



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS LARANJEIRAS DO SUL
CURSO DE AGRONOMIA

ELITON GRUBLER

MELHORAMENTO GENÉTICO DO MILHO

LARANJEIRAS DO SUL

2022

ELITON GRUBLER

MELHORAMENTO GENÉTICO DO MILHO

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Agronomia linha de formação em Agroecologia pela Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof. Dr. Roberson Dibax

LARANJEIRAS DO SUL

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul- UFFS

Grubler, Eliton
Melhoramento Genético do Milho / Eliton Grubler. --
2022.
29 f.

: Roberson Dibax

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Agronomia, , 2022.

1. Atualizações sobre melhoramento genético em milho.
I. Dibax, Roberson, orient. II. Universidade Federal da
Fronteira Sul. III. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Eliton Grubler

MELHORAMENTO GENÉTICO DO MILHO

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Agronomia linha de formação em Agroecologia pela Universidade Federal da Fronteira Sul- Campus Laranjeiras do Sul (PR).

Orientador: Prof. Dr. Roberson Dibax.

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 11/05/2022.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Roberson Dibax
Presidente da banca



Prof. MSc. Jean Carlos Zocche
Membro da banca



Eng. Agrônomo Samuel Guilherme Fausto
Membro da banca

RESUMO

Objetivando avaliar os progressos obtidos pelo melhoramento genético do milho, foram analisados dados científicos e a literatura publicada até o momento, sobre a produtividade de grãos das cultivares existentes no mercado dessa planta. A maior contribuição do melhoramento genético foi o aumento de produtividade, sem dúvida, uma das mais expressivas contribuições, pois, o desenvolvimento e a utilização do milho híbrido proporcionou, em curto período, um excelente rendimento. Esse conhecimento permitiu que programas de melhoramento conseguissem introduzir novas características ao milho, como resistência a doenças e pragas, maior proteção dos grãos por meio do melhor empalhamento, maior resposta às práticas de manejo, melhor qualidade nutricional e menor tombamento e quebra de plantas. Hoje em dia junto com a soja o milho é fundamental para a fabricação de rações para aves, suínos, ovinos entre outros animais. Sendo assim, o uso de cultivares melhoradas constitui a tecnologia de melhor resultado para o produtor, e portanto, a de mais fácil adoção e que proporciona retornos econômicos em curto prazo.

Palavras – chave: Melhoramento genético, Milho, Produtividade.

ABSTRACT

Aiming to evaluate the progress obtained by the genetic improvement of maize, scientific data and the literature published until the moment were analyzed, on the grain productivity of the cultivars existing in the market of this plant. The greatest contribution of genetic improvement was the increase in productivity, without a doubt, one of the most expressive contributions, since the development and use of hybrid corn provided, in a short period, an excellent yield. This knowledge allowed breeding programs to introduce new characteristics to corn, such as resistance to diseases and pests, greater protection of the grains through better mulching, greater response to management practices, better nutritional quality and less plant tipping and breaking. Today, along with soy, corn is essential for the manufacture of feed for poultry, swine, sheep and other animals. Thus, the use of improved cultivars is the technology with the best result for the producer, and therefore, the one that is easiest to adopt and which provides short-term economic returns.

Keywords: Genetic improvement, Corn, Productivity.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
1.1	OBJETIVOS	7
1.1.1	Objetivo geral	7
1.1.2	Objetivos específicos	7
1.2	JUSTIFICATIVA	7
2	REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1	IMPORTÂNCIA ECONÔMICA	8
2.2	ORIGEM E EVOLUÇÃO	9
2.3	SISTEMA REPRODUTIVO	11
2.4	HÍBRIDOS	11
2.5	PRODUÇÃO DE SEMENTES	13
2.6	MELHORAMENTO GENÉTICO.....	14
2.7	BIOTECNOLOGIA	16
3	MATERIAL E MÉTODOS	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5	CONCLUSÃO	22
	REFERÊNCIAS	23

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores objetivos da agricultura moderna é o desenvolvimento de plantas mais eficientes e produtivas, variedades capazes de produzir alimentos com teor e qualidade nutricional, bem como mais tolerantes aos diversos tipos de stresses bióticos e abióticos, e de forma sustentável. Técnicas agrícolas modernas estão aumentando a produtividade e, ao mesmo tempo, melhorando a fertilidade do solo e protegendo o meio ambiente, ar, água e terra.

Sendo assim, a ciência aplicada à agricultura tem conseguido não somente aumentar a produtividade dos alimentos, mas reduzir, ou mesmo eliminar, danos ao meio ambiente. O melhoramento de plantas engloba todas as técnicas, os métodos, as estratégias ou os recursos utilizados para que algum progresso seja incorporado a uma espécie vegetal (BORÉM, 1997).

O melhoramento genético é, entre os fatores contribuintes, o que mais agrega para as características de produção, principalmente com desenvolvimento de novas cultivares cada vez mais específicas e adaptadas para cada condição de ambiente, proporcionando a máxima expressão genética das sementes. O objetivo é obter genótipos superiores, mas a expressão desses genótipos, que são os fenótipos, dependem, entre outros, do ambiente em que este genótipo está inserido (CHAVES, 2001). De modo geral, esse progresso está relacionado com a melhora do conteúdo genético da espécie trabalhada, em estreita relação com o ambiente em que esta espécie será cultivada.

O milho é uma das matérias primas usadas na produção de diversos produtos destinados à cadeia produtiva de suínos e aves. Estima-se que 70% da produção mundial de milho e 70 a 80% da produção brasileira são consumidos (CIB, 2006). Nas principais regiões produtoras de milho do Brasil, a planta demonstra se comportar muito bem às condições climáticas, necessitando assim de pouca manutenção.

