

Uso de Marcadores Moleculares na Proteção de Cultivares de Pimenta Ornamental

Use of Molecular Markers in the Protection of Ornamental Pepper Cultivars

Wellington Silva Gomes¹, Samy Pimenta², Allynson Takehiro Fujita³, Eduardo Meireles³

¹Universidade do Estado de Minas Gerais, Ituiutaba, MG, Brasil

²Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG, Brasil

³Universidade do Estado de Minas Gerais, Frutal, MG, Brasil

Resumo

A pimenta ornamental, valorizada por sua estética e potencial econômico, enfrenta desafios de proteção devido à sua alta diversidade genética e facilidade de reprodução, o que torna a distinção e a proteção de novas cultivares mais complexas. Descritores tradicionais, como características morfológicas, muitas vezes, não são suficientes para diferenciar cultivares com precisão. Este estudo buscou explorar o uso de marcadores moleculares, como SSR e SNP, como descritores complementares na proteção de cultivares de pimenta ornamental. A metodologia incluiu uma revisão de literatura e a análise de processos de proteção de cultivares, tanto no Brasil quanto no exterior, com pesquisas em bases como PubMed, Portal Capes e Web of Science. A análise revelou que os marcadores moleculares são altamente eficazes na distinção de genótipos, proporcionando uma solução mais precisa em comparação aos métodos tradicionais de descritores morfológicos. Além disso, essa tecnologia contribui significativamente para proteger os direitos de propriedade intelectual dos criadores de cultivares, trazendo mais segurança ao setor agrícola e impulsionando a inovação e o desenvolvimento de novas variedades.

Palavras-chave: Propriedade Intelectual; Ornamentais; Análise Molecular.

Área Tecnológica: Proteção de Cultivares (proteção *Sui Generis*).

Abstract

Ornamental peppers, valued for their aesthetics and economic potential, face protection challenges due to their high genetic diversity and ease of reproduction, which complicates the distinction and protection of new cultivars. Traditional descriptors, such as morphological characteristics, are often insufficient to accurately differentiate cultivars. This study aimed to explore the use of molecular markers, such as SSR and SNP, as complementary descriptors in the protection of ornamental pepper cultivars. The methodology included a literature review and analysis of cultivar protection processes, both in Brazil and abroad, with research conducted in databases such as PubMed, Portal Capes, and Web of Science. The analysis demonstrated that molecular markers are effective in distinguishing genotypes, offering a more precise alternative to traditional morphological descriptors, and assisting in the protection of intellectual property rights of the cultivar owner, promoting greater security and innovation in the agricultural sector.

Keywords: Intellectual Property; Ornamental; Molecular Analysis.

1 Introdução

As mudanças climáticas contínuas impactam negativamente os sistemas de produção agrícola convencionais e intensivistas, resultando em menor disponibilidade de produtos e no aumento de custos (Gomez-Zavaglia; Mejuto; Simal-Gandara, 2020). Esses métodos, dependentes de práticas agrícolas pouco resilientes às flutuações climáticas (Altieri; Nicholls, 2017), aumentam a pressão sobre o setor agrícola, que precisa se adaptar e buscar soluções inovadoras para garantir a produção e atender à demanda global. Entre os principais desafios, estão a escassez de recursos hídricos, a proliferação de pragas e de doenças e a degradação da fertilidade do solo, afetando diretamente a produtividade e a qualidade dos alimentos (Badawy *et al.*, 2022).

Nesse cenário, o melhoramento de plantas se apresenta como uma estratégia crucial para aumentar a resiliência das culturas e garantir a continuidade da produção agrícola. A seleção e o desenvolvimento de variedades mais adaptáveis às condições ambientais adversas permitem não apenas melhorar a produtividade, mas também otimizar o uso de recursos e mitigar os impactos das mudanças climáticas no setor (Silva *et al.*, 2024). A criação de cultivares com características como resistência a pragas, tolerância à seca e adaptação a diferentes tipos de solo e clima (Dong; Ronald, 2019) é essencial diante da crescente demanda por alimentos e produtos agrícolas, preservando a sustentabilidade e promovendo a viabilidade econômica das práticas agrícolas.

A proteção de cultivares é o principal mecanismo pelo qual melhoristas e empresas asseguram exclusividade sobre suas criações e retorno sobre os investimentos. No Brasil, esse sistema foi formalmente instituído em 1997, com o Sistema Nacional de Proteção de Cultivares (SNPC), regulado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2009a). Devido ao tempo e ao custo envolvidos no desenvolvimento de cultivares, a proteção de cultivares tornou-se essencial para estimular a inovação, garantindo que os detentores dos direitos possam explorá-los com exclusividade e promovendo o avanço do melhoramento genético (Carvalho; Bianchetti; Reifschneider, 2009).

Os direitos de propriedade intelectual sobre uma cultivar são assegurados por meio da concessão de um certificado de proteção, considerado um bem móvel para fins legais. Sem essa proteção, os obtentores podem perder o incentivo para investir em pesquisa e desenvolvimento, o que poderia resultar em estagnação no progresso genético das culturas (Aviani *et al.*, 2008).

Além de grandes *commodities*, como soja e milho, o setor de flores e plantas ornamentais no Brasil tem

consolidado uma posição de relevância no agronegócio. Nos últimos anos, o cultivo de pimentas ornamentais, especialmente do gênero *Capsicum*, tem ganhado destaque pela diversidade genética e pelos usos variados, que vão desde a alimentação até a produção de cosméticos e *sprays* de defesa pessoal (Hernández-Pérez, 2020). A diversidade de formas e cores dos frutos, aliada às variações na folhagem e no hábito de crescimento, faz das pimentas ornamentais uma escolha atraente tanto para colecionadores quanto para paisagistas, impulsionando seu mercado no Brasil (Neitzke *et al.*, 2016; Custódio *et al.*, 2023).

Entretanto, a falta de proteção adequada das cultivares pode resultar na perda de investimentos em pesquisa e desenvolvimento. Entre os principais desafios na proteção de cultivares de pimenta ornamental, estão a alta diversidade genética, que dificulta a definição de critérios claros para a distinção de novas variedades; e a facilidade de reprodução por sementes, o que aumenta o risco de violações dos direitos de propriedade intelectual (Bruch; Vieira; Dewes, 2015).

