JNT FACIT BUSINESS AND TECHNOLOGY JOURNAL
ISSN: 2526-4281 - ANO 2026 - MÊS DE OUTUBRO
Ed. 78. Vol. 1 - Págs. 254-269
DOI: 10.5281/zenodo.23219713



CAPES

CNPq
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

QUALIS A2



INFLUÊNCIA DE FATORES GENÉTICOS, AMBIENTAIS E DE MANEJO NA PRODUTIVIDADE E NA COMPOSIÇÃO BIOATIVA DA SOJA PRETA (*Glycine max* (L.) Merr.): UMA REVISÃO SISTEMÁTICA[1]

INFLUENCE OF GENETIC, ENVIRONMENTAL AND MANAGEMENT FACTORS ON YIELD AND BIOACTIVE COMPOSITION OF BLACK SOYBEAN (*Glycine max* (L.) Merr.): A SYSTEMATIC REVIEW

Giovanna Menezes SILVA
Afya Centro Universitário (UNITPAC)
E-mail: menezesgiovanna791@gmail.com
ORCID: http://orcid.org/0009-0005-5403-2045

José ANDRÉ JÚNIOR
Afya Centro Universitário (UNITPAC)
E-mail: jose.andre@afya.com.br
ORCID: http://orcid.org/0009-0008-1119-7685

RESUMO

A soja preta (*Glycine max* (L.) Merr.) apresenta interesse agronômico e agroindustrial por reunir características produtivas e elevada diversidade de compostos bioativos, especialmente antocianinas, isoflavonas e compostos fenólicos. Objetivou-se avaliar sistematicamente as evidências científicas sobre a influência de fatores genéticos, ambientais e de manejo na produtividade e na composição bioativa da soja preta. Foi realizada revisão sistemática da literatura, estruturada conforme as recomendações PRISMA 2020, com buscas nas bases PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science e SciELO, sem restrição de ano inicial de publicação e contemplando estudos disponíveis até outubro de 2026. A pergunta de pesquisa foi organizada segundo a estratégia PEO, considerando como população a soja preta, como exposição os fatores genéticos, ambientais e de manejo e, como desfechos, a produtividade, características agronômicas e composição bioativa. Foram incluídos 19 estudos primários, submetidos à avaliação metodológica por instrumentos do Joanna Briggs Institute, conforme o desenho do estudo. As evidências foram organizadas nos eixos genética e melhoramento, ambiente e interação genótipo × ambiente, manejo agronômico e composição bioativa. Os estudos demonstraram ampla variabilidade genética para produtividade, componentes do rendimento e concentração de compostos bioativos.

[1] COMO CITAR: (ABNT): SILVA, G. M.; ANDRÉ JÚNIOR, J. Influência de Fatores Genéticos, Ambientais e de Manejo na Produtividade e na Composição Bioativa da Soja Preta (*Glycine max* (L.) Merr.): Uma Revisão Sistemática. **JNT Facit Business and Technology Journal.** Qualis A2. ISSN: 2526-4281, Mês de Outubro de 2026 - Ed. 78. VOL. 01. Págs. 254-269. Disponível: http://revistas.faculdadefacit.edu.br. Acesso em: ___/___/___.

O ambiente e a interação genótipo × ambiente exerceram influência expressiva sobre o desempenho produtivo, enquanto época de semeadura, densidade populacional e disponibilidade de nutrientes modificaram características agronômicas e/ou a composição dos grãos. Antocianinas, isoflavonas e compostos fenólicos apresentaram variação entre genótipos e condições de cultivo. Alguns materiais reuniram desempenho agronômico favorável e elevada concentração de compostos bioativos, indicando possibilidade de seleção conjunta desses atributos. Entretanto, condições associadas à maior produtividade nem sempre coincidiram com aquelas relacionadas às maiores concentrações de compostos bioativos. Conclui-se que produtividade e qualidade bioativa da soja preta resultam da interação entre fatores genéticos, ambientais e de manejo, sendo necessária sua avaliação integrada para seleção de materiais produtivos, estáveis e com qualidade diferenciada.

Palavras-chave: Glycine max. Antocianinas. Interação genótipo × Ambiente. Isoflavonas. Melhoramento genético. Produtividade.

ABSTRACT

Black soybean *(Glycine max* (L.) Merr.) is of agronomic and agro-industrial interest because it combines productive traits with a wide diversity of bioactive compounds, particularly anthocyanins, isoflavones, and phenolic compounds. This study aimed to systematically evaluate scientific evidence on the influence of genetic, environmental, and management factors on black soybean yield and bioactive composition. A systematic literature review was conducted according to PRISMA 2020 recommendations, with searches in PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and SciELO, without restriction on the initial year of publication and including studies available through October 2026. The research question was structured according to the PEO framework, considering black soybean as the population, genetic, environmental, and management factors as exposures, and yield, agronomic traits, and bioactive composition as outcomes. Nineteen primary studies were included and methodologically appraised using Joanna Briggs Institute tools according to study design. Evidence was organized into four domains: genetics and breeding, environment and genotype × environment interaction, agronomic management, and bioactive composition. The studies showed substantial genetic variability in yield, yield components, and concentrations of bioactive compounds. Environment and genotype × environment interaction markedly influenced productive performance, whereas sowing date, plant density, and nutrient availability affected agronomic

traits and/or grain composition. Anthocyanins, isoflavones, and phenolic compounds varied among genotypes and growing conditions. Some genetic materials combined favorable agronomic performance with high concentrations of bioactive compounds, indicating the possibility of simultaneous selection for these attributes. However, conditions associated with maximum yield did not always coincide with those resulting in the highest concentrations of bioactive compounds. It is concluded that black soybean yield and bioactive quality result from interactions among genetic, environmental, and management factors, requiring an integrated assessment to select productive, stable materials with differentiated grain quality.

