

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS
CURSO DE MESTRADO**

**PANORAMA DO MELHORAMENTO GENÉTICO E ESTRATÉGIAS DE
SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE *Nicotiana tabacum* L. NAS CONDIÇÕES
DA REGIÃO DO RECÔNCAVO DA BAHIA**

Mariane Pereira dos Santos

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA
2023**

PANORAMA DO MELHORAMENTO GENÉTICO E ESTRATÉGIAS DE SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE *Nicotiana tabacum* L. NAS CONDIÇÕES DA REGIÃO DO RECÔNCAVO DA BAHIA

Mariane Pereira dos Santos

Tecnóloga em Agroecologia

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), 2018

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e Embrapa Mandioca e Fruticultura, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Recursos Genéticos Vegetais.

Orientador: Dr. Ricardo Franco Cunha Moreira

Coorientadora: Dra. Thâmara Moura Lima

CRUZ DAS ALMAS - BAHIA

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

S237p

Santos, Mariane Pereira dos.

Panorama do melhoramento genético e estratégias de seleção de genótipos de *Nicotiana tabacum* L. nas condições da Região do Recôncavo da Bahia / Mariane Pereira dos Santos. - Cruz das Almas, BA, 2023.

91f.; il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais.

Orientador: Dr. Ricardo Franco Cunha Moreira.

Coorientadora: Dra. Thâmara Moura Lima.

1.Fumo - Plantas - Cultivo. 2.Fumo - Melhoramento genético. 3.Produtividade agrícola - Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.

CDD: 633.71

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURAPROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS
CURSO DE MESTRADO

**PANORAMA DO MELHORAMENTO GENÉTICO E
ESTRATÉGIAS DE SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE *Nicotiana
tabacum* L. NAS CONDIÇÕES DA REGIÃO DO
RECÔNCAVO DA BAHIA**

COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
MARIANE PEREIRA DOS SANTOS

Aprovada: 29 de setembro de 2023



Documento assinado digitalmente

RICARDO FRANCO CUNHA MOREIRA

Data: 09/10/2023 20:31:34-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ricardo Franco Cunha Moreira
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)
(Orientador)



Documento assinado digitalmente

HELLEN CRISTINA DA PAIXAO MOURA

Data: 09/10/2023 21:47:15-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Hellen Cristina da Paixão Moura
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)
(Examinador interno)



Documento assinado digitalmente

TAISE ALMEIDA CONCEICAO

Data: 09/10/2023 23:36:03-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Taise Almeida Conceição
Universidade de São Paulo/ ESALQ
(Examinador externo)

Dissertação homologada pelo Colegiado do curso de mestrado em Recursos Genéticos Vegetais em _____, conferindo o Grau de Mestre em Recursos Genéticos Vegetais em _____

DEDICATÓRIA

Dedico primeiramente a Deus, por ter me dado saúde, sabedoria e coragem para o término do curso. Aos meus pais, Dorotea e Edvaldo e meus irmão por todo apoio, carinho e paciência durante a minha caminhada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela proteção, força e coragem durante essa caminhada, mesmo nos momentos mais difíceis, onde não parecia haver saída sua mão sempre me sustentou.

A minha família em especial aos meus pais Dorotea e Edvaldo, que são minha base. Agradeço também aos meus irmãos Dourania, Edvaldo e Mariele por estarem sempre me apoiando e incentivando a ser melhor a cada dia.

A Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) e o Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, por contribuírem com a minha formação acadêmica.

Ao meu orientador, Dr. Ricardo Franco Cunha Moreira, pela orientação, por estar sempre disposto a ajudar.

À minha coorientadora, Dra. Thâmara Moura Lima por toda atenção, paciência e disponibilidade em me auxiliar no que precisei.

A empresa Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, pela parceria, a qual permitiu a realização desse trabalho.

Aos meus amigos dessa caminhada durante o mestrado, por todas as experiências trocadas, em especial: Luana, Marluce, Josué, Ana Paula, Glicia, Fátima, Fabio sempre me informando e incentivando a cada dia ser melhor. O meu muito obrigado pela amizade de vocês.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela bolsa de estudo.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, me ajudaram de alguma forma, pois a contribuição pode ser parecido pequena, porém foi bastante valiosa.

EPÍGRAFE

“A persistência é o caminho do êxito”.

(Charles Chaplin)

PANORAMA DO MELHORAMENTO GENÉTICO E ESTRATÉGIAS DE SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE *Nicotiana tabacum* L. NAS CONDIÇÕES DA REGIÃO DO RECÔNCAVO DA BAHIA

RESUMO: A *Nicotiana tabacum*, conhecida como tabaco, é uma planta da família Solanaceae. Originária da América do Sul e Central, é amplamente cultivada mundialmente na produção de tabaco para cigarros e charutos. O Brasil é um dos maiores produtores de tabaco, com destaque para o Recôncavo na Bahia. Programas de melhoramento genético buscam aprimorar características da planta, e o tabaco é uma planta alotetraploide. Suas flores variam em cor, e a seleção de genótipos é uma estratégia comum para melhoramento genético, visando resistência a doenças e qualidade das folhas. Nesse sentido, a presente dissertação tem como objetivo expor o panorama do melhoramento genético para *N. tabacum* no contexto global, a partir das pesquisas disponíveis na literatura (Capítulo 1), em que se realizou uma revisão sistemática com a pesquisa "Nicotiana tabacum" e "melhoramento genético" em bases renomadas (PubMed, Scopus, Scielo, Web of Science) de 2019 a 2023. Foram estabelecidos critérios de inclusão, excluindo teses, dissertações e duplicatas. Foram identificados 97 artigos, dos quais 41 foram incluídos. A maioria das pesquisas se concentrou na Ásia, abordando tópicos como resistência ao estresse, engenharia genética, expressão gênica, resposta a doenças e metabolismo vegetal. O estudo reflete avanços no melhoramento genético e aplicação de engenharia genética para melhorar a produção e resistência do tabaco a desafios ambientais. Assim como apresentar quais estratégias de seleção de genótipos são mais eficientes nas condições, especificamente para região produtora da cultura no Recôncavo da Bahia (Capítulo 2). Nele foram analisados 17 descritores morfológicos quantitativos sob 11 genótipos de tabaco, seguindo diretrizes do SINDIFUMO e legislações internacionais. O experimento usou blocos casualizados com quatro repetições, cada uma contendo 12 plantas. A variabilidade genética foi explorada usando análise de cluster (método k-means) e análise de componentes principais. Os dados foram submetidos a testes estatísticos, incluindo análise de variância e teste de Tukey. Modelos lineares mistos foram usados para estimar herdabilidade e ganho de seleção com o software Selegen-REML/BLUP. Os resultados destacaram o genótipo ER 35-109, especialmente na largura e comprimento da terceira folha, sugerindo sua adequação para a produção de tabaco. Os genótipos ER 560 e ER 561 também mostraram vantagens em várias variáveis. As conclusões deste projeto visam destacar a importância do melhoramento genético do tabaco para atender às demandas do mercado, aprimorando características como produtividade, resistência a doenças e qualidade do produto final. A combinação de revisão sistemática e avaliação de genótipos específicos fornecerá *insights* valiosos para o desenvolvimento de variedades de tabaco adaptadas às condições do Recôncavo da Bahia.

Palavras-chave: Tabaco; Diversidade genética; Resistência; produtividade.

OVERVIEW OF GENETIC IMPROVEMENT AND SELECTION STRATEGIES OF GENOTYPES OF *Nicotiana tabacum* L. IN THE CONDITIONS OF THE RECÔNCAVO DA BAHIA REGION

ABSTRACT: *Nicotiana tabacum*, commonly known as tobacco, is a plant from the Solanaceae family. Native to South and Central America, it is widely cultivated worldwide for the production of cigarettes and cigars. Brazil is one of the largest tobacco producers, with a focus on the Recôncavo region in Bahia. Genetic improvement programs aim to enhance plant characteristics, and tobacco is an allotetraploid plant. Its flowers vary in color, and genotype selection is a common strategy for genetic improvement, targeting disease resistance and leaf quality. In this context, this dissertation aims to present the landscape of genetic improvement for *N. tabacum* in the global context, based on available research in the literature (Chapter 1). A systematic review was conducted using the search terms "Nicotiana tabacum" and "genetic improvement" in reputable databases (PubMed, Scopus, Scielo, Web of Science) from 2019 to 2023. Inclusion criteria were established, excluding theses, dissertations, and duplicates. 97 articles were identified, of which 41 were included. Most of the research focused on Asia, addressing topics such as stress resistance, genetic engineering, gene expression, disease response, and plant metabolism. The study reflects advancements in genetic improvement and the application of genetic engineering to enhance tobacco production and resistance to environmental challenges. It also seeks to determine the most effective genotype selection strategies specifically for the tobacco-producing region in the Recôncavo of Bahia (Chapter 2). In this chapter, 17 quantitative morphological descriptors were analyzed among 11 tobacco genotypes, following SINDIFUMO guidelines and international legislation. The experiment used randomized blocks with four replications, each containing 12 plants. Genetic variability was explored using non-hierarchical k-means cluster analysis and principal component analysis. Data were subjected to statistical tests, including analysis of variance and the Tukey test. Mixed linear models were used to estimate heritability and selection gain with the Selegen-REML/BLUP software. The results highlighted genotype ER 35-109, especially in the width and length of the third leaf, suggesting its suitability for tobacco production. Genotypes ER 560 and ER 561 also showed advantages in various variables. The project's conclusions emphasize the importance of tobacco genetic improvement to meet market demands, enhancing characteristics such as productivity, disease resistance, and final product quality. The combination of a systematic review and the evaluation of specific genotypes provides valuable insights for the development of tobacco varieties adapted to the conditions of the Recôncavo of Bahia.

