


## Poliploidia: Perspectivas e aplicações práticas para o melhoramento genético

 <https://doi.org/10.56238/sevened2024.023-033>

### Manoela Colpes Vieira

Bacharel em Agronomia pela Faculdade de Agronomia  
Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas  
Capão do Leão, RS – Brasil  
E-mail: manoelavieira@hotmail.com

### Guilherme de Oliveira Pagel

Bacharel em Agronomia pela Faculdade de Agronomia  
Eliseu Maciel.  
Instituto: Universidade Federal de Pelotas  
Capão do Leão, RS – Brasil  
E-mail: guilherme99rs@hotmail.com

### Emily Burguêz da Silva

Bacharel em Agronomia pela Faculdade de Agronomia  
Eliseu Maciel.  
Instituto: Universidade Federal de Pelotas  
E-mail: emily-burguez@live.com

### Vera Lucia Bobrowski

Profa. Titular, doutora em Genética e Biologia Molecular  
pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Instituição: Departamento de Ecologia, Zoologia e  
Genética. Instituto de Biologia, Universidade Federal de  
Pelotas.  
E-mail: vera.bobrowski@gmail.com

### Beatriz Helena Gomes Rocha

Profa. Titular, doutora em Ciência e Tecnologia de  
Sementes pela Universidade Federal de Pelotas  
Instituição: Departamento de Ecologia, Zoologia e  
Genética. Instituto de Biologia, Universidade Federal de  
Pelotas.  
E-mail: biahgr@ufpel.edu.br

## RESUMO

Este trabalho explora a poliploidia e suas significativas implicações para o melhoramento genético de plantas. A poliploidia, que se caracteriza pela presença de múltiplos conjuntos de cromossomos, é uma força evolutiva essencial que impacta a evolução das espécies vegetais. Este fenômeno é associado a diversas vantagens, como maior diversidade genética, vigor e resistência a estresses abióticos e bióticos, tornando-o crucial para o desenvolvimento de cultivares mais produtivas e adaptadas a condições adversas. O estudo revisa métodos de indução de poliploidia, incluindo técnicas físicas, químicas e biotecnológicas, e discute suas aplicações práticas, como na produção de frutos sem sementes e no aumento da biomassa. Além disso, aborda os desafios e perspectivas futuras, destacando a necessidade de mais pesquisas para entender completamente suas consequências genômicas e fenotípicas. Conclui-se que a exploração da poliploidia é vital para atender a crescente demanda por alimentos e enfrentar as mudanças climáticas, proporcionando novas oportunidades no melhoramento de diversas espécies, incluindo as ornamentais e as medicinais, ampliando seu potencial econômico e ecológico.

**Palavras-chave:** Poliploides. Antimitóticos. Autopoliploides. Aloploiploides. Variação genética.

## 1 INTRODUÇÃO

A poliploidia, caracterizada pela presença de múltiplos conjuntos de cromossomos em uma célula, é uma força evolutiva significativa que desempenhou um papel crucial na evolução das plantas (Mezzasalma *et al.*, 2023; Van de Peer *et al.*, 2020). Esse fenômeno, comum em muitas espécies vegetais, tem implicações profundas para o melhoramento genético, pois está associado a diversas alterações estruturais, fisiológicas e bioquímicas que podem influenciar diretamente nas características agrônomicas das plantas (Van de Peer; Mizrachi; Marchal, 2017; Madani *et al.*, 2021).

O estudo da poliploidia tornou-se cada vez mais relevante, especialmente no contexto do melhoramento de plantas. As plantas poliploides geralmente apresentam maior diversidade genética, vigor e resistência a estresses abióticos e bióticos, características que são de grande interesse para o desenvolvimento de novas cultivares mais produtivas e adaptadas a condições adversas (Sattler; Carvalho; Clarindo, 2016; Zhang *et al.*, 2018). Além disso, a poliploidia tem sido explorada como uma ferramenta para a produção de frutos sem sementes, aumento de biomassa e melhoria da qualidade nutricional das plantas (Zhang *et al.*, 2018). Essas vantagens permitem que as plantas poliploides desempenhem um papel crucial na segurança alimentar, uma vez que possibilitam a criação de cultivares mais resilientes e eficientes, especialmente em face das mudanças climáticas e do aumento da demanda por alimentos (Van de Peer *et al.*, 2020). A exploração da poliploidia também abre novas oportunidades em programas de melhoramento de espécies ornamentais e medicinais, ampliando o potencial econômico e ecológico das culturas vegetais (Madani *et al.*, 2021).

Diante disso, este trabalho tem como objetivo investigar o papel da poliploidia em espécies vegetais, com foco em suas implicações para o melhoramento genético. Foram explorados os principais métodos de indução de poliploidia, suas aplicações práticas no desenvolvimento de novas cultivares, bem como os desafios e as perspectivas futuras nesse campo de estudo. A pesquisa busca responder à seguinte questão: quais são os efeitos da poliploidia nas características agrônomicas das espécies vegetais e como esse fenômeno pode ser aproveitado para o melhoramento genético?

