


Lycopersicon esculentum 'Indigo Rose': Um novo horizonte na agricultura de tomates

 <https://doi.org/10.56238/sevened2024.023-009>

Elieae da Silva Gomes

Universidade Estadual de Maringá
Maringá – Brasil.
E-mail: elieae2108@gmail.com

Caroline Wolf Trentini Schipfer

Universidade Estadual de Maringá
Maringá – Brasil.
E-mail: carolwtrentini@gmail.com

Marina Melliny Guimarães de Freitas

Universidade Estadual de Maringá
Maringá – Brasil.
E-mail: marinamav3@gmail.com

Jéssica de Souza Alves Friedrichsen

Universidade Estadual de Maringá
Maringá – Brasil.
E-mail: jessicasouza.uem@gmail.com

Veridiana de Almeida Flores de Oliveira

Universidade Estadual de Maringá
Maringá – Brasil.
E-mail: veri_blid@hotmail.com

Isabela Carolina Ferreira da Silva

Universidade Estadual de Maringá
Maringá – Brasil.
E-mail: isabelacfes@gmail.com

Fernanda Francielle de Castro

Universidade Estadual de Maringá
Maringá – Brasil.
E-mail: fernanda.castro@docente.pr.senac.br

Francine Rubim de Resende

Universidade Federal de Ouro Preto
Ouro Preto- Brasil
E-mail: francinerubimresende@gmail.com

Tais Cristina Coelho Alves Madalena

Universidade Estadual de Maringá
Maringá – Brasil.
E-mail: taiscoelhoeng.alimentos@gmail.com

Oscar de Oliveira Santos Júnior

Universidade Estadual de Maringá
Maringá – Brasil.
E-mail e-mail: oosjunior@uem.br

RESUMO

A variedade de tomate *Lycopersicon esculentum* 'Indigo Rose', reconhecida por sua coloração roxa distinta e alto teor de antocianinas. Desenvolvida para melhorar a resistência a doenças e aumentar os benefícios nutricionais, esta variedade de tomate se destaca tanto pela sua estética quanto pelos seus benefícios à saúde. Nesse âmbito, o presente estudo teve como objetivo abordar as características botânicas e genéticas do 'Indigo Rose', que levaram à sua criação. São apresentados os aspectos agronômicos, incluindo recomendações sobre práticas de cultivo, desde a preparação do solo até a colheita. A resistência a pragas e doenças, juntamente com a adaptabilidade a diferentes condições climáticas, é destacada como um fator chave para o sucesso no cultivo dessa variedade.

Os benefícios nutricionais do 'Indigo Rose' são amplamente discutidos, com ênfase nas antocianinas e seus efeitos antioxidantes, além disso, apresenta o impacto econômico e de mercado desta variedade, ressaltando a crescente demanda por alimentos funcionais e visualmente atraentes entre consumidores conscientes da saúde.

Palavras-chave: Tomate índigo rosa, Composição nutricional índigo rosa, Características botânicas, Prospecção mercadológica tomate modificado.

1 INTRODUÇÃO

O cultivo de tomateiros tem uma longa história, enraizada em práticas agrícolas que datam de milhares de anos. Dentro desse vasto campo de estudo e cultivo, o *Lycopersicon esculentum* 'Indigo Rose' destaca-se como uma variedade particularmente interessante. Este capítulo pretende explorar as características únicas, a genética e os benefícios nutricionais deste tomate de cor peculiar, compostos bioativos, atividades agrícolas, segurança toxicológica e mercado (Balashova; Pinchuk, 2019).

A variedade 'Indigo Rose' é notável não apenas por sua coloração roxa profunda, mas também pelos compostos bioativos que a conferem a essa tonalidade. Desenvolvida através de cruzamentos seletivos, esta variedade foi criada para melhorar a resistência a doenças e aumentar o teor de antocianinas, poderosos antioxidantes benéficos à saúde humana. As antocianinas são responsáveis pela coloração característica e têm sido associadas à redução do risco de doenças cardiovasculares, diabetes e certos tipos de câncer (He et al., 2023).

Além dos aspectos nutricionais, o 'Indigo Rose' possui uma série de características agrônômicas que o tornam atraente para os produtores. Sua resistência a pragas e doenças, aliada à sua capacidade de adaptação a diferentes condições climáticas, faz dele uma escolha robusta para a agricultura sustentável, sua forma de cultivo e os impactos econômicos e de mercado do 'Indigo Rose' (Zhi et al., 2020).

O 'Indigo Rose' não é apenas um alimento funcional, mas também uma opção estética atraente para chefs e consumidores que valorizam a aparência visual dos alimentos que consomem (Vu et al., 2019).

Ao explorar o *Lycopersicon esculentum* 'Indigo Rose', o presente trabalho visa fornecer uma compreensão holística de seu potencial e desafios, destacando sua contribuição para a agricultura moderna e nutrição humana.

2 CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS

O tomate (*Solanum lycopersicum*) pertence à ordem Tubiflorae é um membro da família *Solanaceae*, sendo uma planta Dicotiledônea (Maureira et al., 2022). Se destaca entre os vegetais mais cultivados no mundo, devido seu alto teor nutricional e potencial econômico (Perez-Robles et al., 2023).

O tomate (*S. lycopersicum*) é um dos vegetais mais apreciados no mundo devido ao seu sabor e sua grande variedade de formas e cores. Sendo um vegetal amplamente cultivado e utilizado, por suas características versáteis, podendo ser consumido fresco, cozido ou processado (Amr, 2022). O tomate é uma rica fonte de compostos funcionais, que vão desde vitaminas, minerais, fibras alimentares, proteínas e aminoácidos essenciais, como carotenóides, clorofilas e polifenóis (De Corato, 2020).