Keywords: Tobacco; Genetic Diversity; Resistance; Productivity.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I	31
Tabela 1. Artigos agrupados quanto a temática de melhoramento genético e tolerância ao estresse em <i>Nicotiana tabacum</i> L.....	43
Tabela 2. Artigos agrupados quanto a temática de engenharia genética e edição de genes.....	46
Tabela 3. Artigos agrupados quanto a temática de estudos de genes e expressão gênica.....	47
Tabela 4. Artigos agrupados quanto a temática de estudos de resposta a doenças e resistência.	49
Tabela 5. Artigos agrupados quanto a temática de estudos de fisiologia e metabolismo vegetal.	50
CAPÍTULO II	59
Tabela 1. Identificação dos genótipos de <i>Nicotiana Tabacum</i> L. e seus respectivos código, tipo e procedência obtidos pelo programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, Cruz das Almas, Bahia.	64
Tabela 2. Descritores quantitativos avaliados sobre os genótipos de <i>Nicotina Tabacum</i> L. obtidos pelo programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, Cruz das Almas, Bahia.....	65
Tabela 2. Estimativas de componentes principais (CPs), autovalores (AV), porcentagem da variância explicada e proporção acumulada (%) para os descritores quantitativos avaliados em 11 genótipos de <i>Nicotina Tabacum</i> L. obtidos pelo programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, Cruz das Almas, Bahia	69
Tabela 3. Estimativas do Coeficiente de variação genotípica (CVgi%), Coeficiente de variação ambiental (Cve%), Coeficiente da variação relativa (CVr), Herdabilidade da média de genótipo (h^2_{mc}) e Acurácia da seleção de genótipos (Acclon) para os descritores quantitativos avaliados sobre os 11 genótipos de <i>Nicotiana Tabacum</i> L. do programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, em Cruz das Almas, Bahia.....	77
Tabela 4. Ranqueamento e estimativas dos valores genotípicos previstos (G), dos valores genotípicos (u+g) e da nova média quanto às variáveis Altura (ALT), Número de folhas (NF), Diâmetro médio do caule (DCM), Largura da 3° folha (LFT) e Comprimento da 3° folha (CFT) para o grupo I formado pelos genótipos de <i>Nicotiana Tabacum</i> L. ER 33-023, ER 33-021, ER 33-022, ER 565, ER 33-046 e ER 562 do programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, em Cruz das Almas, Bahia.	81
Tabela 5. Ranqueamento e estimativas dos valores genotípicos previstos	

(g), dos valores genotípicos (u+g) e da nova média quanto às variáveis Altura (ALT), Número de folhas (NF), Diâmetro médio do caule (DCM), Largura da 3° folha (LFT) e Comprimento da 3° folha (CFT) para o grupo II formado pelos genótipos de *Nicotiana Tabacum* L. ER 564, ER 33-027 e ER 35-109 do programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, em Cruz das Almas, Bahia. **82**

Tabela 6. Ranqueamento e estimativas dos valores genotípicos previstos (g), dos valores genotípicos (u+g) e da nova média quanto às variáveis Altura (ALT), Número de folhas (NF), Diâmetro médio do caule (DCM), Largura da 3° folha (LFT) e Comprimento da 3° folha (CFT) para o grupo III formado pelos genótipos de *Nicotiana Tabacum* L. ER 560 e ER 561 do programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, em Cruz das Almas, Bahia..... **83**

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I	31
Figura 1. Fluxograma do estudo desenvolvido para realização da revisão sistemática sobre melhoramento genético de <i>Nicotiana tabacum</i> L. no período de 2019 a 2023 no programa Start.....	41
Figura 2. Países produtores de conhecimento sobre melhoramento genético de <i>Nicotiana tabacum</i> L. no período de 2019 a 2023, considerando a pesquisa no programa Start.....	42
Figura 3. Número de artigos selecionados sobre melhoramento genético de <i>Nicotiana tabacum</i> L. no período de 2019 a 2023 selecionados pelo programa Start.....	43
Figura 4. Número de artigos selecionados sobre melhoramento genético de <i>Nicotiana tabacum</i> L. no período de 2019 a 2023 selecionados pelo programa Start.....	49
CAPÍTULO II	59
Figura 1. Número de grupos formados pela análise de agrupamento método (k-means) considerando 17 descritores quantitativos para os 11 genótipos de <i>Nicotiana Tabacum</i> L. do programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, em Cruz das Almas, Bahia.....	68
Figura 2. Os grupos formados considerando os 17 descritores quantitativos aplicados sobre os 11 genótipos de <i>Nicotiana Tabacum</i> L. do programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, em Cruz das Almas, Bahia.....	70
Figura 3. Percentual de contribuição das variáveis para os 11 genótipos de <i>Nicotiana Tabacum</i> L. Do programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, em Cruz das Almas, Bahia.....	70
Figura 4. Análise componente principal (PCA) para os 11 genótipos de <i>Nicotiana Tabacum</i> L. Do programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, em Cruz das Almas, Bahia.....	71
Figura 5. Gráfico box plot para teste de média para as váriveis Altura de planta (ALT), Número de folhas (NF), Diâmetro da base da inflorescência (DCI), Largura da 3ª folha (LFT) Comprimento da 3ª folha (CFT), Média dos internódios (MINT), Diâmetro da flor (DFLR), Engrossamento tubo da flor (ETFLR), Comprimento da corola (TCRL) e Produtividade (PROD) para os três grupos obtidos pelo método (k-means) para os 11 genótipos de <i>Nicotiana Tabacum</i> L. do programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, em Cruz das Almas, Bahia, em blox pot à 5% de significância.....	73

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Cultura do tabaco.....	16
2.1.1	Importância econômica e produção	16
2.1.2	Origem e histórico da tabagicultura.....	18
2.1.3	Taxonomia e Informações botânicas.....	19
2.1.4	Principais cultivares no Brasil e o manejo adotado	20
2.1.5	Melhoramento genético do tabaco	23
2.1.6	Germoplasma do tabaco.....	24
2.1.7	Parâmetros genéticos	26
	REFERÊNCIAS	27
	CAPÍTULO I	35
	UM PANORAMA DO MELHORAMENTO GENÉTICO DO TABACO	35
	UM PANORAMA DO MELHORAMENTO GENÉTICO DO TABACO	36
1	INTRODUÇÃO	38
2	METODOLOGIA	39
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
3.1	Processamento e caracterização dos artigos selecionados.....	40
3.2	Melhoramento Genético e Tolerância ao Estresse	43
3.3	Engenharia Genética e Edição de Genes	45
3.4	Estudos de Genes e Expressão Gênica	47
3.5	Resposta a Doenças e Resistência	49
3.6	Fisiologia e Metabolismo Vegetal.....	50
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
	REFERÊNCIAS	52
	CAPÍTULO II	59
	ESTRATÉGIAS DE SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE <i>Nicotiana tabacum</i> L. NAS CONDIÇÕES DE CRUZ DAS ALMAS, BAHIA, COM BASE NA VARIABILIDADE E PARÂMETROS GENÉTICOS	59
1	INTRODUÇÃO	63
2	MATERIAL E MÉTODOS	64
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
4	CONCLUSÃO	84
	REFERÊNCIAS	85
	ANEXOS	91
	ANEXOS A	91
	Quadro 1. Identificação dos artigos utilizados na revisão sistemática no período de 2019 a 2023.	91

1 INTRODUÇÃO

A *Nicotiana tabacum* L., comumente conhecida como tabaco, é uma planta pertencente à família Solanaceae e ao gênero *Nicotiana* (GOODSPEED, 1954). Essa espécie é amplamente cultivada em todo o mundo, devido ao seu valor comercial na produção de tabaco para consumo humano (FAO, 2021), sendo usado na fabricação de produtos de tabaco, como cigarros, charutos, cigarilhas e tabaco para cachimbos.

É nativa da América do Sul e Central, sendo encontrada desde o norte da Argentina até o sudeste da Bolívia (LORENCETTI *et al.*, 2008). A planta foi disseminada, principalmente no território brasileiro, pelos povos indígenas, que a cultivavam e a utilizavam em rituais (VIGNOLI-SILVA, 2004; SINDITABACO, 2019).

Nos últimos 60 anos, o Brasil tem se destacado como um dos principais produtores de tabaco no mundo, conforme registros da Fundação das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO). Na atualização mais recente, o mesmo ocupa a terceira posição entre os principais produtores globais, atrás apenas da China e Índia, respectivamente (FAO, 2021).

A cadeia produtiva da cultura desempenha um papel de grande importância socioeconômica no país, especialmente nas regiões sul e nordeste, gerando aproximadamente 1 milhão de empregos diretos e indiretos ao longo de toda a sua cadeia produtiva (AFUBRA, 2021).

A região do Recôncavo, especialmente nas proximidades do município de Cruz das Almas, na Bahia, possui um significativo potencial agrícola para a produção de tabaco (IBGE, 2020). Nessa área, são cultivadas as variedades Brasil-Bahia e, especialmente, a Sumatra, originária da Indonésia que é utilizada na confecção de capas claras para charutos pela empresa Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, uma das principais produtoras desse tipo de tabaco (OLIVEIRA, 2006).

Visando à diversificação e ao desenvolvimento de variedades que atendam às demandas do mercado, os programas de melhoramento genético de *N. tabacum* têm como objetivo principal aprimorar as características das plantas de tabaco, os quais buscam selecionar e cruzar diferentes linhagens de tabaco, com o intuito de obter plantas com características desejáveis, como maior

produtividade, resistência a doenças, tolerância a estresses ambientais e melhoria na qualidade do produto final (GAVILANO *et al.*, 2006).