## 2 METODOLOGIA

Para a concepção deste estudo, foi realizada uma revisão bibliográfica narrativa, as revisões de literatura desempenham um papel crucial na fundamentação de qualquer tipo de pesquisa e são essenciais para o avanço do conhecimento. Quando realizadas de maneira adequada, podem também gerar novas ideias e direcionar o desenvolvimento de um campo específico. Para Greenhalgh, Thorne e Malterud (2018) uma revisão narrativa é um resumo acadêmico associado com interpretação e crítica. Sukhera (2022) salienta que revisões narrativas realizadas adequadamente fornecem uma síntese legível, ponderada e prática sobre um assunto, permitindo que os autores abordem outras ideias enquanto descrevem e interpretam o que é conhecido na literatura sobre o tópico de interesse da



pesquisa. Elas possibilitam a realização de um exame subjetivo e crítico enquanto fornecem *insights* sobre o avanço do campo de estudo, novas teorias ou evidências atuais vistas de perspectivas diferentes ou incomuns para construir uma base de conhecimento científico.

## 2.1 PROCEDIMENTOS DA PESQUISA

A pesquisa bibliográfica foi conduzida com a utilização de artigos científicos e documentos relevantes encontrados em bases de dados como Google Scholar, Scielo, Science Direct, ResearchGate, Lilacs, PubMed, Banco de Teses e Periódicos Capes, e com livros didáticos. As palavras-chave utilizadas para a busca incluíram os termos "poliploidia", "espécies vegetais", "melhoramento genético", "variabilidade genética" e "características agronômicas", no idioma português, e "polyploidy", "plant species", "genetic improvement", "genetic variability" e "agronomic characteristics", em inglês, em diferentes combinações. A janela de tempo utilizada para nortear e restringir esta pesquisa foi a dos últimos 10 anos, logo, filtraram-se artigos de relevância do período de 2014 a 2024.

## 2.2 ETAPAS DA REVISÃO

A revisão bibliográfica foi realizada em três etapas principais:

- Busca inicial: a primeira etapa consistiu na pesquisa bibliográfica nas bases de dados mencionadas e em livros didáticos, utilizando as palavras-chave definidas;
- Seleção de textos: na segunda etapa foi feita a triagem dos textos selecionados, com base na leitura dos resumos e na relevância dos estudos para o tema central do trabalho, atendendo ao objetivo proposto;
- Análise detalhada: na terceira etapa foram realizadas leituras completas e analíticas dos textos selecionados, extraindo-se dados relevantes que permitiram a análise e a elaboração do presente trabalho.

## 3 REVISÃO DE LITERATURA

### 3.1 POLIPLÓIDIA

A poliploidia é uma poderosa força evolutiva que desempenhou um papel fundamental na evolução genômica inicial das plantas (Mezzasalma *et al.*, 2023). Trata-se de um fenômeno comum entre espécies vegetais, no qual há o aumento do número de cromossomos, gerando organismos ou células com mais de dois conjuntos completos de cromossomos. Ela está associada a uma ampla variedade de alterações, sendo elas estruturais, fisiológicas, bioquímicas e no desenvolvimento das plantas, o que oferece novas oportunidades para os melhoristas na seleção de plantas com as características ideais para variados fins, como por exemplo funções medicinais, ornamentais e aumento

de resistência (Madani *et al.*, 2021; Ghasemi *et al.*, 2021; Passos *et al.*, 2023; Salma; Kundu; Mandal, 2017).

Poliploidização é a denominação do processo de formação de organismos poliploides, sendo generalizada e particularmente comum em angiospermas. A redundância genética resultante impacta de forma muito importante na formação e diversidade de espécies, variação fenotípica, tolerância ambiental e interações entre espécies (Van de Peer; Mizrachi; Marchal, 2017).

Os poliploides não estão restritos apenas às culturas de interesse agrônomo como trigo, milho, batata e brássicas, mas também ocorrem com frequência em espécies selvagens e em habitats naturais (Guerra, 2020; Heslop-Harrison; Schwarzacher; Liu, 2023).

A poliploidia em plantas pode surgir de forma natural ou ser induzida em condições laboratoriais por métodos físicos, químicos ou biotecnológicos (Islam *et al.*, 2022), sendo utilizada como ferramenta no melhoramento genético de plantas há várias décadas.

Quanto à origem, modo como o tamanho do genoma é aumentado, os poliploides são classificados em autopoliploides, resultantes da duplicação de apenas um genoma, e em alopoliploides, que são a combinação de dois ou mais genomas diferentes, oriundos do cruzamento de espécies distintas (Griffiths *et al.*, 2022; Ramalho *et al.*, 2022). Os organismos poliploides também surgem espontaneamente pela fusão de gametas não reduzidos, podendo originar poliploides bilaterais (pela união de dois gametas não reduzidos) ou poliploides unilaterais (formados a partir da fusão de um gameta reduzido com outro gameta não reduzido) (Sattler; Carvalho; Clarindo, 2016). Darmasaputra, Rijnberk e Galli (2024) citam que células poliploides podem se formar como resultado de falhas no processo de divisão celular, danos ao DNA ou lesões teciduais.

Segundo Ravandi, Rezanejad e Dehghan (2014), a poliploidia pode causar alterações na regulação gênica e na biossíntese de reguladores de crescimento vegetal, possibilitando mudanças significativas na forma como os genes são expressos e no modo como as plantas produzem substâncias químicas essenciais para o seu crescimento e o desenvolvimento.