A distinguibilidade, a homogeneidade e a estabilidade são condições essenciais para o pedido de proteção de uma cultivar (Carmo *et al.*, 2019). Esses testes geralmente são baseados em descritores morfológicos, bioquímicos ou fisiológicos, sendo os morfológicos os mais comuns. No entanto, com o aumento do número de pedidos de proteção, torna-se cada vez mais difícil diferenciar cultivares apenas com base em características morfológicas, principalmente para espécies autógamas, como no caso das pimentas (Bruch, 2013).

Quando os descritores morfológicos não são suficientes para caracterizar uma cultivar, o uso de técnicas alternativas, como marcadores moleculares, pode ser necessário (Borém; Miranda; Fritsche-Neto, 2021). Embora os marcadores moleculares ainda não sejam reconhecidos como descritores oficiais no Brasil, eles têm sido amplamente discutidos e já são utilizados em alguns países como ferramentas complementares no processo de proteção de cultivares (Brammer, 2000; Castro *et al.*, 2008; Pereira *et al.*, 2015).

A técnica de *fingerprinting* molecular, ou “impressão digital” do material genético, permite identificar genótipos de maneira precisa, sendo especialmente útil em espécies com base genética estreita, como soja. No Brasil, o SNPC já recebe amostras de DNA de espécies propagadas vegetativamente, como videira e cana-de-açúcar, embora ainda não haja dados sobre pedidos de proteção com caracterização molecular para a cultura da pimenta.

Este estudo pretende analisar o uso de marcadores moleculares como ferramenta de apoio nos processos de proteção de cultivares, com ênfase na pimenta ornamental. A pesquisa explora tanto as bases teóricas quanto as práticas dessa tecnologia, destacando seus benefícios e desafios. O potencial dos marcadores moleculares para aumentar

a precisão e a confiabilidade na distinção de cultivares protegidas é discutido, além das perspectivas futuras, que incluem o desenvolvimento de novas tendências para a proteção de cultivares.

2 Metodologia

A metodologia deste trabalho envolveu uma abordagem baseada na revisão bibliográfica e em pedidos de proteção de cultivares que descrevem aplicações e resultados obtidos pelo uso de marcadores moleculares em diversas espécies, com foco principalmente em pimentas ornamentais, buscando inferir sobre a utilização dessa tecnologia no processo de proteção de melhoramento e proteção de cultivares.

Para o levantamento bibliográfico, foi realizada uma pesquisa abrangente em bases de dados acadêmicos, como PubMed, Google Scholar, Portal Capes e Web of Science, utilizando os seguintes termos de busca: “marcadores moleculares”, “proteção de cultivares”, “pimentas”, “pimentas ornamentais”, “*Capsicum*” e “melhoramento genético”. Com isso, foi realizada uma seleção de artigos científicos, revisões, livros e documentos técnicos que abordaram o uso de marcadores moleculares na proteção de cultivares de plantas, com foco especial na pimenta ornamental, quando disponível.

O método de análise adotado para selecionar estudos sobre marcadores moleculares na proteção de cultivares baseou-se em uma revisão de literatura com critérios de inclusão e de exclusão. Os estudos priorizados focavam diretamente na aplicação de marcadores como SSR e SNP, especialmente no contexto de proteção de propriedade intelectual e caracterização genética. Foram escolhidos artigos de periódicos acadêmicos revisados por pares e estudos mais recentes, publicados nos últimos 10 anos, com exceção de revisões importantes que ainda impactam o campo. Também foram selecionados documentos de instituições reconhecidas, como a Embrapa e o Ministério da Agricultura. Em contrapartida, foram excluídos estudos que não focam diretamente na proteção de cultivares, trabalhos redundantes ou sem metodologia robusta e publicações muito antigas, a menos que fossem referências essenciais. Essa seleção rigorosa garante que os estudos escolhidos sejam os mais relevantes e atualizados para sustentar a discussão sobre o uso de marcadores moleculares na proteção de cultivares, com foco em pimentas ornamentais.

Após a seleção, os textos foram submetidos a uma avaliação crítica, focando nos estudos com base na relevância dos dados apresentados para a identificação de padrões, tendências e lacunas na literatura sobre o uso de marcadores moleculares na proteção de cultivares,

especialmente no caso da pimenta ornamental. A análise crítica não apenas sintetizou as informações, mas também identificou o impacto prático desses estudos para a agricultura e a biotecnologia. Além disso, os resultados foram integrados para fornecer uma visão do papel dos marcadores moleculares na proteção de cultivares, destacando tanto seu potencial quanto suas limitações, conforme observado por Ferrão *et al.* (2021) e Lopes *et al.* (2015). Essa integração permitiu um entendimento mais profundo sobre como essas tecnologias podem ser aplicadas na proteção legal e no aprimoramento genético de plantas.

Neste artigo, foi realizada, também, uma análise cartográfica que relaciona um mapa de palavras-chave com base em sua ocorrência. Nessa análise, a ocorrência de palavras-chave em artigos é examinada para avaliar sua relação com as produções e expor palavras-chave em áreas de conteúdo agrupadas (Baur *et al.*, 2014). A seleção das palavras de pesquisa foi processada com a intenção de garantir que fosse verificada toda a literatura proposta pelo artigo, para tal foi realizada uma análise cartográfica com o *software* VOSviewer®, para considerar as referências bibliográficas como entrada e o recebimento de palavras-chave como saída. Coletou-se as palavras que mais aparecem para verificar se há coerência entre a pesquisa realizada e a amostra de artigos recuperados.

3 Resultados e Discussão

A pesquisa para compor a amostra, após o uso das palavras-chave e a conferência da aderência ao tema, resultou em 37 arquivos, distribuídos entre artigos científicos, teses de doutorado e capítulos de livros e/ou coletâneas acadêmicas. Essa relação quantitativa está expressa na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação quantitativa da amostra da revisão bibliográfica

NATUREZA	ARTIGOS CIENTÍFICOS	TESES	CAPÍTULOS DE LIVROS/ COLETÂNEAS
Quantidade	22	3	12

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2024)

Os resultados da análise cartográfica estão evidenciados na Figura 1. Os resultados mostram que as palavras-chave ‘cultivar’, ‘ornamental pepper’, ‘genetic diversity’, ‘genotype’ e ‘molecular marker’ representam os *clusters* com maior agregação e aderência nos documentos pesquisados. Logo, há evidências para se justificar que a revisão bibliográfica obteve uma orientação específica com base na literatura revisada.