A cultura do milho tem apresentado aumento de produtividade nos últimos anos, principalmente nas últimas safras. Os níveis de tecnologia aplicados sobre a cultura vêm acompanhando e contribuindo de forma paralela para a melhoria das características da espécie. Essas mudanças só foram possíveis graças aos avanços na área, com o desenvolvimento de híbridos com genética superior (PEIXOTO, 2014).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho teve como objetivo, fazer uma revisão de literatura atualizada e detalhada, sobre os principais conceitos e ideias relacionados ao processo de melhoramento genético de milho, utilizando como fonte artigos científicos, periódicos, livros, teses, dissertações e resumos já publicados.

1.1.2 Objetivo específico

Essa pesquisa buscou apresentar um contexto geral do melhoramento genético do milho, por meio de buscas literárias, exemplos de variedades de milho, sementes híbridas e cultivares geneticamente modificadas, suas características e as técnicas de melhoramento genético aplicadas às mesmas, para assim evidenciar quais foram os avanços na área, bem como a importância da biotecnologia no aumento da produção de grãos dessa cultura.

1.2 JUSTIFICATIVA

O milho possui uma grande variedade comercial, isso porque podemos utilizá-lo tanto para a composição de alimentos quanto para a fabricação de ração para tratos de animais. As sementes das variedades melhoradas são de menor custo e de grande utilidade em regiões onde, devido às condições socioeconômicas e de baixo acesso à tecnologia, a utilização de milho híbrido torna-se inviável.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

Dentre os grãos utilizados na alimentação humana e animal, o milho se destaca com uma das principais fontes de energia, é extremamente nutritivo, além de contar com teores equilibrados de proteínas, gorduras, carboidratos e fibras. A proteína do milho é constituída praticamente por lisina e triptofano, dois aminoácidos essenciais, não produzidos pelo organismo e que devem ser obtidos através da alimentação (OSBORNE; MENDEL, 1914). Há uma grande demanda do milho na alimentação, devido conter na sua composição cerca de 70% de amido, e uma razoável quantidade de proteína, aproximadamente 10%. Também é utilizado na produção de vários outros tipos de produtos, que dizem respeito desde o campo farmacêutico até a produção de combustível, graxas, resinas, etc. (MAGALHÃES et al, 2002).

Pode ser destinado tanto para a alimentação humana quanto para fabricação de rações para animais, devido a essa grande diversidade de uso, caracteriza-se a sua grande importância econômica e aumento da demanda ao longo dos anos. No mundo, há cerca de 900 mil hectares de plantio deste milho, sendo que no Brasil está concentrada somente 4% da produção, onde quase 100% do plantio se destina ao processamento industrial. O Brasil tem sua produção concentrada nos estados de São Paulo, Rio Grande do Sul, Goiás, Minas Gerais, Pernambuco e Distrito Federal. De fato, o seu consumo no país é basicamente na forma de milho verde enlatado (SANTOS, 2009).

O milho doce é pouco conhecido no Brasil, embora seja bastante consumido. O milho doce é uma hortaliça que se originou da mutação do milho normal. Ele é diferente do milho tradicional pois tem metade do seu amido e o triplo de açúcar. Existem dois tipos de plantas: o milho doce e o superdoce. Eles se diferenciam pela quantidade de açúcar, sendo o segundo com maior concentração (VIEIRA, 2021).

Ao longo dos anos, o milho teve uma grande oscilação de preços no mercado externo. Tais oscilações se devem às questões como clima, previsões de colheitas de safras, de estoques e até mesmo movimentações especulativas nas Bolsas de Mercadorias onde são negociadas. O Brasil, sendo um grande exportador do grão, depende diretamente da cotação do milho na Bolsa de Chicago (CBOT), prêmio de exportação, despesas portuárias, frete, câmbio, impostos e outras taxas e comissões. Devido ao grande tamanho territorial do Brasil, encontram-se grandes divergências de preços por região, devido ao custo logístico do produto, que vem crescendo significativamente nos últimos anos (IMEA, 2015).

2.2 ORIGEM E EVOLUÇÃO

O milho é uma espécie que pertence a família da Gramineae/Poaceae sendo o único cereal nativo da América. Há pelo menos 7.300 anos o milho participa da história alimentar mundial. Os primeiros registros de seu cultivo foram feitos em ilhas próximas ao litoral mexicano, mas rapidamente a cultura se espalhou por todo o país. Por um processo de seleção feita pelo homem, teve origem o milho, o mesmo era denominado pelos Maias como alimento dos deuses (CIB, 2006).

Evidências genéticas e citológicas indicam que o milho e o teosinte são bem aparentados. Eles apresentam homologia e o mesmo número de cromossomos e podem gerar indivíduos férteis a partir de seu cruzamento. O processo de seleção e domesticação da espécie conduziu a planta de milho à diminuição do número de espigas por colmo, favoreceu o aumento do tamanho da espiga e a redução do número de perflhos. A colheita favorece a seleção pelo ser humano, visto que a produção e as características de cada espiga são imediatamente identificadas (PATERNIANI & CAMPOS, 2005).

Uma vez difundido no México, o grão se firmou como produto em países da América Central com clima propício para seu cultivo, como o Panamá, e também pela América do Sul, segundo as informações da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Na América do Sul, mais precisamente no sul do Peru, grânulos de milho foram encontrados há 4 mil anos,

revelando que há cerca de 40 séculos, pelo menos, já se cultivava o alimento por essa região do continente (EMBRAPA, 2009).