Sobre a finalidade da poliploidia somática, o que parece ser o mais aceito no meio científico, é que ela seria uma estratégia para a produção de células maiores, uma vez que menos células de tamanhos maiores teria vantagens funcionais sobre uma massa total semelhante de um número maior de células menores, implicando no aumento da expressão gênica e do metabolismo (Frawley; Orr-Weaver, 2015).

Plantas poliploides apresentam maior diversidade genômica e genética em comparação com outras plantas. Variedades de maturação precoce, frutos sem sementes, linhagens estéreis, culturas altamente produtivas, resistência a adversidades e plantas com propriedades terapêuticas são obtidas por meio do uso de poliploidia (Guerra, 2020; Yali, 2022).

Soltis *et al.* (2016) reuniram dados, em tabelas, sobre os sistemas poliploides mais estudados quanto ao tamanho do genoma, evolução estrutural e/ou cariotípica, expressão gênica, expressão gênica específica de tecido, padrões de metilação, elementos transponíveis, splicing alternativo, ecogeografia, genética populacional, ecologia reprodutiva e fisiologia, relatando que os sistemas genômicos/genéticos *Gossypium*, *Brassica*, *Nicotiana*, *Glycine*, *Arabidopsis*, *Senecio*, *Spartina*, *Aegilops-Triticum* e *Tragopogon* são os que têm múltiplas amostragens temporais de poliploidia.

Fox *et al.* (2020) salientam que a poliploidia é um recurso a ser melhor explorado em muitos campos. Esses autores propõem um desafio interdisciplinar amplo, a 'poliploidia 2030', um estudo coletivo envolvendo pesquisadores de toda a árvore da vida e em diversas áreas, incluindo biologia evolutiva, ecologia, agricultura e medicina, trabalhando integradamente para fornecer uma síntese significativa do papel da poliploidia em sistemas e subsistemas biológicos.

### 3.2 IMPORTÂNCIA DA POLIPLOIDIA PARA O MELHORAMENTO DE PLANTAS

A poliploidia vem sendo usada para o desenvolvimento de novas cultivares, inclusive de grandes culturas como o trigo, algodão, batata e cana-de-açúcar, por exemplo. Suas implicações genéticas podem levar a aumentos significativos na produtividade, resistência a doenças e qualidade do grão, tornando-a uma área de grande interesse para pesquisadores e melhoristas de plantas. Compreender e manipular a poliploidia pode, portanto, contribuir significativamente para atender à crescente demanda por alimentos e recursos agrícolas sustentáveis (Zhang *et al.*, 2018).

Ela pode ter várias implicações genéticas importantes, como aumentar a variabilidade genética, que pode ser benéfica para a adaptação e a evolução das plantas. A poliploidia mostrou ser um mecanismo crucial para a adaptação e a especiação em plantas, com grande relevância para a agricultura, já que muitas espécies agrícolas importantes são poliploides. Suas consequências em populações naturais despertaram o interesse dos melhoristas para sua aplicação no melhoramento de culturas, sendo o efeito "giga", que aumenta o tamanho dos órgãos comerciais, especialmente valorizado. Além disso, o "tamponamento" do genoma, a heterozigosidade e a heterose (vigor híbrido) são fenômenos que podem conferir maior vigor aos poliploides em comparação com os seus parentes diploides, tornando-os foco em programas de melhoramento (Guerra, 2020; Renny-Byfield; Wendel, 2014; Sattler; Carvalho; Clarindo, 2016).

Sobre os efeitos no fenótipo, Madani *et al.* (2021) destacam que a mudança dos grupos cromossômicos e do número de genes em uma célula desencadeiam consequências que podem ser desejáveis ou indesejáveis, e que a poliploidia ocorre em mais de 80% das espécies de plantas, sendo responsável por 2-4% da especiação em plantas com flores.

Outro fator que torna a poliploidia um objeto de estudo de grande interesse para o melhoramento de plantas é o crescente acúmulo de evidências de que interações bióticas, como aquelas

com patógenos ou mutualistas, afetam os poliploides de maneira diferente em comparação aos não poliploides, e dependendo do contexto, essa diferença pode ser explorada para desenvolver mecanismos de resistência em culturas agrícolas, por exemplo (Van de Peer *et al.*, 2020).

Devido aos seus impactos no crescimento e desenvolvimento das plantas, a duplicação cromossômica tem sido aplicada no melhoramento vegetal para aumentar os níveis de compostos específicos e aprimorar características morfológicas (Madani *et al.*, 2021).

Com plantas de *Stevia rebaudiana*, Zhang *et al.* (2018) observaram características morfológicas e fisiológicas significativamente aprimoradas de plantas tetraploides em comparação com as diploides. Verificaram um aumento notável na densidade de tricomas glandulares, que foi de aproximadamente duas a quatro vezes maior, potencializando a secreção de glicosídeos de esteviol. Além disso, esse estudo ainda mostrou que o teor de clorofila nas plantas tetraploides foi significativamente elevado, indicando uma capacidade fotossintética superior. As plantas também apresentaram um crescimento vigoroso, com folhas maiores e mais grossas, caules mais robustos e entrenós mais curtos, resultando em uma maior biomassa na parte aérea. Em termos de produção de glicosídeos, os níveis de esteviosídeo e rebaudiosídeo A nas plantas tetraploides foram, respectivamente, 2,5 e 1,5 vezes maiores do que nas plantas diploides. Com esses resultados os autores destacaram que a indução de poliploidia pode ser uma estratégia eficaz para melhorar a produção e a qualidade dos compostos desejáveis em *Stevia rebaudiana*.