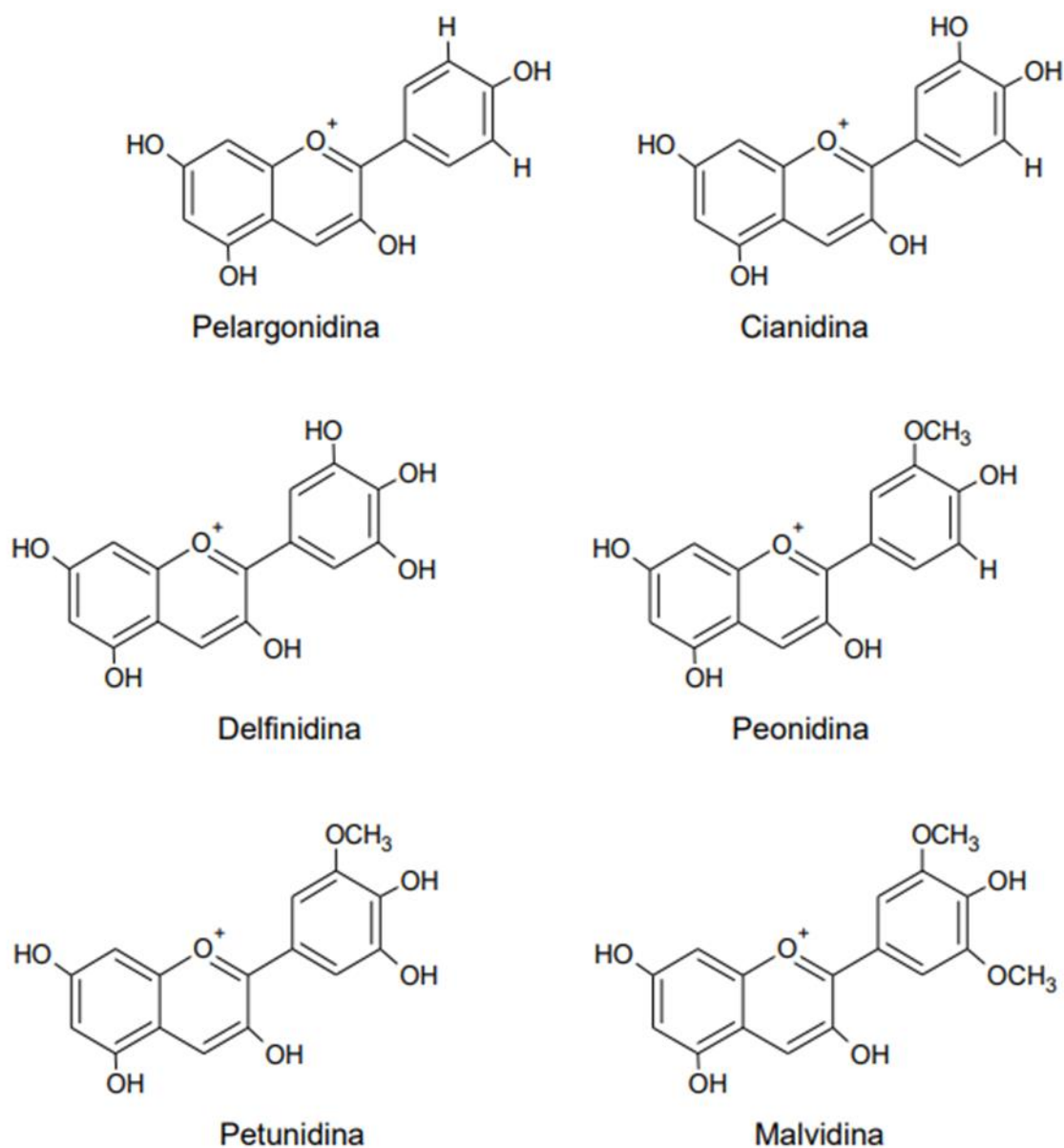
O tomateiro possui diferentes variedades genéticas, permitindo a seleção de genótipos melhor adaptados a região de interesse e que reproduzam com eficiência o seu potencial genético. E isso interfere diretamente na qualidade do fruto, como teor de sólidos solúveis, acidez titulável, pH, vitamina C, massa e tamanho do fruto dentre outros caracteres é fundamental na escolha de genótipos superiores (Mohamed et al., 2012).

Nos últimos anos, a cultivar de tomate 'Indigo Rose' têm ganhado atenção devido aos seus frutos de casca roxa serem ricos em antocianinas com ação antioxidante (Kang et al., 2018). O Indigo Rose foi criado a partir de espécies de tomate selvagem por meio da transferência de genes do fruto antocianina (gene Aft) de *Solanum chilense* e do locus atroviolacium (gene Atv) de *Solanum cheesmaniae* no tomate cultivado (Mes et al., 2008).

A variabilidade genética ligada aos pigmentos do fruto do tomate, tem permitido a diversificação da composição do fruto e eventualmente, propriedades relacionadas ao seu valor nutricional. O fruto do tomate é uma baga que pode assumir diferentes formas e cores. A cor do fruto muda progressivamente de verde para amarelo, laranja e vermelho, quando diferentes carotenoides e flavonoides são sintetizados, e o licopeno, o principal carotenoide em frutos vermelhos maduros, é finalmente acumulado. O tomate é uma fruta climatérica, e a produção de altos níveis de etileno é observada no início de seu amadurecimento (Naeem et al., 2023; Amr, 2022).