A *N. tabacum*, é uma espécie de planta alotetraplóide (LIM *et al.*, 2000). Acredita-se que tenha se originado da hibridização de duas espécies ancestrais, sendo o progenitor materno a *N. sylvestris*, enquanto o progenitor paterno é membro da seção Tomentosae (CLARKSON *et al.*, 2005) . Este evento de hibridização resultou na formação de um alotetraplóide com um genoma composto por dois conjuntos de cromossomos de cada progenitor (KENTON *et al.*, 1993).

São plantas anuais, com ciclo de vida entre 120 a 240 dias e majoritariamente autógamias. No entanto, podem apresentar alogamia, em menor escala (3%), por fertilização interespecífica ou até mesmo por pólen de plantas de outras espécies, mas do mesmo gênero. A tonalidade das flores varia de acordo com a variedade, normalmente tendem do branco ao vermelho. Apresentam brácteas e dispõem-se em panícula na extremidade dos ramos, tendo cálice tubuloso e esverdeado (HUNZIKER, 2001; BOIEIRO, 2008; COSTA, 2012).

Uma das estratégias utilizadas no melhoramento genético do tabaco é a seleção de genótipos. Essa seleção é baseada na avaliação de características agronômicas, fisiológicas e moleculares das plantas, com o objetivo de identificar indivíduos com características superiores (BORÉM; MIRANDA; FRITSCHENETO, 2021).

Através da seleção criteriosa de plantas com características promissoras e da utilização de técnicas avançadas de cruzamento e genética, os programas de melhoramento genético visam desenvolver variedades de tabaco que sejam mais adaptadas às condições de cultivo, apresentem maior resistência a doenças comuns na cultura do tabaco e possuam maior capacidade de produção (FARIAS, 2007). Além disso, busca-se também aprimorar a qualidade das folhas de tabaco, de modo a atender às exigências e preferências dos consumidores (MAIA, 2007).

Partindo do pressuposto, a presente dissertação tem como objetivo expor o panorama do melhoramento genético para *N. tabacum* no contexto global, a partir das pesquisas disponíveis na literatura (Capítulo 1), assim como apresentar quais estratégias de seleção de genótipos são mais eficientes nas

condições, especificamente para região produtora da cultura no Recôncavo da Bahia (Capítulo 2).

O capítulo I, intitulado “ Um panorama do melhoramento genético do tabaco”, visa fornecer um panorama abrangente sobre as pesquisas e avanços nesse seguimento, objetivando identificar o quantitativo de pesquisas relacionadas ao tema e discriminar as que são relacionadas à resistência a adversidades, sejam elas bióticas (pragas e doenças) e/ou abióticas, e produtividade.

O capítulo II é intitulado “Estratégias de seleção de genótipos *de Nicotiana tabacum* L. nas condições de Cruz das Almas, Bahia, com base na variabilidade e parâmetros genéticos”. O objetivo deste trabalho foi subsidiar ações de planejamento de melhoramento genético de *N. tabacum* L., no âmbito de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, através da avaliação da relação de genótipos da espécie com diferentes descritores morfológicos quantitativos utilizados no melhoramento do tabaco.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultura do tabaco

2.1.1 Importância econômica e produção

A cultura do tabaco é amplamente produzida pelo mundo, porém o grande destaque está situado nos continentes asiático e americano, concentrando 87% de toda a produção global. E dentro desses grandes gigantes, especificamente três países compreendem 5.149 milhões das 5.889 milhões de toneladas produzidas da planta em valores globais. Sendo a China líder do ranking com 2.127 milhões, seguido pela Índia com 757 mil e o Brasil, em terceiro, com 744 mil toneladas de fumo bruto (FAO, 2021).

Desde o primeiro registro pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), em 1961 a mais atual em 2013, o Brasil se mantém como o maior exportador, seguido pela Índia, China, Alemanha e Estados Unidos. Já os principais importadores do produto são os países da Rússia, Alemanha, os Estados Unidos, Holanda e França (FAO, 2013).

No primeiro semestre de 2022, a produção brasileira de tabaco em estado

bruto teve como principais destinos os seguintes países: a Indonésia, que adquiriu aproximadamente 31% desse produto; em seguida, a República Dominicana importou cerca de 20%, e a Alemanha ficou com uma parcela de 14%. No que se refere ao tabaco processado, descaulificado ou desnervado, a Bélgica destacou-se como o principal importador, adquirindo 29% desse produto, seguida pela China, que importou cerca de 25%. Os Estados Unidos também representaram uma parcela significativa das importações, com 6,3% (BRASIL, 2022).

Ademais, o país também contribuiu como importador do commodity no ano 2022, vindos da Argentina com 43%, Macedônia com 27% e Turquia com 21%. O fumo processado, preferencialmente foi consumido da Argentina com 48%, 18% da Índia e 9,1% do país africano Moçambique (BRASIL, 2022).

No Brasil, a produção de fumo se estende por todas as suas regiões, principalmente na Região Sul, em que três estados contribuem com 95,2% de todo o volume gerado nacionalmente, dotada de rendimento médio de 2,3 toneladas ha⁻¹, cerca de 100 quilos a mais que o média de produção por área brasileira. A Região Nordeste aparece em seguida, com 4,7%, com participação dos estados da Bahia, Alagoas, Sergipe, Ceará e Pernambuco, produzindo em média 1.3 toneladas por hectare plantado (AFUBRA, 2020; IBGE, 2020).

Toda esta produção é gerada, majoritariamente, por 151 mil famílias distribuídas em 14 Unidades de Federação. No Sul, concentra-se 90,9% de todos esses produtores rurais responsáveis pelo cultivo do tabaco, são mais de 273 mil hectares plantados. No Nordeste, segunda região produtora, apenas 24 mil hectares são voltados para a cultura, tendo 13 mil famílias mantenedoras dessa tradição (AFUBRA, 2021).

O estado baiano participa com 12.247 mil toneladas, com apenas 1,74% da produção nacional, no entanto é o que mais contribui nas exportações da folha do fumo não processada, 68,5%, assim como Alagoas com 22,5%. Os estados nordestinos aparecem como fornecedores do material bruto, já os estados sulistas são os principais fornecedores do fumo manufaturado para envio a outros país, Rio Grande do Sul com 91,7 %, Santa Catarina com 7,72% e Paraná 0,55% (IBGE, 2020; BRASIL, 2022).

2.1.2 Origem e histórico da tabagicultura

A origem do tabaco não é dotada de uma precisão geográfica quanto a sua ascendência. Lorencetti *et al.* (2008) afirmam sobre a possibilidade da planta ter surgido numa área que abrange do norte da Argentina ao sudoeste da Bolívia. Basicamente, os povos indígenas dessas localidades cultivavam o vegetal e com as posteriores migrações difundiu-se para outros países americanos, inclusive para o território brasileiro, principalmente pelos povos Tupi-Guarani (SINDITABACO, 2019).

Neste contexto, a utilização da planta não tem datação determinada, pois mesmo antes da chegada dos europeus durante as grandes navegações no continente americano, já era utilizado pelos povos nativos em rituais (GOODSPEED, 1954; MARGARIDO, 1994; GATELY, 2001). Os indígenas já faziam uso da planta, aspirando a fumaça da queima das folhas secas, mascando ou aspirando o pó das folhagens (VIGNOLI-SILVA, 2004).

Em meados do século XV, Cristóvão Colombo e seus companheiros avistaram os índios fumando a folha do tabaco em Cuba, a qual em 1530 foi levada para Europa para ser cultivada pela família real portuguesa, por sua função medicinal e ornamental. As folhas eram consumidas por grande parte dos países e logo ganharam relevância no comércio internacional (SILVEIRA; DORNELLES, 2010; SINDITABACO, 2019).

No Brasil, os primeiros registros sobre cultivos de tabaco foram descritos no início do período colonial na região Nordeste do país. Sendo-o primeiramente realizada por nativos, para fins de uso próprio, e depois por portugueses, com viés comercial para o abastecimento do mercado europeu (DUTRA, 2015).

Entre os séculos XVII e XIX, a cultura era utilizada como moeda de troca com a Inglaterra para o fornecimento de escravos africanos oriundo do continente, para serem forçados atuar nas lavouras de cana-de-açúcar e minas de ouro no Brasil durante o período colonial (NARDI, 1996; FERNANDEZ, 2010).

As áreas endereçadas para produção estendiam-se da cidade de Recife ao Recôncavo Baiano, até o início do século XX (DUTRA, 2015). Sendo que até 1950 a região baiana se destacava como principal produtora, dotada de condições favoráveis para o crescimento e desenvolvimento de fumos escuros (BUAINAIN *et al.*, 2009).

A partir do século XIX, houve uma transferência da região produtora de fumo. Com a chegada de colonos europeus, principalmente dos países da Alemanha, Itália e Polônia para as regiões sudoeste e sul do país, fizeram da produção de fumo a sua fonte de renda, principalmente do estado no Rio Grande do Sul (VENDRUSCOLO, 2017).

Devido à sua familiaridade com a cultura do tabaco, os imigrantes desempenharam um papel fundamental na consolidação da fumicultura no Sul do Brasil, onde também ocorreu a instalação de indústrias para o processamento dos fumos claros produzidos na região, que eram considerados mais atraentes (VENDRUSCOLO; WAQUIL, 2020).

No início do século XX, mais da metade da produção se concentrava apenas entre os estados da Bahia e do Rio Grande do Sul, com a Bahia produzindo fumo escuro endereçada à produção de charutos e o estado sulista com a produção de fumos claros para fabricação de cigarros. No entanto, a diferença entre a evolução das tecnologias aplicadas era evidente. Enquanto que os produtores gaúchos visavam o aperfeiçoamento de técnicas voltadas a melhoria na qualidade do produto final como a secagem em estufas, no estado baiano continuavam realizando o processo a céu aberto e em galpões (SEFFRIN, 1995; VENDRUSCOLO, 2017).