Um estudo feito por Ravandi, Rezanejad e Dehghan (2014) aponta uma desvantagem da poliploidia em relação à diploidia. Em experimento com plantas *in vitro* os autores concluíram que a poliploidia exerceu um impacto significativo na capacidade de regeneração, especificamente na espécie vegetal *Cichorium intybus* L. Uma das principais observações foi a perda de potencial organogênico nos calos de origem tetraploide, que demonstraram uma capacidade de regeneração inferior em comparação com os calos de origem diploide. Isso sugere que a poliploidia pode estar associada a uma diminuição na habilidade das plantas de se regenerarem em ambientes controlados.

Outro aspecto a ser evidenciado é o de que a poliploidia expande a base potencial de variabilidade, elevando o número de genes passíveis de mutação. Ela contribui para aumentar a diversidade genética no reino vegetal, permitindo que mutações recessivas deletérias sejam mascaradas por seus alelos dominantes na condição poliploide (Yali, 2022).

Além de melhorar o rendimento pelo efeito "giga" da autopoliploidia, os poliploides são essenciais para a transferência genética entre espécies onde o cruzamento direto é inviável e para restaurar a fertilidade de híbridos estéreis, ocasionada por erros meióticos. Assim, a aplicação da poliploidia tem sido crucial no desenvolvimento de cultivares mais produtivas, adaptadas e que agregam valor econômico (Sattler; Carvalho; Clarindo, 2016).

Importante destacar que um organismo poliploide após ser originado passa por várias etapas críticas durante o crescimento até gerar uma planta que seja capaz de se manter por várias gerações. Uma das dificuldades a contornar é a realização de divisão meiótica regular, fazer a distribuição equilibrada dos cromossomos homólogos na anáfase I para produzir células gaméticas viáveis, evitando assim a formação de células com número desbalanceado de cromossomos, e/ou recorrer à reprodução assexuada (Guerra, 2020).

No contexto de gestão de estresses abióticos e bióticos, a identificação dos mecanismos subentendidos representa a linha de pesquisa mais significativa da poliploidia. O melhoramento genético baseado na poliploidia une as vantagens da heterose e da apomixia, podendo ser uma opção promissora para o aprimoramento de culturas no futuro (Islam *et al.*, 2022).

Dentro do setor da silvicultura, a poliploidia tem sido uma estratégia biotecnológica alternativa com grande potencial para a geração de plantas mais robustas dentro de programas de melhoramento. Silva (2016), considerando a ausência de poliploides naturais de eucalipto, desenvolveu protocolos para a indução de poliploidização *in vitro* em plântulas de *Eucalyptus grandis*, visando a obtenção de plantas tetraploides. A metodologia estabelecida na pesquisa apresentou resultados promissores para ser usada na aquisição de poliploides sintéticos em larga escala em campos experimentais e em programas de melhoramento dessa espécie.

Ainda sobre eucalipto, Muniz *et al.* (2023) compararam materiais tetraploides com diploides, em relação à qualidade da madeira para a produção de polpa de celulose e papel, esse trabalho foi realizado por meio da análise de propriedades físicas e anatômicas da madeira. Os resultados do estudo indicaram que o clone diploide teve uma densidade básica média de 552 kg/m<sup>3</sup>, 7% maior que a média dos clones tetraploides, que variou entre 502 e 524 kg/m<sup>3</sup>. Sobre o teor de lignina entre os clones não houve diferenças significativas. Contudo, em relação às fibras, os clones tetraploides apresentaram fibras com comprimento e largura cerca de 16% e 20% maiores do que os diploides. Os índices de qualidade das fibras foram semelhantes entre os poliploides e o clone testemunha. Os clones tetraploides se destacaram em volume após cinco anos de cultivo. Estes resultados apoiam a premissa dos benefícios da poliploidia no melhoramento de plantas, sugerindo que a poliploidia é uma estratégia promissora para o melhoramento genético do eucalipto, com benefícios para a produção de celulose e papel.

### 3.3 MÉTODOS DE INDUÇÃO DE POLIPLOIDIA

A indução artificial de poliploidia é uma técnica que pode ser utilizada para apoiar o melhoramento de plantas e tem como objetivo duplicar o número de cromossomos para gerar plantas com maior variabilidade genética. Isso leva a uma recombinação mais ampla de características aprimoradas (Barichello *et al.*, 2019). Isso é feito através do uso de agentes antimitóticos que se ligam

à proteína tubulina, bloqueando a formação de microtúbulos e inibindo a formação do fuso acromático. Durante o processo de divisão celular, os cromátídeos não conseguem se separar e migrar para os polos celulares, impedindo a formação de uma nova membrana ao redor do DNA duplicado (Souza *et al.*, 2019).

A indução de poliploidia pode ser feita por mais de um método, usando agentes químicos, físicos e biológicos, e por diversas substâncias antimitóticas, sendo a colchicina, a orizalina, a 8-hidroxiquinolina e a trifluralina as mais utilizadas. Porém, o processo de poliploidização não depende apenas do método ou do agente indutor utilizado, mas também de outras variáveis (Madani *et al.*, 2021).