Os frutos do tomate são ricos em pigmentos como licopeno e carotenóides, mas contêm apenas pequenas quantidades de outros flavonoides. As antocianinas por sua vez são uma classe importante de flavonoides que representam um grande grupo de metabólitos secundários nas plantas. As antocianinas são compostas por polifenólicos glicosilados com uma gama de cores variando de laranja, vermelho e roxo a azul em flores, sementes, frutas e tecidos vegetativos, entre as mais comuns temos pelargonidina, cianidina, delphinidina, peonidina, petunidina e malvidina (Fig. 1), podem ser sintetizadas, diferindo nos grupos substituintes nos anéis estruturais (Cappellini et al., 2021). As antocianinas são conhecidas por sua função de proteção à saúde em uma dieta diária, pois é capaz de ativar defesas antioxidantes. Portanto, estratégias como engenharia genética e programas de melhoramento foram recentemente realizadas para aumentar o conteúdo de antocianinas no tomate (Gonzali & Perata, 2021).

Figura 1: Estrutura das principais antocianinas conhecidas.



Fonte: Elaborado ChemSketch.

O gene *Aft* codifica um fator de transcrição R2R3 MYB denominado AN2-like, que regula positivamente a biossíntese de antocianina de maneira dependente da luz (Sun et al., 2020). Desse modo, o alelo dominante do gene *Atv* codifica um repressor R3 MYB MYBATV que regula negativamente a biossíntese de antocianina, enquanto o alelo recessivo *Atv* em Indigo Rose codifica uma versão não funcional. No caso do tomate Indigo Rose, a teor de antocianinas é restrito principalmente às cascas (Yan et al, 2020; Liu et al., 2020). Assim, a cultivar de tomate Indigo Rose é relativamente nova na plantação de tomate (Teo et al., 2022).

2.1 CONCENTRAÇÃO DE ANTOCIANINAS E COMPOSIÇÃO DO TOMATE INDIGO ROSE

As antocianinas são pigmentos naturais com diversas funções fisiológicas e efeitos protetores, mas a maioria dos tomates produz pouca quantidade de antocianinas (Jian et al. 2023). Os vegetais de frutas solanáceas, que incluem principalmente o tomate (*S. lycopersicum*), exibem variações naturais de pigmentos de antocianina em termos de tipos, conteúdos e padrões específicos de tecido. O melhoramento de variedades ricas em antocianina é a via predominante para melhorar a qualidade deste vegetal, à medida que tomates enriquecidos com antocianinas foram obtidos empregando abordagens de melhoramento ou transgênicas (Li et al., 2022; Teo et al. 2022).

As antocianinas no fruto do tomate (*S. lycopersicum*) são biossintetizadas de forma dependente da luz. Podendo ser encontradas na forma de nove estruturas de antocianinas, tais como petunidina-3-(trans - p -cumaroil)-rutinosídeo-5-glicosídeo, que é a principal antocianina presente no tomate, (delfinidina-3-(cafeoil)-rutinosídeo-5-glicosídeo, delfinidina-3-(trans -cumaroil)-rutinosídeo-5-glicosídeo, delfinidina-3-(feruloil)-rutinosídeo-5-glicosídeo, petunidin-3-(trans -cumaroil)-rutinosídeo-5-glicosídeo, petunidin-3-(feruloil)-rutinosídeo-5-glicosídeo, malvidina-3-(p-cumaroil)-rutinosídeo-5-glicosídeo, malvidina-3-(feruloil)-rutinosídeo-5-glicosídeo, petunidin-3-(cafeoil)-rutinosídeo-5-glicosídeo e delfinidina 3-(cafeoil)-rutinosídeo-5-glicosídeo (Wang et al. 2020)

As antocianinas dos tomates Indigo Rose, são responsáveis por sua cor roxa e preta, têm benefícios adicionais à saúde além dos normalmente associados aos tomates, como ação antioxidante e suporte à saúde cardiovascular. O conteúdo de antocianina em frutas Indigo Rose é principalmente restrito às cascas de suas frutas. Por meio dos estudos realizados por Teo et al. (2022), o autor aponta que o acúmulo de antocianina ocorreu principalmente nas cascas dos frutos em vez da polpa, independentemente do estágio de desenvolvimento ou das condições de crescimento do fruto. Como a casca da fruta representa apenas cerca de 5% da massa total da fruta, o conteúdo total de antocianinas é de cerca de 300 µg por g de peso fresco (Liu et al. 2020).

No entanto Mes et al., (2008) aponta que os genes loci de fruta antocianina (Aft) e atroviolacea (atv), são responsáveis por condicionar a coloração roxa intensa nos tomates, nos qual a concentração de antocianina na pele de seus frutos alcançaram mais de 100mg a cada 100g de fruto fresco. Além disso, (Liu et al. (2020) revelou ainda que o Aft coopera com o Atv para formar um ciclo de feedback para ajustar a biossíntese de antocianinas.

Por meio de um cromatograma de massa e absorção ultravioleta (UV) Wang et al. (2020) analisou as antocianinas presentes na casca e na polpa do fruto Indigo Rose, onde conseguiu identificar 12 estruturas de antocianinas. Com base na estrutura o autor identificou que a petunidina-3-(trans - p -cumaroil)-rutinosídeo-5-glicosídeo é a principal antocianina na casca dos frutos. O teor total de antocianinas presente na casca foi superior à concentração de antocianinas da polpa, atingiu 3977,93 mg/kg na casca e 88,44 mg/kg na polpa. Esses resultados indicam que as antocianinas são enriquecidas

na casca do Índigo rose. A petunidina-3-(trans - p -coumaroil)-rutinosídeo-5-glicosídeo e a malvidina-3-(trans -p-coumaroil)-rutinosídeo-5-glicosídeo foram as duas principais antocianinas na casca, compondo aproximadamente 68,7% e 14,2% do teor total de antocianinas, respectivamente. No futuro, o tomate poderá ser desenvolvido como uma fonte farmacológica de compostos antioxidantes por meio do melhoramento da antocianina, além de ser uma das frutas mais populares do mundo.