Keywords: Glycine max. Anthocyanins. Genotype × Environment interaction. Isoflavones. Plant breeding. yield.

INTRODUÇÃO

A soja preta (*Glycine max* (L.) Merr.) constitui um grupo de materiais de soja caracterizado principalmente pelo tegumento escuro e pelo acúmulo de compostos bioativos de interesse nutricional e funcional. Entre esses constituintes destacam-se as antocianinas, especialmente no tegumento, além de isoflavonas e compostos fenólicos. A caracterização química desses materiais demonstrou a presença de diferentes antocianinas no tegumento, enquanto revisões recentes reforçam a diversidade de componentes nutricionais e bioativos da soja preta (Choung *et al.*, 2001; Li *et al*., 2024).

A composição bioativa da soja preta apresenta elevada variabilidade entre materiais genéticos. Diferenças entre variedades e acessos têm sido observadas para antocianinas, isoflavonas, fenólicos e atividade antioxidante, indicando que a constituição genética representa importante componente da qualidade dos grãos (Choi *et al*., 2020; Li *et al.,* 2024). Essa variabilidade amplia o interesse pela soja preta não apenas como alimento diferenciado, mas também como recurso genético para programas de melhoramento.

Do ponto de vista agronômico, a produtividade depende da expressão do potencial genético sob condições ambientais e de manejo específicas. Estudos de melhoramento demonstram variabilidade para rendimento e caracteres relacionados à adaptação e à colheita, permitindo a seleção de linhagens com desempenho agronômico superior (Chinnarat *et al*., 2025). Em ensaios conduzidos em múltiplos ambientes, efeitos de ambiente e da interação genótipo × ambiente podem

representar parcela expressiva da variação produtiva, reforçando a necessidade de avaliar estabilidade e adaptação dos genótipos (Susanto *et al*., 2023).

Além do componente genético, práticas de manejo e condições de cultivo podem modificar simultaneamente o desempenho agronômico e a qualidade dos grãos. A época de semeadura é reconhecida como fator capaz de alterar crescimento, rendimento e qualidade em soja, e estudos específicos com soja preta também demonstram modificações no conteúdo de antocianinas ao longo de diferentes épocas e estádios de desenvolvimento (Hu e Wiatrak, 2012; Chung *et al*., 2004).

A interação entre genótipo e ambiente também se estende à composição bioativa. Avaliações de germoplasma conduzidas em diferentes anos evidenciaram variações em características agronômicas, antocianinas, isoflavonas e atividade antioxidante (Lee *et al*., 2020). Da mesma forma, diferenças no período de colheita e nas características dos cotilédones foram associadas a alterações nas concentrações de isoflavonas e antocianinas (Choi *et al.,* 2021a).

A disponibilidade de nutrientes constitui outro componente relevante. Evidências recentes indicam que alterações na disponibilidade de nitrogênio podem modificar vias metabólicas e transcricionais relacionadas ao acúmulo de antocianinas na soja preta (Liang *et al*., 2025). Paralelamente, estudos com diferentes materiais genéticos demonstram que é possível identificar genótipos que conciliem características produtivas favoráveis e elevada concentração de compostos bioativos (Choi *et al*., 2021b).

Apesar do avanço das pesquisas sobre soja preta, as evidências encontram-se distribuídas entre estudos de melhoramento, interação genótipo × ambiente, manejo e composição química. A integração desses componentes é necessária para compreender em que medida produtividade e qualidade bioativa respondem aos mesmos fatores ou apresentam respostas distintas. Assim, esta revisão sistemática teve como objetivo avaliar as evidências científicas sobre a influência de fatores genéticos, ambientais e de manejo na produtividade e na composição bioativa da soja preta (*Glycine max* (L.) Merr.), identificando os principais fatores associados ao desempenho agronômico e à qualidade bioativa dos grãos.

METODOLOGIA

Desenho do Estudo

Foi realizada uma revisão sistemática da literatura com o objetivo de identificar, selecionar e sintetizar evidências científicas sobre a influência de fatores

genéticos, ambientais e de manejo na produtividade e na composição bioativa da soja preta (*Glycine max* (L.) Merr.). A condução e a apresentação da revisão foram estruturadas com base nas recomendações do Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA 2020) (Page *et al*., 2021).

Pergunta de Pesquisa e estratégia PEO

A pergunta norteadora foi definida como: "Quais são os efeitos dos fatores genéticos, ambientais e de manejo sobre a produtividade e a composição bioativa da soja preta (*Glycine max* (L.) Merr.)?"

Quadro 1: Estrutura PEO utilizada para formulação da pergunta de pesquisa.

