ou sem repetições. Nesta etapa são empregados delineamentos como de blocos aumentados, que não empregam repetições. Por isso, estes experimentos são pouco precisos. Assim, o emprego de análises que incluem a informação espacial das parcelas pode aumentar a precisão das avaliações e, conseqüentemente, na acurácia de seleção destas linhagens.

Outro desafio é a análise conjunta destes experimentos sem repetição com aqueles em que as linhagens já são avaliadas com pelo menos duas repetições. Assim, a abordagem de modelos mistos tem auxiliado tanto nas análises espaciais quanto nas análises conjuntas. O emprego dessas metodologias pode tornar os programas de melhoramento do feijoeiro mais eficazes na recomendação de cultivares superiores. Com esses aspectos em mente, o referencial teórico a seguir explorará as metodologias e práticas adotadas no melhoramento de feijão, destacando os avanços e desafios enfrentados na área.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos sobre o feijão comum

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é a espécie mais cultivada e consumida entre as demais do gênero *Phaseolus*. Este é um dos principais alimentos que compõe a dieta dos brasileiros, com consumo médio de 12,2 kg/hab (Wander; Silva, 2023a). Esse consumo elevado se deve à capacidade nutricional do feijão, que é rico em vitaminas, ferro, proteína e carboidratos. A produção no ano de 2022 dessa leguminosa foi de 2,55 milhões de toneladas, em uma área de 1,6 milhões de hectares). Nos últimos 40 anos a produtividade passou de 514 para 1571 kg ha⁻¹ (EMBRAPA, 2023). Apesar do aumento da produtividade ao longo do tempo, esta média ainda é baixa comparada com o potencial produtivo da cultura. Produtores brasileiros de feijão que empregam alto nível tecnológico têm alcançado produtividades superiores a 3000 kg ha⁻¹, principalmente em condição de cultivo irrigado.

Na maioria das regiões brasileiras, o cultivo do feijão comum é realizado em três safras distintas. Em Minas Gerais, por exemplo, a primeira safra, conhecida como "safra das águas," ocorre com o plantio entre agosto e novembro, seguido da colheita de novembro a fevereiro. A segunda safra, chamada "safra da seca," tem o plantio realizado de janeiro a março e a colheita entre março e junho. Já a terceira safra, conhecida como "safra de outono-inverno," apresenta o plantio entre abril e julho, com colheita de julho a outubro (Silva; Wander, 2013). Ao longo do tempo o cultivo do feijão foi visto como uma atividade de subsistência, com baixa produtividade e competitividade. Somente nas décadas de 70 e 80 o feijão passou a ser um atrativo ao agronegócio devido ao seu avanço tecnológico (Brevigliere, 2018). Da mesma forma, a produtividade do feijão ainda é considerada baixa em diversas regiões do Brasil, pois o País é extenso e apresenta variação quanto ao sistema de cultivo dessa espécie.

Os estados que apresentam maior produção de feijão no Brasil são o Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso, Goiás e São Paulo, os quais representam cerca de 69% do total produzido no país (EMBRAPA, 2023). O Estado de Minas Gerais é o segundo maior produtor nacional de feijão comum no Brasil. A produção no ano de 2022 foi de 474 mil toneladas em uma área de 287 mil ha, com produtividade média de 1649 kg ha⁻¹. A maior produção de feijão no estado concentra-se nas Regiões Noroeste, Sul e Alto Paranaíba (Silva, 2018). O

plantio nessas regiões é predominantemente comercial, com emprego de altos níveis de tecnologia nas lavouras. Isso tem viabilizado uma cultura competitiva e atraído grandes investimentos em infraestrutura e maquinário.

A produtividade do feijoeiro no Brasil é afetada por uma grande diversidade de patógenos, incluindo fungos, bactérias e vírus, que causam doenças na parte aérea e radicular da planta. As principais doenças fúngicas são a antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*), mancha angular (*Pseudocercospora griseola*), ferrugem (*Uromyces appendiculatus*), murcha de fusarium (*Fusarium oxysporum*), mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*), dentre outras (Abreu *et al.*, 2022; Niño Sánchez *et al.*, 2015; Nunes *et al.*, 2021; Wendland *et al.*, 2018). Dentre as doenças bacterianas destaca-se o crestamento bacteriano comum (Fininsa, 2003) causada por *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*. A virose de mosaico dourado causada pelo *Bean golden mosaic vírus* é a principal doença causada por vírus (Faria, 2016). De maneira geral, as doenças possuem predominância de ocorrência conforme as condições climáticas. Por exemplo, a mancha angular tem maior ocorrência na safra da seca, enquanto o crestamento bacteriano tem maior ocorrência na safra das águas.

No Brasil, os tipos de feijão comum cultivados são classificados comercialmente em branco, preto e cores. Entre os feijões de cores estão o carioca, vermelho, jalo, mulatinho, roxo e rosinha (Sousa; Ferreira, 2021). Dentre esses, o tipo comercial carioca e o preto se destacam no mercado nacional. O consumo dos diferentes tipos de feijão é fortemente regionalizado, refletindo as preferências culturais e gastronômicas das diversas regiões do país. Essa diversidade de tipos de feijão permite atender a uma ampla variedade de gostos e necessidades dos consumidores brasileiros, garantindo a oferta de produtos que se adequem às especificidades de cada mercado local. O feijão preto por exemplo, é mais consumido nas regiões sul e sudeste do Brasil, sendo um ingrediente essencial em pratos tradicionais como a feijoada.

O feijão do grupo comercial carioca, caracterizado pelo tegumento de cor creme com rajas marrons, é o mais produzido e consumido no Brasil (Wander; Silva, 2023). A primeira aparição do feijão tipo carioca ocorreu no ano de 1966, quando um agricultor do município de Palmital/SP levou ao IAC uma planta de grande capacidade produtiva e com padrão de grãos de cor bege com estrias marrons (Chiorato; Carbonell, 2014). Logo o feijão carioca tomou o mercado consumidor na década de 70 em decorrência da alta produtividade em relação às demais cultivares, a resistência às doenças da época e suas boas características culinárias

(Bulisani, 2008). Pelo motivo da preferência do feijão carioca, a maior parte dos programas de melhoramento de feijão do país visam principalmente o desenvolvimento de novas cultivares desse grupo comercial.

2.2 Melhoramento de feijão carioca

A identificação de novas cultivares que atendam as demandas dos agricultores, comerciantes e consumidores dependem de extensa pesquisa com melhoramento do feijoeiro. A recomendação de novas cultivares de feijão carioca é realizada principalmente por programas de melhoramento do feijoeiro do setor público como a EMBRAPA (Embrapa Arroz e Feijão), UFLA, UFV, EPAMIG, IAC e IDR (Ramalho; Abreu, 2015). O melhoramento do feijão carioca tem buscado constantemente linhagens superiores às cultivares já disponíveis no mercado. Os caracteres alvo destes programas são produtividade de grãos, arquitetura de plantas, resistência a fatores bióticos e abióticos, qualidade nutricional, tecnológica e comercial dos grãos (Coelho, 2017).

O aspecto dos grãos é um dos principais caracteres de importância pois este determina a aceitação comercial das novas cultivares. No feijão carioca a cor e o escurecimento do tegumento dos grãos são muito importantes nesta aceitação (Ribeiro *et al.*, 2018). Linhagens de feijão carioca com tegumento claro e que apresentam escurecimento lento com o armazenamento são desejáveis, uma vez que grãos escuros são associados a feijões velhos, que podem apresentar maior tempo de cozimento (Perina, 2014). O tamanho e a massa dos grãos também são de grande importância no melhoramento do feijoeiro.

Linhagens que apresentam plantas eretas apresentam inúmeras vantagens como facilidade na colheita mecanizada e nos tratos culturais principalmente de origem mecânica, pois facilita a locomoção dos veículos sem danificar as plantas (Collicchio *et al.*, 1997). Programas de melhoramento do feijoeiro cada vez mais concentram esforços na obtenção de plantas de porte ereto (Faria *et al.*, 2008; Melo *et al.*, 2010). Além disso, plantas eretas tornam o microclima na lavoura menos propícia ao desenvolvimento de doenças. A seleção para esse caráter não é simples, devido ao número de genes envolvidos e o pronunciado efeito ambiental. Apesar disso, nos últimos anos houve avanço na obtenção de linhagens com arquitetura ereta de plantas.

A produtividade dos grãos é um dos focos dos programas de melhoramento do feijoeiro. A obtenção de novas cultivares com elevadas produtividades é um desafio muito grande pois este caráter é determinado por vários genes e sofre influência da interação genótipos por ambientes. Um dos fatores que influenciam a produtividade de grãos são os danos causados pelos patógenos do feijoeiro. Por isso, o melhoramento visando a resistência aos patógenos é muito importante tanto para obtenção de resistência assim como visando o aumento da produtividade de grãos. O melhoramento com esse objetivo não é simples, uma vez que patógenos como fungos, bactérias e vírus apresentam grande variabilidade genética (Ramalho; Abreu, 2015).

Os programas de melhoramento do feijoeiro têm empregado as estratégias de introdução de plantas, seleção de linhas puras e hibridação para desenvolver novas linhagens. A introdução de plantas busca introduzir germoplasma melhorado em uma nova região que ainda não foi recomendado. Esta estratégia também tem sido utilizada para fins de melhoramento ao utilizar germoplasma externo aos programas de melhoramento em blocos de cruzamento. A seleção de linhas puras possibilita selecionar linhagens em populações que apresentam variabilidade natural, pois apesar de uma autógama permitir manter predominantemente a constituição genética por autofecundação, podem ocorrer indivíduos oriundo de cruzamento natural (Ramalho et al., 2012). Por fim, a estratégia que é mais consolidada nos programas de melhoramento é a hibridação, que visa agregar alelos favoráveis presentes em diferentes linhagens.

Um programa de melhoramento de plantas autógamas baseado em hibridação pode ser separado nas fases: pré-melhoramento e melhoramento. O pré-melhoramento abrange a caracterização do banco de germoplasma e conservação dos recursos genéticos para fins de exploração da variabilidade disponível. O melhoramento é subdividido em três etapas. Na etapa inicial são realizados cruzamentos para obtenção das populações segregantes (Borém, 2021). A etapa intermediária consiste na condução das populações segregantes até obtenção das linhagens, enquanto a etapa final visa avaliar estas linhagens nas regiões onde deseja recomendá-las.

As populações segregantes obtidas na etapa inicial do programa dos programas de melhoramento devem apresentar média desejável e variabilidade suficiente para permitir o sucesso com seleção para o caráter alvo nas etapas seguintes. Para alcançar este objetivo, o primeiro passo é selecionar os potenciais genitores e definir a forma de cruzamento. Uma vez

obtidas as populações segregantes, estas são conduzidas por meio de diferentes métodos de avanço de gerações até a derivação de linhagens. A etapa final consiste na avaliação e recomendação de cultivares. As linhagens são avaliadas no maior número possível de locais para identificação da melhor. Nesta etapa, a interação de genótipos por ambientes é um fator que merece atenção dos melhoristas, uma vez que as linhagens avaliadas podem apresentar comportamento diferente de acordo com o ambiente.

2.3 Seleção recorrente do feijoeiro

As principais características de importância para o melhoramento do feijoeiro são de herança quantitativa. Deste modo, para obter sucesso com a seleção de linhagens superiores necessita-se que seja feito em etapas, ou seja, em vários ciclos seletivos. A seleção recorrente é uma estratégia viável para alcançar este objetivo, uma vez que esta visa aumentar a frequência dos alelos mantendo variabilidade genética ao longo dos ciclos seletivos (Lemos, 2017; Ramalho *et al.*, 2012).