Os ácidos orgânicos são componentes importantes que afetam fortemente o sabor e o valor nutricional das frutas. Foi relatado um total de seis ácidos orgânicos (ácido cítrico, ácido quinínico, ácido málico , ácido tartárico , ácido fumárico e ácido oxálico) identificados no fruto do tomate (Jian et al. 2023). O conteúdo e a composição dos açúcares desempenham papéis importantes na avaliação do valor nutricional das frutas, pois são amplamente responsáveis por sua doçura e sabor. Jian et al. (2023) obteve resultados de frutose, glicose e sacarose no tomate variando de 4,67–9,50 mg.g⁻¹, 3,59–8,30 mg.g⁻¹ e 0,68–1,90 mg.g⁻¹, respectivamente. O conteúdo de frutose e glicose tanto no tomate roxo apresentou uma tendência de aumento gradual à medida que o fruto amadureceu, enquanto o teor de sacarose diminuiu.

Por fim pode-se dizer que a composição nutricional do tomate Indigo rose se assemelha ao tomate tradicional, podendo apresentar pequenas variações decorrentes de fatores como condições de cultivo e cultivares específicas. Os tomates Indigo Rose contêm vitaminas e minerais essenciais, incluindo vitamina C, vitamina A, vitamina K, potássio e folato. Esses nutrientes desempenham papéis cruciais na função imunológica, visão, coagulação sanguínea e bem-estar geral.

3 CULTIVO E MANEJO *L. ESCULENTUM* ‘INDIGO ROSE’

Durante o cultivo de tomate é necessário realizar o preparo do solo, incluindo as etapas de calagem e fertilização, escolha de variedade e cultura durante o desenvolvimento e crescimento. Desse modo, a cultura do tomate acaba se adaptando em diferentes tipos de solo, desde os solos ácidos, arenosos, pesados e ligeiramente alcalinos (Peixoto et al., 2017).

Alguns fatores podem contribuir para o baixo rendimento durante o cultivo do tomate como, plantio em épocas desfavoráveis, sementes de baixa qualidade, problemas de irrigação e adubação, injúrias e indiretas causadas por pragas e doenças, e água inadequada com quantidade de sais dissolvidos no mercado produtivo há uma grande demanda por essa fruta, crescendo o interesse pela adoção de novas técnicas de cultivos e que melhorem a produtividade do tomate. Dessa forma, buscam ferramentas que são primordiais para a minimização de efeitos adversos ao clima, aumento da qualidade da matéria prima e de forma sustentável (Silva et al., 2020). solo (Pereira et al., 2020).

Sendo o tomate considerado uma espécie amplamente utilizada na pesquisa genética, quanto ao desenvolvimento de frutas resistentes a doenças. A genética moderna e os métodos de melhoramento genético, não apenas contribuíram para a compreensão do controle genético de características

agronômicas, mas também contribuem para o desenvolvimento de milhares de novos cultivares (Lamichhane, Thapa, 2022). Os principais objetivos do melhoramento do tomate são a alta produtividade, tolerância a estresses bióticos e abióticos, capaz de garantir o gerenciamento dos recursos genéticos e de sua diversidade (Celik, et al., 2023).

Esta cultivar de tomate Indigo Rose foi desenvolvida pela Oregon State University (EUA), onde muitas estratégias biotecnológicas foram exploradas, levando a um enriquecimento significativo em licopeno, antocianinas e outros flavonoides (Teo et al., 2022; Bassolino et al., 2022).

O melhoramento ou engenharia de tomates com alto teor de antocianinas despertou grande interesse, pois a capacidade antioxidante em frutos de tomate roxo é maior do que em tomates comuns (Lu et al., 2021). As propriedades saudáveis dos tomates enriquecidos com antocianinas, podem ser baseadas na capacidade de atuar como eliminadores de espécies químicas reativas e inibidores da proliferação de células cancerígenas, resultados foram demonstradas em estudos *in vitro* e *in vivo*, potenciais benefícios à saúde em humanos (Gonzali & Perata, 2020).

Desta forma a introdução do 'Indigo Rose' no mercado reflete uma tendência crescente na agricultura e no consumo, onde há uma busca por alimentos que não apenas satisfaçam as necessidades nutricionais básicas, mas que também ofereçam benefícios adicionais à saúde. Essa cultivar não apenas contribui para a diversificação dos produtos disponíveis no mercado, mas também exemplifica o papel da biotecnologia e do melhoramento genético na promoção de práticas agrícolas sustentáveis e na melhoria da qualidade nutricional dos alimentos. Assim, o cultivar de tomate 'Indigo Rose' representa um passo significativo no avanço da ciência agrícola e na resposta às demandas dos consumidores cada vez mais conscientes dos impactos nutricionais dos alimentos.

4 ASPECTOS DE SEGURANÇA TOXICOLÓGICA DE CULTURAS MODIFICADAS ASSOCIADAS AO USO DE PRAGUICIDAS

Existem muitas questões em debate sobre a robustez dos dados e metodologias utilizadas nas culturas GM (Geneticamente modificado), e a fruta 'Indigo Rose' se enquadra nessa classificação (Gilbert, N. 2013), sendo necessários estudos futuros que melhor esclareçam esses questionamentos. E também precisam ser esclarecidas as preocupações com a biodiversidade e a resistência a pragas (Klümperç Qaim, 2014), já que existe uma dependência das sementes patenteadas, que causam inquietude no que tange à segurança alimentar. (Stone, 2012).