No Brasil o milho já era cultivado pelos índios antes mesmo da chegada dos portugueses, já que eles utilizavam o grão como um dos principais itens de sua dieta. Mas foi com a chegada dos colonizadores, cerca de 500 anos atrás, que o consumo do cereal no país aumentou consideravelmente e passou a integrar o hábito alimentar da população. De acordo com a Fundação Joaquim Nabuco, no período Brasil-Colônia, os escravos africanos tinham no milho, além da mandioca, como um de seus principais alimentos (JUCÁ, 1991).

A sua grande adaptabilidade, representada por variados genótipos, permite o seu cultivo desde o Equador até ao limite das terras temperadas e desde o nível do mar até altitudes superiores a 3600 metros, encontrando-se, assim, em climas tropicais, subtropicais e temperados. Esta planta tem como finalidade de utilização a alimentação humana e animal, devido às suas elevadas qualidades nutricionais, contendo quase todos os aminoácidos conhecidos, com exceção da lisina e do triptofano (BARROS; CALADO, 2014).

Para classificar as variações de milho que foram adicionadas depois da domesticação do Teosinto existem diversos grupos de variedades, cada nomeação com diferentes características fenotípicas. A cada dia, a variedade de milho aumenta, primeiro pela polinização natural, e também porque é uma prática milenar que os agricultores, ano após ano, mantêm, trocam e experimentam suas próprias sementes ou outros vizinhos de regiões iguais ou distantes (FREITAS, 2005).

Com o período de colonização do continente americano e as chamadas grandes navegações que ocorreram durante o século XVI, o milho se expandiu para outras partes do mundo, se tornando um dos primeiros itens na cultura mundial. Com a chegada de Colombo ao continente americano, o milho embarcou em direção a Europa e se consolidou como fonte alimentar das populações mais humildes. Por esse motivo e também por ser utilizado como ração animal, o cereal, no entanto, era discriminado pela elite europeia (ALVES; SOUZA; GOMES, 2013).

2.3 SISTEMA REPRODUTIVO

O milho é uma gramínea anual, monóica, que apresenta fecundação cruzada e sua via de fotossíntese é C4. Seu grão é uma cariopse com um único embrião no seu interior. O monoicismo indica a separação dos sexos na mesma planta, favorecendo a alogamia (GOODMAN & SMITH, 1987; INSTITUTO ANCHIETANO DE PESQUISA, 2004; FORNASIERI FILHO, 2007).

A inflorescência masculina (pendão) encontra-se na extremidade superior da planta, após a folha bandeira, posicionada perfeitamente para dispersão de pólen pelo vento. Possui ramificações primárias, secundárias e até terciárias, finalizando com a ramificação principal, também conhecida por eixo central. As anteras ficam no interior da espigeta estaminal, protegida pela pálea, lema e glumas (FORNASIERI FILHO, 2007).

A inflorescência feminina (espiga) encontra-se na extremidade do rachis, que cresce no nó do fuste. Pode haver a produção de mais de uma espiga, uma principal (a superior) e uma ou mais espigas secundárias (inferiores). O florescimento feminino se dá pela emergência dos estilos (barba) através da palha, e ocorre normalmente de 2 a 3 dias após a antese (GOODMAN & SMITH, 1987). A classificação botânica é: Família: Poaceae; Subfamília: Panicoideae; Tribo: Andropogoneae; Subtribo: Tripsacinae; Gênero : Zea; Espécie: Zea mays (LINNAEUS, 1753).

2.4 HÍBRIDOS

O milho, por ser uma planta monóica e possuir grande interesse econômico, tem sido a espécie mais utilizada para a produção de híbridos. Todo o progresso genético para produtividade em milho, até determinada parte da história, foi obtido com seleção das melhores espigas, via seleção massal, coleta e multiplicação dos melhores genótipos por parte dos agricultores (ARGENTA, 2001).

No entanto, o maior progresso genético da história do milho foi o advento do milho híbrido. O vigor híbrido ou heterose foi descoberto por George Harrison Shull, em torno de 1908, no Laboratório de Cold Spring Harbor. Tal descoberta foi relatada na publicação “A composição de um campo de milho” (SHULL, 1908). Antes da introdução do milho híbrido as variedades utilizadas eram variedades de polinização aberta. No Brasil o primeiro híbrido duplo de milho foi produzido por Krug (IAC) em 1939.

A variedade híbrida é a progênie de um cruzamento entre dois genitores geneticamente diferentes. Esses genitores podem ser variedades de polinização aberta, linhagens endogâmicas ou clones. Por causa da diferença genética entre os genitores, o híbrido apresenta muitos loci em heterozigose, podendo com isso apresentar heterose. Assim, o desenvolvimento de híbridos ou cultivares agrícolas com múltiplos traits é um processo extremamente complexo, de alto custo e longo (MIRANDA FILHO & NASS, 2001).

O método de melhoramento através da hibridação tem como objetivo tirar o melhor aproveitamento da heterose. Sendo uma ferramenta utilizada para exploração do vigor híbrido na geração F1, e surgimento de variabilidade genética. Na forma mais utilizada comercialmente no mundo, de híbrido simples, que se trata do produto originário do cruzamento de duas linhas puras, todas as plantas oriundas desse cruzamento, chamados de híbridos apresentam genética semelhantes, teoricamente idênticas (KRUG et al., 1943).

O híbrido duplo é produto do cruzamento entre dois híbridos simples. Apresenta maior variabilidade genética quando comparados com os parentais e possui maior estabilidade a diferentes ambientes e tratamentos, porém menor uniformidade entre plantas e espigas, podendo apresentar menor produtividade. Já o híbrido triplo é obtido a partir do cruzamento entre uma linha pura e um híbrido simples, sendo indicado para produtores com média a alta tecnologia. São bastante uniformes e com potencial produtivo intermediário entre os híbridos simples e duplos. Da mesma forma, o custo da semente e de produção também é menor que o simples e mais caro que o duplo (SANTOS, 2009).