A seleção recorrente tem sido empregada pelos programas de melhoramento do feijoeiro da UFLA e UFV. Um programa de seleção recorrente envolve basicamente três etapas: obtenção da população base, avaliação de indivíduos ou progênies e recombinação dos melhores para obtenção do ciclo seguinte. A primeira etapa da seleção recorrente consiste na obtenção da população base. Nesta etapa, os genitores são escolhidos de forma que gere uma população base que associe média e variabilidade genética desejáveis.

A segunda etapa da seleção recorrente consiste na avaliação e seleção das melhores progênies para fins de recombinação (Ramalho *et al.*, 2024). Nesse processo, a seleção pode se basear no fenótipo ou na avaliação de progênies. Na seleção fenotípica, os melhores indivíduos são escolhidos diretamente para a recombinação. Na seleção por progênies, as melhores progênies são previamente avaliadas em experimentos e, em seguida, selecionadas para cruzamentos futuros. Durante a recombinação, as progênies selecionadas são cruzadas entre si, com a possibilidade de incluir novos genitores. Isso permite enriquecer a população com novos caracteres de interesse e ampliar a variabilidade genética.

Além da seleção visando a recombinação para iniciar um novo ciclo de um programa de seleção recorrente, são selecionadas progênies para derivação de linhagens. Estas são avaliadas sempre que possível em maior número de locais, anos e safras para identificar

aquelas com potencial de recomendação (Resende et al., 2015; Bruzi, 2008). Ao avaliá-las em várias condições ambientais, estas podem apresentar comportamentos distintos decorrente da interação de linhagens por ambientes (GxA). Esta interação pode ser do tipo simples ou complexa. A interação do tipo simples não demonstra mudança na classificação das linhagens em função do ambiente, enquanto na interação do tipo complexa ocorre alteração na classificação das linhagens.

Os programas de melhoramento do feijoeiro têm alcançado sucesso ao empregar a seleção recorrente. Silva *et al.* (2010) ao avaliar oito ciclos de seleção recorrente de feijão carioca observou um progresso genético de 3,3% por ciclo para produtividade de grãos. Já Pires *et al.* (2014) observou um progresso genético de 1,62% por ciclo para arquitetura de plantas e 6,81% para a produtividade de grãos. Menezes Júnior *et al.* (2008) ao avaliarem três ciclos de seleção recorrente obtiveram progresso genético para produtividade e aspecto de grãos de 3,13% e 11,24%, respectivamente. Já para arquitetura de plantas, o progresso foi negativo (-5,11%), uma vez que progênies com notas mais baixas apresentam melhor arquitetura de plantas. Utilizando essa mesma estratégia, Silva *et al.* (2007) avaliando cinco ciclos de seleção para precocidade em feijão carioca, concluíram que a seleção recorrente fenotípica foi eficiente em reduzir o número de dias para o florescimento, com progresso de 2,2% ao ano.

A UFLA iniciou os seus trabalhos com a cultura do feijoeiro em 1968. Em 1990, foi iniciado o programa de seleção recorrente visando principalmente a produtividade e a qualidade dos grãos do tipo carioca (Ramalho, *et al.*, 2005; Silva *et al.* 2010). Este programa, que é baseado na avaliação e seleção de progênies para recombinação, se encontra no décimo oitavo ciclo de seleção recorrente.

A população base do programa deste programa foi obtida a partir do cruzamento de 10 linhagens. No entanto, outras linhagens com bom desempenho agrônômico foram incluídas em ciclos subsequentes (Ramalho *et al.*, 2005). No primeiro ciclo, as linhagens utilizadas como genitoras apresentavam características distintas, como o aspecto dos grãos, o hábito de crescimento e até mesmo eram de diferentes raças, visando assim obter uma população com alta variabilidade. Logo, foi possível verificar que essa grande variabilidade não deveria ser o foco do programa, a partir de então apenas as progênies com grãos do tipo carioca e alta produtividade passaram a ser selecionadas. Exemplos de sucesso deste programa de seleção

recorrente são as cultivares obtidas neste programa: BRSMG Talismã, BRSMG Majestoso e BRSMG Amuleto.

2.4 Experimentação aplicada ao melhoramento do feijoeiro

O sucesso dos programas de melhoramento do feijoeiro depende de avaliações precisas que permitam realizar a seleção acurada tanto de progênies quanto de linhagens. Portanto, a correta condução de experimentos tem importância fundamental neste processo. Fatores relacionados a experimentação como definição do número de tratamentos, tamanho da área disponível para plantio, tamanho das parcelas e número de sementes disponíveis das linhagens a serem avaliados são determinantes para delinear os experimentos que serão conduzidos. Os principais delineamentos empregados pelos programas de melhoramento são os blocos casualizados (DBC), introduzidos por Fisher (1925), os blocos aumentados (DBA), desenvolvidos por Federer (1956), e os delineamentos látices, propostos por Yates (1936).

Os delineamentos em blocos casualizados são utilizados para minimizar os efeitos da heterogeneidade nas áreas experimentais, garantindo que todos os tratamentos estejam presentes em todos os blocos, o que proporciona um design balanceado e aumenta a precisão dos resultados. Apesar do delineamento em DBC ser muito difundido no uso da pesquisa agropecuária, existem situações em que se pretende avaliar muitos tratamentos como no caso do melhoramento vegetal, tornando os blocos muito grandes. Assim, não é possível manter a homogeneidade dentro dos blocos (Barbosa, 1986). Por isso, este delineamento é mais empregado na etapa final do melhoramento, especialmente durante os ensaios de valor de cultivo e uso (VCU), quando são avaliados pequeno número de linhagens.

Yates (1936) introduziu os delineamentos de blocos incompletos, possibilitando a avaliação de um maior número de tratamentos, uma vez que cada bloco passa a incluir apenas uma parte deles. Os blocos sem todos os tratamentos caracterizam uma situação de não ortogonalidade. Assim, os tratamentos recebem influências diferenciadas conforme os blocos em que ocorrem, exigindo o ajustamento de seus valores para os efeitos dos blocos. Uma série de tipos de delineamentos em blocos incompletos são utilizados na pesquisa agropecuária. Dividindo-se em duas grandes classes: blocos incompletos balanceados (BIB) e blocos incompletos parcialmente balanceados (BIPB).

Nos delineamentos em BIB, todos os pares de tratamentos aparecem juntos o mesmo número de vezes nos blocos, tornando possível compará-los com a mesma precisão mesmo que a diferença entre os blocos seja grande. Este tipo de combinação entre os pares de tratamentos nem sempre são práticos, por isso se torna útil a utilização de delineamentos do tipo BIPB (Bose; Nair, 1939). Apesar do BIPB ser mais útil em termos práticos no melhoramento, ele é menos desejável do que os modelos balanceados, pois são estatisticamente mais difíceis de analisar. Isso ocorre porque as comparações entre alguns pares de tratamentos são feitas com maior precisão do que para outros pares.

O melhorista de plantas costuma recorrer ao delineamento em látice quadrado para avaliar grande número de tratamentos avaliados em um único ensaio. Neste delineamento, os blocos incompletos são combinados em grupos formando repetições completas isoladamente, que podem ser do tipo BIB ou BIPB permitindo a análise de variância intrablocos, bem como a análise com recuperação da informação interblocos. O delineamento em látice quadrado parcialmente balanceado é útil devido à possibilidade do número reduzido de repetições imposto pela limitação espacial e dos recursos financeiros da maioria dos programas de melhoramento. O número de blocos e o número de tratamentos presentes em cada bloco neste delineamento é a raiz quadrada do número de tratamentos, que deve ser um quadrado perfeito (Cochran; Cox, 1957).

Embora os delineamentos BIB's e BIPB's sejam úteis em muitos casos, há situações em que se tornam impraticáveis devido à pouca flexibilidade quanto ao número de tratamentos e à limitação de sementes para realizar repetições. Isso leva os melhoristas a buscar alternativas mais viáveis. Os delineamentos aumentados surgiram em resposta a esse tipo de necessidade, possibilitando planejamentos mais eficientes para situações como a dos experimentos preliminares, cujo propósito básico é a triagem de linhagens promissoras para avaliações futuras mais precisas (Federer, 1956). No delineamento em blocos aumentados são avaliados dois conjuntos de tratamentos, um denominado tratamentos comuns ou testemunhas, repetidos r vezes, e outro denominado tratamentos regulares que aparecem apenas uma vez no experimento.

A experimentação está sujeita a diversas formas de erro, por exemplo diferenças na fertilidade do solo, competição entre parcelas, fenotipagem de baixa qualidade, estresses abióticos e bióticos, que podem se distribuir de forma não homogênea. Segundo Ramalho *et al.* (2012), a avaliação de linhagens em condições altas de adubação com níveis adequados

dos nutrientes, possibilita que pequenas diferenças de fertilidade sejam encobertas pela adubação usada. No entanto, as estratégias de controle local baseada em blocagem podem ser ineficientes para tratar a presença de manchas ou gradientes dentro dos experimentos inflacionando a variação residual (Resende, 2002).

Nesta situação, técnicas de análise espacial permitem contornar a questão e podem propiciar avaliações mais precisas e uma seleção mais acurada (Resende *et al.*, 2014). Diversos modelos têm sido propostos para lidar com a variação ambiental em experimentos provenientes de programas de melhoramento de plantas (Gilmour *et al.*, 1997; Papadakis, 1937; Velazco *et al.*, 2017). Assim, o ajuste espacial pode apresentar viés positivo no teste F, melhorando a detecção dos efeitos genéticos (Cullis; Gleeson, 1989). Os modelos espaciais podem ser aplicados a dados fenotípicos obtidos a partir de delineamentos clássicos, sem a necessidade de modificar a instalação do experimento no campo, exigindo apenas a manutenção da informação do *gride* do experimento. Essa abordagem não substitui os delineamentos usuais, mas são vistos como uma alternativa com o potencial de melhorar as estimativas genéticas (Borges *et al.*, 2018).

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P.; CARNEIRO, J. E. S.; GONÇALVES, F. M. A.; SANTOS, J. B.; PELOSO, M. J. D. ; FARIA, L. C.; CARNEIRO, G. E. S. ; PEREIRA FILHO, I. A. BRSMG Talismã: common bean cultivar with carioca grain type. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, East Lansing, v. 47, p. 319-320, 2004.
- ABREU, M.J. de; LEITE, M.E.; FERREIRA, A.N.; PEREIRA, R.; PEREIRA, F.A.C.; SOUZA, E.A de. Resistance of common bean lines to *Sclerotinia sclerotiorum* isolates under different environmental conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.57, e02877, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.02877>.
- BARBOSA, G. U. de S. **Planejamento e análise de ensaios em blocos incompletos parcialmente balanceados, com duas classes de associados - PBIB**. Piracicaba, 1986. 118p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1986.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. Viçosa: UFV. Cap. 10, 13 e 14. 2021.
- BORGES, A. et al. Can Spatial Modeling Substitute for Experimental Design in Agricultural Experiments?. **Crop Science**, v. 59, n. 1, p. 44-53, 2018.
- BOSE, R.C.; NAIR, K.R. Partially balanced incomplete block designs. **Sankhyā**, v. 4, p. 337 - 372. 1939.
- BREVIGLIERI, M. B. Feijão: estado de São Paulo. In: BRASIL. : AROLDO ANTONIO DE OLIVEIRA NETO. **A cultura do feijão**. Brasília: Conab, 2018. p. 1-204.
- BRUZI, A. T. **Aplicações da análise de modelos mistos em programas de seleção recorrente no feijoeiro comum**. 2008. 71p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.
- BULISANI, E.A. **Feijão carioca - uma história de sucesso**. 2008. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_4/FeijaoCarioca/index.htm>. Acesso em: 13/7/2024 .
- CARNEIRO, J. E. S. ; ABREU, A. DE F. B. ; ABREU, A. F. B. ; RAMALHO, M. A. P. ; PAULA JUNIOR, T. J. ; PELOSO, MARIA JOSÉ DEL ; MELO, L. C. ; PEREIRA, H. S. ; PEREIRA FILHO, I. A.; MARTINS, M. ; VIEIRA, R. F. ; MARTINS, F.A.D. ; COELHO, M.A. DE O. ; CARNEIRO, P. C. S. ; MOREIRA, J.A.A. ; SANTOS, J. B. ; FARIA, L. C. ; COSTA, J. G. C.; TEIXEIRA, H.. BRSMG Madrepérola: common bean cultivar with late-darkening Carioca grain. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** (Impresso), v. 12, p. 281-283, 2012.
- CHIORATO, A. F.; CARBONELL, S. A. M. O melhoramento genético de feijoeiro no Instituto Agronômico IAC (1932 a 2014). **O Agrônomo**, Campinas, SP. v. 64-66, p. 6-13, 2014.