A indústria de sementes geneticamente modificadas (GM) tem enfrentado diversos problemas relacionados à saúde humana e à resistência a insetos, somado a comunicação inadequada por parte das empresas de sementes, a falta de estudos abrangentes sobre segurança em relação aos (GM) contribuíram para a ampliação dessas questões (Raman R, 2017).

A preocupação em relação aos alimentos transgênicos está em volta da possibilidade de que eles possam ter efeitos prejudiciais à saúde humana. Há receios de que o consumo desses alimentos geneticamente modificados possa contribuir para o surgimento de doenças resistentes a antibióticos. Além disso, como se trata de produtos relativamente novos, ainda há uma incerteza significativa sobre os seus efeitos a longo prazo no organismo humano (Bawa; Anilakumar, 2013). Os riscos à saúde associados aos alimentos geneticamente modificados envolvem toxinas, alérgenos e riscos genéticos.

A aceitação dos consumidores é influenciada pelo risco percebido ao incorporar alimentos processados por tecnologias que eles pouco compreendem. Um estudo conduzido na Espanha revelou que a introdução de alimentos geneticamente modificados nos mercados agroalimentares deve ser acompanhada de políticas adequadas para assegurar a proteção do consumidor (Martinez et al., 2009). Dentro desse contexto o tomate roxo do tipo ‘índigo Rose’ *S. lycopersicum* foi uma estratégia alternativa para desenvolver tomates ricos em antocianinas usando melhoramento genético, aproveitando espécies selvagens de *Solanum* que produzem antocianinas sob condições apropriadas (Gonzali; Mazzucato; Perata, 2009). Contudo, estudos sobre os aspectos toxicológicos não são relatados na literatura para a espécie de tomate roxo.

5 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA E PERSPECTIVAS FUTURAS DE MERCADO

Um estudo de patentes foi realizado no mês de julho de 2024 na base de dados Espacenet para analisar o mercado e as perspectivas futuras quanto ao *L. esculentum* 'Indigo Rose'.

A Espacenet é o banco de dados do Instituto Europeu de Patentes (European Patent Office - EPO), que permite acesso online de forma gratuita milhões de documentos de patentes de invenções e de desenvolvimentos técnicos do mundo todo. O monitoramento dos dados das patentes é feito de diferentes formas (Por exemplo: dados bibliográficos, imagens de reprodução e texto completo), garantindo informações precisas e atualizadas. A Espacenet também disponibiliza documentos depositados no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) e em diversos escritórios americanos. (EPO, 2023a).

As patentes depositadas foram coletadas por meio da combinação de palavras-chave “*Lycopersicon esculentum* Indigo Rose”, no campo de busca avançada. Não foi feito um recorte temporal específico para a busca, para que mais documentos fossem obtidos e, também, para observar sua evolução anual de forma geral quanto aos depósitos.

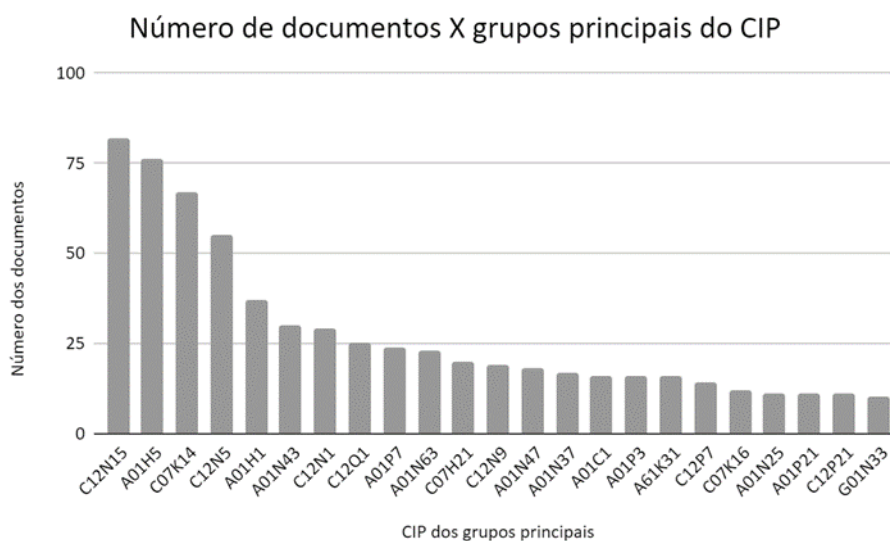
Após a realização da busca de palavras conforme descrito acima, foram encontradas 604 publicações que atendem as palavras-chave, das quais 147 estavam à disposição para acesso. Os documentos disponíveis para análise foram exportados para o programa Microsoft Office Excel, com o objetivo de analisar as informações das patentes e gerar as imagens que veremos neste estudo.

Os principais Códigos Internacionais de Patentes (CIP) encontrados na pesquisa estão ilustrados abaixo (Figura 2). Entre eles, está o código C12N15/00, que se refere a “mutação ou engenharia genética; ADN ou ARN relativos à engenharia genética, vetores, e plasmídeos, ou seu isolamento, preparação ou purificação; utilização de hospedeiros para os mesmos (mutantes ou microrganismos geneticamente modificados)”, que condiz com o fato de que o vegetal pesquisado é fruto da engenharia genética.

O segundo código mais citado foi o CIPA01HS, que denomina a classe descrita como “angiospermas, ou seja, plantas com flores, caracterizadas pelas suas partes vegetais; angiospermas caracterizadas de outra forma que não por sua taxonomia botânica”, que também tem relação com o vegetal em questão.

Após análise dos demais CIP descritos na figura, podemos dizer que, a maioria dos códigos principais encontrados está relacionado às áreas de Química e Agricultura, o que é esperado, já que estamos pesquisando por um vegetal, e, portanto, se enquadra nas duas áreas.

Figura 2. Principais patentes depositadas, discriminadas por Código de Classificação Internacional.