A partir de 1920, a produção e a demanda por tabaco claro superaram o tabaco escuro. A distinção entre esses dois tipos de tabaco está relacionada ao processo de secagem das folhas e ao teor de açúcares, o que afeta o sabor e a cor do produto final. Essas características são cruciais na fabricação de diferentes produtos de tabaco, como cigarros, charutos e tabaco de cachimbo, cada um com perfis de sabor distintos. Esse cenário influenciou na diversificação e especialização da região, impulsionando o desenvolvimento industrial voltado para a produção de cigarros (HILSINGER, 2016).

2.1.3 Taxonomia e Informações botânicas

O tabaco ou popularmente denominado de fumo (*Nicotiana tabacum* L.) é uma planta herbácea, pertencente à família Solanaceae, subfamília Nicotianeae, subtribo Nicotianiae e gênero *Nicotiana*, trata-se de um híbrido provável entre a *N. sylvestris* e *N. otophora* ou *N. tomentosiformis* (GOODSPEED, 1954).

Assim como o nome do gênero, seu principal componente é a nicotina,

seguido da cotinina, miosmina, nicotirina, anabasina e nicotelina (FONSECA, 2011). A presença dessas substâncias confere à planta uma barreira contra o ataque de certas pragas (HIRSCH; LANDAU, 2020).

A espécie apresenta porte ereto, coberta de pêlos viscosos, que podem alcançar comprimento superior a 2 m, dotadas de caule robusto e de formato cilíndrico. As folhas são inteiras, grandes, alternas, sésseis e ovais, com nervação elevada na parte abaxial e coloração verde na parte adaxial, o amadurecimento tende a iniciar pela parte basal e até atingir as folhas apicais (BOIEIRO, 2008; COSTA, 2012).

São plantas anuais com ciclo de vida entre 120 a 240 dias e majoritariamente autógamias. No entanto, podem apresentar alogamia, em menor escala (3%), por fertilização interespecífica ou até mesmo por pólen de plantas de outras espécies, mas do mesmo gênero. A tonalidade das flores varia de acordo com a variedade, normalmente tendem do branco ao vermelho. Apresentam brácteas e dispõem-se em panícula na extremidade dos ramos, tendo cálice tubuloso e esverdeado (HUNZIKER, 2001; BOIEIRO, 2008; COSTA, 2012).

Os frutos têm a forma de cápsulas ovoides e contêm uma grande quantidade de sementes extremamente pequenas, que são rugosas e arredondadas. Durante o processo de germinação, essas sementes são sensíveis à luz (BOIEIRO, 2008; LORENCETTI *et al.*, 2008). Essas sementes são classificadas como ortodoxas, o que significa que são resistentes à dessecação até o momento em que a radícula começa a se desenvolver (LOPES, 2009).

2.1.4 Principais cultivares no Brasil e o manejo adotado

São descritas inúmeras variedades de fumo oriundas da espécie *N. tabacum* L., que se diferenciam por particularidades no cultivo ou no processo de secagem das folhas (HIRSCH; LANDAU, 2020; BRASIL, 2022). Entre as mais cultivadas no Brasil, estão as variedades Virgínia e Burley (THOMAS; BREDEMEIER, 2016).

A variedade Virgínia está entre os tipos de fumo que apresentam maior qualidade e por isso se faz presente em quase todos produtos derivados do vegetal. As plantas dessa variedade são naturalmente ricas em açúcar e

nicotina, com folhas de coloração verde escuro, pouco exigentes nutricionalmente em nitrogênio e levemente arqueadas. Produzem de 18 a 22 folhas, que devem ser colhidas entre quatro a seis vezes em intervalos de cinco a sete dias, o que resulta em uma produtividade de 2 mil kg. ha⁻¹. As folhas desse material são curadas (secas) em estufas, para conferir controle de temperatura e umidade a fim de obter uma evaporação rápida, que assegure a manutenção dos açúcares. Posterior ao processo, resulta em um fumo com coloração alaranjada e aroma adocicado (LORENCETTI *et al.*, 2008; SINDITABACO, 2018).

O fumo do tipo Burley, está presente em 13% de toda a produção mundial. Apresenta aroma mais intenso e uma fumaça mais encorpada e são mais utilizados na fabricação de fumos aromáticos e de blends. As plantas detêm de um talo mais claro e as suas folhas tendem para um verde amarelado com as pontas mais eretas, são mais exigentes nutricionalmente, necessitam de mais nitrogênio. Produzem entre 22 a 26 folhas, que resulta em uma produtividade de 1,7 a 1,9 Kg.ha⁻¹. O processo de secagem da variedade é lento, feito com ventilação natural em galpões com as plantas suspensas por 40 a 60 dias estarem prontas para serem secas, que resultam em fumos com cor acastanhada (ALMEIDA; CANECHIO FILHO, 1973; LORENCETTI *et al.*, 2008; SINDITABACO, 2018).

Os fumos do tipo estufa são conhecidos por suas folhas mais finas e sabor mais suave, tornando-os adequados para a produção de tabaco usado em cigarros. Nesse método, as folhas são colhidas individualmente e secas em estufas com controle rigoroso das condições climáticas para garantir a qualidade do material. No Brasil, as variedades Virgínia e Amarelinho estão incluídas nesse grupo. As plantas de tipo galpão, compreendo as variedades varietais Burley, Comum, Dark e Maryland, são colhidas inteiras e secas em galpões. E por fim, os de tipo oriental, têm tamanho mais reduzido. No entanto, o forte aroma se destaca entre as demais, além de possuírem baixos teores de nicotina. Nele estão compreendidas as variedades Izmir, Basma e Gavurkoy (MASSOLA JÚNIOR *et al.*, 2005).

O manejo das plantas se diferem de acordo com cada variedade e essa tipificação é baseada na finalidade de uso e método de secagem aplicado, sendo que esse processo confere os atributos aromáticos e químicos do produto final.

Visto que nesta etapa ocorre a degradação da clorofila e a conversão dos carboidratos em açúcares (COSTA, 2012).

No geral, são exigentes nutricionalmente, sendo necessário a correção da acidez junto a fertilizações. Quanto aos atributos físicos, os solos devem apresentar boa drenagem, profundos e de textura média para leve. É imprescindível a sanidade da área, que deve ser livre de patógenos e pragas, como também de plantas espontâneas, a fim de assegurar a qualidade do tabaco (THOMAS; BREDEMEIER, 2016).

A cultura tem seu ciclo produtivo dividido em cinco etapas distintas: preparo do solo, transplante das mudas, tratamentos culturais e colheita, cura e pré-classificação. Além disso, na produção e controle químico das mudas, as sementes não podem ser diretamente introduzidas no campo (HEEMANN, 2009; MEUCCI *et al.*, 2014).

Visto isso, necessita-se de um plantio anterior em canteiros devidamente sanitizados e fertilizados, com fungicidas, pesticidas, fertilizantes, calcário e carvão, sendo necessários atenção para remoção de possíveis pragas e irrigação a cada dois dias. Outro método utilizado é o método *Float*, em que a semeadura é realizada em bandejas de isopor com substrato. Estas bandejas são colocadas em áreas especialmente preparadas, onde pesticidas e fertilizantes são diluídos em água para a promoção do crescimento das plantas. Os dois métodos necessitam que seja feita uma cobertura com plástico transparente sobre as áreas endereçadas para a produção de mudas (PAULILO, 1987; HEEMANN, 2009). A metodologia do *Float*, além de atestar uma maior segurança na qualidade dos materiais propagados e reduzir custo e tempo de mão de obra, permite também a completa eliminação do uso do gás Brometo de Metila, necessário para esterilização do solo requerida no plantio direto (SOUZA CRUZ, 2010).

A outra etapa é o preparo do solo para o recebimento das mudas, que ocorre, em média, com 60 dias pós semeadura (SOUZA CRUZ, 2010). Com isso, o solo deve ser preparado, com aragem, gradagem, correção, adubação e abertura de sulcos (HEEMANN, 2009). Uma alternativa menos agressiva, seria o plantio direto, o qual permite a manutenção de uma camada de cobertura morta sobre o solo, que possibilita a redução de custo com manutenção da limpeza da área de cultivo, a redução da quantidade de adubo para ser aplicada, proteção

do solo contra erosão e o desenvolvimento do fumo (SOUZA CRUZ, 2010).

No transplântio, no mesmo dia que foram retiradas dos canteiros/bandejas devem ser distribuídas sobre os sulcos espaçadas a 1,20 m entre as fileiras e 0,50 m entre as plantas, seguida pela irrigação. É preferível que esse processo seja feito em dias nublados, com solo úmido e sem ventos para favorecer o pegamento (HEEMANN, 2009).

O passo subsequente são os tratamentos culturais, realizados durante todo o desenvolvimento da cultura, que geralmente dura de 2 a 3 meses após introduzidas no campo (SOUZA CRUZ, 2010). A irrigação, quando necessária visa suprir a demanda hídrica requerida pela variedade sem que haja perda de qualidade e produção. O controle de plantas espontâneas, para reduzir a competição entre a planta de interesse e as infestantes por recursos, além de servirem como hospedeiras de patógenos (FLECK; CANDEMIL, 1995). E a capação, que se refere a retirada do botão floral, para evitar a realocação de nutrientes para produção de flores e subsequentemente de frutos, impedindo o desenvolvimento do produto principal para o fumicultor, que são as folhas (SOUZA CRUZ, 2010).