De acordo com os trabalhos analisados, as tecnologias de detecção de marcadores moleculares estão em constante desenvolvimento nos últimos anos e têm se mostrado como ferramentas promissoras em diversas fases do melhoramento genético de plantas, além de apresentarem grande potencial, como o suporte no processo de proteção de cultivares. Estudos indicam o uso desses marcadores em culturas como arroz (Islam *et al.*, 2011; El-Refaei *et al.*, 2021), trigo (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2022) e cevada (Hasan *et al.*, 2021), confirmando que a combinação de marcadores moleculares com descritores morfológicos pode ser extremamente vantajosa na distinção de genótipos.

Para espécies autógamas, como a soja, que apresentam baixa diversidade genética, a análise de descritores morfológicos torna-se menos informativa e mais demorada. Fatores ambientais podem influenciar a expressão de muitas características quantitativas, exigindo diversas repetições nas análises. Nesse contexto, o uso de marcadores moleculares facilita a identificação e a análise genética, pois não são afetados pelo ambiente. A aplicação de DNA *fingerprinting* em uma variedade vegetal, além de relevante para a proteção de direitos de propriedade intelectual, auxilia na administração dos recursos de germoplasma (Zhao *et al.*, 2019).

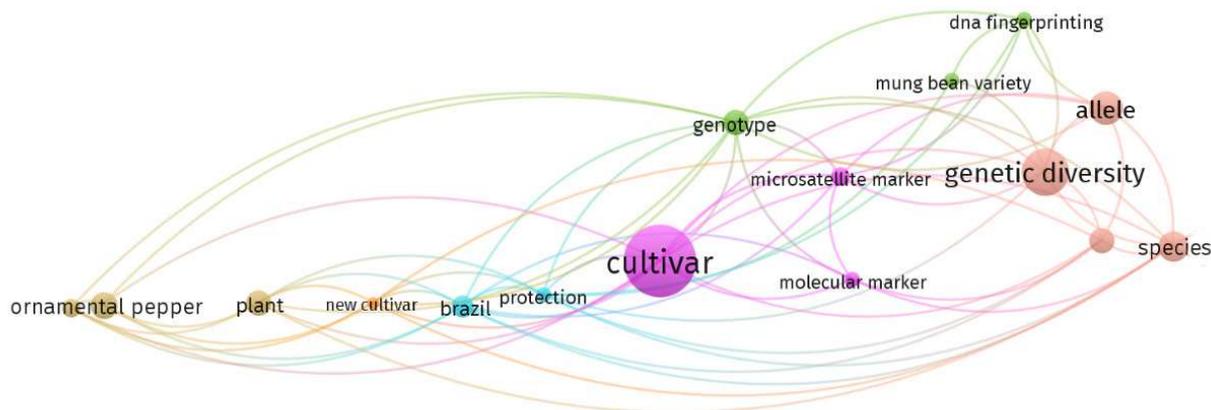
Entre os marcadores moleculares mais amplamente utilizados e com alta capacidade de repetibilidade e de reprodutibilidade, estão os Simple Sequence Repeat (SSR) (Borém; Caixeta, 2016), Single-Nucleotide Polymorphisms (SNP) (Weiner; Hudson, 2002) e Sequence-Characterized Amplified Regions (SCAR) (Paran; Michelmore, 1993). O SSR, por exemplo, é popular no processo de proteção de cultivares devido à sua expressão codominante,

simplicidade na avaliação e mapeamento de diferentes regiões cromossômicas, além de sua alta reprodutibilidade e polimorfismo.

Conforme aponta a União Internacional para a Proteção de Novas Variedades de Plantas (UPOV, 2021), os marcadores moleculares têm uma variedade de usos, como a identificação de características genéticas que estão diretamente ligadas a características físicas específicas e podem ser úteis na análise de características tradicionais que não podem ser facilmente observadas no ambiente natural, por exemplo, resistência a doenças. Uma outra aplicação é a combinação de diferenças físicas e de distâncias genéticas para identificar dentro do grupo de referência aquelas variedades que devem ser comparadas com as candidatas, a fim de melhorar a escolha de variedades claramente distintas, com base nos princípios de que as distâncias genéticas estão relacionadas às diferenças físicas de forma confiável, de modo que o método seleciona variedades do grupo que são mais semelhantes às variedades candidatas e não aumenta o risco de deixar de selecionar uma variedade do grupo que deve ser comparada com as variedades candidatas no ambiente natural (UPOV, 2021).

No âmbito da Propriedade Intelectual, a aplicação dos marcadores genéticos tem sido utilizada na identificação de variedades quando é necessário reforçar os direitos de propriedade intelectual, como no uso indevido sem pagamento de *royalties* e em atividades de fiscalização. Além disso, os marcadores ajudam a determinar a semelhança genética entre as variedades para uso em disputas sobre variedades essencialmente derivadas (Sousa *et al.*, 2013).

Figura 1 – Análise cartográfica da revisão bibliográfica feita pelo *software* VOSviewer®



Fonte: Wellington (2024)

O documento desenvolvido pela UPOV (2018), conhecido como TGP/15, prevê o uso de marcadores moleculares, e a Instrução Normativa n. 58/2009 estabeleceu os procedimentos para envio e recebimento de DNA genômico de cultivar protegida ou potencialmente protegida (MAPA, 2009b).

No Brasil, desde 2009, o SNPC vem recebendo amostras de DNA com perfis genéticos gerados por marcadores que são anexados aos pedidos de proteção para fins de caracterização de cultivares, embora os marcadores moleculares não sejam considerados descritores para a proteção de cultivares. Com marcadores moleculares, é possível distinguir cultivares com maior precisão, evitando conflitos de propriedade intelectual e garantindo que os direitos dos produtores sejam protegidos de forma adequada (Aviani; Santos, 2011).