Diversos protocolos foram desenvolvidos para induzir poliploidia em uma ampla variedade de espécies cultivadas. Desde a descoberta da colchicina a poliploidização *in vitro*, com esse agente antimitótico, passou a ser uma das principais técnicas para induzir poliploidia artificial. Embora apenas alguns autoploidos induzidos tenham alcançado relevância comercial a poliploidia tornou-se uma ferramenta altamente valiosa em programas de melhoramento (Sattler; Carvalho; Clarindo, 2016; Souza *et al.*, 2019).

A colchicina atua interrompendo a formação do fuso mitótico durante a divisão celular, o que impede a separação dos cromossomos duplicados e resulta em células com o dobro do número de cromossomos. Este método é amplamente utilizado devido à sua eficácia, embora requeira cuidados específicos quanto à dosagem e ao tempo de exposição para evitar efeitos tóxicos e danos irreversíveis às plantas. Em estudo realizado por Abou e El-Shereif (2014), com sementes de citrus, foi constatada que a sobrevivência dessas estruturas diminuiu com o aumento da concentração de colchicina e do tempo de exposição. O controle, sem colchicina, teve a maior sobrevivência (92,3%), enquanto o tratamento com 0,2% de colchicina por 48 horas resultou na menor porcentagem (37%). Isso evidencia que concentrações e tempos maiores aumentam a toxicidade, afetando negativamente a sobrevivência das sementes.

Melloni *et al.* (2015) mencionaram que tratamentos com os herbicidas trifluralina, orizalina e 8-hidroxiquinolina tiveram o uso aumentado pelo baixo teor de toxicidade e por apresentar maior afinidade com a proteína  $\beta$ -tubulina, mesmo que em baixas concentrações.

Na pesquisa de Bona, Karsburg e Gallo (2016), a trifluralina foi usada como antimitótico visando a indução e a identificação de poliploidia em células meristemáticas radiculares de jatobá por meio de características morfológicas e citológicas. Os resultados preliminares indicaram que a concentração de 3  $\mu$ M de trifluralina por 96 horas a 4°C foi eficaz na indução de poliploidia, provocando a duplicação do genoma de *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpacom* ( $2n = 4x = 48$ ) e o aumento do tamanho médio dos estômatos (0,215 mm), estatisticamente superior aos outros três tratamentos.



Ao estudar sobre estabilidade de ploidia em plantas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) tratadas com orizalina, Souza *et al.* (2019) realizaram experimentos que identificaram amostras tetraploides sem diferença significativa no nível de duplicação cromossômica entre explantes de 0,5 cm e 1 cm. Após seis ciclos de subcultivos, foi verificado que 92% dos indivíduos mantiveram a estabilidade do nível de ploidia, com valores de picos variando de 2,98 a 3,28, enquanto apenas 8% apresentaram variação cromossômica leve, com picos entre 2,90 e 2,93. Esses resultados analisados por citometria de fluxo indicam que a técnica de indução de poliploidia com orizalina foi eficaz na geração de plantas tetraploides de mandioca, e que a maioria dessas plantas manteve a estabilidade cromossômica após múltiplos subcultivos, com exceção de alguns indivíduos que necessitaram de novos subcultivos para confirmação do conteúdo cromossômico.

Em contrapartida, Carvalho *et al.* (2016) após a realização da pesquisa com a mesma espécie e objetivando também desenvolver uma metodologia para indução *in vitro* de poliploidia com orizalina e colchicina concluíram que as concentrações de orizalina (3 e 15  $\mu\text{M}$ ) e o tempo de exposição afetaram o desenvolvimento de plantas de mandioca, produzindo apenas alguns indivíduos tetraploides, enquanto que, as concentrações de colchicina (1,25 a 6,25 mM) causaram efeito fitotóxico e, morte dos explantes.

A duplicação cromossômica também pode ocorrer naturalmente, mas é um processo muito mais lento em comparação com as técnicas induzidas artificialmente (Souza *et al.*, 2019).

### 3.4 IMPACTO DA POLIPLOIDIA NAS CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES VEGETAIS E APLICAÇÕES PRÁTICAS

A poliploidia, ao introduzir múltiplos conjuntos de cromossomos nas células de uma planta, pode ter efeitos profundos e variados nas suas características agrônomicas e fisiológicas. Estudos têm demonstrado que a poliploidia exerce efeitos significativos em diversos aspectos das plantas, como a estrutura do genoma, a expressão gênica, o metabolismo, entre outros, o que acaba promovendo alterações no fenótipo. Essas mudanças podem ocorrer logo após a poliploidização e serem retidas ou perdidas mais tarde. Portanto, os fitomelhoristas devem estar atentos e terem conhecimento da estabilidade dessas modificações quando analisarem os seus experimentos (Yu *et al.*, 2021).

Plantas poliploides geralmente demonstram maior robustez e vigor, com um aumento significativo dos tecidos em comparação com o mesmo genótipo diploide, resultando em folhas, caules e raízes mais espessos e maiores (Souza *et al.*, 2019).

Outro impacto da poliploidia em espécies vegetais é na produção de metabólitos secundários, que são compostos que não são essenciais para o crescimento, mas que têm funções importantes, como defesa contra pragas por exemplo. A poliploidia pode modificar sua produção uma vez que ela altera

a atividade enzimática das plantas, impactando as vias biossintéticas e, conseqüentemente, os padrões de produção de metabólitos secundários (Madani *et al.*, 2021).