COCHRAN, W.G.; COX, G.M. **Experimental Design**. 2nd Edition, John Wiley and Sons, New York, 615 p. 1957.

COELHO, C. G.; OLIVEIRA, L. S. G.; BERNARDES, L. Melhoria do feijoeiro no Brasil: uma revisão de literatura. In: **Encontro Latino-Americano de Pós-Graduação, 2017, São Paulo**. Anais [...] . São Paulo: Univap, 2017. p. 58-62

COLLICCHIO, E.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Associação entre o porte da planta do feijoeiro e o tamanho dos grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 3, p. 297-304, mar. 1997.

CULLIS, B. R.; GLEESON, A. .C Efficiency of neighbour analysis for replicated variety trials in Australia. **J. Agric. Sci.**, v. 113, n. 2, p. 233-239, 1989.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Dados conjunturais do consumo per capita de arroz (*Oryza sativa* L.) e de feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), no Brasil, de 1985 a 2021**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2021.

EMBRAPA. Osmira Fátima da Silva. **Sócioeconomia: feijão. Feijão**. 2023. Elaborado por Embrapa Arroz e Feijão. Disponível em: <https://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>. Acesso em: 13 jul. 2024.

FARIA, J. C.; ARAGÃO, F. J. L.; QUINTELA, E. D.; SOUZA, T. L. P. O.; KITAHIMA, E. W.; RIBEIRO, S. G. **Golden Mosaic of Common Beans in Brazil: Management with a Transgenic Approach**. American Phytopathological Society, 2016.

FARIA, L. C. et al. BRS Cometa: a carioca common bean cultivar with erect growth habit. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 8, p. 167-169, 2008.

FEDERER, W. T. Aumented (or hoonuiaku) designs. **Hawaiian Planter's Records**, v. 55, p. 191 - 208, 1956.

FININSA; C. Relationship between common bacterial blight severity and bean yield loss in pure stand and bean-maize intercropping systems. **International Journal of Pest Management**, v 49, p. 177–185, 2003.

FISHER, R. A. **Statistical methods for research workers**. 11th ed. Edinburgh: Oliver; Boyd. 1925.

GILMOUR, A. R., CULLIS, B. R.; VERBYLA, A. P.. Accounting for Natural and Extraneous Variation in the Analysis of Field Experiments. **Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics**, v. 2, n.3, p. 269–293, 1997.
<https://doi.org/10.2307/1400446>

HALLAUER, A. R. **Recurrent selection in maize**. Plant Breeding Reviews, New York, p. 115-179, 1992.

LEMOES, R. C. **Procedimento para a identificação de progênies superiores em gerações sucessivas de avaliação na cultura do feijoeiro**. 2017. 62 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

LEMOS, R. C., ABREU, A. F. B., SOUZA, E. A., SANTOS, J. B., E RAMALHO, M. A. P.. A half century of a bean breeding program in the south and alto paranaíba regions of minas gerais. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, p. 1–8, 2020. <https://dx.doi.org/10.1590/1984-70332020v20n2c27>.

MAPA. **Registro cultivar BRSMG Zape**. CultivarWeb. 2021. Disponível em: https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/detalhe_cultivar.php?codsr=46971&codverif=0. Acesso em: 03 jul. 2024.

MELO, L. C. et al. BRS Estilo - Common bean cultivar with Carioca grain, upright growth and high yield potential. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 10, n. 4, p. 377-379, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1984-70332010000400015>.

MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Seleção recorrente para três caracteres do feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 833-838, 2008.

MOURA, A. D.; BRITO, L. M. Aspectos socioeconômicos. In: CARNEIRO, J. E.; JÚNIOR, T. J. P.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, p. 16-36, 2015.

NIÑO-SÁNCHEZ, J.; TELLO, V.; CASADO-DEL CASTILLO, V.; THON, M.R.; BENITO, E.P.; DÍAZ-MÍNGUEZ, J.M. Gene expression patterns and dynamics of the colonization of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by highly virulent and weakly virulent strains of *Fusarium oxysporum*. **Frontiers in Microbiology**, v. 6, n. 234, 2015.

NUNES, M. P. B. A. et al. Relationship of *Colletotrichum lindemuthianum* races and resistance loci in the *Phaseolus vulgaris* L. genome. **Crop Science**, v. 61, n. 1, p. 3877–3893, 2021.

PAPADAKIS, J. S. Méthode statistique pour des expériences sur champ. **Bull. Inst. Amel. Plantes a Salonique**, v. 23, p. 13–29, 1937.

PERINA, E. F. et al. Technological quality of common bean grains obtained in different growing seasons. **Bragantia**, v. 73, n. 1, p.14-22, 2014.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da Genética Quantitativa no Melhoramento de Plantas Autógamas**. UFLA. 522p. 2012.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. D. F. B.; SANTOS, J. B. DOS. Genetic progress after four cycles of recurrent selection for yield and grain traits in common bean. **Euphytica**, v. 144, n. 1–2, p. 23–29, 2005.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. ; CARNEIRO, J. E. S. ; MELO, L.C. ; Junior, T.J.P. ; PEREIRA, H. S. ; DEL PELOSO, M. J. ; PEREIRA FILHO, I. A. ; MARTINS, M. ; GIUDICE, M. P. ; VIEIRA, R. F. . BRSMG Uai: common bean cultivar with carioca grain type and upright plant architecture. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, p. 261-264, 2016.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Obtenção de cultivares. In: CARNEIRO, J. E.; JÚNIOR, T. J. P.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, p. 96-114, 2015.

RESENDE, M. D. V. et al. Multigeneration index in the within-progenies bulk method for breeding of self-pollinated plants. **Crop Science**, v. 55, n. 3, p. 1202-1211, 2015.

RESENDE, M.D.V; **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. 1. ed. Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975 p.

RIBEIRO, N. D. et al. Parâmetros Da Qualidade Visual Do Feijão Carioca Observados Pelos Consumidores. In: **6º Simpósio de Segurança Alimentar**, 6., 2018, Gramado. Anais [...]. Porto Alegre: Sbcta, 2018. p. 251-257.

SILVA, E. A.. A cultura do feijão em Minas Gerais. In: BRASIL. : AROLDO ANTONIO DE OLIVEIRA NETO. **A cultura do feijão**. Brasília: Conab, 2018. p. 1-204.

SILVA, F. B.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. DE F. B. Seleção recorrente fenotípica para florescimento precoce de feijoeiro “Carioca”. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 10, p. 1437–1442, 2007.

SILVA, G. S. DA et al. Estimation of genetic progress after eight cycles of recurrent selection for common bean grain yield. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 10, n. 4, p. 351–356, 2010.

SILVA, O. F. da; WANDER, A. E. **O feijão comum no Brasil passado, presente e futuro**. Santo Antônio de Goiás-GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2013. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 287).

SOUZA, I. S. F.; FERREIRA, C. M. Aspectos histórico-culturais do arroz e do feijão na sociedade brasileira. In: FERREIRA, C. M.; BARRIGOSI, J. A. F. (ed.). **Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar**. Brasília, DF: Embrapa; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2021.

VELAZCO, J. G. et al. Modelling spatial trends in sorghum breeding field trials using a twodimensional P-spline mixed model. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 130, n. 7, p. 1375–1392, 2017.

WANDER, A. E.; SILVA, O. F.. **Cultivo do feijão: mercado**. 2023. Desenvolvido por Embrapa Arroz e Feijão. Disponível em: [https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/pos-producao/mercado#:~:text=Cabe%20ressaltar%20que%20entre%20os,o%20mais%20consumido%20\(56%25\)..](https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/pos-producao/mercado#:~:text=Cabe%20ressaltar%20que%20entre%20os,o%20mais%20consumido%20(56%25)..) Acesso em: 03 jul. 2024.

WANDER, A. E.; SILVA, O. F. **Cultivo do feijão: pós-produção. Pós-produção**. 2023a. Elaborado por Embrapa Arroz e Feijão. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/pos-producao/consumo>. Acesso em: 13 jul. 2024.

WENDLAND, A.. **Manual de identificação das principais doenças do feijoeiro comum** / Adriane Wendland, Murillo Lobo Junior, Josias Correa de Faria. Brasília, DF : Embrapa, 2018. 49 p. : il.

YATES, F. A new method of arranging variety trials involving a large number of varieties. **J. Agric. Science**, v. 26, p. 424 - 455, 1936.

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

Redigido conforme a norma NBR 6022 (ABNT, 2018)

ARTIGO 1 - Análise espacial de experimentos em blocos incompletos no melhoramento do feijoeiro

RESUMO

Uma nova cultivar de feijão carioca deve ser altamente produtiva, possuir elevada qualidade comercial dos grãos e plantas com arquitetura ereta. Obter linhagens com todos esses fenótipos não é tarefa simples. A Universidade Federal de Lavras (UFLA) tem conduzido um programa de seleção recorrente de feijão carioca visando a obtenção de linhagens com elevada produtividade e qualidade comercial dos grãos. Na etapa final deste programa, as linhagens são extensivamente avaliadas em experimentos conduzidos em diferentes safras, anos e locais. Esses experimentos podem apresentar diferentes números de tratamentos, repetições e delineamentos experimentais que muitas das vezes são poucos precisos e afetam a seleção. Abordagens de modelos mistos e de análises espaciais tem auxiliado nas análises de dados provenientes destes experimentos, permitindo a obtenção de estimativas de médias mais acuradas e, conseqüentemente, no aumento da acurácia de seleção no melhoramento do feijoeiro. Portanto, o objetivo deste trabalho foi verificar o efeito de incluir a informação espacial das parcelas de experimentos em delineamentos de blocos incompletos na acurácia da seleção de linhagens de feijão carioca. Além disso, propôs-se uma alternativa de seleção de linhagens de feijão carioca por meio da comparação destas com testemunhas referências. Um conjunto de 500 linhagens de feijão carioca do décimo oitavo ciclo de seleção recorrente da UFLA foi avaliado, juntamente com 6 testemunhas, em delineamento de blocos aumentados quanto à produtividade, aspecto dos grãos e arquitetura de plantas. As melhores 250 linhagens quanto ao aspecto dos grãos foram selecionadas para serem avaliadas novamente com as testemunhas quanto aos mesmos caracteres. Esse experimento foi conduzido em delineamento látice quadrado. Os dados de avaliação das linhagens foram submetidos a análises individuais e conjuntas de variância/deviance com e sem incorporação da informação espacial das parcelas. A seleção das melhores linhagens foi realizada com base na comparação destas em relação às melhores testemunhas avaliadas em cada safra. Os modelos que incorporaram informação espacial das parcelas apresentaram melhor ajuste conforme critério de Akaike. Observou-se menores valores de coeficiente de variação e do erro médio de comparação entre as linhagens ao empregar a análise espacial para todos os caracteres. A acurácia foi superior com a inclusão desta informação para todos os caracteres. A maioria das 250 linhagens apresentaram notas de aspecto dos grãos inferiores a 2,5, que indica elevada qualidade comercial dos grãos. Linhagens com elevada qualidade comercial dos grãos e produtividade foram selecionadas para compor os ensaios intermediários do programa de melhoramento. Concluiu-se que a inclusão da informação espacial aumenta a precisão experimental, melhora a acurácia de seleção e facilita a identificação de linhagens superiores, contribuindo significativamente para o avanço genético do feijoeiro carioca.