Fonte: elaborado com dados de EPO (2024b).

A evolução anual do depósito dos documentos de patentes mostra que o primeiro registro foi realizado pela Universidade da Carolina do Norte, nos Estados Unidos, e depositado em 1993, com número de registro CA2112999A1 e intitulado “Plantas transgênicas resistentes a patógenos” e descreve características de determinadas plantas com genes geneticamente modificados, que se tornam mais resistentes.

Figura 3. Evolução anual de documentos de patentes depositados no período entre 1995 e 2021.



Fonte: elaborado com dados de EPO (2024b).

Observou-se na Figura 3, que a partir do ano 2000, uma tendência de aumento do número de patentes depositadas, porém, foi a partir de 2011 que, de fato, ocorreu um aumento cada vez mais progressivo de depósito dos documentos referentes a *L. esculentum* 'Indigo Rose'. Os anos de 2018 e 2019 foram os que tiveram o maior número de depósitos (13). Poucas patentes foram depositadas em 2021, o que pode ser explicado pelo período de sigilo, após o depósito dessas patentes, até que possam estar à disposição para consulta pública. Foram publicadas três patentes no ano de 2021: uma dos Estados Unidos (US2023270073A1), e duas com os códigos de registro WO2023230428A1 e WO2023152723A1.

As letras "WO" demonstram que a patente foi publicada pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO, em inglês), atendendo ao Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes (PCT, em inglês). O PCT é um acordo internacional que favorece a proteção das invenções por meio das patentes em diversos países. As patentes registradas utilizando o PCT têm sua sigla iniciada com WO.

Dentre os principais depositantes de patentes, aquelas publicadas pela WO são as que apresentam maior número, com 107 (13,7%) depósitos sobre *L. esculentum* 'Indigo Rose', conforme Figura 3. A sigla WO representa que o registro está em um estágio internacional e indica uma publicação internacional no âmbito do PCT, que permite que o inventor busque proteção por patente em diferentes países usando um único pedido.

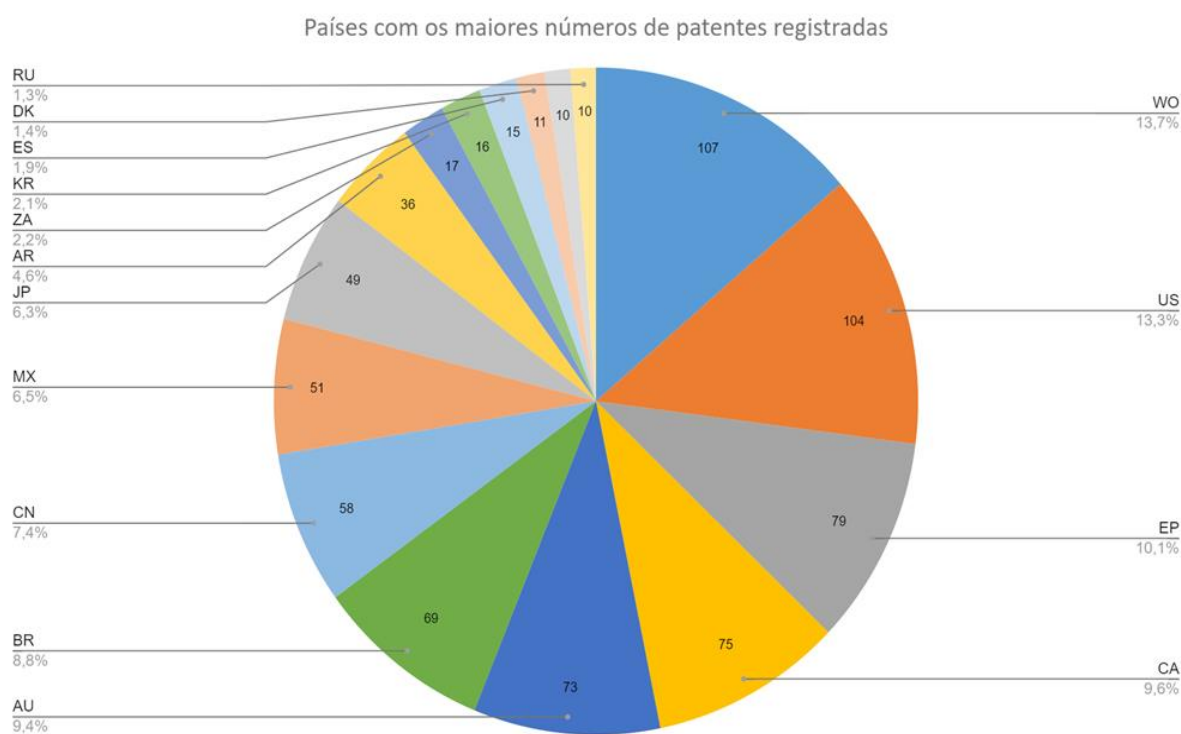
Logo em seguida, o segundo maior depositante é os Estados Unidos, (13,3%), seguido pela Organização Europeia de Patentes (10,1%), posteriormente por Canadá (9,6%), na sequência a Austrália (9,4%) e também pelo Brasil (8,8%). Nota-se, também, a presença de países como China, México, Japão, Argentina, África do Sul, República da Coreia, Espanha, Dinamarca e Rússia, o que

mostra, de forma geral, que o interesse pela planta é global e independente do nível de desenvolvimento social dos países.

Um dos vegetais mais consumidos no mundo é o tomate, com um consumo médio anual de 20,9 kg por pessoa, chegando a ultrapassar 50 kg por pessoa em alguns países do Mediterrâneo. O maior produtor mundial é a China, mas o maior exportador é o México (FAO, 2020). Nas últimas décadas, o tomate tem mostrado um aumento contínuo na produtividade e também na produção global, ampliando sua importância na alimentação humana (Fernie e Yan, 2019).