No último relatório disponível do SNPC com dados moleculares (MAPA, 2015), há 10 espécies diferentes com caracterização molecular depositadas junto ao pedido de proteção (Figura 1), entretanto, não existem dados moleculares para pimentas ornamentais, demonstrando que existe uma lacuna para a cultura. Das 2.591 cultivares protegidas no Brasil, 16 pertencem ao gênero *Capsicum*, com quatro pimentões e 12 pimentas (Signorini *et al.*, 2013). Assim, há grande potencial de seu uso para identificar

características genéticas específicas associadas a cultivares de pimenta ornamental, haja vista que se trata de uma cultura com uma ampla variedade de cultivares e que as diferenças morfológicas entre variedades podem ser sutis.

Estudos apontam o uso de marcadores moleculares como complemento nos pedidos de proteção de cultivares. Por exemplo, Moreira (2012) realizou testes de distinção e de homogeneidade de linhagens recombinadas, utilizando características quantitativas e marcadores moleculares (ISSR), obtendo o certificado de proteção. Castro *et al.* (2008) avaliaram o uso de marcadores SSR em batatas, separando com êxito 18 cultivares, demonstrando o potencial da tecnologia para distinguir variedades. No caso das pimentas, estudos genéticos com seleção assistida por marcadores moleculares têm sido aplicados para diferenciação genotípica, embora ainda não existam pedidos de proteção de cultivares no Brasil com essa abordagem (Ortega *et al.*, 2020; Pinar *et al.*, 2023; Başak *et al.*, 2022).

Em pimentas não foram encontrados trabalhos científicos ou pedidos de proteção de cultivares junto ao SNPC, por meio da caracterização molecular, entretanto, alguns trabalhos apresentam estudos genéticos por meio da seleção assistida por marcadores moleculares para fins de diferenciação genotípica em pimenteiras (Kwon *et al.*, 2005; Moreira, 2012; Pacheco-Olvera *et al.*, 2012).

Tabela 2 – Número de cultivares, por cultura, com marcadores moleculares do tipo SSR com depósito no SNPC

CULTURA	MARCADORES MOLECULARES SSR
Algodão	15
Arroz	16
Cana-de-açúcar	20
Eucalipto	25
Feijão caupi	20
Maçã	15
Morango	20
Soja	15
Trigo	15
Videira	15
Total de marcadores	161

Fonte: SNPC (2015)

Pereira *et al.* (2015) validaram e avaliaram a eficácia dos marcadores moleculares *pun1¹*, *pun1³* e o SNP identificado pelo método *tetra-primer ARMS-PCR (Amplification-refractory mutation system, Polymerase Chain Reaction)* para a pungência em acessos de *Capsicum spp.*, com o objetivo de identificar essa característica genética sem a necessidade de análise morfológica (análise sensorial). Os resultados evidenciam a eficácia desses marcadores na caracterização molecular dos acessos analisados em relação ao atributo de pungência, demonstrando que os marcadores moleculares podem ser utilizados como descritor varietal, item obrigatório durante o processo de proteção da cultivar. Esse requisito é importante para garantir que as variedades comercializadas correspondam às características descritas pelos criadores e que não haja falsificação ou adulteração no mercado. A validação genética por meio de marcadores moleculares pode ser uma ferramenta eficaz para verificar a autenticidade das variedades, contribuindo para a integridade e a confiabilidade do mercado de pimenta ornamental.

A utilização de marcadores moleculares permite também a rastreabilidade das cultivares de pimenta ornamental ao longo da cadeia de produção e de distribuição. Isso é fundamental para garantir o controle de qualidade e a conformidade com os padrões regulatórios. Além disso, a rastreabilidade pode ajudar na resolução de questões relacionadas à autenticidade e à segurança alimentar, oferecendo maior transparência e confiança aos consumidores (Aviani *et al.*, 2008). Segundo Bosetto (2021), os marcadores microssatélites podem ser empregados na rastreabilidade de cultivares desenvolvidas a partir de hibridações controladas, gerando informações importantes para subsidiar a arrecadação de *royalties* ao mantenedor do cultivar.

Diante do exposto, fica evidente que a caracterização molecular de uma cultivar desempenha um papel importante no processo de proteção legal dos genótipos desenvolvidos por melhoristas, fornecendo uma descrição detalhada desses materiais. O emprego de técnicas moleculares para a proteção de cultivares tem sido objeto de discussão pelo Grupo de Trabalho em Técnicas Bioquímicas e Moleculares e Perfis Moleculares (BMT) da UPOV. O principal objetivo desse grupo é elaborar e endossar documentos com diretrizes para o desenvolvimento de metodologias padronizadas, com o propósito de promover uma troca mais eficaz de informações derivadas do uso de marcadores moleculares entre os países membros da UPOV. O grupo de trabalho considera dois critérios essenciais na seleção de métodos e marcadores moleculares, reprodutibilidade e repetibilidade dos resultados, para uso em atividades de apoio à proteção de cultivares, facilitando, assim, a identificação de casos de uso indevido e na condução de atividades de fiscalização (Santos *et al.*, 2012; Lovato, 2023).

Para garantir o uso de marcadores moleculares para fins de proteção, a síntese dos *primers* ou iniciadores utilizados em todas as reações de PCR devem vir de um único fornecedor confiável, para garantir a reprodutibilidade e a repetibilidade dos resultados. Isso é essencial para minimizar a possibilidade de divergência nos perfis de DNA, o que pode ocorrer quando diferentes fontes são usadas para a síntese dos iniciadores. Nesse sentido, esse grupo discute que, quando os marcadores moleculares forem empregados para a identificação e a proteção de cultivares, é fundamental seguir um protocolo de validação em rede para garantir a reprodutibilidade dos resultados. Assim, torna-se essencial selecionar um conjunto de cultivares que possuam alelos de referência para serem incluídos em todas as análises, permitindo que os marcadores microssatélites sejam avaliados em diferentes laboratórios e com equipamentos distintos (Aviani; Santos, 2011).

De acordo com esses critérios, o SNPC criou uma rede de ensaios em 2009/2010 em conjunto com outras organizações do setor de melhoramento genético de soja com o objetivo de harmonizar procedimentos e metodologias e definir *primers* para a criação de um banco de dados moleculares das cultivares protegidas de soja (SNPC, 2015).