A época de colheita varia de acordo com o tipo de tabaco cultivado. Normalmente, para variedades de estufa e oriental, a colheita é feita folha a folha, com base no estágio de maturação das folhas. No caso das variedades de galpão, a colheita envolve a planta inteira. As características expressadas pela planta que demonstram que a folha está apta para colheita são o esbranquiçamento do talo, a perda de pilosidade, o destacamento fácil do material foliar do caule e presença de manchas necróticas de coloração pálida (MASSOLA JÚNIOR *et al.*, 2005; SOUZA CRUZ, 2010).

As folhas colhidas são dispostas para estufa, e submetidas ao processo de cura, com a redução drástica de umidade, mudança de coloração e alterações bioquímicas, que conferem sabor e aromas específicos através de controle de umidade e temperatura. As plantas são direcionadas a galpões, submetidas a ventilação natural para que seja realizado a secagem do material (SOUZA CRUZ, 2010; SINDITABACO, 2018).

2.1.5 Melhoramento genético do tabaco

De um modo geral, os programas de melhoramento genético da cultura

do tabaco partilham o objetivo de desenvolver novas cultivares visando fornecer materiais superiores aos disponíveis no mercado para os produtores e empresas voltadas ao processamento do produto. As características alvo de melhoramento do tabaco condizem ao aumento na produtividade, qualidade química e visual foliar, assim como na facilidade nas etapas da colheita e cura. Além de tolerância ou resistência às principais patogenicidades que acometem a cultura, como o complexo de fungos do solo, o Amarelão e resistência a doenças viróticas (*Tobacco mosaic virus* - TMV, *Potato virus Y* - PVY e *Tomato Spotted wilt virus* - TSWV), bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) e causadas por nematóides (*Meloidogyne incognita* e *M. javanica*). Interesse do melhoramento da cultura é a obtenção de cultivares com menores teores de alcalóides, principalmente os associados a ação cancerígena como as nitrosaminas (LEGG; SMEETON, 1999; GAVILANO *et al.*, 2006; DAHAL *et al.*, 2015).

Por ser uma espécie autógama com baixa propensão a polinização cruzada, a *N. tabacum* apresenta um favorecimento na formação de linhagens puras, que serve de indicativo para uma base genética mais estreita (SANTOS, 2002; COSTA, 2012). Nos programas de melhoramento genético, visando a geração de uma maior diversidade genética nos bancos de germoplasma são utilizados processos como os cruzamentos entre as plantas de interesses ou também por métodos provenientes da biotecnologia como a cultura de tecidos e células, para obtenção de mutações somaclonais, hibridação de natureza somática, produção de haplóides e duplo-haplóides (FARIAS, 2007).

A seleção massal foi um dos primeiros métodos a serem utilizados nos programas de melhoramento, e junto a ele é agregada a responsabilidade pelo desenvolvimento das principais variedades de fumo direcionados à fabricação de produtos derivados do tabaco (MATZINGER; WERNSMAN, 1979). Esta metodologia é exclusivamente baseada no fenótipo, em que as características visuais influenciada pelo ambiente são determinantes na decisão de escolha do material vegetal (SILVA, 1981; MELETTI *et al.*, 2005).

2.1.6 Germoplasma do tabaco

O pré-melhoramento desempenha um papel crucial na maximização do potencial dos recursos genéticos, com o objetivo de destacar a importância de preservar e entender os materiais disponíveis para os criadores de culturas de

valor econômico, como o tabaco. As atividades relacionadas ao pré-melhoramento têm como foco a identificação de genes ou características desejáveis presentes no germoplasma, com base em acessos, para posteriormente incorporá-los a outros materiais (conforme indicado por PALMER, 1989; MARSHALL, 1989; NASS; PATERNIANI, 2000). Dessa forma, as ações de pré-melhoramento aumentam a variabilidade genética, de acordo com as necessidades dos programas de melhoramento, abordando questões como resistência a condições climáticas adversas, doenças, pragas, produtividade, entre outras.

Atividades como a coleta, caracterização dos materiais, multiplicação dos acessos, avaliação e preservação no campo estão diretamente associados ao pré-melhoramento. Nessas etapas, são produzidos um conjunto de dados que fornecem aos melhoristas as informações necessárias para aplicação direcionada nos programas (QUEIRÓZ, 1999).

A terminologia pré-melhoramento recebe críticas por parte dos profissionais relacionados ao melhoramento genético. Devido ao fato que as atividades realizadas estão ligadas diretamente aos programas e por mais que haja uma divisão entre o pré, durante e pós-melhoramento, para facilitar na didática, há um sinergismo entre ambas (FARIAS NETO *et al.*, 2008).

A seleção de materiais de *Nicotiana tabacum* no melhoramento genético é realizada por meio de diferentes abordagens e critérios. Uma das estratégias utilizadas é a análise de características morfológicas e agrônômicas dos genótipos.

A caracterização morfoagronômica de genótipos de tabaco tem sido utilizada para identificar a contribuição relativa dos descritores na caracterização dos genótipos. Costa *et al.* (2016) mostraram que a análise de descritores morfoagronômicos permite a caracterização e diferenciação de genótipos de tabaco, auxiliando na seleção de materiais para o melhoramento genético.

Outra abordagem utilizada é a análise genética e molecular. Estudos como o de Sierro *et al.* (2014) têm contribuído para o avanço do conhecimento sobre o genoma do tabaco. A disponibilidade de sequências genômicas fragmentadas do tabaco tem permitido a comparação com genomas de outras espécies, como tomate e batata, auxiliando na identificação de genes de interesse.

Além disso, estudos têm investigado a expressão de genes específicos em diferentes genótipos de tabaco. Por exemplo, Flexas *et al.* (2006) demonstraram que o gene aquaporina NtAQP1 está envolvido na condutância mesofílica ao CO₂ em plantas de tabaco. Essa informação pode ser utilizada no para selecionar genótipos com maior eficiência na utilização do CO₂.

2.1.7 Parametros genéticos

Em um programa de melhoramento genético de uma espécie agrícola, a eficiência é medida com base no conhecimento sobre o controle dos caracteres que estão sendo melhorados (BASSO *et al.*, 2009). Neste contexto, duas tipificações podem ser manejadas pelo pesquisador, as de caráter qualitativo, as quais são governadas por um ou poucos genes, sendo-as classificadas como discretas por possibilitar uma diferenciação entre genótipos. E as de caráter quantitativo, em que se faz necessário múltiplos genes para regulá-las. Neste caso, são segregados conforme as leis de Mendel (BESPALHOK FILHO *et al.*, 2005).

Os caracteres quantitativos são resultado de interações complexas e passíveis de alteração na expressão fenotípica por influência do ambiente (FALCONER; MACKAY, 1996). Sendo dificilmente distinguidos dentro de uma população, por haver uma distribuição contínua entre seus fenótipos (BESPALHOK FILHO *et al.*, 2005).

Estimativas de coeficiente de variação genética e ambiental, herdabilidade, coeficiente de variação relativa e ganho de seleção são importantes parâmetros genéticos relacionados a expressão fenotípica de uma dada população, os quais auxiliam a medir a eficiência do método utilizado no programa de melhoramento (ROSSMANN, 2001).

O coeficiente de variação genotípica é uma medida que indica a variabilidade de características em uma população devido à influência dos genes. Sendo fundamental no programa de melhoramento genético, pois adquire uma divergência mais ampla desde que o melhorista potencialize seleção para melhorar as características de interesse (MOROJELE, LEKOTA, MOTAKE, 2021). Quanto maior o valor deste, maior a influência genética na variação da característica, neste contexto ajuda a identificar a contribuição genética para a

variação de características desejadas.

O Coeficiente de variação ambiental é uma medida que representa a proporção da variabilidade de uma característica em uma população devido às influências do ambiente. Quanto maior o valor, maior a influência do ambiente na variação da característica. Isso é relevante para entender como as condições ambientais afetam a expressão de características em uma população (RUFINO *et al.*, 2010).

O Ganho de Seleção é uma medida que avalia o progresso do melhoramento genético em uma população ao longo das gerações, sendo a representação da diferença entre o valor médio da característica desejada na população inicial e o valor médio após a seleção (CARNEIRO JUNIOR, 2009). Um ganho positivo indica que a população está progredindo na direção desejada em termos de características específicas.

Para os melhoristas é de grande importância a estimativa da herdabilidade (h^2), uma vez que há possibilidade de prever a chance de sucesso com a seleção, sendo que representa a proporção da variação fenotípica que pode ser herdada (RAMALHO *et al.*, 2012). A herdabilidade pressupõe o comportamento e a atuação dos genes ao longo das gerações, contribuindo para seleção apropriada (AHMED, 2017). Permitindo uma compreensão mais precisa das influências genéticas e ambientais sobre características específicas e auxiliando na tomada de decisões em programas de melhoramento genético.

A herdabilidade é representada pelo símbolo h^2 e pode ser subdividida em dois conceitos: herdabilidade no sentido amplo e herdabilidade no sentido restrito. No sentido amplo, a herdabilidade pode ser calculada como a variância genotípica dividida pela variância fenotípica. Em um contexto restrito, é a razão entre a variância genética aditiva, que é a parte da variação genética transmitida para a próxima geração, e a variância fenotípica. A principal diferença entre esses dois conceitos reside no numerador da fração (de acordo com ALLARD, 1971; FALCONER; MACKAY, 1996; SEBBENN *et al.*, 2008; RAMALHO, 2012).

REFERÊNCIAS

AFUBRA, Associação dos Fumicultores do Brasil. Fumicultura no Brasil.

AFUBRA. 2020. Disponível em: <https://afubra.com.br/fumicultura-brasil.html>. Acesso em: 23 Jul. 2022.

AFUBRA, Associação dos Fumicultores do Brasil. Fumicultura no Brasil. **AFUBRA.** 2021. Disponível em: <https://afubra.com.br/fumicultura-brasil.html>. Acesso em: 27 Jul. 2022.