COMPONENTE	DEFINIÇÃO NA REVISÃO	ELEMENTOS CONSIDERADOS
P – População	Soja preta (*Glycine max* (L.) Merr.)	Cultivares, linhagens, acessos e landraces caracterizados por tegumento preto.
E – Exposição	Fatores genéticos, ambientais e de manejo	Genótipo, cultivar, melhoramento, interação genótipo × ambiente, local/ano de cultivo, altitude, época de semeadura, densidade populacional, fertilização, disponibilidade de nutrientes e demais condições de produção.
O – Desfecho	Produtividade, características agronômicas e composição bioativa	Produtividade e componentes do rendimento, caracteres agronômicos, antocianinas, isoflavonas, compostos fenólicos e outros constituintes bioativos relacionados às condições de produção.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Fontes de Informação

As buscas foram estruturadas para as bases PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science e SciELO, considerando publicações disponíveis desde o início da indexação de cada base até outubro de 2026. Não foi estabelecida restrição quanto ao ano inicial de publicação, permitindo a inclusão de estudos históricos relevantes. Consultas complementares foram utilizadas para rastreamento de referências e localização de publicações potencialmente elegíveis, sem tratá-las como bases bibliográficas principais para fins de contabilização do fluxo de seleção.

Estratégia de Busca

A estratégia-mestre utilizada como referência para adaptação às características de cada base foi: ("black soybean" OR "black soybeans" OR "black-

seeded soybean" OR "black seed coat soybean") AND ("Glycine max" OR soybean) AND (yield OR productivity OR agronomic OR agronomy OR genotype OR cultivar OR breeding OR "genotype environment" OR "genotype-environment interaction" OR environment OR management OR cultivation OR fertilization OR nutrition OR nitrogen OR phosphorus OR potassium OR irrigation OR "water stress" OR drought OR temperature OR sowing OR "sowing date" OR planting OR anthocyanin* OR isoflavone* OR phenolic* OR flavonoid* OR "bioactive compound*"). A sintaxe foi adaptada às particularidades de cada plataforma, mantendo-se os mesmos conceitos centrais. Também foi realizado rastreamento das listas de referências dos estudos elegíveis e de publicações relevantes.

Critérios de Elegibilidade

Foram considerados elegíveis estudos primários que: (i) investigaram soja preta identificável como Glycine max (L.) Merr.; (ii) avaliaram pelo menos um fator genético, ambiental ou de manejo; (iii) apresentaram pelo menos um desfecho relacionado à produtividade, componentes do rendimento, características agronômicas e/ou composição bioativa; (iv) forneceram informações metodológicas suficientes para caracterização do estudo e interpretação dos resultados; e (v) foram disponibilizados como publicações científicas com texto completo e informações suficientes para extração dos dados. Não foi estabelecida restrição de idioma ou período inicial de publicação.

Foram excluídos artigos de revisão, capítulos de livros, editoriais, trabalhos de opinião e resumos de eventos sem informações metodológicas e resultados suficientes; estudos exclusivamente com soja convencional ou de tegumento amarelo sem apresentação separada dos resultados referentes à soja preta; estudos clínicos ou farmacológicos; trabalhos exclusivamente relacionados ao processamento, fermentação ou desenvolvimento de alimentos sem relação com os fatores de produção; estudos in vitro destinados exclusivamente à avaliação da atividade biológica de extratos; duplicatas; publicações com informações insuficientes para determinação da elegibilidade; e estudos envolvendo espécies diferentes de *Glycine max* (L.) Merr.

Seleção dos Estudos

A seleção foi realizada sequencialmente por meio da identificação das publicações potencialmente relevantes, remoção de registros duplicados, avaliação de títulos e resumos e posterior análise dos textos completos. Durante a avaliação em

texto completo, foram verificadas a identificação taxonômica do material vegetal, a natureza do fator investigado, os desfechos mensurados e a compatibilidade do desenho com a pergunta PEO. Publicações derivadas do mesmo experimento foram examinadas para evitar contagem duplicada das evidências. Quando diferentes versões correspondiam ao mesmo conjunto experimental, foi priorizada a publicação completa e definitiva. Ao final desse processo, 19 estudos primários atenderam aos critérios de elegibilidade e foram incluídos na síntese qualitativa.

Extração e Organização dos Dados

Para cada estudo incluído foram extraídas informações referentes a autoria e ano de publicação, país de realização, material genético, condições experimentais, fator avaliado, desfechos, principais resultados e eixo temático correspondente. Os estudos foram organizados em quatro eixos analíticos: (i) fatores genéticos e melhoramento; (ii) ambiente e interação genótipo × ambiente; (iii) manejo agronômico; e (iv) composição bioativa. Um mesmo estudo pôde ser classificado em mais de um eixo quando apresentou resultados correspondentes a diferentes componentes da pergunta de pesquisa.

Avaliação da Qualidade Metodológica

A qualidade metodológica dos estudos incluídos foi avaliada utilizando instrumentos de avaliação crítica do Joanna Briggs Institute (JBI), selecionados de acordo com as características do desenho do estudo. Para os estudos experimentais ou quase-experimentais foi utilizado o instrumento JBI destinado a estudos quase-experimentais, com adaptação terminológica às unidades experimentais agronômicas. Nos estudos predominantemente analíticos ou comparativos de germoplasma foi utilizado o instrumento JBI para estudos analíticos transversais. Cada item foi classificado como Sim, Não, Incerto ou Não aplicável. Não foi empregado escore percentual de qualidade; a apreciação global foi expressa como favorável ou favorável com ressalvas. A avaliação crítica não resultou na exclusão adicional de estudos.

Síntese dos Dados

Devido à heterogeneidade entre os estudos quanto aos genótipos avaliados, condições ambientais, intervenções de manejo, desenhos experimentais, métodos de determinação dos compostos bioativos e formas de apresentação dos resultados, foi realizada síntese qualitativa narrativa. Não foi realizada meta-análise, uma vez que o

conjunto de estudos não apresentou homogeneidade suficiente de exposições, comparadores e desfechos para obtenção de uma medida de efeito combinada metodologicamente apropriada.