A figura 3 representa os registros de patentes realizados pelos principais países depositantes, que são aqueles que possuem mais de 10 registros sobre o tema e entre eles podemos verificar a presença do maior produtor e do maior exportador de tomates, o que condiz com o interesse dessas regiões no tema.

Figura 4. Principais depositantes de patentes sobre *L. esculentum* 'Indigo Rose': WO, Organização Mundial da Propriedade Intelectual; US, Estados Unidos da América; EP, Organização Europeia de Patentes; CA, Canadá; AU, Austrália; BR, Brasil; CN, China; MX, México; JP, Japão; AR, Argentina; ZA, África do Sul; KR, República da Coreia; ES, Espanha; DK, Dinamarca e RU, Rússia.



Fonte: elaborado com dados de EPO (2023b).

A Prospecção tecnológica estudada demonstra que o número de patentes sobre o tema vem aumentando nos últimos anos, o que demonstra um interesse pelo tema. De acordo com o relatório da FAO, o mercado global de tomates, assim como outros produtos agrícolas, enfrenta vários desafios. As projeções para a próxima década indicam um crescimento contínuo da produção agrícola global,



impulsionado pelo avanço do melhoramento das plantas, como é o caso do *L. esculentum* 'Indigo Rose', e da transição para sistemas de produção mais intensivos.

6 CONCLUSÃO

Por meio de pesquisas descobrimos que o *L. esculentum* 'Indigo Rose' possui componentes importantes e essenciais à saúde com destaque a importância das antocianinas presentes, que não só conferem uma cor roxa vibrante, mas também oferecem propriedades antioxidantes que contribuem para a promoção da saúde. Esses compostos têm sido associados à redução do risco de várias doenças, tornando o 'Indigo Rose' uma opção nutricionalmente rica e valiosa.

Sua combinação de benefícios à saúde, facilidade de cultivo e apelo visual sugere um futuro promissor. Espera-se que esta variedade continue a ganhar popularidade, contribuindo para uma agricultura mais sustentável e uma dieta mais saudável para os consumidores em todo o mundo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- CNPQ.



REFERÊNCIAS

- AMR, Ayed et al. Tomato components and quality parameters. A review. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, v. 18, n. 3, p. 199-220, 2022. <https://doi.org/10.35516/jjas.v18i3.444>
- BALASHOVA, I.; PINCHUK, Ye. Cultivo vertical de vegetais: criando variedades de tomate para instalações hidropônicas de vários níveis. Em: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2019. p. 012079.
- BASSOLINO, Laura et al. Does plant breeding for antioxidant-rich foods have an impact on human health? *Antioxidants*, v. 11, n. 4, p. 794, 2022. <https://doi.org/10.3390/antiox11040794>
- Bawa, A. S.; Anilakumar, K. R. Genetically modified foods: safety, risks and public concerns - a review. *Journal of Food Science and Technology*, v. 50, n. 6, p. 1035-1046, dez. 2013. doi: 10.1007/s13197-012-0899-1. 2012.
- Butler, D.; Reichhardt, T. Long-term effect of GM crops serves up food for thought. *Nature*, v. 398, n. 6729, p. 651-656, 22 abr. 1999. doi: 10.1038/19381.
- CAPPELLINI, Francesca et al. Anthocyanins: from mechanisms of regulation in plants to health benefits in foods. *Frontiers in Plant Science*, v. 12, p. 748049, 2021. <https://doi.org/10.35516/jjas.v18i3.444>
- CELIK, Ibrahim et al. Tomato: Genetics, Genomics, and Breeding of Health-Related Traits. In: *Compendium of Crop Genome Designing for Nutraceuticals*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. p. 1217-1267. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4169-6_49
- Conner, A. J.; Jacobs, J. M. Genetic engineering of crops as potential source of genetic hazard in the human diet. *Mutation Research*, v. 443, n. 1-2, p. 223-234, 15 jul. 1999. doi: 10.1016/s1383-5742(99)00020-4.
- DE CORATO, Ugo. Improving the shelf-life and quality of fresh and minimally-processed fruits and vegetables for a modern food industry: A comprehensive critical review from the traditional technologies into the most promising advancements. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 60, n. 6, p. 940-975, 2020. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1553025>
- DINGLEY, A. et al. Precision pollination strategies for advancing tomato horticultural production. *Agronomy*, v. 12, n. 2, p. 518. 2022.
- Gilbert, N. Case studies: A hard look at GM crops. *Nature*, v. 497, n. 7447, p. 24-26, 2 mai. 2013. doi: 10.1038/497024a.
- GONZALI, Silvia; PERATA, Pierdomenico. Anthocyanins from purple tomatoes as novel antioxidants to promote human health. *Antioxidants*, v. 9, n. 10, p. 1017, 2020. <https://doi.org/10.3390/antiox9101017>
- Gonzali, S.; Mazzucato, A.; Perata, P. Purple as a tomato: towards high anthocyanin tomatoes. *Trends in Plant Science*, v. 14, n. 5, p. 237-241, mai. 2009. doi: 10.1016/j.tplants.2009.02.001.
- GONZALI, Silvia; PERATA, Pierdomenico. Fruit colour and novel mechanisms of genetic regulation of pigment production in tomato fruits. *Horticulturae*, v. 7, n. 8, p. 259, 2021. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7080259>