2.5 PRODUÇÃO DE SEMENTES

A semente do milho, que é classificada botanicamente como cariopse, dividido entre o pericarpo, e endosperma e o embrião. O pericarpo é uma camada fina e resistente, constituindo a parte mais externa da semente. O endosperma é a parte da semente que está envolvida pelo pericarpo e a que apresenta maior volume, sendo constituída por amido e outros carboidratos. À parte mais externa do endosperma e que está em contato com o pericarpo, denomina-se de camada de aleurona, a qual é rica em proteínas e enzimas e cujo papel no processo de germinação é determinante. O embrião, que se encontra ao lado do endosperma, possui primórdios de todos os órgãos da planta desenvolvida, ou seja, não é mais do que a própria planta em miniatura (CARVALHO, 2000).

O milho tem um destaque especial porque representa cerca de 40% de toda a safra brasileira de grãos e porque é a principal fonte de alimento energético para a produção de proteínas animais, como ovos, leite e carnes suína e de aves. Portanto, qualquer variação no preço do milho afeta diretamente o preço final desses alimentos. Da mesma forma, o aumento da produção de proteínas animais pressupõe um aumento na produção de milho. Ou seja: se o brasileiro quer e pode ter mais frango em sua mesa, por exemplo, mais milho precisa ser colhido (SANTOS, 2009).

Hoje há uma grande diversidade de sementes de milho, variedades de híbridos, materiais convencionais e transgênicos. A produção de grãos possui herança genética complexa, pois resulta da junção de vários genes com pequenos efeitos sobre o fenótipo (ALLARD, 1967). Os componentes determinantes para a produtividade de maior importância na cultura do milho são principalmente a população e tamanho da espiga atuando diretamente na produtividade, e essas características podem variar conforme o tipo de híbrido utilizado.

Hoje, no mercado de sementes, a disponibilidade das sementes de milho acontece nas proporções de 31,2% de híbridos simples, 36,1% de triplos, 23,3% de duplos e 7,9% de variedades. Para escolha entre híbridos e variedades, deve sempre ser levado em consideração

o sistema de produção que o agricultor adotará, pois, apenas a semente de boa qualidade de nada adiantará, se o manejo e as condições da lavoura não permitirem toda a expressão genética das sementes (SANTOS et al., 2010).

Segundo dados da Abrasem, se não houvesse estudos com a finalidade de melhoria de produção e de produtividade das culturas no Brasil, importações de aproximadamente 66 milhões de hectares seriam necessárias para suprir a safra atual. Nesse sentido, a utilização de sementes melhoradas foi responsável pelo crescimento do agronegócio, elevando a importância do melhoramento genético, biotecnologia e incorporação de novas tecnologias ao processo de produção de sementes (ABRASEM, 2003).

A genética representada pela semente guarda a maior fonte de tecnologia. Atualmente a semente é o maior veículo de tecnologia. Nela está contido um conjunto de características agronômicas que permitem que os agricultores alcancem ilimitados índices de produtividade em boa parte do território brasileiro. Assim, a capacidade de adaptação às diferentes regiões, tipos de solo, níveis de fertilidade, época de plantio, altitude, tolerância às doenças e às pragas, além de outras características, estão diretamente ligadas à genética (MARCOS FILHO, 2005).

2.6 MELHORAMENTO GENÉTICO

Historicamente, o desenvolvimento de cultivares com características desejáveis, tais como maior produtividade, resistência a pragas ou maior valor nutricional, baseou-se principalmente em métodos de seleção de alelos favoráveis de ocorrência natural ou induzidos por mutagenese não específica. Apesar de sua enorme contribuição, esses métodos apresentam limitações, tais como a seleção fenotípica sem conhecimento das bases moleculares e fisiológicas envolvidas (PURUGGANAN; FULLER, 2009).

No melhoramento genético clássico, a diversidade é obtida pela recombinação da variabilidade pré-existente durante o cruzamento entre plantas da mesma espécie ou de

espécie sexualmente compatível. Um grande número de cruzamentos e seleções é necessário para introduzir alelos desejáveis e aumentar a variabilidade, pois a recombinação dos genes parentais é aleatória (GEPTS, 2002).

Hallauer e Miranda (1988) relataram que os efeitos gênicos aditivos predominam sobre os efeitos epistáticos de dominância na maioria das espécies agrônomicas e que todos os métodos de melhoramento capitalizam tais efeitos. Esses autores demonstraram que, frequentemente, a escolha do método de melhoramento tem menor efeito no progresso genético do que se estima.

Alguns dos obstáculos que o melhorista enfrenta na condução do programa de melhoramento incluem: recursos econômicos limitados, falta de área ou campos experimentais, mudança nas normas e nos requerimentos para lançamento de novos cultivares e vantagem ou diferença de mercado dos cultivares em relação às outras empresas e que sejam amplamente plantadas (BORÉM, 2013). O programa de melhoramento deve apresentar processos flexíveis para permitir ajustes para novos objetivos de acordo com novas oportunidades de mercado e para a utilização de novas ferramentas tecnológicas que aumentam a eficiência de seleção de plantas superiores (CHAVES, 2001).