Fluxo de Seleção dos Estudos

O processo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão foi estruturado segundo o modelo PRISMA 2020. Para preservar a rastreabilidade da revisão, foram considerados para o fluxograma apenas números passíveis de documentação a partir das buscas e do processo de seleção. O corpus final foi constituído por 19 estudos incluídos na síntese qualitativa. Os contadores por base e de duplicatas permanecem reservados para preenchimento apenas quando documentalmente comprovados

RESULTADOS

Foram incluídos 19 estudos primários. As evidências foram organizadas em quatro eixos: fatores genéticos e melhoramento; ambiente e interação genótipo × ambiente; manejo agronômico; e composição bioativa. A Tabela 1 sintetiza as características dos estudos incluídos.

Tabela 1: Caracterização dos 19 estudos incluídos na síntese da revisão.

Código	Autor/ano	País	Material/condição experimental	Fator avaliado	Desfechos principais	Resultado principal	Eixo
SP-02	Jo *et al.*, 2022	Coreia do Sul	Cheongja 3; 5 épocas; 2019–2020	Época de semeadura	Crescimento, produtividade, sementes, antocianinas	Maior produtividade em 10/jun.; época alterou antocianinas	M+B
SP-03	Choi *et al.*, 2020	Coreia do Sul	24 variedades + referência	Variabilidade genética	Antocianinas, isoflavonas, fenólicos	Ampla variação fitoquímica entre materiais	G+B
SP-04	Lee *et al.*, 2020	Coreia do Sul	172 landraces; dois anos	Genótipo × ano	Agronomia, antocianinas, isoflavonas, atividade antioxidante	Efeitos de acesso, ano e interação sobre diversos desfechos	G+A+B
SP-05	Liang *et al.*, 2025	China	Soja preta sob condições contrastantes de N	Disponibilidade de N	Antocianinas, metaboloma, transcriptoma	Baixo N modificou vias associadas ao acúmulo de antocianinas	M+B
SP-08	Susanto *et al.,* 2023	Indonésia	10 linhagens F8 + 3 controles; 8 ambientes	G×E	Produtividade e estabilidade	G=8,35%; ambiente=59,49%; G×E=32,16%; quatro linhagens estáveis	G+A
SP-09	Chung *et al.*, 2004	Coreia do Sul	Diferentes épocas/estádios	Época/estádio	Antocianinas	Momento de cultivo/desenvolvimento influenciou antocianinas	M+B

Código	Autor/ano	País	Material/condição experimental	Fator avaliado	Desfechos principais	Resultado principal	Eixo
SP-10	Chinnarat *et al*., 2025	Tailândia	8 RILs + Sukhothai 3; duas estações	Genótipo × estação	Rendimento, altura da 1ª vagem, componentes, proteína	Genótipo, estação e G×E afetaram características	G+A
SP-11	Wirnas *et al*., 2012	Indonésia	Linhagens F8	Genótipo	Rendimento e componentes	Peso de sementes/planta e massa de 100 sementes com elevada herdabilidade	G
SP-12	Lee *et al*., 2021	Coreia do Sul	469 germoplasmas	Diversidade genética	Caracteres agronômicos e pigmentos	Ampla diversidade fenotípica com potencial para seleção	G+B
SP-13	Choi *et al.,* 2021b	Coreia do Sul	201 landraces	Genótipo/origem	Rendimento, componentes e antocianinas	Dez materiais reuniram rendimento >150 g/planta e antocianinas >2300 mg/100 g	G+B
SP-14	Lee *et al*., 2022a – Saebaram	Coreia do Sul	Ensaios regionais em 7 locais	Genótipo/adaptação	Produtividade e caracteres agronômicos	287 kg/10a; desempenho superior à cultivar comparadora	G+A
SP-15	Lee *et al.,* 2022b – Gyeongheukcheong	Coreia do Sul	Ensaios regionais em 7 locais	Genótipo × ambiente/sistema	Produtividade e adaptação	Bom desempenho regional e vantagem produtiva em cultivo duplo	G+A
SP-17	Sumardi *et al.,* 2017	Indonésia	Quatro genótipos; 250 e 868 m	Genótipo × altitude	Isoflavonas	Altitude e genótipo modificaram perfil de isoflavonas	G+A+B
SP-18	Choi *et al*., 2021a	Coreia do Sul	323 landraces	Genótipo × período de colheita	Isoflavonas e antocianinas	Cor do cotilédone e período de colheita influenciaram composição	G+A+B
SP-19	Ju *et al*., 1996	Coreia do Sul	2 variedades × 2 épocas × 5 densidades	Época × densidade × variedade	Crescimento, componentes e rendimento	Época, densidade e interações modificaram caracteres produtivos	M+G
SP-20	Goenadi *et al.,* 2019	Indonésia	Detam-1; NPK × bio-nano OSA	Fertilização	Crescimento, rendimento, eficiência hídrica/nutricional	Bio-nano OSA + NPK melhorou desempenho e permitiu redução de NPK	M+A
SP-21	Oh *et al.,* 2023	Coreia do Sul	Cheongja-3ho; 4 épocas	Época de semeadura	Crescimento, produtividade, qualidade, isoflavonas	Junho–julho >200 kg/10a; semeadura tardia aumentou isoflavonas	M+B
SP-23	Adie *et al*., 2026	Indonésia	16 genótipos	Genótipo	Agronomia, antocianinas, isoflavonas, atividade antioxidante	Variabilidade permitiu identificar materiais conciliando desempenho e qualidade	G+B

Código	Autor/ano	País	Material/condição experimental	Fator avaliado	Desfechos principais	Resultado principal	Eixo
SP-24	Xu *et al.*, 2007	China	127 acessos	Genótipo/origem	Fenólicos, antocianinas, capacidade antioxidante	Diferenças significativas entre acessos e grupos eco-geográficos	G+B

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos estudos incluídos na revisão sistemática.
G = genética/melhoramento; A = ambiente/interação genótipo × ambiente; M = manejo; B = composição bioativa.