Palavras-chave: melhoramento do feijoeiro; análise espacial; delineamento experimental.

ABSTRACT

A new carioca bean cultivar must be highly productive, possess high commercial grain quality, and have plants with an upright architecture. Achieving lines with all these phenotypes is not a simple task. The Federal University of Lavras (UFLA) has been conducting a recurrent selection program for carioca beans aimed at obtaining lines with high productivity and commercial grain quality. In the final stage of this program, the lines are extensively evaluated in experiments conducted in different seasons, years, and locations. These experiments can present varying numbers of treatments, repetitions, and experimental designs, which often lack precision and affect selection. Mixed model and spatial analysis approaches have aided in the data analysis from these experiments, allowing for more accurate mean estimates and, consequently, increasing the accuracy of selection in bean breeding. Therefore, the objective of this work was to verify the effect of including spatial information of the plots in experiments with incomplete block designs on the selection accuracy of carioca bean lines. Additionally, an alternative approach for selecting carioca bean lines through comparison with reference checks was proposed. A set of 500 carioca bean lines from the eighteenth cycle of recurrent selection at UFLA were evaluated, along with 6 checks, in an augmented block design for productivity, grain appearance, and plant architecture. The best 250 lines in terms of grain appearance were selected for re-evaluation with the checks for the same traits. This experiment was conducted in a square lattice design. The evaluation data of the lines were subjected to individual and joint variance/deviance analyses with and without incorporating the spatial information of the plots. The selection of the best lines was based on their comparison to the best checks evaluated in each season. Models that incorporated spatial information of the plots showed better fit according to the Akaike criterion. Lower values of the coefficient of variation and the mean comparison error among the lines were observed when employing spatial analysis for all traits. Accuracy was higher with the inclusion of this information for all traits. Most of the 250 lines had grain appearance scores below 2.5, indicating high commercial grain quality. The 52 best lines in terms of productivity and commercial grain appearance were selected to compose the intermediate line trial of the UFLA breeding program.

Keywords: bean breeding; spatial analysis; experimental design.

1 INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das leguminosas mais importantes para a alimentação humana no Brasil. Esta cumpre um papel fundamental na dieta da população devido ao seu alto valor nutricional e ao seu consumo difundido em diversas regiões do país. Estima-se que a produção de feijão no Brasil terá de crescer em torno de 44% até 2050 para atender a demanda nacional (Antolin; Heinemann; Marin, 2021). Além da importância alimentar, o cultivo do feijoeiro possibilita a empregabilidade de diversos trabalhadores, principalmente pelo seu cultivo ocorrer durante todo o ano e requerer grande quantidade de mão de obra (Moura; Brito, 2015).

O melhoramento do feijoeiro visa desenvolver cultivares com tolerância a fatores bióticos e abióticos, alta produtividade, e qualidade comercial, nutricional e tecnológica dos grãos. A maioria dos programas de melhoramento são de origem pública, como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), o Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR), o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e universidades públicas como UFLA e UFV. Essas instituições desenvolveram cultivares como BRSMG Amuleto, BRSMG Zape, BRSMG Uai, BRSMG Madrepérola, BRSMG Talismã, IPR Sabiá e IAC Polaco (MAPA, 2021a; MAPA, 2021b; Ramalho, *et al.*, 2016; Carneiro, *et al.*, 2012; ABREU, *et al.*, 2004; MAPA, 2024c; Chiorato, *et al.*, 2020).

O feijão do grupo comercial carioca, caracterizado pelo tegumento de cor creme com rajas marrons, é o mais produzido e consumido no Brasil (Wander; Silva, 2023). Devido à sua relevância nacional, este grupo tem recebido maior atenção pelos principais programas de melhoramento do feijoeiro do país. Esses programas concentram seus esforços no desenvolvimento de novas cultivares que não apenas alcancem altas produtividades, mas também apresentem grãos de elevada qualidade comercial para atender às exigências dos produtores, da indústria e dos consumidores finais (Ribeiro *et al.*, 2018).

A seleção recorrente tem sido empregada no melhoramento do feijão carioca visando especialmente a produtividade de grãos. A Universidade Federal de Lavras (UFLA) conduz um programa dessa natureza cujo objetivo é a obtenção de linhagens de feijão carioca com grãos de bom aspecto comercial e principalmente elevada produtividade. Neste programa já foram conduzidos dezessete ciclos com ganhos progressivos ao longo do tempo. A estimativa de ganho de seleção após cinco ciclos seletivos, foi de 5,7% para produtividade e 10,5% para o tipo de grão (Ramalho *et al.*, 2005). No oitavo ciclo de seleção deste programa, foi

constatado progresso genético de 26,4%, acumulando 3,3% por ciclo de seleção (Silva *et al.*, 2010).

As linhagens obtidas em cada ciclo de seleção recorrente são avaliadas em ensaios preliminares e intermediários até serem selecionadas e incluídas em ensaios de valor de cultivo e uso (VCU). Durante estas avaliações, existem diversos desafios na condução destes experimentos e, conseqüentemente, na seleção das melhores linhagens que irão compor os ensaios de valor de cultivo e uso. Dentre estes, destacam-se a restrição de sementes, área, mão de obra e recursos financeiros. Assim, estas restrições exigem que o melhorista conduza experimentos com delineamentos que possuem menor número de repetições ou que não possuam repetições.

Durante os estágios iniciais de avaliação das linhagens de feijão, as progênies são avaliadas em experimentos em delineamento de blocos aumentados e/ou com parcelas com menor número de plantas, que acarreta avaliações menos precisas. Em experimentos posteriores, quando já se dispõe de mais sementes de cada linhagem, são empregados delineamentos mais robustos com repetições como os látices. Entretanto, outros desafios surgem como a realização de análises conjuntas entre experimentos com delineamentos distintos e com número de repetições diferentes. Portanto, uma compreensão profunda dos princípios da experimentação e de alternativas em termos de análises que permitam tornar a seleção de linhagens mais acurada é essencial para o sucesso dos programas de melhoramento.

Alternativas baseadas em modelagem mista e análise espacial têm sido empregadas para minimizar os desafios observados nas análises de experimentos de avaliação de linhagens. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi verificar o efeito da inclusão da informação espacial das parcelas de experimentos em delineamentos de blocos incompletos na acurácia da seleção de linhagens de feijão carioca. Além disso, pretendeu-se propor uma alternativa de seleção de linhagens de feijão carioca por meio da comparação destas com testemunhas referências.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material Experimental

As 500 linhagens avaliadas neste estudo são provenientes do décimo oitavo ciclo do programa de seleção recorrente de feijão carioca da UFLA visando produtividade de grãos

(Carvalho, 2013; Lemos, 2017; Ramalho *et al.* 2005; Menezes Júnior *et al.* 2008; Silva *et al.* 2010;). Estas linhagens foram derivadas das 20 melhores progênies $S_{2;4}$ quanto a produtividade de grãos, das quais foram selecionadas as 25 melhores plantas quanto ao aspecto dos grãos. Estas linhagens foram avaliadas na safra de outono inverno de 2022 em conjunto com 6 testemunhas (Carioca MG, BRS Pérola, BRSMG Amuleto, BRSMG Zape e IPR Sabiá e BRSMG Madrepérola) em um experimento em delineamento de blocos aumentados com 10 blocos e parcelas constituídas por uma linha de um metro.

As 250 melhores linhagens quanto ao aspecto comercial dos grãos foram selecionadas para serem avaliadas novamente com as 6 testemunhas na safra da seca de 2023. Este experimento foi conduzido em delineamento em látice quadrado 16x16 com três repetições e parcelas constituídas por duas linhas de dois metros. Os dois experimentos conduzidos neste trabalho contaram com densidade de 15 sementes por metro e espaçamento entre linhas de 0,60m. Os tratos culturais foram realizados conforme descrito por Carneiro *et al.* (2015). Ambos os experimentos foram conduzidos no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizado no município de Lavras na mesorregião do Campo das Vertentes do estado de Minas Gerais, a 918 m de altitude, 21°58' de latitude Sul e 42°22' de longitude Oeste.

Os caracteres avaliados foram produtividade, aspecto comercial dos grãos e arquitetura de plantas. A produtividade de grãos (PG) foi obtida pela massa em gramas por parcela e convertida para kg.ha^{-1} . O aspecto comercial dos grãos (AG) foi avaliado visualmente logo após a colheita com auxílio de uma escala de 1 a 5 proposta por Ramalho *et al.* (1998). Nesta escala, as notas indicam: 1 - típico grão Carioca: cor creme com estrias marrom-claras, fundo claro, sem halo, peso médio de 100 sementes de 22 a 24 g, grãos não achatados; 2 - grão tipo Carioca com deficiência em uma das características mencionadas no padrão; 3 grão tipo Carioca com deficiência em duas das características mencionadas no padrão; 4-grão tipo Carioca com deficiência em três características mencionadas no padrão; 5 – creme com estrias marrom-escuras, fundo escuro, com halo, peso médio de 100 sementes menor que 22 g, grãos achatados). A arquitetura de plantas (ARQ) foi avaliada visualmente em campo ao final do ciclo cultura com auxílio de uma escala de notas de 1 a 9, proposta por Collicchio *et al.* (1997). A nota 1 indica plantas eretas com uma haste e poucas ramificações e nota 9 plantas completamente prostradas com muitas ramificações e guias muito longas.

2.2 Análises estatísticas

As análises individuais foram realizadas por meio de um modelo linear conforme descrito na equação 1.

$$y = 1\mu + X\tau + Zu + e \quad (1)$$

Em que: y é o vetor de observações fenotípicas das parcelas; μ é o intercepto associado a um vetor de uns $1^{(N \times 1)}$, em que N representa o número de parcelas; τ é o vetor de efeitos fixos associado à matriz de incidência X ; u é o vetor de efeitos aleatórios associados à matriz de incidência Z ; e é o vetor de resíduos aleatórios.

A análise conjunta foi realizada por meio de um modelo similar ao descrito na equação (1), porém com a inclusão do vetor de efeitos fixos da interação linhagens por safras ($\tau^{(GS \times 1)}$) associado à matriz de incidência $X^{(N \times GS)}$ em que L representa o número de linhagens e S representa o número de safras. As variâncias de blocos e resíduos foram consideradas heterogêneas na análise conjunta dos experimentos. A significância dos efeitos fixos foi verificada por meio do teste de Wald (Satterthwaite, 1946). Os efeitos aleatórios de blocos, linhas e colunas foram testados por meio do teste de razão de verossimilhança (Wilks, 1938).

Dois modelos foram adotados para análise dos dados, que se diferenciaram pela inclusão da informação espacial (linha e coluna) das parcelas (Tabela 1). As abordagens com (modelo 1) e sem (modelo 2) informação espacial das parcelas foram utilizadas nas análises individuais e conjunta dos dados das avaliações das linhagens quanto a todos os caracteres. As seguintes estimativas foram utilizadas para comparar os dois modelos ajustados nas análises individuais e conjunta : estatística F , acurácia seletiva ($\hat{r}_{gg}$), coeficiente de variação experimental (CV), erro médio de comparação entre pares de linhagens (EMC) e critério de informação de Akaike (AIC) (Akaike, 1974).

Os dados de linha e coluna das parcelas foram registrados durante a instalação do experimento, garantindo o posicionamento sistemático das parcelas em um sistema matricial. Um croqui detalhado da área experimental foi elaborado, documentando as coordenadas de cada parcela de forma precisa. A codificação foi realizada de maneira ordenada, organizando as linhas dentro das colunas, o que facilitou o armazenamento e a utilização das informações para análises espaciais. Para tabular as informações espaciais, foram associadas as coordenadas de linha e coluna a cada parcela, criando um banco de dados que relaciona essas

coordenadas às variáveis coletadas. Esse registro permitiu a aplicação de modelos estatísticos que consideram a estrutura espacial das parcelas, melhorando a precisão das estimativas e a acurácia na seleção de tratamentos.