A poliploidia pode ter um impacto profundo nas características agrônômicas e fisiológicas das plantas, resultando, frequentemente, em fertilidade reduzida devido a irregularidades meióticas. Essa condição está associada à produção de frutos sem sementes (Sattler; Carvalho; Clarindo, 2016), sendo vantajoso para agregar valor ao produto final.

Heslop-Harrison; Schwarzacher e Liu (2023) destacam-na como um importante fator impulsionador da evolução. Desta maneira, a influência da poliploidia na evolução do genoma e dos cromossomos tem sido objeto de numerosas investigações. Esse mecanismo genético que pode desencadear uma série de mudanças fenotípicas oferece inúmeras oportunidades para aplicações práticas no melhoramento (Segraves; Anneberg, 2016). Essas aplicações podem ser direcionadas para o desenvolvimento de variedades com características desejáveis, incluindo aumento de produtividade, melhor resistência a doenças e maior tolerância a estresses ambientais. Por exemplo, plantas poliploides de mandioca resultantes de indução por orizalina exibiram alterações morfológicas significativas, incluindo maior limbo foliar, caules de maior diâmetro e maior robustez em comparação aos genótipos diploides (Souza *et al.*, 2019).

Vilcherrez-Atoche, Iiyama e Cardoso (2022) destacam que as orquídeas representam o maior mercado de flores do mundo e que por esse motivo os objetivos dos programas de melhoramento estão voltados para a obtenção de flores com maior tamanho, durabilidade, cores intensas e resistência a patógenos, sendo os gêneros *Cymbidium*, *Dendrobium* e *Phalaenopsis* os que possuem o maior número de estudos e relatórios publicados sobre a obtenção de plantas poliploides.

Para verificar se a poliploidia desempenha um papel significativo na ampliação da tolerância ambiental de espécies que apresentam citótipos poliploides Silveira (2014) analisou os números cromossômicos de 14 espécies *Eugenia* L. (26 populações) com técnicas convencionais de citogenética. A sua hipótese inicial foi confirmada após ter submetido os resultados a testes estatísticos. As populações poliplóides e diplóides apresentaram padrão de distribuição espacial e de condições ambientais diferentes. Os indivíduos poliplóides foram coletados em locais nos quais as condições ambientais eram consideradas mais adversas. Esses achados reforçam a importância da poliploidia na diversidade e sobrevivência das espécies vegetais em condições ambientais diversas.

Porém, embora as linhagens poliploides tenham uma maior capacidade para enfrentar ambientes desafiadores, elas costumam ser igualmente ou até mais suscetíveis à extinção do que suas predecessoras diploides. É necessário considerar que a poliploidização surge com vários custos aos novos indivíduos poliploides, como instabilidade genômica, anormalidades mitóticas e meióticas, redução da aptidão e exclusão de citótipo minoritário. A duplicação do genoma inteiro pode ter efeitos importantes não apenas na genética, mas também na ecologia e na história de vida das populações.

Portanto, para entender o comportamento dos poliploides e as consequências da poliploidização no potencial adaptativo das populações, diferentes áreas de pesquisa precisam estar vinculadas, pois muitos aspectos continuam pouco estudados (Clo, 2022).

### 3.5 DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS DA POLIPLOIDIA.

Nas últimas décadas, avançou-se significativamente no estudo da poliploidia, com a descoberta de diversos mecanismos relacionados às suas causas e consequências. Todavia, muitas questões permanecem sem resposta, destacando a necessidade de mais pesquisas para esclarecer os efeitos da autopoliploidia e da alopoliploidia nos genomas das plantas. Um entendimento aprofundado da conexão entre mudanças genômicas e a expressão de novos fenótipos após a poliploidia é promissor para o melhoramento de culturas, permitindo que melhoristas manipulem genomas poliploides com maior precisão e obtenham melhores resultados (Sattler; Carvalho; Clarindo, 2016).

Apesar das vantagens, deve-se considerar os possíveis efeitos negativos ao gerar novos organismos poliploides independente das finalidades específicas. Isso porque, embora a poliploidia seja uma ferramenta poderosa, seu uso deve ser cuidadosamente planejado para evitar consequências indesejadas (Madani *et al.*, 2021).

A complexidade genômica da poliploidia é um dos principais obstáculos, devido aos múltiplos conjuntos de cromossomos, portanto, compreender suas interações genéticas requer abordagens avançadas de genômica e bioinformática. Interpretar os fenótipos associados à poliploidia é desafiador, o que faz com que um entendimento mais aprofundado tenha grande potencial para o melhoramento de culturas, ao possibilitar uma associação mais precisa entre genótipo e fenótipo e ao preencher lacunas na transmissão genética de características agronômicas desejáveis entre espécies cultivadas e seus parentes selvagens (Bharadwaj, 2015).

Além disso, entender como a poliploidia afeta a regulação gênica e a expressão de genes ainda não está totalmente esclarecida. Para começar a tentar solucionar essa questão, abordagens integrativas modernas, que combinam técnicas moleculares, citogenéticas e de bioinformática, podem proporcionar esclarecimentos sobre os mecanismos genéticos e de desenvolvimento ainda pouco compreendidos relacionados à formação, reprodução e determinação sexual de neopoliploides (Mezzasalma *et al.*, 2023).