AHMED, S.; MOHAMMAD, F. Estimativas de Herdabilidade e Análise de Correlação para Características de Produção em Tabaco FCV. **Sarhad Journal of Agriculture**, Peshawar. v.33, 2017.

ALLARD, R. W. **Princípios de melhoramento genético das plantas.** São Paulo: Edgard Blücher, 1971. 381p.

ALMEIDA, T.C.; CANECHIO FILHO, V.A. Cultura do fumo e sua manufatura em corda. *In*: CANECHIO FILHO, V.; ALMEIDA, T.C. (Ed.). **Principais culturas.** Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. v. 2. p. 28-64.

BASSO, K.C.; RESENDE, R.M.S.; VALLE, C.B.; GONÇALVES, M.C.; LEMPP, B. Avaliação de acessos de *Brachiaria brizantha* Stapf e estimativas de parâmetros genéticos para caracteres agrônômicos. **Acta Scientiarum – Agronomy**, Maringá. v. 31, p.17-22, 2009.

BESPALHOK FILHO, J.C.; GUERRA, R.A.; OLIVEIRA, E.P. **Noções de genética quantitativa.** cap.5, 2005. Disponível em: <http://www.bespa.agrarias.ufpr.br/paginas/livro/capitulo%205.pdf>. Acesso em: 23 Jul. 2022.

BINDLER, G.; HOEVEN, R.V.; GUNDUZ, I.; PLIESKE, J.; GANAL, M.; ROSSI, L.; GADANI, F.; DONINI, P. A microsatellite marker based linkage map of tobacco. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlim. v. 114, n. 02, p. 341-349, 2007.

BOIEIRO, M. Tabaco. **Instituto Hipocrates**, 2008. Disponível em: <http://www.institutohipocrates.pt/index.php/medicinas-nao-convencionais/fitoterapia/192-tabaco.html>. Acesso em: 30 Jul. 2022.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas.** 8 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2021.

BRASIL, Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **ComexVis.** Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vix>. Acesso em: 23 Jul. 2022.

BUAINAIN, A.M.; SOUZA FILHO, H.M. de; SERIGATI, F.C.; CALIXTO, L.L. **Organização e funcionamento do mercado de tabaco no Sul do Brasil.** Campinas: Editora Unicamp. 2009.

CARNEIRO JUNIOR, J. M. Melhoramento genético animal. *In*: GONCALVES, R. C.; DE OLIVEIRA, L. C. **Embrapa Acre: ciência e tecnologia para o**

desenvolvimento sustentável do Sudoeste da Amazônia. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, Cap 11, p.197-208, 2009.

CLARKSON, J. J.; LIM, K. Y.; KOVARIK, A.; CHASE, M. W.; KNAPP, S.; LEITCH, A. R. Long-term genome diploidization in allopolyploid *Nicotiana* section *Repandae* (Solanaceae). **New phytologist**, New Jersey, v. 168, n. 1, p. 241-252, 2005

COSTA, T.P.P. **Caracterização morfoagronômica de genótipos de tabaco na região do Recôncavo da Bahia.** Dissertação (Mestrado em em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 55p., 2012.

COSTA, T. P. P.; MOREIRA, R. F. C.; LEDO, C. A. da S.; SANTOS, C. C. dos; SILVA, M. D. S. da. Contribuição relativa dos descritores morfoagronômicos na caracterização de genótipos de tabaco. **Agrotropica**, Brasília, v. 28, n. 2, p. 201-206, 2016.

DAHAL, K.; MARTYN, G.D.; VANLERBERGHE, G.C. Improved photosynthetic performance during severe drought in *Nicotiana tabacum* overexpressing a nonenergy conserving respiratory electron sink. **New Phytologist**, Lancaster. v.208, n.2, p.382-95, 2015.

DUTRA, E.J. da S. A produção de fumo em perspectiva: **A tipologia dos produtores de fumo no município de Canguçu, Rio Grande do Sul, Brasil.** Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 168p., 2015.

FAO, Food and Agriculture Organization. Commodity Balances (non-food). **FAOSTAT**. 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/CB> 2020. Acesso em: 23 Jul. 2022.

FAO, Food and Agriculture Organization. Crops and livestock products. **FAOSTAT**. 2013. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/CB/visualize> 2013. Acesso em: 23 Jul. 2022.

FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics.** London: 846 Longman Scientific and Technical, 1996, 464p.

FARIAS, G.J. **Melhoramento Genético do Fumo (*Nicotiana tabacum* L.).** Resumo–Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, Seminários em Genética e Melhoramento de Plantas, USP, São Paulo, 2007.

FARIAS NETO, A.L. de; RIBEIRO JÚNIOR, W.Q.; FALEIRO, F.G. A Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas – Regional DF. *In*: FALEIRO, F.G.; FARIAS NETO, A.L. de; RIBEIRO JÚNIOR, W.Q. **Pré-melhoramento, melhoramento e pós-melhoramento: estratégias e desafios.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008.

FERNANDEZ, S.M. **Da diversificação à especialização: origem e evolução dos sistemas produtivos de tabaco em Sobradinho/RS**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) -Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 139p., 2010.

FLECK, N.G.; CANDEMIL, C.R.G. Interferência de plantas daninhas na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n.1, p.27-32, 1995.

FLEXAS, J.; RIBAS-CARBÓ, M.; HANSON, D. T.; BOTA, J.; OTTO, B.; CIFRE, J.; KALDENHOFF, R. Tobacco aquaporin NtAQP1 is involved in mesophyll conductance to CO₂ in vivo. **The Plant Journal**, London, v. 48, n. 3, p. 427-439, 2006.

FONSECA, B.M. **Determinação de marcadores de exposição ao tabaco em amostras de fluido oral de indivíduos não fumadores**. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Universidade da Beira Interior. Covilhã, 96f., 2011.

GAVILANO, L.B.; COLEMAN, N.P.; BURNLEY, L.E.; BOWMAN, M.L.; KALENGAMALIRO, N.E.; HAYES, A.; BUSH, L.; SIMINSZKY, B. Engenharia genética de *Nicotiana tabacum* para redução do teor de nicotina. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington. v. 54, n. 24, pág. 9071-9078, 2006.

GATELY, I. **Tobacco: a cultural history of how an exotic plant seduced civilization**. New York: Grove Press. 2001.

GOODSPEED, T.H. **The genus Nicotiana**. Waltham: Chronica Botanica. v. 16, 1954.

HEEMANN, F. **O cultivo do fumo e condições de saúde e segurança dos trabalhadores rurais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 171p., 2009.

HIRSCH, A.; LANDAU, E.C. Evolução da Produção de Fumo (*Nicotiana tabacum*, Solanaceae). In: LADAU, E.C.; SILVA, G.A. da; MOURA, L.; HIRSCH, A.; GUIMARÃES, D.P. **Dinâmica da Produção Agropecuária e da Paisagem Natural no Brasil nas Últimas Décadas**. Brasília: Embrapa, 2020, v.3, p. 801-836.

HUNZIKER, A.X. **Genera Solanacearum: The genera of Solanaceae. Illustrated, Arranged According to a New System**. Ruggell: Gantner, 2001.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. PAM - Produção Agrícola Municipal. **IBGE**. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=destaques>. Acesso em: 23 Jul. 2022.

KENTON, A.; PAROKONNY, A. S.; GLEBA, Y. Y.; BENNETT, M. D. Characterization of the *Nicotiana tabacum* L. genome by molecular cytogenetics. **Molecular and General Genetics MGG**, London, v. 240, p. 159-169, 1993.

LEGG, P.D.; COLLINS, G.B. Inheritance of a short-internode trait in tobacco. **Canadian Journal of Genetics and Cytology**, Ottawa, v. 24, p. 653-659, 1982.

LEGG, P.D.; SMEETON, B.W. Breeding and genetics. *In*: DAVIS, D.L.; NIELSEN, M. (Ed.). **Tobacco, Production, Chemistry and Technology**. Colorado: Wiley-Blackwell, 1999.

LIM, K. Y.; MATYÁŠEK, R.; LICHTENSTEIN, C. P.; LEITCH, A. Molecular cytogenetic analyses and phylogenetic studies in the *Nicotiana* section *Tomentosae*. **Chromosoma**, London, v. 109, n. 4, p. 245-258, 2000.

LOPES, C. A. **Condicionamento fisiológico e conservação de sementes de tabaco**. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, 141p., 2009.

LORENCETTI, C.; MALLMANN, I.L.; SANTOS, M. Fumo. *In*: BARBIERI, R.L.; STUMPF, E.R.T. (Ed.). **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 379-401.

MAIA, L.C. **Desenvolvimento de ferramenta e análise in silico da ocorrência de microssatélites (simple sequence repeat) no genoma do arroz**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 120 p. 2007.

MARGARIDO, A. **As surpresas da flora no tempo dos descobrimentos**. Lisboa: Elo. 1994.

MARSHALL, D.R. Limitations to the use of germplasm collections. *In*: BROWN, A.D.H.; MARSHALL, D.R.; WILLIAMS, J.T. **The use of plant genetic resources**, Cambridge: Cambridge University Press, 1989. p. 105-120.

MASSOLA JÚNIOR, N.S.; PULCINELLI, C.E.; JESUS JÚNIOR., W.C.; GODOY, C.V. Doenças do fumo. *In*: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. (Ed.). **Manual de Fitopatologia: doenças de plantas cultivadas**. São Paulo: Ceres, 2005. v.2, p.361-371.

MATZINGER, D.F.; WERNSMAN, E.A. Melhoramento populacional em culturas autopolinizadas. *In*: Conferência Mundial de Pesquisa em Soja, 2., **Anais [...]**, 2019. p. 191-199.