A proteção de cultivares de pimenta ornamental enfrenta dificuldades específicas devido à sua diversidade genética e à facilidade de reprodução. As variedades de *Capsicum* apresentam uma ampla gama de características morfológicas, o que dificulta a distinção precisa entre cultivares. Além disso, a facilidade de reprodução por sementes aumenta o risco de reprodução não autorizada e complica a manutenção da identidade genética de uma variedade. Isso, aliado à dificuldade de provar a origem genética sem análise molecular, representa uma barreira significativa na aplicação dos direitos de propriedade intelectual. No Brasil, o sistema de proteção de cultivares por meio do SNPC exige testes de distinção, de uniformidade e de estabilidade, mas essas exigências podem ser complexas, especialmente para espécies ornamentais, que têm um histórico regulatório menos desenvolvido em comparação a culturas agrícolas de grande relevância, como soja ou milho (Santos *et al.*, 2012).

Assim, a eficiência das avaliações fenotípicas para a proteção dessas cultivares pode ser significativamente aprimorada com a integração de testes baseados em DNA. Os marcadores moleculares, nesse contexto, têm demonstrado um potencial considerável, especialmente no caso da proteção de cultivares de pimenta ornamental e outras espécies vegetais. Eles oferecem uma abordagem precisa, eficiente e inovadora para a identificação, a validação e a rastreabilidade das variedades, o que garante uma proteção mais robusta dos direitos dos produtores e maior confiabilidade no mercado (Borém; Caixeta, 2016).

Dessa forma, os consumidores também se beneficiam, tendo acesso a variedades autênticas e de alta qualidade, o que fortalece a integridade do setor.

Além disso, a implementação de marcadores moleculares específicos que caracterizem cultivares de pimenta ornamental seria de grande valor para o Serviço Nacional de Proteção de Cultivares (SNPC). O órgão examinador poderia utilizar esses marcadores de DNA em testes de distinguibilidade, o que facilitaria a comprovação da propriedade da cultivar e o gerenciamento das coleções de referência. Essa aplicação não apenas agilizaria os processos de verificação de autenticidade das variedades, mas também traria maior segurança para o sistema de proteção de cultivares no Brasil (Aviani; Santos, 2011).

O uso de marcadores moleculares, portanto, representa uma alternativa mais rápida e eficiente em comparação com os métodos tradicionais de caracterização, como as análises morfológicas. Isso é particularmente relevante em culturas como a pimenta ornamental, cujas características fenotípicas podem ser significativamente influenciadas por fatores ambientais e genéticos. A identificação manual de cultivares torna-se, assim, um desafio e, muitas vezes, pode estar sujeita a erros. A aplicação de marcadores moleculares é especialmente interessante em características como a pungência, permitindo caracterização e padronização mais precisas entre cultivares pungentes e não pungentes (Ferrão *et al.*, 2021).

Contudo, no Brasil, o uso de marcadores moleculares ainda não é aceito formalmente pelo Ministério da Agricultura como descritores principais para proteção de cultivares. A razão para isso está ligada à dificuldade de padronizar esses métodos em escala nacional, além da complexidade técnica e do custo envolvidos na implementação de tais ferramentas. A adoção formal desses marcadores como parte do processo de proteção exigiria uma revisão regulatória e o desenvolvimento de padrões claros para garantir a reprodutibilidade e a validade dos resultados em diferentes laboratórios.

Assim, apesar da legislação brasileira sobre a proteção de cultivares, estabelecida pela Lei de Proteção de Cultivares (Lei n. 9.456/1997) oferecer uma base sólida para a proteção dos direitos de propriedade intelectual dos obtentores, ela ainda se apoia fortemente em descritores morfológicos tradicionais, o que pode ser inadequado para culturas com grande diversidade genética e com pequenas variações visuais, como a pimenta ornamental. A incorporação formal de marcadores moleculares no processo de proteção seria uma evolução necessária para acompanhar as tendências modernas de biotecnologia (Brasil, 1997).

Outro ponto crítico na legislação é o processo burocrático para proteção de cultivares, que pode ser demorado e custoso, especialmente para pequenos e médios desenvolvedores. O Ministério da Agricultura deveria

considerar uma simplificação do processo de proteção, possivelmente incorporando novas tecnologias, como a análise genética, para tornar o processo mais acessível e eficaz.

4 Considerações Finais

O uso de marcadores moleculares na proteção de cultivares de pimenta ornamental se mostra uma ferramenta promissora e inovadora para garantir a segurança jurídica e a autenticidade das variedades protegidas. A capacidade dos marcadores de identificar e de rastrear características genéticas específicas oferece uma abordagem mais precisa e eficiente comparada aos métodos tradicionais, como os descritores morfológicos.

Esse avanço tecnológico não apenas facilita a proteção de cultivares, mas também estimula a inovação no melhoramento genético, promovendo a criação de variedades mais produtivas, resistentes a doenças e com atributos estéticos superiores. A integração de dados genômicos e as técnicas de sequenciamento de última geração ampliam ainda mais o potencial dos marcadores moleculares, favorecendo a consolidação dessa tecnologia como uma prática padrão no setor agrícola. No entanto, é essencial que as regulamentações acompanhem esses avanços, estabelecendo diretrizes claras para o uso de marcadores na proteção legal de cultivares. Em suma, a aplicação de marcadores moleculares representa uma evolução significativa para o setor agrícola, com benefícios tanto para melhoristas quanto para consumidores, ao garantir a integridade e a confiabilidade do mercado de pimenta ornamental.

A proteção de cultivares em pimenta ornamental é fundamental para estimular a inovação e garantir o desenvolvimento contínuo dessa cultura. Embora existam desafios significativos, como a heterogeneidade genética e a facilidade de reprodução na espécie, estratégias como o uso de marcadores moleculares nos pedidos de proteção de cultivares oferece soluções promissoras, pois ainda não há dados sobre descritores moleculares para a espécie. Assim, a caracterização genética, por meio do desenvolvimento de marcadores moleculares se torna importante para pedidos de proteção de novas cultivares, haja vista que se trata de uma ferramenta eficiente e inovadora para pimenta ornamental.