Tabela 1 – Descrição dos efeitos fixos (τ) e aleatórios (u) dos modelos estatísticos com inclusão da informação espacial (CIIE) e sem inclusão da informação espacial (SIIE) empregados para as análises individuais e conjunta dos dados das avaliações das linhagens.

Modelagem	Análises Individuais		Análises Conjuntas	
	τ^a	u^b	τ^c	u^d
SIIE	τ_μ, τ_g	u_b, u_e	$\tau_\mu, \tau_g, \tau_{r/s}, \tau_s, \tau_{gxs}$	$u_{b/s}, u_e$
CIIE	τ_μ, τ_g	u_b, u_l, u_c, u_e	$\tau_\mu, \tau_g, \tau_{r/s}, \tau_s, \tau_{gxs}$	$u_{b/s}, u_{l/s}, u_{c/s}, u_e$
SIIE	τ_μ, τ_g, τ_r	u_b, u_e	-	-
CIIE	τ_μ, τ_g, τ_r	u_b, u_l, u_c, u_e	-	-

Nota: ^a μ : média; g : efeito de linhagem; r : efeito da repetição. ^b b : efeito de blocos; l : efeito de linhas; c : efeito de colunas. e : resíduos. ^c μ : média; r/s : efeito de repetição dentro de safra; s : safra; gxs : interação linhagens por safras. ^d b/s : efeito de blocos dentro de safras; l/s : efeito de linhas dentro de safras; c/s : efeito de colunas dentro de safras; e : resíduos.

Fonte: Do autor (2024).

A estimativa do critério de informação de Akaike (AIC) foi obtida pelo estimador descrito na equação 2.

$$AIC = -2\text{Log}L + 2p \quad (2)$$

Em que: $\text{Log}L$ é o logaritmo neperiano do ponto de máximo da função de verossimilhança residual e p é o número de parâmetros estimados. O ajuste conforme o critério de Akaike busca equilibrar a precisão do modelo, que é a habilidade do modelo de representar corretamente a estrutura dos dados observados, e a complexidade do modelo, que se refere ao número de parâmetros estimados. O modelo com melhor ajuste aos dados foi o que apresentou menor valor de AIC (Akaike, 1974), indicando que, entre os modelos avaliados, aquele com o menor AIC é o mais eficiente, pois consegue descrever os dados de forma precisa sem ser excessivamente complexo.

A acurácia seletiva ($\hat{r}_{gg}$) foi obtida por meio da seguinte equação proposta por Resende e Duarte (2007):

$$\hat{r}_{\hat{g}g} = \sqrt{1 - \frac{1}{F}} \quad (3)$$

Em que: F é a estatística F.

O coeficiente de variação (CV) foi calculado por meio da equação 4:

$$CV (\%) = 100 \times \left(\frac{\sqrt{\sigma_e^2}}{\bar{y}_{..}} \right) \quad (4)$$

Em que σ_e^2 representa a variância residual e $\bar{y}_{..}$ a média geral. No caso de caracteres como AG e ARQ avaliados por escala de notas, o CV foi calculado por meio da adaptação proposta por Anjos (2019):

$$CV (\%) = 100 \times \left(\frac{\sqrt{\sigma_e^2}}{|\bar{y}_{..} - NFI|} \right) \quad (5)$$

Em que NFI é a nota do fenótipo indesejado na escala de notas para AG (5) ou para ARQ (9).

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio dos pacotes estatísticos lme4 (Bates *et al.*, 2015) e emmeans (Lenth, 2023) no software R (R Core Team, 2024) e do software Echidna Mixed Models (Gilmour, 2023).

2.3 Seleção de linhagens

A seleção das linhagens foi efetuada por meio das estimativas de média obtidas pelo modelo com melhor ajuste. O critério adotado para realizar a seleção das melhores linhagens quanto a PG, AG e ARQ foi a comparação com a testemunha de melhor desempenho em cada safra no caso de presença de interação linhagens por safras ou na média das duas safras caso não fosse detectada essa interação. As linhagens que se demonstraram iguais ou superiores à melhor testemunha para cada caráter foram selecionadas para compor o ensaio intermediário do programa de seleção recorrente de feijão carioca da UFLA.

As médias ajustadas das linhagens (y_g) para cada um dos caracteres em cada experimento foram obtidas por meio da combinação linear apresentada na equação 6. Nas análises individuais em delineamento de blocos aumentados adotou-se $\tau^T = (\mu, \tau_g)^T$, enquanto que para o látice quadrado adotou-se $\tau^T = (\mu, \tau_g, \tau_r)^T$. Na análise conjunta o vetor de efeitos fixos foi $\tau^T = (\mu, \tau_r, \tau_g, \tau_{gs})^T$.

$$y_g = L_g \tau \quad (6)$$

Em que: $y_g^{(g \times 1)}$ é o vetor de médias ajustadas das linhagens; $L_g^{(g \times N\tau)}$ é uma matriz de coeficientes de combinações lineares para estimar as médias ajustadas das linhagens, em que $N\tau$ o número de efeitos no vetor τ .

Os erros médios de comparação das linhagens em relação a melhores testemunhas para PG, AG e ARQ foram estimados conforme as equações 7, 8 e 9.

$$C_{ii'} = \bar{y}_{i\bullet} - \bar{y}_{t1\bullet} \quad (7)$$

$$\text{var}(C_{ii'})^{1/2} = \text{var}(\bar{y}_{i\bullet} - \bar{y}_{t1\bullet})^{1/2} \quad (8)$$

$$\text{var}((\bar{y}_{i\bullet} - \bar{y}_{t1\bullet})) = \text{var}(\bar{y}_{i\bullet}) + \text{var}(\bar{y}_{t1\bullet}) - 2 \times \text{cov}(\bar{y}_{i\bullet}, \bar{y}_{t1\bullet}) \quad (9)$$

Em que: $C_{ii'}$ é o contraste entre a média da linhagem i ($\bar{y}_{i\bullet}$) e da testemunha de melhor desempenho; ($\bar{y}_{t1\bullet}$), $\text{var}()$ representa a operação de variância e $\text{cov}()$ representa a operação de covariância. A estimação do desvio padrão do contraste $C_{ii'}$ requer a variância do contraste $C_{ii'}$ (Equação 7), cujos componentes podem ser obtidos por meio da seguinte expressão (Equação 10):

$$\text{var}(L_g \tau) = L_g C^{-1} L_g^T \quad (10)$$

Em que: C^{-1} é a matriz de coeficiente do sistema de equação de modelos mistos (Henderson *et al.*, 1959).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo 2 com incorporação da informação espacial das parcelas, apresentou o menor valor de AIC para PG (714,70) na safra de outono inverno de 2022, quando o

experimento foi delineado em blocos aumentados (Tabela 2). O modelo 1 sem informação espacial das parcelas apresentou menores valores de AIC para AG (-75,15) e ARQ (68,55). Entretanto, não foi detectado efeito significativo de linha ou coluna ao empregar o modelo 2 nas análises individuais para estes caracteres neste experimento. Os valores de F relativos ao efeito de linhagem foram superiores ao empregar o modelo 2 nas análises de todos os caracteres, especialmente de PG. As acurácias também foram superiores com a incorporação dessa informação nas análises. O EMC e o CV foram menores ao empregar este modelo para PG e ARQ. No entanto, o EMC foi igual a 0,33 em ambos os modelos para AG. Gilmour (1997), também constatou que a variância do erro reduziu ao utilizar informação de linhas e colunas nas análises de ensaios de avaliação de linhagens e variedades comerciais de trigo. Anjos (2019) também observou aumento na acurácia ao incorporar informação espacial nas análises de experimentos de avaliação de híbridos de milho.

Tabela 2 – Resumo das estimativas de parâmetros genéticos e não genéticos dos modelos estatísticos sem (M1) e com (M2) inclusão da informação espacial das parcelas no experimento da safra de outono inverno de 2022.

Par ¹	PG		AG		ARQ	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2
F _{Gen}	1,37 ^{ns}	2,04 ^{**}	6,80 ⁺	6,99 ^{**}	1,72 [*]	2,31 [*]
σ_b^2	12638,08 ^{ns}	44409,87 ^{ns}	0,001 ^{ns}	1,71x10 ^{-3 ns}	0,13 ^{ns}	0,09 ^{ns}
σ_{linha}^2	-	206136,10 ^{**}	-	2,59x10 ^{-3 ns}	-	0,18 ^{ns}
σ_{coluna}^2	-	0,20 ^{ns}	-	0,68x10 ^{-9 ns}	-	0,23 ^{ns}
σ_e^2	503962,43	267008,50	0,055	0,052	0,90	0,56
$\hat{r}_{gg}$	0,52	0,71	0,92	0,93	0,65	0,75
CV(%)	22,09	16,12	8,65	8,41	23,54	18,57
Média	3212,34	3206,30	2,29	2,29	4,97	4,97
EMC	1008,00	823,98	0,33	0,33	1,38	1,30
AIC	725,04	714,70	-75,15	-73,27	68,55	69,25

Nota: ¹ Parâmetros obtidos nas análises individuais de variância/deviance; ⁺ Não foi possível realizar o teste de significância; ^{*} Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Wald para os efeitos fixo ou pelo teste de razão de verossimilhança para os efeitos aleatórios; ^{**} significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Wald para os efeitos fixo ou pelo teste de razão de verossimilhança para os efeitos aleatórios; ^{ns} não significativo.

Fonte: Do autor (2024).

O modelo 2 apresentou menores valores de AIC para todos os caracteres avaliados na safra da seca de 2023, quando as linhagens foram avaliadas em um experimento conduzido em delineamento de látice quadrado (Tabela 3). Os valores da estatística F e da acurácia também foram superiores, enquanto os valores de CV e EMC foram inferiores quando empregado o modelo 2. Esses resultados corroboram o observado nas análises do experimento

em DBA e justificam a utilização do modelo 2, que emprega a informação espacial das parcelas para análise de PG, AG e ARQ.

Tabela 3 – Resumo das estimativas de parâmetros genéticos e não genéticos dos modelos estatísticos sem (M1) e com (M2) inclusão da informação espacial das parcelas no experimento da safra da seca de 2023.

Par ¹	PG		AG		ARQ	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2
F _{Gen}	1,99**	2,44**	3,10**	3,21**	2,48**	2,52**
F _{Rep}	11,75**	11,98**	0,82 ^{ns}	0,54 ^{ns}	8,40**	7,99**
σ_b^2	20741,49**	15678,63*	0,0060*	0,0030*	0,0775**	0,0708 ^{ns}
σ_{linha}^2	-	47862,15**	-	0,0039 ^{ns}	-	0,1019**
σ_{coluna}^2	-	3632,98 ^{ns}	-	0,0050 ^{ns}	-	0,0151 ^{ns}
σ_e^2	161422,80	121150,81	0,1147	0,1089	1,1082	1,0027
$\hat{r}_{gg}$	0,71	0,77	0,82	0,83	0,77	0,78
CV(%)	12,92	11,21	11,68	11,39	26,28	24,97
Média	3109,65	3104,51	2,10	2,1016	4,99	4,99
EMC	340,71	303,61	0,2825	0,28	0,88	0,85
AIC	6784,98	6704,65	-274,88	-276,67	881,16	864,81

Nota: ¹ Parâmetros obtidos nas análises individuais de variância/deviance; ⁺ Não foi possível realizar o teste de significância; * Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Wald para os efeitos fixo ou pelo teste de razão de verossimilhança para os efeitos aleatórios; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Wald para os efeitos fixo ou pelo teste de razão de verossimilhança para os efeitos aleatórios; ^{ns} não significativo.