MELETTI, L.M.M.; SOARES-SCOTT, M.D.; BERNACCI, L.C.; PASSOS, I.D.S. Melhoramento genético do maracujá: passado e futuro. *In*: FALEIRO, F.G.; JUNQUEIRA, N.T.V.; BRAGAS, M.F. **Maracujá: germoplasma e melhoramento genético**. Planaltina: Embrapa, 2005. p.55-75.

MOROJELE, M.E.; LEKOTA, M.P.; MOTAKE, M.S. Morphological

characterization and estimation of genetic parameters in soya-bean (*Glycine Max* (L.) Merr.) cultivars grown in Lesotho. **European Journal of Agriculture and Forestry Research**. V.9, N.3, p. 1-12, 2021.

MEUCCI, R. D.; FASSA, A. G.; FARIA, N. M. X.; FIORI, N. S.; MIRANDA, V. I.; RESENDE, D. Limitação no trabalho por dor lombar em fumicultores do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, São Paulo, v. 39, p. 06-16, 2014.

NARDI, J. B. **O fumo brasileiro no período colonial**. São Paulo: Brasiliense, 1996.

NASS, L.L.; PATERNIANI, E. Pre-breeding: a link between genetic resources and maize breeding. **Scientia Agricola**, Piracicaba v.57, p.581-587, 2000.

PALMER, R.G. Germplasm collections and the experimental biologist. *In*: BROWN, A.H.D.; MARSHALL, D.R.; FRANKEL, O.H.; WILLIAMS, J.T. (ed.). **The use of plant genetic resources**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. p. 32-45.

PAULILO, M.I.S. O peso do trabalho leve. **Revista Ciência Hoje**. Florianópolis. n.28, 1987.

QUEIROZ, M. A. de. Os recursos genéticos vegetais e os melhoristas de plantas. *In*: QUEIROZ, M.A. de; GOEDERT, C.O.; RAMOS, S.R.R. (ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 17 p.

RESENDE, M. D. V. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, Viçosa, v. 16, n. 4, p. 330-339, dez. 2016.

RUFINO, E. R.; SIQUEIRA, W. J.; MARQUES, M. O. M.; COLOMBO, C. A.; CHIORATO, A. F.; AZEVEDO FILHO, J. A.; MARTINS, A. L. M. Estimativas de parâmetros genéticos de caracteres relacionados ao vigor de estacas em *Lippia alba*. **Bragantia**, Bragança, v. 69, p. 779-786, 2010.

SANTOS, M. **Caracterização fenotípica e molecular de genótipos de fumo no Sul do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.122p., 2002.

SEBBENN, A. M.; BÔAS, O. V.; MAX, J. C. M. Variação genética, herdabilidades e ganhos na seleção para caracteres de crescimento em teste de progênies de *Pinus caribaea* var. bahamensis aos 20 anos de idade em Assis-SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo. v. 20, n. 2, p. 103-115, 2008.

SEFFRIN, G. **O fumo no Brasil e no mundo**. Santa Cruz do Sul: AFUBRA, 1995.

SIERRO, N.; BATTEY, J. N.; OUADI, S.; BAKAHER, N.; BOVET, L.; WILLIG, A.; IVANOV, N. V. The tobacco genome sequence and its comparison with those of tomato and potato. **Nature communications**, London, v. 5, n. 1, p. 3833, 2014.

SILVA, J. F. **Melhoramento de plantas - seleção massal**. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1981. 5p.

SILVEIRA, R.L.L.D.; DORNELLES, M. Mercado mundial de tabaco, concentração de capital e organização espacial: Notas introdutórias para uma geografia do tabaco. **Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**, Barcelona. v. 10, 2010.

SINDITABACO, Sindicato Interestadual da Indústria do Tabaco. Origem do Tabaco. **SindiTabaco**, 2019. Disponível em: <https://www.sinditabaco.com.br/sobre-o-setor/origem-do-tabaco/>. Acesso em: 26 Jul. 2022.

SINDITABACO, Sindicato Interestadual da Indústria do Tabaco. Tipos de tabaco, classificação do tabaco e estatísticas. **SindiTabaco**, 2018. Disponível em: <http://www.sinditabaco.com.br>. Acesso em: 8 Jul. 2022.

SOUZA CRUZ. Plantio - **Fases da plantação de fumo**. Souza Cruz, 2010. Disponível em: <http://www.souzacruz.com.br/group/sites/SOU7UVF24.nsf/vwPagesWebLive/D07V9K LC?opendocument&SKN=1>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; PINTO, C.A.B.P.; SOUZA, E.A.; GONCALVES, F.M.A.; SOUZA, J.C. **Genética na Agropecuária**. Lavras – MG, 2012. Disponível em: https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/agricultura_geral/livros/GENETICA%20NA%20AGROPECUARIA.pdf. Acesso em: 21 setembro. 2022.

ROSSMANN, H. **Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos de uma pop. de 953 soja avaliada em quatro anos**. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 80p., 2001.

THOMAS, A.L.; BREDEMEIER, C. **Desenvolvimento da planta de fumo**. In: **THOMAS, A.L. (Org.)**. Desenvolvimento das plantas de Batata, Mandioca, Fumo e Cana-de-açúcar. Porto Alegre: UFRGS, 2016 p. 38-53.

VENDRUSCOLO, R. Instituições e críticas na fumicultura do Rio Grande do Sul: mudanças e reafirmações institucionais. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Rural) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 331p., 2017.

VENDRUSCOLO, R.; WAQUIL, P.D. **Mudanças institucionais na fumicultura do Rio Grande do Sul-Brasil**: análise da trajetória de vida das famílias

produtoras. Instituições, regras e hábitos: proposições teóricas e aplicadas para estudos rurais. Curitiba: Editora CRV, 2020, p.153-179.

VIGNOLI-SILVA, M. **Os gêneros *Nicotiana* L., *Bouquetia* Dunal e *Nierembergia* Ruiz & Pav. (Solanaceae) no Rio Grande do Sul, Brasil.** Dissertação (Mestrado em Botânica) - Instituto de Biociências Departamento de Botânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 151p., 2004.

VOGT, O. P. **A produção de fumo em Santa Cruz do Sul, RS (1849-1993).** Dissertação (Mestrado em História do Brasil). Setor de Ciências Humanas, Letras e Artes. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 256p., 1994.

CAPÍTULO I

UM PANORAMA DO MELHORAMENTO GENÉTICO DO TABACO

UM PANORAMA DO MELHORAMENTO GENÉTICO DO TABACO

RESUMO: A cultura do tabaco é vital na economia global e é objeto de esforços de melhoramento genético para aprimorar suas características. O melhoramento abrange técnicas tradicionais e modernas, incluindo a transformação genética e a seleção assistida por marcadores genéticos, contribuindo para aumentar a rentabilidade dos agricultores e a competitividade da indústria do tabaco. O objetivo principal deste estudo é identificar, quantificar e contextualizar pesquisas relacionadas ao melhoramento genético do tabaco, com foco em resistência e produtividade. Realizou-se uma revisão sistemática utilizando o software StArt e selecionaram-se bases de dados renomadas: PubMed, Scopus, Scielo e Web of Science. Utilizou-se a string de pesquisa "*Nicotiana tabacum*" e "melhoramento genético" ou "genética" para encontrar artigos publicados de 2019 a 2023. Estabeleceram-se critérios de inclusão, como publicações em periódicos revisados por pares em inglês e relevância para o melhoramento genético do *N. tabacum*. Excluíram-se teses, dissertações, manuais, relatórios, revisões e duplicatas. Durante o período avaliado, a análise de pesquisa identificou 97 artigos relevantes sobre o tabaco. Após a seleção, 41 artigos foram incluídos, sendo a maioria dos estudos se concentrou na Ásia, especialmente na China, e abordou diversas áreas, incluindo melhoramento genético para tolerância ao estresse, engenharia genética e edição de genes, estudos de genes e expressão gênica, resposta a doenças e resistência, bem como fisiologia e metabolismo vegetal. As pesquisas enfocaram temas como a otimização de variedades de tabaco resistentes a estresses ambientais, melhorias na resposta a infecções virais, engenharia genética para aumentar a resistência e estratégias para aprimorar o metabolismo vegetal. No geral, essas pesquisas refletem os avanços contínuos no melhoramento genético de *Nicotiana tabacum* e a crescente aplicação de técnicas de engenharia genética e edição de genes para melhorar a produção de tabaco e sua resistência a desafios ambientais.

PALAVRAS CHAVE: *Nicotiana Tabacum*; Produtividade; Resistência; Edição gênica.

AN OVERVIEW OF TOBACCO GENETIC IMPROVEMENT

ABSTRACT: The culture of tobacco is vital in the global economy and is the subject of genetic improvement efforts to enhance its characteristics. Improvement encompasses both traditional and modern techniques, including genetic transformation and marker-assisted selection, contributing to increasing farmers' profitability and the competitiveness of the tobacco industry. The main objective of this study is to identify, quantify, and contextualize research related to the genetic improvement of tobacco, with a focus on resistance and productivity. A systematic review was conducted using the StArt software, and renowned databases were selected: PubMed, Scopus, Scielo, and Web of Science. The search string "*Nicotiana tabacum*" and "genetic improvement" or "genetics" was used to find articles published from 2019 to 2023. Inclusion criteria were established, such as peer-reviewed journal publications in English and relevance to the genetic improvement of *N. tabacum*. Theses, dissertations, manuals, reports, reviews, and duplicates were excluded. During the assessed period, the research analysis identified 97 relevant articles on tobacco. After selection, 41 articles were included, with the majority of studies focusing on Asia, especially China, and covering various areas, including genetic improvement for stress tolerance, genetic engineering and gene editing, gene studies and gene expression, disease response and resistance, as well as plant physiology and metabolism. The research emphasized topics such as optimizing tobacco varieties for environmental stress resistance, improving viral infection response, genetic engineering to enhance resistance, and strategies to enhance plant metabolism. Overall, these studies reflect ongoing advancements in the genetic improvement of *Nicotiana tabacum* and the increasing application of genetic engineering and gene editing techniques to enhance tobacco production and its resistance to environmental challenges.