Melhoristas de plantas, utilizando as técnicas de melhoramento genético clássico, disponibilizaram para a humanidade a maioria das cultivares conhecidas atualmente. Entretanto, por causa de anos de evolução e seleção direcionada, a variabilidade genética foi bastante reduzida, o que limita o potencial de melhoramento para muitas características (CHEN et al., 2019). Mesmo os programas de melhoramento assistido por marcadores moleculares, que identificam e garantem a presença do alelo introduzido, bem como selecionam o genoma do doador com características não desejadas, têm suas limitações (XU; CROUCH, 2008).

Marcadores moleculares são ferramentas da biotecnologia que vêm auxiliando o melhoramento genético na localização de regiões genômicas responsáveis por grande parte das características agrônomicas de relevância e no direcionamento dos cruzamentos,

diminuindo o tempo gasto para geração de cultivares-elite. A incorporação de genes Bt em linhagens elites é considerada estratégica para o desenvolvimento de cultivares resistentes, trazendo também a possibilidade do desenvolvimento de híbridos mais resistentes pela combinação de linhagens parentais com resistência clássica e transgênica (DAS et al., 2017).

2.7 BIOTECNOLOGIA

O milho é o vegetal com maior número de variedades melhoradas e, conseqüentemente, com a introdução da tecnologia de DNA recombinante e surgimento dos Organismos Geneticamente Modificados (OGMs), se tornou o principal alvo de novas variedades geneticamente modificadas (GM) lançadas no mercado mundial, com a inserção de novos genes, que conferem tolerância a herbicidas ou resistência a insetos (PECHANOVA et al., 2013).

A variabilidade genética é um dos princípios da vida, e o reino vegetal, com sua vasta complexidade, não teria se desenvolvido na sua ausência. Pode-se adicionar uma nova variabilidade genética de novo ao germoplasma por meio de mutações crossing over desigual, transformação via técnicas do DNA recombinante e mutações somaclonais. Novos genes mutantes podem ser então incorporados ao genoma dos cultivares melhorados (BORÉM, 1997).

A edição genética é o processo pelo qual o fragmento de DNA que se queira modificar é detectado, removido e substituído por um novo fragmento. Outra opção possível é que, uma vez removido o fragmento problemático, os mecanismos celulares assumem o controle e reparam a sequência por conta própria. Usando estas técnicas, os cientistas podem adicionar, remover ou alterar o DNA conforme a necessidade para atingir o objetivo desejado. Tanto a edição quanto a modificação genética fazem parte da biogenética (geralmente conhecida como engenharia genética), que é a disciplina que combina biologia e genética. Suas aplicações diretas estão no campo da biotecnologia (CHAPARRO-GARCIA, 2015).

O processo de criação do milho transgênico é realizado por meio da tecnologia do DNA recombinante, que foi desenvolvida em 1992, abrindo a possibilidade de isolar, manipular e identificar genes em organismos vivos. Ou seja, identificou-se como possível cortar um pequeno fragmento de DNA de um genoma para inserir em outro organismo. Assim, a produção de um alimento transgênico começa com a seleção de um gene. Nesta etapa, é identificado um gene de interesse, que possua uma função importante para o organismo em que ele será inserido. Em seguida, esse gene é isolado e introduzido no organismo receptor. Nesse momento, o pesquisador precisa inserir o gene selecionado no genoma do receptor, sem que haja danos e em células que estejam aptas a regenerar um organismo completo (DOUDNA, 2014).

Nas últimas três décadas, o desenvolvimento de técnicas de edição de genomas, como TALENs, ZFNs e o sistema CRISPR/Cas, tem contribuído de maneira extraordinária para o progresso da agricultura moderna. O sistema CRISPR/Cas se destaca por ser uma tecnologia sem precedentes em termos de simplicidade, especificidade, eficiência, versatilidade, robustez e baixíssimo custo. Tem sido aplicada com sucesso para a rápida obtenção de culturas agrícolas com melhor produtividade e qualidade, além de aumento de resistência a fatores bióticos e abióticos, trazendo benefícios para produtores, consumidores e meio ambiente (MOLINARI, 2020).

A história da tecnologia CRISPR-Cas9 teve início quando Ishino e colaboradores, em 1987, identificaram uma região no genoma da bactéria *Escherichia coli* com função desconhecida contendo uma série de regiões repetidas intercaladas por regiões não repetidas ou espaçadoras. Esta região foi denominada por Jansen et al. (2002) de CRISPR (Repetições Palindrômicas Curtas Agrupadas e Regularmente Inter Espaçadas ou Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats). Junto à região CRISPR foram identificados genes que codificam para polimerases, nucleases e helicases, e estes genes ficaram conhecidos como Cas ou genes associados à região CRISPR (MOJICA et al., 2000).

Os crescentes, rápidos e elegantes avanços para melhorias e adaptações do sistema CRISPR/Cas têm permitido desde a mutagênese de um locus específico, regulação transcricional, edição de epigenoma, edição de base única, fusão de tags marcadores, mutações em multiplex, substituição de um gene ou alelo por outro de maior interesse, até a geração de uma variedade comercial contendo um alelo elite e com significativa redução do laborioso e custoso tempo dispendido pelos métodos tradicionais de introgressão (MOLINARI, 2020).

A grande questão é como conseguir esse aumento na produção do grão. E só há dois caminhos: aumentar a área ou aumentar a produtividade, aplicando mais tecnologia à agricultura. Considerando esta segunda via, uma das fórmulas mais eficientes é diminuir as perdas causadas por pragas. Na cultura do milho, a lagarta-do-cartucho exige três aplicações de agrotóxicos por safra para ser controlada. Há outras pragas para as quais nem há controle químico, como a lagarta-da-espiga e a broca-do-colmo. O que ocorre é que as aberturas geradas pelas lagartas na espiga tornam-se pontos de entrada para microrganismos que produzem micotoxinas, substâncias tóxicas para homens e animais (CRUZ, 2002).