A poliploidia pode ser uma fonte valiosa de variabilidade genética para o melhoramento de plantas e estudos funcionais são essenciais para entender os mecanismos moleculares subjacentes à poliploidia, incluindo a identificação de genes-chave e vias metabólicas afetadas. Embora já seja amplamente reconhecido que células poliploides tendem a ser maiores e a produzir nutrientes ou moléculas de sinalização para o meio ao redor, faltam estudos experimentais que examinem como a



poliploidização afeta especificamente as taxas de crescimento celular, a transcrição de mRNA, a síntese de proteínas e a secreção de nutrientes (Darmasaputra; Rijnberk; Galli, 2024).

A colaboração interdisciplinar entre biologia molecular, genética e agronomia é crucial para abordar os desafios da poliploidia de forma abrangente, visto que apesar dos avanços alcançados, ainda não se possui uma compreensão completa do processo de poliploidização (Islam *et al.*, 2022).

Em suma, embora a pesquisa sobre poliploidia em plantas enfrente desafios significativos, ela oferece oportunidades emocionantes para melhorar a produtividade e a sustentabilidade das culturas.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A poliploidia apresenta-se como um fenômeno biológico de grande relevância para a evolução e o melhoramento genético das plantas. Ao introduzir múltiplos conjuntos de cromossomos nas células vegetais, esse processo oferece uma gama de vantagens que incluem o aumento da variabilidade genética, contribuindo significativamente para a adaptação das espécies a condições ambientais adversas e para a obtenção de cultivares mais produtivas e resistentes.

O estudo da poliploidia, tanto natural quanto induzida, tem demonstrado impactos profundos nas características agrônomicas das plantas, como o vigor híbrido, a produção de frutos sem sementes, o aumento da biomassa e a maior resistência a estresses bióticos e abióticos. Essas alterações são de extrema importância para o desenvolvimento de novas cultivares, especialmente em um cenário agrícola global que exige a produção sustentável e eficiente de alimentos.

No entanto, a complexidade envolvida na manipulação de poliploides, principalmente no que diz respeito à estabilidade genômica e à fertilidade, ainda representa um desafio para os melhoristas de plantas. A necessidade de pesquisas adicionais para melhor compreender os mecanismos genéticos e fisiológicos subjacentes à poliploidização é evidente. Abordagens integrativas que combinem genética, biotecnologia e bioinformática são essenciais para superar esses obstáculos e otimizar o uso da poliploidia no melhoramento de culturas.

Conclui-se que a poliploidia é uma ferramenta promissora e estratégica para o melhoramento genético de plantas, com potencial para impulsionar a inovação agrícola e garantir a produção de cultivares mais robustas, resilientes e produtivas. Contudo, é necessário continuar avançando no conhecimento técnico e científico para explorar plenamente as possibilidades oferecidas por esse fenômeno, buscando soluções para os desafios ainda existentes.

Este processo de revisão permitiu uma abordagem crítica e reflexiva, proporcionando uma compreensão do papel da poliploidia em espécies vegetais e algumas de suas implicações para o melhoramento genético.



## REFERÊNCIAS

- ABOU ELYAZID, D.; EL-SHEREIF, A. *In Vitro* Induction of Polyploidy in *Citrus reticulata* Blanco. *American Journal of Plant Sciences*, v. 5, p. 1679-1685, 2014.
- BARICHELO, E. C. *et al.* Utilização de poliploidia no melhoramento de plantas. *Revista Agronomia Brasileira*, v. 3, n. 3, 2019.
- BHARADWAJ, D. N. Polyploidy in Crop Improvement and Evolution. *Plant Biology and Biotechnology: Volume I: Plant Diversity, Organization, Function and Improvement*, p. 619–638, 2015.
- BONA, D. A. O.; KARSBURG, I. V.; GALLO, R. Indução e identificação de poliploidia em *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang. *Ciência Florestal*, v. 26, n. 4, p. 1331–1337, 2016.
- CARVALHO, M. J. S. Inducing autotetraploids in cassava using oryzalin and colchicine and their in vitro morphophysiological effects. *Genetics and Molecular Research.*, v. 15, n. 2, p. 1-14, 2016.
- CLO, J. Polyploidization: Consequences of genome doubling on the evolutionary potential of populations. *American Journal of Botany*, v. 109, n. 8, p. 1213-1220, 2022.
- DARMASAPUTRA, G. S.; RIJNBERK, V.; GALLI, M. Functional consequences of somatic polyploidy in development. *Development*, v. 151, n. 5: dev202392, 2024.
- FOX, D. T. *et al.* Polyploidy: a biological force from cells to ecosystems. *Trends in Cell Biology*, v. 30, n. 9, p. 688-694, 2020.
- FRAWLEY, L. E.; ORR-WEAVER, T. L. Polyploidy. *Current Biology*, v. 25, n. 9, p. R353–R358, 2015.
- GHASEMI, M. *et al.* Studies on polyploidy induction for improvement of quality traits in ornamental and medicinal plants. *Central Asian Journal of Plant Science Innovation*, v. 1, n. 2, p. 76–90, 2021.
- GREENHALGH, T.; THORNE, S.; MALTERUD, K. Time to challenge the spurious hierarchy of systematic over narrative reviews? *European Journal of Clinical Investigation*, v. 48, n. 6, p. e12931, 2018.
- GRIFFITHS, A. J. F. *et al.* *Introdução à Genética*. 12<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2022. 768p.
- GUERRA, M. Poliploidia: a mutação que mudou a história dos seres vivos. *Genética na Escola*, v. 15, n. 2, p. 128-141, 2020.
- HESLOP-HARRISON, J. S. (PAT); SCHWARZACHER, T.; LIU, Q. Polyploidy: its consequences and enabling role in plant diversification and evolution. *Annals of Botany*, v. 131, n. 1, p. 1-10, 2023.
- ISLAM, M. M. *et al.* Cytogenetics and consequences of polyploidization on different biotic-abiotic stress tolerance and the potential mechanisms involved. *Plants*, v. 11, n. 20, p. 2684, 2022.
- MADANI, H. *et al.* Effect of polyploidy induction on natural metabolite production in medicinal plants. *Biomolecules*, v. 11, n. 6, p. 899, 2021.