Fonte: Do autor (2024).

O modelo 2 também apresentou os menores valores de AIC nas análises conjuntas de todos os caracteres avaliados (Tabela 4). A acurácia ao empregar esse modelo foi mais elevada para todos os caracteres. O EMC ao empregar o modelo 2 nessas análises foi mais baixo que os observados no modelo 1. Este resultado juntamente com os observados nas análises individuais indicam que a inclusão da informação espacial das parcelas aumentou a precisão experimental. Resultados semelhantes também foram observados na literatura (Silva *et al.*, 2020; Cardozo *et al.*, 2023). Observou-se um incremento no valor da estatística F ao empregar o modelo 2 para os efeitos de linhagem e interação linhagem por safra. Padrão inverso foi observado para o efeito de safra. Portanto, estes resultados indicam que a inclusão da informação espacial das parcelas nas análises de experimentos em delineamento de blocos aumentados ou em látice quadrado permitem tornar mais acurada a seleção de linhagens quanto a PG, AG e ARQ nos programas de melhoramento do feijoeiro.

Tabela 4 – Resumo da análise conjunta dos experimentos conduzidos nas safras de outono inverno de 2022 e seca de 2023 empregando modelos com e sem informação espacial das parcelas.

Par ¹	Características avaliadas e seus respectivos modelos estatísticos					
	PG		AG		ARQ	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2
F _{Gen} (G)	1,81 ^{**}	2,42 ^{**}	7,08 ^{**}	8,07 ^{**}	2,23 ^{**}	2,71 ^{**}
F _{Safr} (S)	11,58 ^{ns}	1,14 ^{ns}	70,52 [*]	32,22 ^{**}	0,10 ^{ns}	0,06 ^{ns}
F _{G x S}	1,14 ^{ns}	1,66 [*]	0,89 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,48 [*]	1,74 ^{**}
Média	2964,39	2905,42	2,50	2,50	5,26	5,22
EMC	844,34	693,76	0,31	0,30	1,20	1,13
r	0,13	0,19	0,59	0,59	0,21	0,21
AIC	7510,019	7411,18	-345,95	-350,36	949,71	925,27

Nota: ¹ Parâmetros obtidos nas análises individuais de variância/deviance; * Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} não significativo; r significa correlação entre a média das linhagens.

Fonte: Do autor (2024).

Os efeitos de linhagem e de linha foram significativos ($P < 0,01$) para PG ao empregar somente o modelo 2 na análise dos dados da avaliação realizada na safra de outono inverno de 2022 (Tabela 1). Não foi observado efeito significativo de bloco nesta análise. Os efeitos de linhagem e linha também foram significativos ($P < 0,01$) na safra da seca de 2023, quando o experimento foi conduzido em látice quadrado (Tabela 3). Na análise dos dados do experimento desta safra também foram observados efeitos significativos de repetição ($P < 0,01$) e de bloco dentro de repetição ($P < 0,05$).

A análise conjunta para PG demonstrou efeitos significativos ($P < 0,01$) de linhagem e interação de linhagem por safras ao empregar o modelo 2. A correlação entre as médias das linhagens quanto a PG nas duas safras foi 0,19, que indica que a interação é de natureza complexa. Constatou-se que houve pronunciada mudança no ranqueamento das linhagens de acordo com a safra avaliada. Esse comportamento se deve a expressão diferencial dos genes de acordo com as condições ambientais (Cruz *et al.*, 2012). Um dos principais fatores que afetam essa interação no feijoeiro são as diferenças nas condições ambientais que ocorrem entre as safras de cultivo do feijoeiro (Oliveira *et al.*, 2005). Na presença da interação de natureza complexa, a seleção das linhagens se torna um desafio pois cada uma dessas pode estar entre as melhores em uma safra e não apresentar tal desempenho na outra safra. Portanto, torna-se necessário o emprego das médias das linhagens em cada safra avaliada para se ter maior sucesso com a seleção.

As acurácias para PG ao empregar o modelo 2 foram de 0,71 e 0,77 nos experimentos das safras de outono inverno de 2022 e da seca de 2023, respectivamente. Estes resultados

indicam que estas avaliações apresentaram precisão experimental alta (Resende; Duarte, 2007). Além disso, o CV destes experimentos foram de 16,12 e 11,21%. Os menores valores de CV e os maiores de acurácia foram observados no experimento em látice quadrado quando todas as linhagens foram avaliadas com 3 repetições. Ao avaliar linhagens de feijão em delineamento de blocos aumentados e em látice, Anjos (2019) observou resultados similares à este trabalho com aumento da acurácia e redução da variância do erro de predição.

Os efeitos de linhagens ($P < 0,01$) foram significativos para AG ao adotar o modelo 2 nas individuais das duas safras avaliadas. Além deste, somente o efeito de bloco dentro de repetição foi significativo na safra da seca de 2023. Todos os demais efeitos associados à análise espacial (linha e coluna) não foram significativos em ambas as safras.

Os efeitos de linhagens e safra foram significativos ($P < 0,01$) na análise conjunta para AG. Esse resultado indica que pelo menos uma linhagem diferiu das demais quanto a média deste caráter considerando as duas safras. Entretanto, não foi observado efeito significativo de linhagens por safras. Portanto, a resposta das linhagens quanto a AG foi similar em ambas as safras. A correlação entre as médias de AG das linhagens nas duas safras foi igual a 0,59. Esses resultados indicam que a seleção pode ser realizada com base nas médias dos dois experimentos.

Os coeficientes de variação observados nas safras de outono inverno de 2022 e seca de 2023 ao adotar o modelo 2 foram de 8,41 e 11,39, enquanto as acurácias foram iguais a 0,93 e 0,83, respectivamente. Segundo Resende e Duarte (2007), essas avaliações apresentaram precisão experimental alta ou muito alta. O EMC entre as linhagens em ambas as safras foi igual a 0,28 e 0,33, o que indica que independente do delineamento adotado, as estimativas foram próximas. Os resultados relativos às análises quanto a AG, indicam que a inclusão da informação espacial das parcelas não influenciou no ajuste das médias das linhagens.

O efeito de linhagens foi significativo à 5 e 1% para ARQ nas safras de outono inverno de 2022 e seca de 2023 ao empregar o modelo 2, respectivamente. Portanto, pelo menos uma das linhagens diferiu dos demais em cada uma das safras. Os efeitos de bloco, linha e coluna não foram significativos na safra de outono inverno de 2022, quando o experimento foi conduzido em blocos aumentados. Já na safra da seca de 2023 foi detectado significância para os efeitos de repetição e linha. Diferentemente do AG, a informação espacial influenciou no ajuste das médias para ARQ.

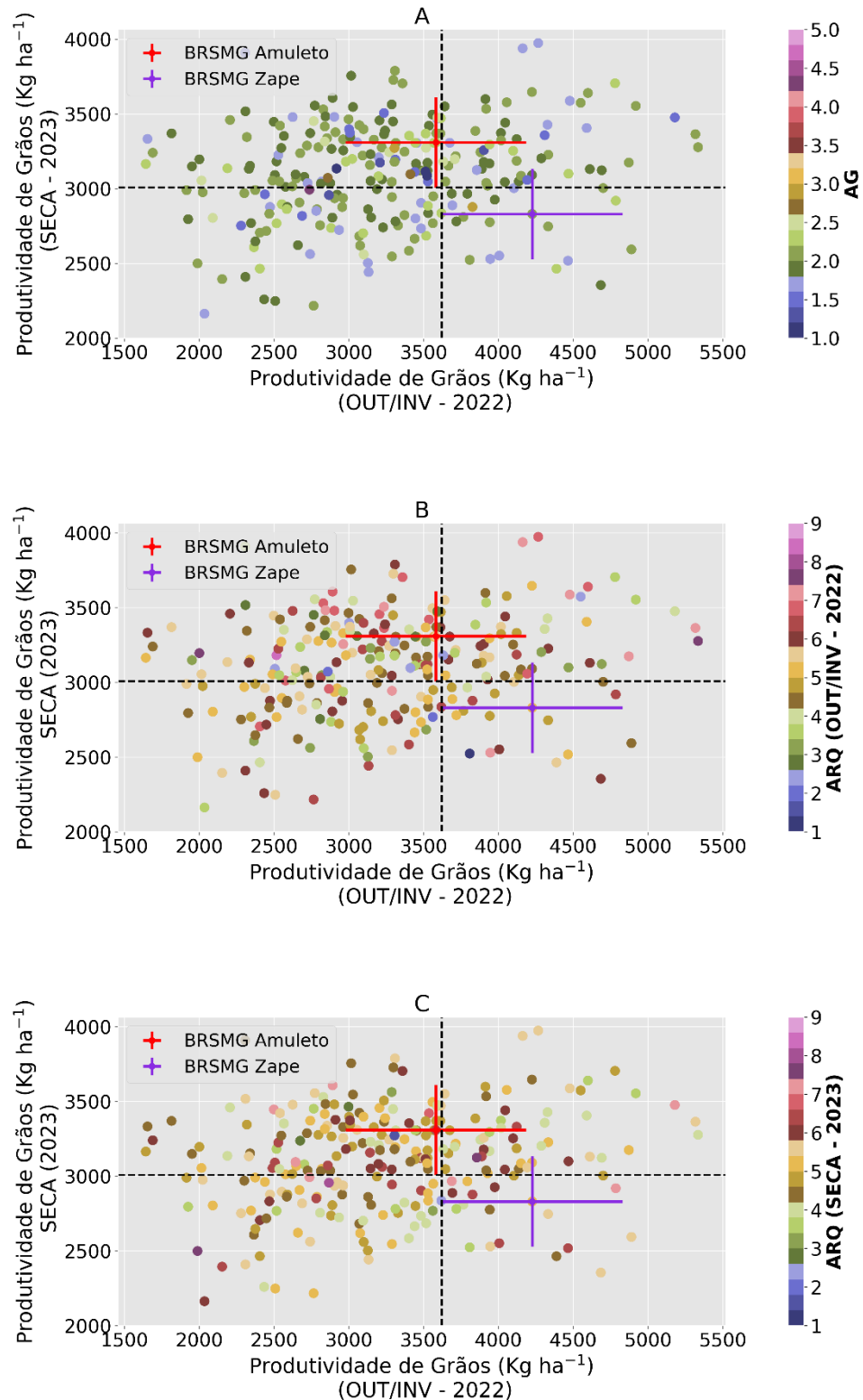
O efeito de safra não foi significativo na análise conjunta ao empregar o modelo 2 para ARQ. Já os efeitos de linhagens e interação linhagens por ambientes foram significativos ($P < 0,01$). A correlação entre as médias das linhagens nas duas safras foi igual a 0,21, que indica pronunciada mudança no ranqueamento das linhagens. Esse é um desafio para selecionar linhagens com arquitetura ereta em ambas as safras avaliadas. Portanto, foi necessário realizar a seleção das linhagens com base nas médias em cada uma das safras. Fatores ambientais podem ter influenciado na avaliação de ARQ nestas safras, principalmente no outono inverno de 2022. Resultados diferentes dos observados foram constatados por Santana (2021), que observou alta correlação entre médias de linhagens quanto a esta característica em diferentes safras.

As acurácias para ARQ ao adotar o modelo 2 foram de 0,75 e 0,78 na safra de outono inverno de 2022 e seca de 2023, enquanto o CV foi igual a 18,57 e 24,97%, respectivamente. Precisão experimental similar foi observada para essa característica na avaliação de experimentos em campo no melhoramento do feijoeiro (Mendes *et al.*, 2011; Silva, 2021; Trindade 2020; Souza, 2019). Apesar do CV ter sido mais elevado na safra da seca de 2023, quando o experimento foi conduzido em látice, o EMC foi menor neste experimento. Portanto, nesta avaliação de ARQ foi possível detectar menores diferenças entre as linhagens. Este resultado era esperado já que neste experimento todos os tratamentos foram avaliados com três repetições, enquanto, no experimento em delineamento de blocos aumentados, somente as testemunhas foram avaliadas com repetição.