Ademais, é essencial que os governos, as instituições de pesquisa e a indústria trabalhem em conjunto para desenvolver, solicitar e implementar políticas eficazes de proteção de cultivares, garantindo, assim, um futuro sustentável para a produção de pimenta ornamental para ampliar os programas de melhoramento, a proteção e o retorno financeiro aos detentores das novas cultivares, bem como impulsionar a inovação e o desenvolvimento agrícola.

5 Perspectivas Futuras

Espera-se que os avanços nas tecnologias de sequenciamento de DNA e na análise bioinformática resultem em melhorias significativas na eficiência e na precisão dos marcadores moleculares utilizados na proteção de cultivares de pimenta. Novas técnicas e plataformas de sequenciamento de próxima geração poderão possibilitar a identificação de marcadores moleculares de alta resolução, oferecendo uma compreensão mais detalhada da diversidade genética das cultivares.

A integração de dados genômicos aos estudos de marcadores moleculares tem o potencial de abrir novas possibilidades na identificação de genes e *loci* associados a características agronômicas desejáveis em cultivares de pimenta. Essa abordagem pode acelerar o desenvolvimento de variedades melhoradas por meio da seleção assistida por marcadores, tornando o processo de melhoramento genético mais eficiente (Guizado *et al.*, 2020). Nesse contexto, os marcadores moleculares podem assumir um papel central nos programas de melhoramento de pimenta, auxiliando os pesquisadores na seleção de plantas com características agronômicas superiores, como resistência a doenças, maior produtividade e qualidade aprimorada dos frutos.

Com o desenvolvimento de descritores baseados em marcadores de DNA, a caracterização molecular tende a se tornar um pré-requisito para a autenticação de uma “identidade” única das cultivares. Isso fortaleceria o sistema de proteção de cultivares, garantindo a originalidade e a autenticidade das novas variedades desenvolvidas. Além disso, o uso de marcadores moleculares na proteção de cultivares de pimenta ornamental pode estimular inovações no desenvolvimento de novas variedades. Ao fornecer uma ferramenta precisa para a caracterização genética, os marcadores facilitam a seleção de cultivares com qualidades superiores, como maior resistência a doenças, produtividade elevada ou características estéticas específicas.

No que se refere à proteção legal e regulatória, o uso de marcadores moleculares para a proteção de cultivares de pimenta pode, no futuro, tornar-se uma prática padrão na indústria agrícola. A regulamentação específica, com a adoção de marcadores moleculares como descritores oficiais, pode garantir a autenticidade e a originalidade das variedades protegidas. Isso incluiria a implementação de sistemas de rastreabilidade e de verificação genética para assegurar o cumprimento das normas de proteção de cultivares.

A continuidade do uso de marcadores moleculares na proteção de cultivares de pimenta também pode contribuir para uma compreensão mais profunda da diversidade genética e da estrutura populacional dessa espécie. Esses avanços podem oferecer novos *insights* sobre a evolução, a

adaptação e a domesticação da pimenta, além de fornecer informações valiosas para a conservação e o uso sustentável dos recursos genéticos (Aviani; Santos, 2011).

Em síntese, as perspectivas futuras para o uso de marcadores moleculares na proteção de cultivares de pimenta são amplas e promissoras. Elas oferecem oportunidades significativas para avanços na pesquisa, no desenvolvimento e na comercialização de variedades geneticamente aprimoradas e autênticas, garantindo inovação contínua no setor agrícola.

Referências

ALTIERI, Miguel A.; NICHOLLS, Clara I. The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. **Climatic Change**, [s.l.], v. 140, p. 33-45, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0909-y>.

AVIANI, Daniela de Moraes *et al.* Abordagem sobre Proteção e Registro de Cultivares. In: FALEIRO, Fábio Gelape; FARIAS NETO, Austeclínio Lopes; RIBEIRO JUNIOR, Walter Quadros (ed.). **Pré-melhoramento, melhoramento e pós-melhoramento: estratégias e desafios**. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 2008. p. 167-183.

AVIANI, Danilo Marcelo; SANTOS, André Luiz dos. Considerações sobre o uso de marcadores moleculares na proteção legal de cultivares. **Revista de Biotecnologia Aplicada**, [s.l.], v. 12, n. 3, p. 45-52, 2011.

AVIANI, Daniela de Moraes; SANTOS, Fabrício Santana. Uso de marcadores moleculares em proteção de cultivares. In: SANTOS, Fabrício Santana; TEIXEIRA, Filipe Geraldo de Moraes (org.). **Proteção de cultivares no Brasil**. Viçosa: UFV, 2023. p. 155-158.

BADAWY, Adham *et al.* Water Profitability Analysis to Improve Food Security and Climate Resilience: A Case Study in the Egyptian Nile Delta. **Climate**, [s.l.], v. 10, n. 2, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/cli10020017>.

BAŞAK, H. *et al.* Genetic characterization of pepper (*Capsicum annuum L.*) genotypes from central Anatolia with SSR and SCAR markers. **Genetika**, [s.l.], v. 54, ed. 3, p. 1.171-1.182, 2022. DOI: <https://doi.org/10.2298/genr2203171b>.

BAUR, Nina *et al.* Theory and methods in spatial analysis. Towards integrating qualitative, quantitative and cartographic approaches in the social sciences and humanities. **Historical Social Research**, [s.l.], p. 7-50, 2014.

BORÉM, Aluizio; CAIXETA, Eveline Teixeira. **Marcadores moleculares**. Viçosa: DFT/UFV, 2016. 385p.

BORÉM, Aluízio; MIRANDA, Glauco Vieira;
FRITSCHÉ-NETO, Roberto. **Melhoramento de plantas**.
8. ed. Viçosa: Editora da UFV, 2021. 543p.

BOSETTO, Luane. **Caracterização e diferenciação entre
cultivares de macieira desenvolvidas em Santa Catarina**.
2021. 53f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) –
Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2021.

BRASIL. Lei n. 9.456, de 25 de abril de 1997. Institui a
Lei de Proteção de Cultivares e dá outras providências.
Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 abr. 1997.
Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19456.htm. Acesso em: 24 fev. 2025.