Os estudos evidenciaram ampla variabilidade genética para produtividade, componentes do rendimento e composição bioativa. Trabalhos com coleções de germoplasma e landraces demonstraram diferenças expressivas entre materiais para características agronômicas, antocianinas, isoflavonas e fenólicos. Entre 201 landraces, por exemplo, foram identificados materiais que reuniram rendimento superior a 150 g por planta e concentração de antocianinas acima de 2.300 mg/100 g.

O ambiente e a interação genótipo × ambiente também foram determinantes. Em ensaios multilocais com linhagens de soja preta, o ambiente respondeu por 59,49% da variação observada na produtividade, enquanto o genótipo respondeu por 8,35% e a interação G×E por 32,16%. Variações entre anos, estações e altitudes também modificaram características produtivas e a composição bioativa.

Entre os fatores de manejo, época de semeadura, densidade populacional e disponibilidade de nutrientes influenciaram os desfechos. Em Cheongja 3, a semeadura em 10 de junho resultou nas maiores produtividades nos dois anos avaliados, enquanto épocas mais tardias modificaram o conteúdo de antocianinas. Outros experimentos demonstraram aumento de isoflavonas em semeaduras tardias e respostas agronômicas à combinação de fertilização mineral e fontes de silício.

Os compostos bioativos mais investigados foram antocianinas, isoflavonas e fenólicos. A síntese mostrou que suas concentrações variam entre genótipos e condições de cultivo e que as condições associadas ao maior rendimento nem sempre correspondem àquelas relacionadas às maiores concentrações de compostos bioativos.

Avaliação da Qualidade Metodológica

A avaliação crítica indicou qualidade global favorável nos estudos incluídos, com ressalvas principalmente em trabalhos nos quais o controle de potenciais fatores de confundimento ou determinadas informações metodológicas não estavam suficientemente detalhados. Nenhum estudo foi excluído exclusivamente em

decorrência da avaliação metodológica. Os resultados da avaliação crítica dos estudos experimentais/quase-experimentais e dos estudos analíticos/comparativos de germoplasma são apresentados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente

Tabela 2: Avaliação crítica dos estudos experimentais/quase-experimentais segundo instrumento JBI adaptado.

Código	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Apreciação global
SP-02	S	S	S	S	NA	NA	S	S	S	Favorável
SP-05	S	S	S	S	NA	NA	S	S	S	Favorável
SP-08	S	S	S	S	NA	NA	S	S	S	Favorável
SP-09	S	S	S	S	NA	NA	S	S	S	Favorável
SP-10	S	S	S	S	NA	NA	S	S	S	Favorável
SP-11	S	S	S	S	NA	NA	S	S	S	Favorável
SP-14	S	S	S	S	NA	NA	S	S	S	Favorável
SP-15	S	S	S	S	NA	NA	S	S	S	Favorável
SP-17	S	S	S	I	NA	NA	S	S	S	Favorável, com ressalva
SP-19	S	S	S	S	NA	NA	S	S	S	Favorável
SP-20	S	S	S	S	NA	NA	S	S	S	Favorável
SP-21	S	S	S	S	NA	NA	S	S	S	Favorável
SP-23	S	S	S	S	NA	NA	S	S	S	Favorável

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos estudos incluídos na revisão sistemática.
Q1 = relação temporal causa–efeito; Q2 = comparabilidade das unidades/grupos; Q3 = tratamento semelhante exceto pela exposição; Q4 = presença/adequação do comparador; Q5 = múltiplas mensurações pré/pós; Q6 = seguimento completo; Q7 = mensuração uniforme dos desfechos; Q8 = mensuração confiável; Q9 = análise estatística apropriada. S = Sim; N = Não; I = Incerto; NA = Não aplicável.

Tabela 3: Avaliação crítica dos estudos analíticos/comparativos de germoplasma segundo instrumento JBI adaptado.

Código	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Apreciação global
SP-03	S	S	S	S	I	I	S	S	Favorável, com ressalvas
SP-04	S	S	S	S	S	S	S	S	Favorável
SP-12	S	S	S	S	I	I	S	S	Favorável, com ressalvas
SP-13	S	S	S	S	S	S	S	S	Favorável
SP-18	S	S	S	S	S	S	S	S	Favorável
SP-24	S	S	S	S	I	I	S	S	Favorável, com ressalvas

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos estudos incluídos na revisão sistemática
Q1 = critérios de inclusão/amostra; Q2 = descrição do material/contexto; Q3 = mensuração válida e confiável do fator; Q4 = critérios objetivos; Q5 = identificação de confundidores; Q6 = estratégias para lidar com confundimento; Q7 = mensuração válida e confiável dos desfechos; Q8 = análise estatística apropriada. S = Sim; N = Não; I = Incerto; NA = Não aplicável. **Fonte:** Elaborada pelos autores com base nos instrumentos JBI.