As médias dos experimentos para PG foram de 3212,34 e 3109,65 nas safras de outono inverno de 2022 e seca de 2023, respectivamente (Tabela 1 e 2). Essas médias foram similares às observadas em lavouras com alto nível tecnológico e uso de irrigação. As testemunhas BRSMG Zape, IPR Sabiá, BRSMG Amuleto e BRS Pérola apresentaram produtividades iguais ou superiores a 3305 kg.ha⁻¹ na safra de outono inverno de 2022, enquanto que na safra da seca de 2023 as médias foram iguais ou superiores a 2854 kg.ha⁻¹ (Figura 1). Observaram-se linhagens com produtividades superiores às testemunhas em todas as safras. Além disso, todas as linhagens apresentaram PG superiores a 2000 kg.ha⁻¹ na safra da seca de 2023. Essas produtividades confirmam o sucesso do programa de seleção recorrente da UFLA visando esse caráter.

Figura 1 – Dispersão das médias das linhagens quanto a produtividade de grãos (PG) nas safras de outono inverno de 2022 e seca de 2023; e mapa de cor dessas linhagens

quanto a aspecto comercial dos grãos (AG) (A) e arquitetura de plantas (ARQ) (B e C).



Fonte: Do autor (2024).

As cultivares BRSMG Zape e BRSMG Amuleto foram as testemunhas que se destacaram nas safras de outono inverno de 2022 e seca de 2023, respectivamente (Figura 1).

Devido ao elevado desempenho dessas cultivares, essas foram utilizadas como critério para selecionar as linhagens com melhor potencial produtivo em ambas as safras. Observou-se que 72 linhagens apresentaram médias iguais ou superiores a cultivar BRSMG Zape no outono inverno de 2022, enquanto 167 linhagens apresentaram desempenho igual ou superior a BRSMG Amuleto na seca de 2023. Também foram observadas 52 linhagens com desempenho igual ou superior a ambas as testemunhas nas duas safras (Tabela 5). Essas linhagens apresentaram médias superiores a 3621,48 kg.ha⁻¹ na safra de outono inverno de 2022 e de 3007,54 kg.ha⁻¹ na seca de 2023.

Tabela 5 – Média das 52 linhagens com desempenho igual ou superior as testemunhas BRSMG Zape e BRSMG Amuleto nas safras de outono inverno de 2022 e seca de 2023

(continua)						
Linhagem	PG 2022¹	PG 2023²	AG 2022³	AG 2023⁴	ARQ 2022⁵	ARQ 2023⁶
Trat 179	5334,28	3277,05	2,01	2,35	7,51	3,91
Trat 79	5316,58	3364,51	2,01	2,15	7,27	5,68
Trat 212	5179,28	3476,47	1,51	1,61	4,13	7,02
Trat 228	4918,22	3553,95	2,05	1,99	3,65	3,42
Trat 140	4871,67	3174,78	2,02	2,14	7,08	5,40
Trat 1	4779,25	3705,05	1,98	2,64	3,78	4,83
Trat 69	4690,33	3123,06	2,02	1,82	3,37	3,82
Trat 4	4610,76	3130,73	2,03	1,95	5,97	5,67
Trat 166	4598,27	3640,07	1,99	2,00	6,84	3,51
Trat 240	4589,69	3405,73	1,49	1,98	5,01	4,14
Trat 159	4549,70	3574,06	2,00	2,16	2,52	4,60
Trat 81	4476,95	3587,57	1,47	1,96	7,04	5,54
Trat 248	4468,22	3099,91	2,49	2,21	3,38	6,13
Trat 77	4333,06	3227,19	1,99	2,33	5,90	5,14
Trat 120	4327,94	3428,31	1,49	1,77	3,96	3,81
Trat 134	4309,27	3357,41	1,48	1,65	3,97	4,00
Trat 101	4286,45	3203,00	1,99	1,85	3,40	4,05
Trat 133	4265,95	3974,27	1,49	1,97	6,71	5,60
Trat 214	4224,48	3091,24	2,01	1,83	4,50	5,16
Trat 217	4223,89	3646,57	2,05	2,31	5,03	4,42
Trat 236	4191,99	3058,28	1,52	1,46	6,74	5,70
Trat 33	4162,02	3938,70	1,51	1,81	7,17	5,50
Trat 68	4151,47	3068,52	2,01	2,52	5,44	4,15
Trat 230	4150,96	3086,25	2,03	2,00	4,54	5,06
Trat 102	4136,45	3049,27	1,99	1,96	4,78	4,33

Tabela 5 – Média das 52 linhagens com desempenho igual ou superior as testemunhas BRSMG Zape e BRSMG Amuleto nas safras de outono inverno de 2022 e seca de 2023

Linhagem	PG 2022 ¹	PG 2023 ²	AG 2022 ³	AG 2023 ⁴	(conclusão)	
					ARQ 2022 ⁵	ARQ 2023 ⁶
Trat 128	4121,67	3331,63	2,02	1,86	4,97	6,22
Trat 165	4121,34	3186,09	2,01	2,05	6,22	4,77
Trat 97	4098,32	3253,40	2,05	2,46	4,38	6,04
Trat 105	4055,43	3577,60	2,02	2,14	4,62	5,39
Trat 237	4045,24	3441,10	2,01	1,97	6,03	5,85
Trat 157	4042,59	3044,35	2,03	1,86	4,32	6,04
Trat 168	4017,61	3323,05	2,01	2,25	4,70	3,82
Trat 56	4016,39	3372,65	1,99	1,97	5,55	3,69
Trat 234	3940,57	3295,70	2,00	2,58	5,31	3,48
Trat 75	3940,33	3167,99	1,52	2,11	5,44	3,90
Trat 10	3927,42	3019,58	2,03	2,20	5,88	5,23
Trat 48	3918,30	3038,71	1,97	2,18	4,12	4,23
Trat 190	3917,61	3534,16	2,01	2,02	3,70	4,38
Trat 132	3912,71	3599,01	2,00	1,93	4,42	4,86
Trat 160	3902,95	3257,88	0,99	1,50	5,81	5,76
Trat 76	3901,47	3178,62	2,01	1,92	5,52	6,11
Trat 172	3888,55	3132,26	1,97	2,01	4,99	6,24
Trat 145	3879,61	3243,86	1,97	2,18	6,06	4,13
Trat 213	3855,05	3124,71	1,49	2,00	4,49	7,42
Trat 12	3845,92	3386,33	1,98	2,13	3,70	4,83
Trat 118	3714,39	3217,12	2,03	2,22	5,77	5,22
Trat 250	3708,11	3197,63	2,51	2,33	3,63	4,17
Trat 205	3674,48	3306,84	1,56	1,98	6,04	4,92
Trat 127	3665,95	3153,47	1,99	2,19	6,08	4,96
Trat 26	3645,92	3047,16	1,98	2,33	5,06	4,75
Trat 206	3640,55	3550,70	2,05	1,79	5,43	5,55
Trat 245	3630,73	3181,27	2,48	2,65	2,40	4,18

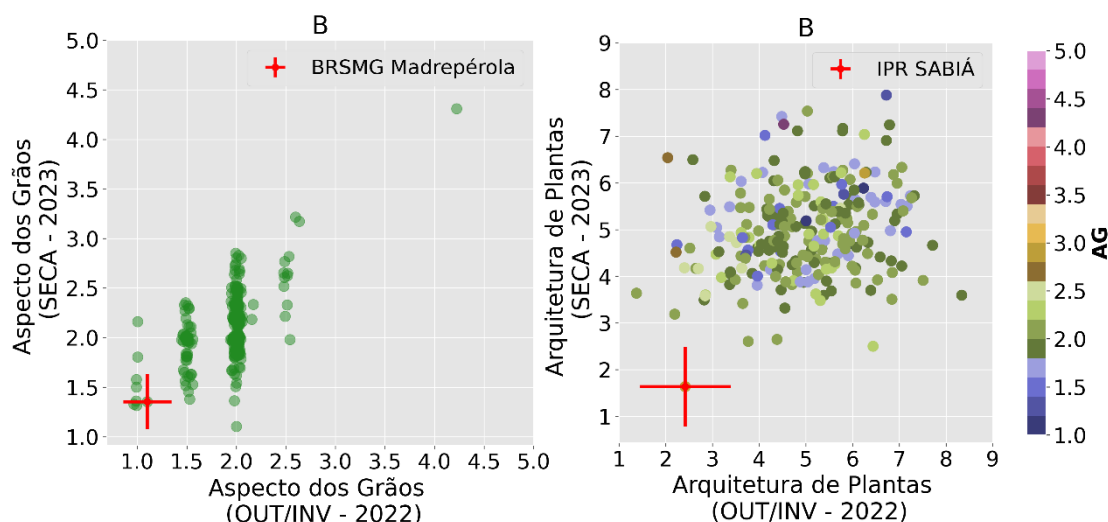
Nota: ¹ PG na safra de outono inverno de 2022; ² PG na safra da seca de 2023; ³ AG na safra de outono inverno de 2022; ⁴ AG na safra da seca de 2023; ⁵ ARQ na safra de outono inverno de 2022; ⁶ ARQ na safra da seca de 2023.

Fonte: Do autor (2024).

As notas de AG das testemunhas BRSMG Madrepérola, BRSMG Zape e BRSMG Amuleto foram iguais a 1,38, 2,18 e 2,34, respectivamente (Figura 2A). Essas cultivares apresentam excelente qualidade comercial dos grãos, com destaque para a BRSMG Madrepérola que apresenta grãos claros e escurecimento lento do tegumento dos grãos (Carneiro, *et al.*, 2012). Foram observadas linhagens com média igual a esta testemunha que é

referência para AG. Além disso, observou-se que 90% das linhagens apresentaram notas médias de AG inferiores a 2,5 (Figura 2A).

Figura 2 – Dispersão das médias das linhagens quanto a (A) aspecto comercial dos grãos (AG) e (B) arquitetura de plantas (ARQ) nas safras de outono inverno de 2022 e seca de 2023 e mapa de cor dessas linhagens quanto a aspecto comercial dos grãos (AG).



Fonte: Do autor (2024).

As 52 linhagens de feijão carioca, selecionadas quanto a PG, apresentaram grãos com elevada qualidade comercial. As notas médias de AG dessas linhagens foram todas inferiores a 2,5 (Figura 1A). As médias de algumas dessas linhagens foram semelhantes à cultivar BRSMG Madrepérola que foi considerada a testemunha referência quanto a AG. Portanto, observam-se linhagens promissoras com elevada produtividade e ótimo aspecto comercial dos grãos no programa de seleção recorrente de feijão carioca da UFLA.

A média nos experimentos para ARQ na safra de outono inverno de 2022 (Figura 1B) e seca de 2023 (Figura 1C) foram de 4,97 e 4,99, respectivamente (Tabelas 1 e 2). A testemunha IPR Sabiá apresentou notas médias de 2,42 e 1,64 nas safras de outono inverno de 2022 e seca de 2023, respectivamente. Esse foi a linhagem com menor nota para ARQ na seca de 2023. Não foram observadas linhagem com notas iguais ou inferiores a essa testemunha nesta safra (Figura 1B, 1C e 2B). A IPR Sabiá também esteve entre as melhores no outono inverno de 2022 quanto a este caráter. Entretanto, somente a linhagem Trat 198 apresentou notas inferiores a essa testemunha. A maioria das linhagens apresentaram notas médias

superiores a três nas duas safras, que indicam que estas linhagens não possuem plantas eretas (Figura 2B).