- . Análise ômica revela o caminho envolvido na biossíntese de antocianina em mudas e frutos de tomate. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 24, n. 10, p. 8690, 2023.
- JIAN, Wei et al. Characterization of anthocyanin accumulation, nutritional properties, and postharvest attributes of transgenic purple tomato. *Food Chemistry*, [S.L.], v. 408, p. 135181, maio 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135181>.
- KANG, S.-I. et al. Expression of anthocyanin biosynthesis-related genes reflects the peel color in purple tomato. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, v. 59, n. 3, p. 435–445, 3 jun. 2018.
- Klümper, W.; Qaim, M. A meta-analysis of the impacts of genetically modified crops. *Plos One*, v. 9, n. 11, p. e111629, 3 nov. 2014. doi: 10.1371/journal.pone.0111629.
- LAMICHHANE, Sashi; THAPA, Sapana. Advances from conventional to modern plant breeding methodologies. *Plant Breed. Biotechnol*, v. 10, n. 1, p. 1-14, 2022. <https://doi.org/10.9787/PBB.2022.10.1.1>
- LI, Shaohang et al. New insights on the regulation of anthocyanin biosynthesis in purple Solanaceous fruit vegetables. *Scientia Horticulturae*, [S.L.], v. 297, p. 110917, abr. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2022.110917>.
- LIU, X. et al. Comparative transcriptome analysis of differentially expressed genes between the fruit peel and flesh of the purple tomato cultivar ‘Indigo Rose’. *Plant Signaling & Behavior*, v. 15, n. 6, p. 1752534, 2 jun. 2020.
- LU, Wang et al. Antioxidant activity and healthy benefits of natural pigments in fruits: A review. *International journal of molecular sciences*, v. 22, n. 9, p. 4945, 2021. <https://doi.org/10.3390/ijms22094945>
- Martinez-Poveda, A.; Molla-Bauza, M. B.; del Campo Gomis, F. J.; Martinez, L. M. C. Consumer-perceived risk model for the introduction of genetically modified food in Spain. *Food Policy*, v. 34, n. 6, p. 519-528, 2009.
- MAUREIRA, F.; RAJAGOPALAN, K.; STÖCKLE, C. O. Evaluating tomato production in open-field and high-tech greenhouse systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 337, p. 130459. 2022.
- MES, P. J. et al. Characterization of Tomatoes Expressing Anthocyanin in the Fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 133, n. 2, p. 262–269, mar. 2008.
- MOHAMED, S. M.; ALI, E. E.; MOHAMED, T. Y. Study of heritability and genetic variability among different plant and fruit characters of tomato (*Solanum lycopersicon* L.). *International Journal of Scientific & Technology Research*, Hershey, v.1, n.2, p.55-58. 2012.
- NAEEM, Muhammad et al. Beyond green and red: unlocking the genetic orchestration of tomato fruit color and pigmentation. *Functional & Integrative Genomics*, v. 23, n. 3, p. 243, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10142-023-01162-5>
- Pray, C. E.; Huang, J.; Hu, R.; Rozelle, S. Five years of Bt cotton in China - the benefits continue. *Plant Journal*, v. 31, n. 4, p. 423-430, ago. 2002. doi: 10.1046/j.1365-313x.2002.01401.x.
- PEIXOTO, J.V. M. et al. Tomato production: morphological aspects and physico-chemical properties of fruit. *Rev. Cient. Rural-Urcamp, Bagé – RS*, vol. 19, n.1, 2017.



Pignati, W.; Oliveira, N. P.; Silva, A. M. C. Vigilância aos agrotóxicos: quantificação do uso e previsão de impactos na saúde-trabalho-ambiente para os municípios brasileiros. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 19, n. 12, p. 4669-4678, 2014.

Raman, R. The impact of Genetically Modified (GM) crops in modern agriculture: A review. *GM Crops & Food*, v. 8, n. 4, p. 195-208, 2 out. 2017. doi: 10.1080/21645698.2017.1413522.

RANGANATH, Karanjalker Gourish. Pigments that colour our fruits: an overview. *Erwerbs-obstbau*, v. 64, n. 4, p. 535-547, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10341-022-00698-3>

Steinbrecher, R. A. From green to gene revolution: the environmental risks of genetically engineered crops. *The Ecologist*, v. 26, n. 6, p. 273-282, 1996.

Stone, G. D. Constructing facts: Bt cotton narratives in India. *Economic and Political Weekly*, p. 62-70, 2012.

TEO, Joanne et al. Optimization of light and temperature in indoor farming to boost anthocyanin biosynthesis and accumulation in Indigo Rose tomato. *Vegetable Research*, v. 2, n. 1, p. 1-11, 2022. <https://doi.org/10.48130/VR-2022-0018>

TILESI, Francesca; LOMBARDI, Andrea; MAZZUCATO, Andrea. Scientometric and methodological analysis of the recent literature on the health-related effects of tomato and tomato products. *Foods*, v. 10, n. 8, p. 1905, 2021. <https://doi.org/10.3390/foods10081905>

VU, Anh Thang; LEE, Je Min. Genetic variations underlying anthocyanin accumulation in tomato fruits. *Euphytica*, v. 215, n. 12, p. 196, 2019.

WANG, Haijing et al. Rapid analysis of anthocyanin and its structural modifications in fresh tomato fruit. *Food Chemistry*, [S.L.], v. 333, p. 127439, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127439>.

YAN, Shuangshuang et al. Anthocyanin Fruit encodes an R2R3-MYB transcription factor, SIAN2-like, activating the transcription of SIMYBATV to fine-tune anthocyanin content in tomato fruit. *New Phytologist*, v. 225, n. 5, p. 2048-2063, 2020. <https://doi.org/10.1111/nph.16272>

ZHI, Junjie et al. Mutantes SIAN2 mediados por CRISPR/Cas9 revelam vários modelos regulatórios de biossíntese de antocianina em planta de tomate. *Plant cell reports*, v. 39, p. 799-809, 2020.