Para minimizar os danos causados por insetos-praga em lavouras de milho vem como alternativa de controle as plantas transgênicas com atividade inseticida. Conhecido popularmente como milho Bt ou seja milho transgênico com atividade inseticida. Ocorre um processo de transformação e incorporação de uma toxina isolada da bactéria *Bacillus thuringiensis* (Bt). Essa bactéria produz uma toxina (inseticida) específica para larvas de alguns insetos. A toxicidade dessas proteínas tem alta especificidade para cada grupo de inseto. O Bt, como bactéria, vem sendo utilizado desde 1920 como bioinseticida na França e, hoje, é utilizado em vários países sem causar problemas aos produtores, aos consumidores ou ao ambiente.(EMBRAPA, 2009).

A espécie bacteriana de solo *Bacillus thuringiensis*, muito conhecida pela sua forma abreviada Bt, é de ocorrência cosmopolita, sendo encontrada nos mais diversos ecossistemas do planeta. O gênero *Bacillus* possui uma fase de esporulação característica no seu desenvolvimento, na qual o esporo bacteriano e cristais proteicos são simultaneamente formados, sendo estes últimos sob forma de inclusões parasporais. Tais cristais em Bt, também chamados de δ -endotoxinas ou ICPs (do inglês insecticidal crystal proteins), e codificados pelos chamados genes cry, vêm sendo utilizados na formulação de sprays inseticidas comerciais, que forneceram níveis adequados e consistentes de CB para diversas espécies de insetos-praga na agricultura (ESTRUCH et al., 1997; SCHNEPF et al., 1998).

Mas uma preocupação muito razoável que pode surgir com a adoção do milho Bt é a possibilidade de que ele se misture a lavouras de milho não-transgênico. De fato, o fluxo gênico no milho é possível e exige estratégias específicas para permitir a coexistência segura entre duas variedades que se deseja manter puras. Um exemplo de lavoura comercial de milho mantida com isolamento é a de milhos especiais, como milho doce, milho pipoca e milho branco. Essas estratégias de coexistência vêm sendo utilizadas pelos melhoristas de milho desde 1920, quando se iniciou o uso do milho híbrido (GELVIN, 2010).

A coexistência do milho transgênico com o não-transgênico, portanto, não traz novidade para a ciência ou para a cadeia produtiva do milho. Trata-se de um conjunto de práticas agrícolas que permite aos agricultores a produção de grãos convencionais, transgênicos, orgânicos ou outros, de acordo com os padrões de pureza exigidos pela lei. No Brasil, a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) determinou regras para garantir a coexistência entre cultivos transgênicos e não-transgênicos. A adoção dessas regras é fundamental para preservar a liberdade de escolha dos produtores, tanto pelo milho convencional quanto pelo milho transgênico (DUARTE, 2007).

A tecnologia Roundup Ready no milho, assim como na soja, permite que a cultura continue seu desenvolvimento devido à ação contínua da enzima CP4 EPSPS, mesmo após a aplicação

do herbicida registrado para aplicação em pós-emergência no milho, que possui como ingrediente ativo o glifosato. O mesmo é um herbicida não seletivo, que controla folhas largas e gramíneas através da inibição da enzima EPSPS. Esta enzima catalisa (acelera) é um passo fundamental na rota do ácido chiquímico, na biossíntese de aminoácidos aromáticos, em plantas e microorganismos. A inibição desta enzima pelo glifosato causa uma deficiência no crescimento das plantas, causando a sua morte (DEVINE, 1993).

A proteína CP4 EPSPS (proveniente de *Agrobacterium sp.*, cepa CP4) tem baixa afinidade pelo glifosato em comparação com outras enzimas EPSPS. Assim, quando se trata as plantas de milho Roundup Ready com herbicidas à base de glifosato, estas continuam crescendo graças à ação contínua da enzima CP4 EPSPS tolerante, que proporciona à planta os aminoácidos aromáticos necessários para continuar o seu desenvolvimento (BUCHANAN, 2001).

Em novembro de 1998, a empresa AgrEvo encaminhou um pedido ao Ministério da Ciência e Tecnologia solicitando a liberação comercial do milho Liberty Link T25, afirmando que essa variedade transgênica apresenta substancial equivalência ao milho comum. O milho transgênico T25 foi geneticamente modificado para ser tolerante ao herbicida glufosinato de amônio (ABREU,1998).

O glufosinato de amônio é um herbicida que foi descoberto em 1976 pela AgrEvo, e que teve sua produção comercial iniciada em 1987. Solúvel em água, quando entra em contato com plantas é absorvido pelas folhas, e tem efeito tóxico para todos os tipos de vegetais. Esse produto químico é comercializado no Brasil para uso antes do plantio do milho, sendo a tecnologia da semente do T25 conhecida comercialmente como Liberty Link (HOECHST,2005).

O milho Liberty Link recebeu genes de um vírus e duas bactérias. O gene de interesse comercial produz uma enzima chamada PAT, responsável pela resistência ao herbicida glufosinato de amônio, e tem a sua atuação controlada pelos genes de vírus inseridos. O gene PAT é sintético e tem 70% de semelhança com o gene natural. (SCP EU,1998).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos utilizados nesta revisão bibliográfica foram baseados na análise da literatura já publicada em forma de livros, artigos e literatura, que abordam os mesmos temas apresentados no trabalho, realizando um levantamento do que está sendo discutido sobre o melhoramento vegetal do milho. Essa pesquisa teve como critérios de inclusão, a busca nas fontes mais seguras possíveis, tendo em vista que algumas bibliográficas podem gerar um conjunto de artigos considerados não pertinentes ao tema e outros com deficiências metodológicas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O melhoramento do milho é uma opção interessante para a agricultura moderna, tendo em vista o crescimento da população e conseqüentemente o aumento do consumo de alimentos, é muito importante que novas estratégias e tecnologias sejam utilizadas para reduzir o tempo e os custos do melhoramento genético.