As notas médias das 52 linhagens selecionadas também foram predominantemente iguais ou superiores a três nas safras de outono inverno de 2022 e seca de 2023 (Figura 1B e 1C). Estes resultados são justificados pelo fato deste programa de seleção recorrente dedicar-se predominantemente à produtividade e aspecto dos grãos (Silva, 2010). A alternativa para melhoria da arquitetura de plantas das novas linhagens a serem geradas por esse programa é a inclusão durante a recombinação de genitores como BRSMG Uai e IPR Sabiá, que são referência quanto a arquitetura ereta de plantas. A IPR Sabiá, além de se destacar quanto a arquitetura de plantas também apresentou produtividade superior a 3200 kg.ha^{-1} , que demonstra seu elevado potencial produtivo. Além da inclusão de novos genitores neste programa de seleção recorrente, também deve ser realizada a seleção das progênies visando a recombinação considerando essa característica.

4 CONCLUSÃO

A inclusão da informação espacial das parcelas possibilitou incremento da precisão experimental e da acurácia seletiva para o caráter produtividade de grãos. Esse efeito foi mais pronunciado no experimento conduzido em blocos aumentados. Além disso, a seleção baseada na comparação com as testemunhas referências, permitiu identificar linhagens superiores quanto a produtividade e aspecto comercial dos grãos nas duas safras avaliadas.

REFERÊNCIAS

ANTOLIN, L. A.; HEINEMANN, A. B. ; MARIN, F. R.. Impact assessment of common bean availability in Brazil under climate change scenarios. **Agricultural Systems**, [S.L.], v. 191, n. 103174, p. 103174, jun. 2021. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103174>.

ABREU, A. de F. B. ; RAMALHO, M. A. P. ; CARNEIRO, J. E. S. ; GONÇALVES, F. M. A. ; SANTOS, J. B.; PELOSO, M. J. D. ; FARIA, L. C.; CARNEIRO, G. E. S. ; PEREIRA FILHO, I. A . BRSMG Talismã: common bean cultivar with carioca grain type. Annual Report of the Bean Improvement Cooperative, **East Lansing**, v. 47, p. 319-320, 2004.

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transaction on Automatic Control**, v. 19, n. 6, p. 716-723, dez. 1974. DOI: <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>

ALVES, A. F. et al. Genetic progress and potential of common bean families obtained by recurrent selection. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 15, n. 4, p. 218–226, 2015.

ANJOS, Rafael Silva Ramos dos. **Análise estatística espacial de experimentos de híbridos de milho em condições contrastantes de fósforo no solo**. 2019. 132 f. Tese (Doutorado) - Curso de Genética e Melhoramento, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

BATES, D. et al. **lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and S4**. R package version 1.1–7. 2014. 2015.

CARDOZO, R. A. R. et al.. Análise espacial em experimentos de avaliação de cultivares de trigo no sul de minas gerais.. In: **Anais do 12º Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas**. Anais...Caxambu(MG) Hotel Glória, 2023. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/12cbmp/665672-ANALISE-ESPACIAL-EM-EXPERIMENTOS-DE-AVALIACAO-DE-CULTIVARES-DE-TRIGO-NO-SUL-DE-MINAS-GERAIS>. Acesso em: 05/07/2024

CARNEIRO, J. E. S. ; ABREU, A. DE F. B. ; ABREU, A. F. B. ; RAMALHO, M. A. P. ; PAULA JUNIOR, T. J. ; PELOSO, MARIA JOSÉ DEL ; MELO, L. C. ; PEREIRA, H. S. ; PEREIRA FILHO, I. A. ; MARTINS, M. ; VIEIRA, R. F. ; MARTINS, F.A.D. ; COELHO, M.A. DE O. ; CARNEIRO, P. C. S. ; MOREIRA, J.A.A. ; SANTOS, J. B. ; FARIA, L. C. ; COSTA, J. G. C.; TEIXEIRA, H. . BRSMG Madrepérola: common bean cultivar with late-darkening Carioca grain. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** (Impresso), v. 12, p. 281-283, 2012.

CARNEIRO, J. E.; JÚNIOR, T. J. P.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, p. 242-269, 2015.

CARVALHO, B. L., RAMALHO, M. A. P., JÚNIOR, I. C. V., ; DE ABREU, A. F. B. New strategy for evaluating grain cooking quality of progenies in dry bean breeding programs. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 2, p. 115–123, 2017. <https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n2a18>

CHIORATO, Alisson Fernando et al. IAC 1849 Polaco: carioca common bean cultivar with an early maturity and tolerance to seed darkening. **Crop Breeding And Applied Biotechnology**, v. 20, n. 3, p. 1-4, jul. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332020v20n3c40>.

COLLICCHIO, E.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Associação entre o porte da planta do feijoeiro e o tamanho dos grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 3, p. 297-304, mar. 1997.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2012. p. 514.

DOS ANJOS, R. S. R. et al. New proposals to estimate unbiased selection gain and coefficient of variation in traits evaluated using score scales. **Crop Science**, v. 59, n. 3, p. 937-944, 2019.

GILMOUR, A. R., CULLIS, B. R.,; VERBYLA, A. P. Accounting for Natural and Extraneous Variation in the Analysis of Field Experiments. **Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics**, v. 2, n. 3, p. 269–293, 1997. <https://doi.org/10.2307/1400446>

GILMOUR, A.R. **Echidna Mixed Model Software (Version 1.76)**, 2023. Disponível em: www.EchidnaMMS.org. Acesso em: 03 jul. 2024

HENDERSON, C.R.; KEMPTHORNE, O.; SEARLE, S.R.; KROSIGK, C.M. The estimation of environmental and genetic trends from records subject to culling. **Biometrics**, Washington, v.15, p.192-218, 1959.

LEMOS, R. C. **Procedimento para a identificação de progênies superiores em gerações sucessivas de avaliação na cultura do feijoeiro**. 2017. 62 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2017.

LEMOS, R. D. C. et al. A half century of a bean breeding program in the south and alto paranaíba regions of minas gerais. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n. 2, p. 1–8, 2020.

LENTH, R. et al. **Emmeans: estimated marginal means, aka least-squares means (Version 1.10.0)**. Emmeans Estim Marg Means Aka Least-Sq Means, 2024. Disponível em: <https://github.com/rvleenth/emmeans>. Acesso em: 03 jul. 2024.

MAPA. **Registro cultivar BRSMG Amuleto**. CultivarWeb. 2021a. Disponível em: https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/detalhe_cultivar.php?codsr=46960&codverif=0. Acesso em: 03 jul. 2024.

MAPA. **Registro cultivar BRSMG Zape**. CultivarWeb. 2021b. Disponível em: https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/detalhe_cultivar.php?codsr=46971&codverif=0. Acesso em: 03 jul. 2024.

MAPA. **Registro cultivar IPR Sabiá**. CultivarWeb. Disponível em: https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/detalhe_cultivar.php?codsr=37770&codverif=0. Acesso em: 03 jul. 2024.

MENDES, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. de F. B.. Eficiência do sistema de nove covas na seleção de progênies de feijoeiro tipo carioca para arquitetura ereta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 9, p. 1029-1034, set. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2011000900009>.

MENEZES JÚNIOR, J. Â. N. DE; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. DE F. B. Seleção recorrente para três caracteres do feijoeiro. **Bragantia**, v. 67, n. 4, p. 833–838, 2008.

MOURA, A. D.; BRITO, L. M. Aspectos socioeconômicos. In: CARNEIRO, J. E.; JÚNIOR, T. J. P.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, p. 16-36, 2015.

OLIVEIRA, G. V. DE et al. Factor analysis in the environment stratification for the evaluation of common bean cultivars. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 5, p. 166–173, may. 2005.

PATTERSON, H. D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. **Biometrika**. v. 58, p. 545–554. 1971. DOI: <https://doi.org/10.1093/biomet/58.3.545>

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing (Version 4.3.3)**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2024. Disponível em: <https://cran.r-project.org/bin/windows/base/old/4.3.3/>. Acesso em: 03 jul. 2024.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. D. F. B.; SANTOS, J. B. DOS. Genetic progress after four cycles of recurrent selection for yield and grain traits in common bean. **Euphytica**, v. 144, n. 1–2, p. 23–29, 2005.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. ; CARNEIRO, J. E. S. ; MELO, L.C. ; JUNIOR, T.J.P. ; PEREIRA, H. S. ; DEL PELOSO, M. J. ; PEREIRA FILHO, I. A. ; MARTINS, M. ; GIUDICE, M. P. ; VIEIRA, R. F. . BRSMG Uai: common bean cultivar with carioca grain type and upright plant architecture. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, p. 261-264, 2016.

RAMALHO, M. A. P.; PIROLA, L. H.; ABREU, A. F. B. Alternativas na seleção de plantas de feijoeiro com porte ereto e grão tipo carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 12, p. 1989-1994, 1998.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, p. 182–194, set. 2007.

RIBEIRO, N. D. et al. Parâmetros da qualidade visual do feijão carioca observados pelos consumidores. In: **6º Simpósio De Segurança Alimentar**, 6., 2018, Gramado. Anais [...]. Porto Alegre: Sbcta, 2018. p. 251-257.

SANTANA, Alice Silva. **Análise de fatores e modelagem de estruturas de (co)variâncias para ensaios multiambientais na seleção de linhagens e progênies de feijoeiro**. 2021. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Genética e Melhoramento, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021.

SATTERTHWAITE, F. E. An Approximate distribution of estimates of variance components. **Biometrics Bulletin**, Washington, v.2, n. 6, p. 110-114, 1946.

SILVA, G. S. DA et al. Estimation of genetic progress after eight cycles of recurrent selection for common bean grain yield. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 10, n. 4, p. 351–356, 2010.

SILVA, L. M. B. **Estratégia de seleção de progênies de feijão para derivação de linhagens**. 2021. 47 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Genética e Melhoramento, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021.

SILVA, M. J. et al. Experimental precision of spatial analysis methods to evaluate the productivity of common bean families. **Rev. Cienc. Agrar.**, Belém, v. 63, n. 2, p. 131-137, abr. 2020.

SOUZA, M. H.. **Potencial genético de cultivares de feijão preto e carioca recomendadas no Brasil**. 2019. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Genética e Melhoramento, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

TRINDADE, T. F. H. **Potencial de linhagens e populações de feijão preto oriundas do programa de seleção recorrente da UFV**. 2020. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Genética e Melhoramento, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020.

WANDER, A. E.; SILVA, O. F. **Cultivo do feijão: mercado**. 2023. Desenvolvido por Embrapa Arroz e Feijão. Disponível em: [https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/pos-producao/mercado#:~:text=Cabe%20ressaltar%20que%20entre%20os,o%20mais%20consumido%20\(56%25\)..](https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/pos-producao/mercado#:~:text=Cabe%20ressaltar%20que%20entre%20os,o%20mais%20consumido%20(56%25)..) Acesso em: 03 jul. 2024.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Algumas etapas do programa de melhoramento do feijoeiro exigem a utilização de delineamentos menos robustos, o que resulta em avaliações menos precisas. Além disso, surgem desafios ao realizar uma análise conjunta entre experimentos com delineamentos diferentes. A inclusão da informação espacial das parcelas no experimento demonstrou que a acurácia foi superior para todos os caracteres.

Dessa forma, a inclusão da informação espacial se mostra uma ferramenta valiosa para aumentar a precisão experimental e a acurácia na seleção de linhagens promissoras, contribuindo diretamente para a eficiência do programa de melhoramento do feijoeiro. No entanto, apesar dos avanços obtidos, ainda há desafios a serem superados, especialmente no que diz respeito à manipulação de dados espaciais e às análises conjuntas entre experimentos conduzidos sob diferentes delineamentos experimentais.

Para estudos futuros, recomenda-se a exploração de alternativas que facilitem a integração de informações espaciais nas análises estatísticas, bem como para a realização de análises conjuntas de experimentos com diferentes números de tratamentos e repetições.