- MELLONI, M. N. G. *et al.* Efficiency of different antimetabolites in cytological preparations of sugarcane. *Sugar Tech*, v. 18, n. 2, p. 222-228, 2015.
- MEZZASALMA, M. *et al.* Evolutionary and genomic diversity of true polyploidy in tetrapods. *Animals*, v. 13, n. 6, p. 1033–1033, 12 mar. 2023.
- MUNIZ, F. R. *et al.* Qualidade da madeira de clones poliploides de eucalipto. *Revista O Papel*, v. 84, n. 10, p. 58–65, 2023.
- RAMALHO, M. A. P. *et al.* *Genética na Agropecuária*. 6ª ed. Lavras: UFLA, 2022. 508p.
- RAVANDI, E. G.; REZANEJAD, F.; DEHGHAN, E. *In vitro* regeneration ability of diploid and autotetraploid plants of *Cichorium intybus* L. *Tsitologiya i Genetika*, v. 48, n. 3, p. 166–170, 2014.
- RENNY-BYFIELD, S.; WENDEL, J. F. Doubling down on genomes: polyploidy and crop plants. *American Journal of Botany*, v. 101, n. 10, p. 1711–1725, 2014.
- SALMA, U.; KUNDU, S.; MANDAL, N. Artificial polyploidy in medicinal plants: Advancement in the last two decades and impending prospects. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, v. 20, n. 1, p. 9–19, mar. 2017.
- SANTOS, J. S. P. dos *et al.* Poliploidia na cultura da soja: uma ferramenta de melhoramento.. In: *Anais do 12º CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS*. Anais...Caxambu(MG) Hotel Glória, 2023. Disponível em: <https://www.event3.com.br/anais/12cbmp/666379-POLIPLIDIA-NA-CULTURA-DASOJA--UMA-FERRAMENTA-DE-MELHORAMENTO>.
- SATTLER, M. C.; CARVALHO, C. R.; CLARINDO, W. R. The polyploidy and its key role in plant breeding. *Planta*, v. 243, n. 2, p. 281–96, 2016.
- SEGRAVES, K. A.; ANNEBERG, T. J. Species interactions and plant polyploidy. *American Journal of Botany*, v. 103, n. 7, p. 1326–1335, 2016.
- SILVA, A. J. da. Indução de Poliploidia em *Eucalyptus grandis* Hill (Ex Maiden). 2016. 25f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.
- SILVEIRA, R. M.. Citogeografia de *Eugenia* L. (Myrtaceae Juss.) na região Leste do Brasil. 2014. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
- SOLTIS, D. E.; VISGER, D. E.; MARCHANT, D. B.; SOLTIS, P. S. Polyploidy: pitfalls and paths to a paradigm. *American Journal of Botany*, v. 103, n. 7, p. 1146-1166, 2016.
- SOUZA, M. D. H. *et al.* Estabilidade de ploidia em plantas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) tratadas com orizalina. In: *JORNADA CIENTÍFICA – EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA*, 13ª, 2019, Cruz das Almas, BA. Anais [...]. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2019. Disponível em <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1122959/1/ANAIS-2019-Ainfo-20.pdf>
- SUKHERA, J. Narrative Reviews: flexible, rigorous and practical. *Journal of Graduate Medical Education*, v. 14, n. 4, p. 414-417, 2022.



VAN DE PEER, Y. *et al.* Polyploidy: an evolutionary and ecological force in stressful times. *The Plant Cell*, v. 33, n. 1, p. 11–26, 2020.

VAN DE PEER, Y.; MIZRACHI, E.; MARCHAL, K.. The evolutionary significance of polyploidy. *Nature Reviews Genetics*, v., n. 18, p. 411-424, 2017.

VILCHERREZ-ATOCHÉ, J. A.; IYAMA, C. M.; CARDOSO, J. C. Polyploidization in orchids: from cellular changes to breeding applications. *Plants*, v. 11, n. 469, p. 1-22, 2022.

YALI, W. Polyploidy and its importance in modern plant breeding improvement. *International Journal of Agriculture and Biosciences*, v. 11, n. 1, p. 53–58, 2022.

YU, X. *et al.* Morphological, anatomical and photosynthetic consequences of artificial allopolyploidization in cucumis. *Euphytica*, v. 217, p. 1-13, 2021.

ZHANG, H. *et al.* Induction, identification and characterization of polyploidy in *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Plant Biotechnology*, v. 35, n. 1, p. 81–86, 2018.