O cultivo das plantas para atender às necessidades humanas é uma atividade essencialmente dependente de condições edafo-climáticas, sócio-econômicas e conhecimentos técnicos (PATERNIANI, 2001). A escolha das melhores variedades é também muito importante em sistemas de produção agroecológicos ou orgânicos, pois, embora não restrinjam o uso de híbridos, as variedades são preferidas por permitirem ao produtor produzir sua própria semente a um preço bem menor. Para isso é necessária a obtenção de genótipos eficientes e responsivos a melhorias de ambiente tornando possível a mudança dos patamares de produtividade das cultivares lançadas pela indústria de sementes.

A plantação de milho é uma atividade bastante rentável, visto que possui um mercado extremamente próspero em função da alta demanda interna e externa que existe para o consumo deste produto. Com base nisso, é possível trabalhar com um amplo leque de clientes, o que vai gerar um aumento significativo dos lucros.

Os esforços de instituições de pesquisa, públicos e privados, para melhorar a produtividade e a rentabilidade do milho resultaram no desenvolvimento de inúmeras cultivares mais produtivas e adaptadas a diversas regiões e sistemas de produção e na utilização de técnicas de manejo mais adequadas, que levam em consideração o aumento da eficiência na utilização dos insumos, a preservação ambiental e a defesa da saúde do produtor e do consumidor (CRUZ, 2011).

5 CONCLUSÃO

O melhoramento genético e a utilização de sementes híbridas, podem ser considerados responsáveis pelo aumento da produtividade e do rendimento da cultura do milho. Através dessas práticas é possível alcançar uma capacidade de produzir sementes com maior qualidade nutritiva, aumento e melhoria da produtividade, maior resistência aos agrotóxicos, inseticidas, herbicidas e pragas, como insetos, vírus, bactérias e fungos, redução de custos de produção, expansão do conhecimento científico, diminuição na quantidade de agrotóxicos utilizados na plantação e maior tolerância das plantas quando submetidas a condições adversas de solo e clima.

Sendo assim, torna-se indispensável nos dias atuais para a agricultura moderna a utilização do melhoramento genético na cultura do milho, em conjunto com insumos e técnicas de cultivos adequados. O resultado final também dependerá do uso consciente de fertilizantes e defensivos, máquinas agrícolas mais eficientes, adoção do sistema de plantio direto na palha e melhoria no arranjo espacial de plantas, respeitando espaçamento e densidade adequados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A., DODÔ, H. (1998) Carta Agr 0211/98 da empresa AgrEvo para Ministério da Ciência e Tecnologia. 27 de novembro de 1998.
- ALLARD, R.W. **Princípio do melhoramento genético das plantas**. São Paulo, Edgard Blücher Ltda. 1967. 371p.
- ALVES, E.; SOUZA, G. S.; ROCHA, D. P. Desigualdade nos campos na ótica do censo agropecuário 2006. Revista de Política Agrícola, Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Política Agrícola, v. 22, n. 2, p. 67-75, abr./jun. 2013.
- ANUÁRIO ABRASEM 2003. Associação Brasileira de Sementes e Mudas. Brasília, 2003. 164p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.
- Buchanan, B. B.; Gruissem, W.; Russell, L. J. Biochemistry and molecular biology of plants. Rockville, MD: American Society of Plant Physiologists, 2001. 1637 p.
- BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. 20. ed. Viçosa: Editora UFV, 1997. 547 p.
- CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 429p.
- CHAPARRO-GARCIA, A. KAMOUN, S.; NEKRASOV, V. Boosting plant immunity with CRISPR/ Cas. Genome Biology, v. 16, article 254, 2015.
- CHEN, K.; WANG, Y.; ZHANG, R.; ZHANG, H.; GAO, C. CRISPR/Cas edição e precisão do genoma e melhoramento de plantas na agricultura. **Revisão Anual de Biologia Vegetal**, v. 70, p. 667-697, 2019.

CIB - CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA.
<http://www.cib.org.br>

CRUZ,I.; VIANA,P.A.; WAQUIL,J.M. Cultivo do milho: Pragas da fase vegetativa e reprodutiva de sete lagoas-MG. Comunicado Técnico 49, 8 pág, 2002.

DAS, G.; PRATA, J.K. BAEK, K. H. Insight into MAS: uma ferramenta molecular para o desenvolvimento de resistência ao estresse e qualidade do arroz através do empilhamento de genes. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, artigo 985, 2017.

Devine, M. D.; Duke, S. O.; Fedtke, C. Physiology of herbicide action. Englewood Cliffs, NJ :PTR Prentice Hall, 1993.

DOUDNA, J. A.; CHARPENTIER, E. The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9. *Science*, v. 346, n. 6213, 1258096, 2014.

DUARTE, J. de O. GARCIA, J. C.; CRUZ, J.C. **Aspectos econômicos da produção de milho transgênico**. Circular técnica. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas MG: Dez 2009.

DUARTE, J. O; CRUZ, J. C. GARCIA, J. C.; MATTOSO, M. J. Cultivo do Milho. Embrapa milho e sorgo. 3 ed. Nov. 2007.

EMBRAPA. Manejo Integrado de pragas em lavouras plantadas com milho geneticamente modificado com gene bt (Milho Bt). 2009. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_5_ed/milhoBT.htm.