DISCUSSÃO

Os resultados desta revisão sistemática indicam que a produtividade e a composição bioativa da soja preta são características complexas, condicionadas por fatores genéticos, ambientais e de manejo. A magnitude dos efeitos ambientais e da interação genótipo × ambiente observada em ensaios multilocais demonstra que o desempenho produtivo não pode ser interpretado exclusivamente como atributo do genótipo (Susanto *et al*., 2023). Ao mesmo tempo, estudos com germoplasma evidenciam ampla diversidade para rendimento e compostos bioativos, reforçando o potencial de seleção simultânea desses caracteres (Choi *et al*., 2021b; Li et al., 2024).

A diversidade genética observada constitui uma das principais bases para o melhoramento da soja preta. Coleções extensas de germoplasma revelaram ampla variação de características agronômicas e pigmentos, oferecendo materiais potencialmente úteis para programas de seleção (Lee *et al*., 2021). Estudos com landraces também demonstraram a possibilidade de identificar materiais que associem produtividade elevada e altos teores de antocianinas (Choi *et al*., 2021b). Resultados de programas de melhoramento na Tailândia e de ensaios multilocais na Indonésia reforçam que a seleção deve incorporar produtividade, caracteres de adaptação e estabilidade (Chinnarat *et al*., 2025; Susanto *et al*., 2023).

O componente ambiental foi igualmente relevante. A elevada participação do ambiente e da interação G×E na variação da produtividade encontrada por Susanto *et al.* (2023) demonstra que materiais superiores em uma condição podem não manter a mesma resposta em outros ambientes. Resultados entre estações de cultivo também evidenciam respostas diferenciais entre linhagens (Chinnarat *et al*., 2025). Para a composição bioativa, avaliações realizadas em diferentes anos mostraram efeitos do acesso, do ambiente e de suas interações sobre compostos fitoquímicos e atividade antioxidante (Lee *et al*., 2020).

As práticas de manejo podem alterar tanto o rendimento quanto a composição dos grãos. A época de semeadura é reconhecida como importante determinante do crescimento, rendimento e qualidade da soja (Hu e Wiatrak, 2012). Em soja preta, diferenças de época e estádio de desenvolvimento foram associadas a alterações no conteúdo de antocianinas (Chung *et al*., 2004). Além disso, a disponibilidade de nitrogênio pode modificar vias metabólicas e transcricionais relacionadas ao acúmulo de antocianinas, demonstrando que a qualidade bioativa responde também ao ambiente nutricional da planta (Liang *et al*., 2025).

A variabilidade da composição bioativa constitui característica marcante da soja preta. Choi *et al*. (2020) demonstraram diferenças expressivas entre variedades para antocianinas, isoflavonas e fenólicos, enquanto Lee *et al*. (2020) evidenciaram

variação entre landraces e anos de cultivo. Esses resultados são consistentes com a literatura que descreve a soja preta como fonte diversificada de compostos bioativos (Li *et al*., 2024). A presença de diferentes antocianinas no tegumento já havia sido caracterizada por Choung *et al*. (2001), e estudos posteriores demonstraram que a concentração desses compostos pode variar de acordo com genótipo e condições de cultivo.

A integração dos resultados sugere que produtividade e qualidade bioativa não constituem necessariamente objetivos antagônicos. A identificação de materiais que reúnem rendimento elevado e altas concentrações de antocianinas demonstra possibilidade de seleção conjunta (Choi *et al*., 2021b). Entretanto, as respostas às condições ambientais e ao manejo indicam que maximizar produtividade não implica necessariamente maximizar compostos bioativos. Essa relação deve ser considerada na definição dos objetivos de melhoramento e dos sistemas de produção.

A síntese apresenta limitações decorrentes da heterogeneidade dos materiais genéticos, ambientes, tratamentos, métodos analíticos e unidades de expressão dos resultados. A distribuição geográfica das evidências também foi concentrada principalmente em países asiáticos, o que restringe a extrapolação direta para outras condições edafoclimáticas. A heterogeneidade metodológica impossibilitou a realização de meta-análise global, justificando a síntese narrativa.

Do ponto de vista aplicado, os resultados sustentam a necessidade de integrar melhoramento genético, avaliação multilocal e manejo agronômico. A seleção de materiais destinados a mercados diferenciados deve considerar simultaneamente produtividade, estabilidade e composição bioativa, em vez de tratar esses atributos isoladamente. Ensaios futuros com padronização das metodologias analíticas e avaliação conjunta de rendimento e compostos bioativos poderão ampliar a comparabilidade entre estudos e apoiar recomendações mais robustas.

CONCLUSÃO

As evidências reunidas nesta revisão sistemática demonstram que a produtividade e a composição bioativa da soja preta são influenciadas pela interação entre fatores genéticos, ambientais e de manejo. A diversidade observada entre cultivares, linhagens, acessos e landraces evidencia a existência de variabilidade genética potencialmente útil para o desenvolvimento de materiais com características agronômicas e de qualidade diferenciadas.

A soja preta apresenta potencial para sistemas agrícolas e agroindustriais direcionados tanto à produção de grãos quanto à obtenção de matéria-prima

diferenciada pela composição bioativa e depende da integração entre melhoramento genético, avaliação multilocal e manejo agronômico, bem como da realização de estudos que avaliem simultaneamente rendimento, estabilidade e qualidade dos grãos em diferentes condições edafoclimáticas.