BRAMMER, Sandra Patussi. **Marcadores moleculares:
princípios básicos e uso em programas de melhoramento
genético vegetal**. Passo Fundo, RS: Embrapa, 2000.
(Documentos Online, 3). Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_do03.htm. Acesso em: 16 out. 2024.

BRUCH, Kelly Lissandra. **Limites do Direito de
Propriedade Industrial de Plantas**. 1. ed. Florianópolis:
Conceito, 2013. 240p.

BRUCH, Kelly Lissandra; VIEIRA, Adriana Carvalho
Pinto; DEWES, Homero. A propriedade industrial: dupla
proteção ou proteções coexistentes sobre uma mesma
planta. In: BUAINAIN, Antônio Márcio; BONACELLI,
Maria Beatriz Machado; MENDES, Cássia Isabel
Costa (ed.). **Propriedade Intelectual e Inovações na
Agricultura**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de
Ciência e Tecnologia, Políticas Públicas, Estratégias e
Desenvolvimento, 2015. p. 285-318.

CARMO, Flávia Lima do *et al.* Cultivares – O que são,
como se apropriar, como consultar. In: SANTOS, Wagna
Piler Carvalho dos (org.). **Conceitos e aplicações de
propriedade intelectual**. Salvador: IFBA, 2019. v. II. p.
349-399.

CARVALHO, Sabrina I. C.; BIANCHETTI, Luciano
de B.; REIFSCHNEIDER, Francisco J. B. Registro e
proteção de cultivares pelo setor público: a experiência
do programa de melhoramento de *Capsicum* da Embrapa
Hortaliças. **Horticultura Brasileira**, [s.l.], v. 27, n. 2, p.
135-138, 2009.

CASTRO, Caroline Marques *et al.* Marcadores SSR em
batata: importante técnica para auxiliar no registro e
proteção de cultivares. **Embrapa Clima Temperado**, [s.l.],
Comunicado Técnico 198. dez. 2008. ISSN 1806-9193.

CUSTÓDIO, G. *et al.* Selection of ideal genotypes in
peppers with ornamental potential. **Folia Horticulturae**,
[s.l.], 2023. DOI: <https://doi.org/10.2478/fhort-2023-0033>.

DONG, Oliver Xiaou; RONALD, Pamela C. Genetic
Engineering for Disease Resistance in Plants: Recent
Progress and Future Perspectives. **Plant Physiology**,
[s.l.], v. 180, n. 1, p. 26-38, maio, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.18.01224>.

EL-REFAEE, Yasser Zain Alabdeen *et al.* DNA
Fingerprinting and Genetic Diversity Analysis of some
Egyptian Rice Genotypes. **Journal of Agricultural
Chemistry and Biotechnology**, [s.l.], v. 12, n. 8, p. 157-
164, 2021. DOI: [10.21608/jacb.2021.196776](https://doi.org/10.21608/jacb.2021.196776).

FERRÃO, Luís Felipe V. *et al.* Genomic Selection in an
Outcrossing Autotetraploid Fruit Crop: Lessons From
Blueberry Breeding. **Frontiers in Plant Science**, [s.l.],
v. 12, 676326, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.676326>.

FERREIRA, Marcio Elias.; MORETZSOHN, Márcio de
Carvalho; BUSO, Gláucia. Fundamentos da caracterização
molecular de germoplasma vegetal. In: NASS, Luciano
Lourenço (org.) **Recursos genéticos vegetais**. Brasília, DF:
Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2007. p.
377-420.

GOMEZ-ZAVAGLIA, Andrea; MEJUTO, Juan C.;
SIMAL-GANDARA, Jesus. Mitigation of emerging
implications of climate change on food production
systems. **Food Research International**, [s.l.], v. 134, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109256>.

GUIZADO, Stalin Juan Vasquez *et al.* Genetic diversity
and population structure of endangered rosewood from the
Peruvian Amazon using ISSR markers. **Acta Amazonica**,
[s.l.], v. 50, n. 3, p. 204-212, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201902203>.

HASAN, Nazarul *et al.* Recent advancements in molecular
marker-assisted selection and applications in plant
breeding programmes. **Journal of Genetic Engineering
and Biotechnology**, [s.l.], v. 19, p. 128, 2021.

HERNÁNDEZ-PÉREZ, T. *et al.* Capsicum annum (hot
pepper): An ancient Latin-American crop with outstanding
bioactive compounds and nutraceutical potential. **A
Review: Comprehensive Reviews in Food Science and
Food Safety**, [s.l.], v. 19, n. 6, p. 2.972-2.993, 2020. DOI:
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12634>.

ISLAM, Mohammad Mirazul *et al.* DNA Fingerprinting
and Diversity Analysis of BRRI Hybrid Varieties and
their Corresponding Parents. **Plant Tissue Cult e Biotech**,
[s.l.], v. 21, n. 2, p. 189-198, dez. 2011. DOI: <https://doi.org/10.3329/ptcb.v21i2.10242>.

JONES, Huw *et al.* Evaluation of the use of high-density
SNP genotyping to implement UPOV Model 2 for DUS
testing in barley. **Theoretical and Applied Genetics**, [s.l.],
v. 126, n. 4, p. 901-911, 2013. DOI: [10.1007/s00122-012-2024-2](https://doi.org/10.1007/s00122-012-2024-2)

KWON, Y. S. *et al.* Use of SSR markers to complement
tests of distinctiveness, uniformity, and stability (DUS)
of pepper (*Capsicum annum* L.) Varieties. **Molecules and
Cells**, [s.l.], v. 19, p. 428-435, 2005.