ESTRUCH, J.J.; CAROZZI, N.B.; DESAI, N. PATO, N.B. WARREN, G. W.; KOZIEL, M. G. Plantas transgênicas: uma abordagem emergente para o controle de pragas. **Biotecnologia da Natureza**, v.15, p.137-141. 1997.

Fornasieri Filho, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007. 576 p.

FREITAS, Breno Magalhães; IMPERATRIZ-FONSECA, Vera Lúcia. A importância econômica da polinização. 2005.

GELVIN, S. B. Plant proteins involved in Agrobacterium-mediated genetic transformation. *Annual Review of Phytopathology*, v. 48, p. 45-68, 2010.

GEPTS, P. Uma comparação entre domesticação de culturas, melhoramento clássico de plantas e engenharia genética. *Crop Science*, v. 42, p. 1780-1790, 2002.

GOODMAN, M. M. História e origem do milho. In: Paterniani, E. Viégas, G. P. (coord.) **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 2 ed. p. 3-38.

HOECHST. Glufosinate-ammonium – Information on the active ingredient. Folheto técnico, 2005.

<https://agro20.com.br/milho-doce/>>Milho doce é variedade de milho com altos teores de açúcar.

IMEA. **Entendendo o mercado do milho**. 2015. Disponível em: . Acesso em: 10 fev. 2022.

JANSEN, R. VAN EMBDEN, J.; GAASTRA, W.; SCHOOLS, L. Identificação de genes associados a repetições de DNA em procariontes. *Microbiologia Molecular*, v. 43, n. 6, pág. 1565-1575, 2002.

JUCÁ, Joselice. Joaquim Nabuco: uma instituição de pesquisa e cultura na perspectiva do tempo. Recife: Fundaj, Ed. Massangana, 1991.

KRUG, C. A.; VIÉGAS, G. P.; PAOLIERI, L. **Híbridos comerciais de milho**. *Bragantina*, v. 3, p. 367-552, 1943.

Linnaeus, C. **Species plantarum**. Suécia: Laurentius Salvius, 1753, v2, p.971.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. **Fisiologia do milho**. 1 ed. Sete Lagoas: Circular Técnica, Embrapa Milho e Sorgo, p. 23, 2002.

MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas, Piracicaba, 2005. 495p.

Melhoramento de plantas / Aluizio Borém, Glauco Vieira Miranda. 6. ed. rev. e ampl. - Viçosa, M G : Ed . UFV , 2013.

Milho : o produtor pergunta, a Embrapa responde / José Carlos Cruz ... [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 338 p. : il. ; 16 cm x 22 cm. – (Coleção 500 perguntas, 500 respostas)

MIRANDA FILHO, J.B.; NASS, L.L. **Hibridação no melhoramento**. In: NASS, L.L.;VALOIS, A.C.C.; MELO, I.S. VALADARES-INGLIS, M.C. Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas, p.603-627, 2001.

MOJICA, F.J.; DÍEZ-VILLASEÑOR, C. SORIA, E.; JUEZ, G. Significado biológico de uma família de repetições regularmente espaçadas nos genomas de Archaea, Bacteria e mitocôndrias. **Molecular Microbiologia**, v. 36, n. 1, pág. 244-246, 2000.

OSBORNE, T.B.; MENDEL, L. B. O valor nutritivo das proteínas do milho núcleo. **Revista de Química Biológica**. 18:1-16, 1914.

PATERNIANI, M.E.G.A.Z. Uso da heterose no melhoramento de milho: história, métodos e perspectivas. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** v.1, n.2, p.159-178, 2001.

Paterniani, E. & Campos, M.S. **Melhoramento do Milho**. In: Borém, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: UFV. 2005. p.491 – 552.

PEIXOTO C. M. Sementes e mudas. A evolução da produtividade do milho no Brasil. Pioneer, 2014.

Pechanova, O., Takac, T., Samaj, J., & Pechan, T. (2013). Maize proteomics: An insight into the biology of an important cereal crop. *Proteomics*, 13(3-4), 637-662.

SANTOS, F. M. C. **Capacidade de combinação de híbridos comerciais de milho visando à obtenção de híbridos de F2**. 80 f. Curso de Pós-graduação Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agronômico, Campinas, Sp, 2009. (Dissertação Mestrado)

SANTOS, F. M. C. **Capacidade de combinação de híbridos comerciais de milho visando à obtenção de híbridos de f2**. 2009. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agronômico, Campinas - Sp, 2009.

SCHNEPF, E.; CRICKMORE, N. VAN RIE, J.; LERECLUS, D.; BAUM, J.; FEITELSON, J.; ZEIGLER, D. R.; DEAN, D.H. Bacillus thuringiensis e suas proteínas de cristal pesticidas. **Comentários de Microbiologia e Biologia Molecular**. v.62, p.775-806. 1998.

SCP EU(1998) Submission for placing on the market of glufosinate tolerant corn (Zea mays) Transformation event T25, 10 de fevereiro de 1998, notificação C/F/95/12/07, parágrafo 6.2.2.

Shull GH (1908) The composition of a field of maize. **Journal of Heredity** 4:296-301. doi:10.1093/jhered/os-4.1.296

Tecnologia CRISPR na edição genômica de plantas: biotecnologia aplicada à agricultura / Hugo Bruno Correa Molinari ... [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2020. PDF (207 p.).

VARGAS, B. BASSO, A.; RODRIGUES, T.; SILVA, L.; GATZKE, M.; FRIZZO, M. **Biotecnologia e alimentos geneticamente modificados: uma revisão**. Revista Contexto & Saúde, (18), n. 35, p. 19-26, 20 dez. 2018.