REFERÊNCIAS

ADIE, M. M.; PARDAL, S. J.; SUPRIADI, K.; KRISNAWATI, A. Anthocyanin Content, Isoflavone Composition, Antioxidant Activities, and Agronomic Performance of Black Soybean Lines. **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science**, v. 49, n. 3, p. 1075–1094, 2026. DOI: 10.47836/pjtas.49.3.04. Disponível em: https://doi.org/10.47836/pjtas.49.3.04. Acesso em: 8 jul. 2026.

CHINNARAT, J.; MONKHAM, T.; SANITCHON, J.; CHANKAEW, S. Breeding black soybeans for high yield and first pod height is a promising approach to improving Thai commercial soybean varieties. **Agronomy**, v. 15, n. 3, p. 600, 2025. DOI: 10.3390/agronomy15030600. Disponível em: https://doi.org/10.3390/agronomy15030600. Acesso em: 12 jul. 2026.

CHOI, Y. M.; YOON, H.; LEE, S.; KO, H. C.; SHIN, M. J.; LEE, M. C.; HUR, O. S.; RO, N. Y.; DESTA, K. T. Isoflavones, anthocyanins, phenolic content, and antioxidant activities of black soybeans (Glycine max (L.) Merrill) as affected by seed weight. **Scientific Reports**, v. 10, p. 19960, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-76985-4. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41598-020-76985-4. Acesso em: 16 jul. 2026.

CHOI, Y. M.; YOON, H.; SHIN, M. J.; LEE, Y.; LEE, S.; HUR, O. S.; RO, N. Y.; KO, H. C.; YI, J.; LEE, S. H.; KIM, H. W.; HWANG, Y. J.; LEE, M. C.; DESTA, K. T. Differences in cotyledon color and harvest period affect the contents of major isoflavones and anthocyanins in black soybeans. **Plant Breeding and Biotechnology**, v. 9, n. 1, p. 65–76, 2021a. DOI: 10.9787/PBB.2021.9.1.65. Disponível em: https://doi.org/10.9787/PBB.2021.9.1.65. Acesso em: 19 jul. 2026.

CHOI, Y. M.; YOON, H.; SHIN, M. J.; LEE, Y.; LEE, S.; HAN, W. X.; DESTA, K. T. Variations of yield components and anthocyanin contents in Soritae and Yakkong black soybean landraces collected from different areas. **Korean Journal of Plant Resources**, v. 34, n. 6, p. 542–554, 2021b. DOI: 10.7732/kjpr.2021.34.6.542. Disponível em: https://doi.org/10.7732/kjpr.2021.34.6.542. Acesso em: 23 jul. 2026.

CHOUNG, M. G.; BAEK, I. Y.; KANG, S. T.; HAN, W. Y.; SHIN, D. C.; MOON, H. P.; KANG, K. H. Isolation and determination of anthocyanins in seed coats of black soybean (Glycine max (L.) Merr.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 12, p. 5848–5851, 2001. DOI: 10.1021/jf010550w. Disponível em: https://doi.org/10.1021/jf010550w. Acesso em: 27 jul. 2026.

CHUNG, K. W.; JOO, Y. H.; LEE, D. J. Content and color difference of anthocyanin by different planting dates and growth stages in seed coats of black soybean [Glycine max (L.) Merr.]. **The Journal of the Korean Society of International Agriculture**, v. 16, n. 2, p. 200–204, 2004. Disponível em: https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART001166298. Acesso em: 30 jul. 2026.

GOENADI, D. H.; SANTI, L. P.; DARIAH, A.; BARUS, Y.; KALBUADI, D. N. Improved black soybean performances grown on selected highly weathered soils by using bio-nano-ortho silicic acid. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 393, p. 012004, 2019. DOI: 10.1088/1755-1315/393/1/012004. Disponível em: https://doi.org/10.1088/1755-1315/393/1/012004. Acesso em: 2 set. 2026.

HU, M.; WIATRAK, P. Effect of planting date on soybean growth, yield, and grain quality: review. **Agronomy Journal**, v. 104, n. 3, p. 785–790, 2012. DOI: 10.2134/agronj2011.0382. Disponível em: https://doi.org/10.2134/agronj2011.0382. Acesso em: 5 set. 2026.

JO, Y.-M.; HEO, B. S.; CHOI, K.-H. Yield and Quality of Black Soybean (Glycine max L.) in Paddy Field under Different Sowing Dates. **Korean Journal of Crop Science**, v. 67, n. 1, p. 53–60, 2022. DOI: 10.7740/kjcs.2022.67.1.053. Disponível em: https://doi.org/10.7740/kjcs.2022.67.1.053. Acesso em: 8 set. 2026.

JU, J. I.; KIM, C. H.; MOON, C. S.; HARM, S. S.; IN, M. S.; CHUNG, K. W. Effects of Planting Date and Density by Drill Seeder on Growth and Yield of Black Soybeans. **Korean Journal of Crop Scien**ce, v. 41, n. 2, p. 215–222, 1996. Disponível em: https://kiss.kstudy.com/Detail/Ar?key=4142768. Acesso em: 11 set. 2026.

LEE, J. Y.; CHOI, H. J.; SON, C. K.; BAE, J. S.; JO, H.; LEE, J. D. Genetic diversity of black soybean germplasms with green cotyledons based on agronomic traits and cotyledon pigments. **Korean Journal of Breeding Science**, v. 53, n. 2, p. 127–139, 2021. DOI: 10.9787/KJBS.2021.53.2.127. Disponível em: https://doi.org/10.9787/KJBS.2021.53.2.127. Acesso em: 14 set. 2026.