- LOPES, Ana Daniela *et al.* Genetic diversity assessed by microsatellite markers in sweet corn cultivars. **Scientia Agricola**, [s.l.], v. 72, n. 6, p. 513-519, nov.-dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0307>.
- LOVATO, Fernanda Antinolfi. Uso de características de resistência a doenças em testes de DHE. In: SANTOS, Fabrício Santana; TEIXEIRA, Filipe Geraldo de Moraes (org.). **Proteção de Cultivares no Brasil**. Viçosa: UFV, 2023. p. 147-154.
- MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Informações aos usuários do SNPC**. [2009a]. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/protacao-de-cultivar/informacoes-publicacoes/informacoes-aos-usu-arios-do-snpc-fevereiro-de-2020>. Acesso em: 16 out. 2024.
- MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa MAPA n. 58, de 1º de dezembro de 2009. Dispõe sobre os procedimentos para proteção de cultivares. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 dez. 2009. [2009b]. Disponível em: https://www.normasbrasil.com.br/norma/instrucao-normativa-58-2009_77470.html. Acesso em: 16 out. 2024.
- MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Relatório do Serviço Nacional de Proteção de Cultivares (SNPC)**. Brasília, DF: MAPA, 2015.
- MOREIRA, S. O. **Caracterização morfológica e molecular de linhagens de *Capsicum annuum* L. com resistência à mancha bacteriana**. 2012. 124p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2012.
- NEITZKE, Raquel S. *et al.* O. Pimentas ornamentais: aceitação e preferências do público consumidor. **Horticultura Brasileira**, [s.l.], v. 34, p. 102-109, 2016.
- ORTEGA, F. *et al.* Development of a genotype-specific molecular marker associated with restoration-of-fertility (Rf) in chile pepper (*Capsicum annuum* L.). **Euphytica**, [s.l.], v. 216, artigo 43, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-020-2579-y>.
- PACHECO-OLVERA, Antonio *et al.* Genetic diversity and structure of pepper (*Capsicum annuum* L.) from northwestern Mexico analyzed by microsatellite markers. **Crop. Science**, [s.l.], v. 52, p. 231, 2012. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2011.06.0319>.
- PARAN, Ilan; MICHELMORE, Richard W. Development of reliable PCR-based markers linkage to downy mildew resistance genes in lettuce. **Theoretical and Applied Genetics**, [s.l.], v. 85, n. 8, p. 985-993, 1993.
- PEREIRA, Ítalo S. *et al.* Validação de marcadores moleculares associados à pungência em pimenta. **Horticultura Brasileira**, [s.l.], v. 33, n. 2, p. 189-195, abr.-jun. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620150000200009>.
- PINAR, H. *et al.* Molecular characterization of some elazig pepper (*Capsicum annuum* L.) Genotypes. **Current trends in natural sciences**, [s.l.], 2023. DOI: <https://doi.org/10.47068/ctns.2023.v12i23.026>.
- POUR-ABOUGHADAREH, A. *et al.* An Analysis of Genetic Variability and Population Structure in Wheat Germplasm Using Microsatellite and Gene-Based Markers. **Plants**, [s.l.], v. 11, n. 9, p. 120511, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11091205>.
- SANTOS, Fabrício Santana *et al.* Evolution, importance and evaluation of cultivar protection in Brazil: the work of the SNPC. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, [s.l.], v. 12, suplemento especial, p. 99-110, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1984-70332012000500011>.
- SIGNORINI, Tiago *et al.* Diversidade genética de espécies de *Capsicum* com base em dados de isozimas. **Horticultura Brasileira**, [s.l.], v. 31, n. 4, p. 534-539, 2013.
- SILVA, Carla Michelle da *et al.* Melhoramento genético de plantas para adaptabilidade às mudanças climáticas. **Revista de Gestão e Secretariado**, [s.l.], v. 15, n. 9, p. e4161, 2024. DOI: 10.7769/gesec.v15i9.4161.
- SNPC – SERVIÇO NACIONAL DE PROTEÇÃO DE CULTIVARES. **Banco de dados**. Brasília, DF: MAPA, 2015.
- SOUSA, Tiago Vieira *et al.* Caracterização molecular de cultivares de café resistentes à ferrugem. In: VIII SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, SUSTENTABILIDADE E INCLUSÃO SOCIAL, 25 a 28 de novembro de 2013, Salvador, BA, 2013. **Anais [...]**. Salvador, BA, 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/975905/1/CaracterizacaoMoleculardeCultivares.pdf>. Acesso em: 21 out. 2024.
- UPOV – INTERNATIONAL UNION FOR THE PROTECTION OF NEW VARIETIES OF PLANTS. **TGP/15/2 Draft 1: Guidance on the Use of Biochemical and Molecular Markers in the Examination of Distinctness, Uniformity and Stability (DUS)**. 2018. Disponível em: https://www.upov.int/edocs/mdocs/upov/en/twa_47/tgp_15_2_draft_1.pdf. Acesso em: 21 out. 2024.
- UPOV – INTERNATIONAL UNION FOR THE PROTECTION OF NEW VARIETIES OF PLANTS. **Página de busca**. 2021. Disponível em: <http://www.upov.int>. Acesso em: 10 abr. 2024.

WEINER, Michael P.; HUDSON, Thomas J.
Introduction to SNPs: Discovery of markers for disease.
BioTechniques, [s.l.], v. 32, p. S4-S13, jul. 2002. DOI:
10.2144/jun0201.

ZHAO, Yanan *et al.* Molecular identification of mung bean
accessions (*Vigna radiata L.*) from Northeast China using
capillary electrophoresis with fluorescence-labeled SSR
markers. **Food and Energy Security**, [s.l.], v. 9, n. 20, p.
1-29, ago. 2019. DOI: 10.1002/fes3.182

Sobre os Autores

Wellington Silva Gomes

E-mail: Wellington.gomes@uemg.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0698-2079>
Doutor em Genética e Melhoramento pela Universidade
Federal de Viçosa em 2013.
Endereço profissional: Departamento de Ciências Agrárias
e Naturais, Ituiutaba, MG. CEP: 31630-900.

Samy Pimenta

E-mail: samy.pimenta@unimontes.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9411-9381>
Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas pela
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro
em 2015.
Endereço profissional: Departamento de Ciências Agrárias,
Unimontes, Janaúba, MG. CEP: 39440-000.

Allynson Takehiro Fujita

E-mail: allynson.fujita@uemg.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9848-8299>
Doutor em Química Analítica pela Universidade Estadual
Paulista em 2007.
Endereço profissional: Departamento de Ciências Exatas,
UEMG, Frutal, MG. CEP: 38202-436.

Eduardo Meireles

E-mail: eduardo.meireles@uemg.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6711-6572>
Doutor em Engenharia Urbana pela Universidade Federal
de São Carlos em 2016.
Endereço profissional: Departamento de Ciências Humanas
e Sociais Aplicadas, UEMG, Frutal, MG. CEP: 38202-436.