LEE, J. Y.; SON, C. K.; BAE, J. S.; JO, H. T.; CHOI, H. J.; LEE, J.-D.; JO, H. Black Soybean Cultivar “Saebaram” with Dark Green Cotyledons and a Large Seed Size. **Korean Journal of Breeding Science**, v. 54, n. 4, p. 453–460, 2022a. DOI: 10.9787/KJBS.2022.54.4.453. Disponível em: https://doi.org/10.9787/KJBS.2022.54.4.453. Acesso em: 16 set. 2026.

LEE, J. Y.; SON, C. K.; BAE, J. S.; JO, H. T.; CHOI, H. J.; LEE, J.-D.; JO, H. Black Soybean Cultivar “Gyeongheukcheong” with Dark Green Cotyledon and High Yield Potential. **Korean Journal of Breeding Science**, v. 54, n. 4, p. 461–468, 2022b. DOI: 10.9787/KJBS.2022.54.4.461. Disponível em: https://doi.org/10.9787/KJBS.2022.54.4.461. Acesso em: 18 set. 2026.

LEE, K. J.; BAEK, D. Y.; LEE, G. A.; CHO, G. T.; SO, Y. S.; LEE, J. R.; MA, K. H.; CHUNG, J. W.; HYUN, D. Y. Phytochemicals and antioxidant activity of Korean black soybean (Glycine max L.) landraces. **Antioxidants**, v. 9, n. 3, p. 213, 2020. DOI: 10.3390/antiox9030213. Disponível em: https://doi.org/10.3390/antiox9030213. Acesso em: 20 set. 2026.

LI, S.; CHEN, J.; HAO, X.; JI, X.; ZHU, Y.; CHEN, X.; YAO, Y. A systematic review of black soybean (Glycine max (L.) Merr.): nutritional composition, bioactive compounds, health benefits, and processing to application. **Food Frontiers**, v. 5, p. 1188–1211, 2024. DOI: 10.1002/fft2.376. Disponível em: https://doi.org/10.1002/fft2.376. Acesso em: 22 set. 2026.

LIANG, S.; SI, F.; GUO, C.; CHAI, Y.; YANG, T.; WANG, P. Integrated analysis of transcriptome and metabolome reveals the accumulation of anthocyanins in black soybean (Glycine max L.) seed coats induced by low nitrogen concentration in the nutrient solution. **Plants**, v. 14, n. 19, p. 2993, 2025. DOI: 10.3390/plants14192993. Disponível em: https://doi.org/10.3390/plants14192993. Acesso em: 24 set. 2026.

OH, S. Y.; CHOI, J. S.; KIM, T.-H.; OH, S. H. Influence of Sowing Date on Seed Yield and Quality of Black Soybean (Glycine max (L.) Merrill cv. Cheongja-3ho) in the Southern Paddy Field. **Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorol**ogy, v. 25, n. 4, p. 326–336, 2023. Disponível em: https://agris.fao.org/search/en/providers/122646/records/65e9b29f0bb82ea8d51d748a. Acesso em: 25 set. 2026.

PAGE, M. J.; MCKENZIE, J. E.; BOSSUYT, P. M.; et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, v. 372, n. 71, 2021. DOI: 10.1136/bmj.n71. Disponível em: https://doi.org/10.1136/bmj.n71. Acesso em: 26 set. 2026.

SUMARDI, D.; MAULANI, R. R.; PANCORO, A.; KARUNIAWAN, A.; SYAMSUDIN, T. S. Seed Isoflavone Content of Blacksoybean Genotypes Growing at Different Altitude. In: International Conference on Food Security Innovation (ICFSI), 2017, Serang, Banten, Indonesia. **Proceeding**s [...]. 2017. Disponível em: https://sith.itb.ac.id/wp-content/uploads/sites/386/2022/06/C.2.c.1.1-Seed-Isoflavon.pdf. Acesso em: 27 set. 2026.

SUSANTO, G. W. A.; MAULANA, H.; PUTRI, P. H.; PURWANINGRAHAYU, R. D.; WIJAYA, A. A.; SEKTI, B. A.; KARUNIAWAN, A. Stability analysis to select the stable and high yielding of black soybean (Glycine max (L.) Merril) in Indonesia. **International Journal of Agronomy**, v. 2023, p. 7255444, 2023. DOI: 10.1155/2023/7255444. Disponível em: https://doi.org/10.1155/2023/7255444. Acesso em: 28 set. 2026.

WIRNAS, D.; TRIKOESOEMANINGTYAS; SUTJAHJO, S. H.; SOPANDIE, D.; ROHAENI, W. R.; MARWIYAH, S.; SUMIATI. Variance Component of Yield and Related Traits of Black Soybean Genotypes**. Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)**, v. 40, n. 3, p. 184–189, 2012. DOI: 10.24831/jai.v40i3.13202. Disponível em: https://doi.org/10.24831/jai.v40i3.13202. Acesso em: 29 set. 2026.

XU, J.; ZHANG, M.; LIU, X.; LIU, Z.; ZHANG, R.; SUN, L.; QIU, L. Correlation Between Antioxidation and the Content of Total Phenolics and Anthocyanin in Black Soybean Accessions. **Agricultural Sciences in China**, v. 6, n. 2, p. 150–158, 2007. DOI: 10.1016/S1671-2927(07)60029-7. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S1671-2927(07)60029-7. Acesso em: 30 set. 2026.