Keywords: *Nicotiana Tabacum*; Productivity; Resistance; Gene Editing.

1 INTRODUÇÃO

A cultura do tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) desempenha um papel significativo na economia global, sendo uma das principais culturas agrícolas em diversos países (FAO, 2021). Dada a sua importância é objeto de intensos esforços de melhoramento genético com o objetivo de aprimorar suas características agrônomicas, produtivas e qualitativas (MAIA, 2007).

Os estudos sobre melhoramento genético são fundamentais para atender às demandas crescentes da indústria do tabaco, proporcionando variedades de plantas com maior produtividade, resistência a doenças e pragas, adaptadas a diferentes regiões, além de características desejáveis no produto final, como aroma, sabor e teor de nicotina (LEGG; SMEETON, 1999; FARIAS, 2007). Essas melhorias contribuem diretamente para o aumento da rentabilidade dos agricultores e a competitividade da indústria do tabaco como um todo.

As técnicas utilizadas no melhoramento genético do *N. tabacum* variam desde métodos tradicionais até abordagens mais avançadas baseadas em biotecnologia. No passado, o melhoramento era realizado principalmente por meio de cruzamentos controlados entre variedades com características desejáveis, seguido de seleção de indivíduos superiores ao longo de várias gerações (OKAMURA; GOLDBERG, 1985; ARAÚJO, 2004; DRAKE *et al.*, 2015; NIKOVA; VLADOVA, 2018; PSCHIEDT *et al.*, 2021). Esse processo tradicional, embora eficaz, é demorado e requer um grande número de plantas (VAN NOCKER; GARDINER, 2014).

Com o avanço da biotecnologia, técnicas mais modernas têm sido aplicadas ao melhoramento genético desta cultura. A manipulação genética direta, por meio da transformação genética, permite a introdução de genes específicos de interesse em variedades comerciais (PIETROBON *et al.*, 2003; BOARETTO *et al.*, 2004; HEFFNER; SORRELLS; JANNINK, 2009; BASTOS *et al.*, 2010; RIBEIRO *et al.*, 2010; AMABILE; VILELA; PEIXOTO, 2018; VOSSFELS; COPPER; HAYES, 2019). Esses genes podem conferir resistência a doenças, tolerância a estresses ambientais, aumento da produtividade ou aprimoramento das características do produto final.

Adicionalmente, a seleção assistida por marcadores genéticos tem sido amplamente utilizada no melhoramento genético do tabaco (GOMES JUNIOR,

2001; RIBEIRO et al., 2010; ROMANO, 2011; JEREISSATI, 2012; BARBOZA, 2016; SCHEFFEL, 2021). Essa abordagem envolve a identificação e uso de marcadores moleculares associados a características desejáveis para auxiliar na seleção de plantas superiores de forma mais rápida e precisa (AMABILE; SOUZA; PEIXOTO, 2018). A análise do DNA permite a detecção precoce de genes de interesse e a seleção de plantas com características desejadas logo no estágio de plântula, acelerando o processo de melhoramento (BERED; BARBOSA NETO; CARVALHO, 1997).

O objetivo principal deste estudo é identificar, quantificar e contextualizar pesquisas relacionadas à temática do melhoramento genético do tabaco. A intenção é contribuir para uma compreensão aprofundada das pesquisas mais recentes que abordam questões de resistência a adversidades, sejam elas de natureza biótica ou abiótica, bem como melhorias na produtividade dentro do campo do melhoramento genético aplicado a essa cultura.

2 METODOLOGIA

A revisão sistemática foi conduzida utilizando o *software* livre StArt (*State of the Art through Systematic Review*) v.3.3 Beta 03, desenvolvido pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Para a busca abrangente de artigos relevantes, as seguintes bases de dados acadêmicas renomadas foram selecionadas: *PubMed*, Scopus, Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Web of Science.

Uma estratégia de busca foi elaborada para identificar artigos relacionados ao melhoramento genético do tabaco. A *string* de pesquisa utilizada foi “*Nicotiana tabacum*” e “genetic improvement” ou “genetic”. A busca foi realizada considerando informações contidas nos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos. A busca foi realizada para identificar estudos publicados no período de 2019 a 2023, com foco na obtenção de documentos mais recentes.

Foram estabelecidos critérios de inclusão e exclusão a fim de assegurar a seleção apropriada de artigos relacionados ao tema. Os critérios de inclusão abarcaram a publicação em periódicos científicos revisados por pares, o uso da língua inglesa e o foco específico no melhoramento genético do *N. tabacum*, considerando técnicas e avanços recentes na área. Foram excluídos trabalhos

como teses, dissertações, manuais, relatórios, revisões e artigos duplicados, bem como aqueles que não contribuíram de forma clara para o tema da revisão, com o objetivo de manter a especificidade.

Os artigos foram selecionados a partir dos resultados da busca, seguindo os critérios de inclusão e exclusão predefinidos. Uma leitura completa foi conduzida para avaliar a relevância dos artigos selecionados e sua adequação à revisão.

Para organizar a análise e a síntese dos estudos selecionados de maneira abrangente e estruturada, optou-se por agrupá-los com base nos temas em que estavam relacionados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Processamento e caracterização dos artigos selecionados

No período definido, de 2019 a 2023, foram inicialmente identificados um total de 97 artigos relevantes na fase de busca. Dentre esses, 54 foram localizados na base de dados Scopus (55,7%), 32 no PubMed (33%) e 11 na Web of Science (11,3%). Contudo, não foram encontrados artigos pertinentes na plataforma Scielo. Durante o processamento da seleção, 20 artigos estavam duplicados e 35 foram rejeitados após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão. Por fim, a avaliação criteriosa resultou na inclusão de 41 artigos que satisfizeram os critérios estabelecidos, abordando diversos aspectos relacionadas ao melhoramento genético do tabaco (Figura 1).

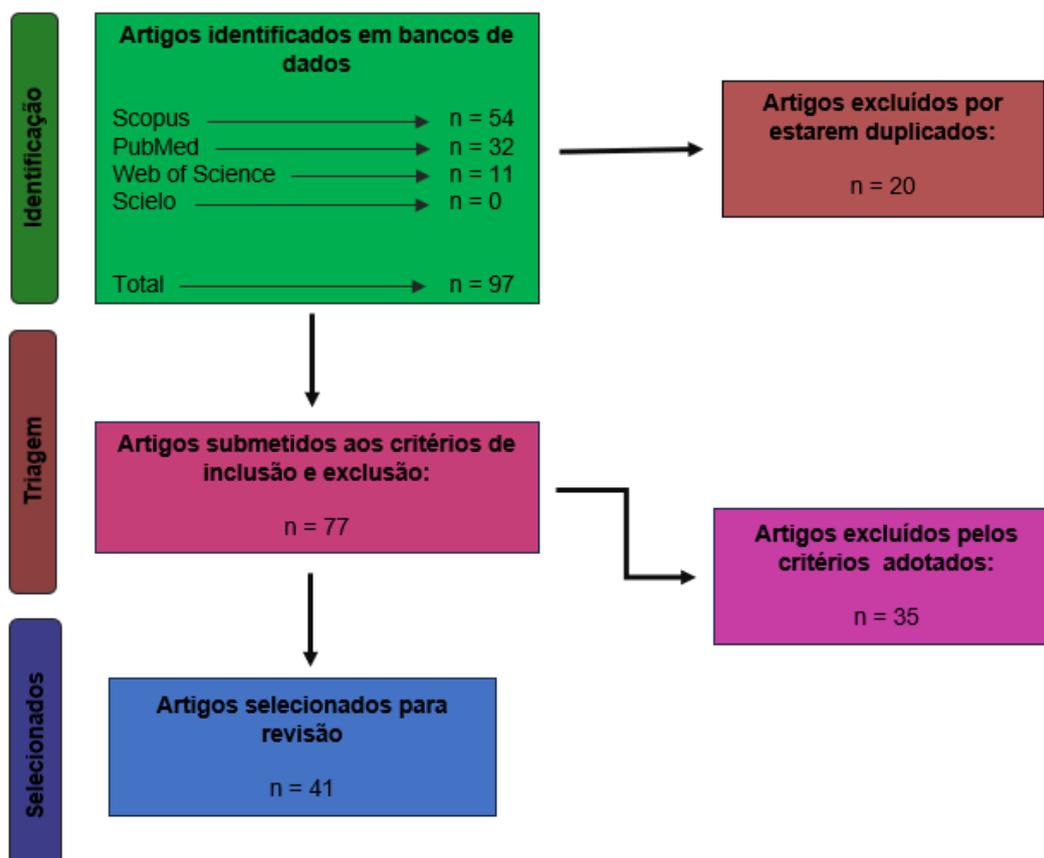


Figura 1. Fluxograma do estudo desenvolvido para realização da revisão sistemática sobre melhoramento genético de *Nicotiana tabacum* L. no período de 2019 a 2023 no programa Start.

A análise dos países de origem dos artigos revela um padrão de concentração significativa na Ásia (73,8%). Entre os artigos examinados, a China se destaca como o principal contribuinte, com um total de 28 artigos. Essa predominância é notável tanto em pesquisas realizadas exclusivamente por equipes chinesas (19 artigos) como em colaborações com outros países (9 artigos), esses números representam aproximadamente 66,7% de todos os estudos considerados (Figura 2).

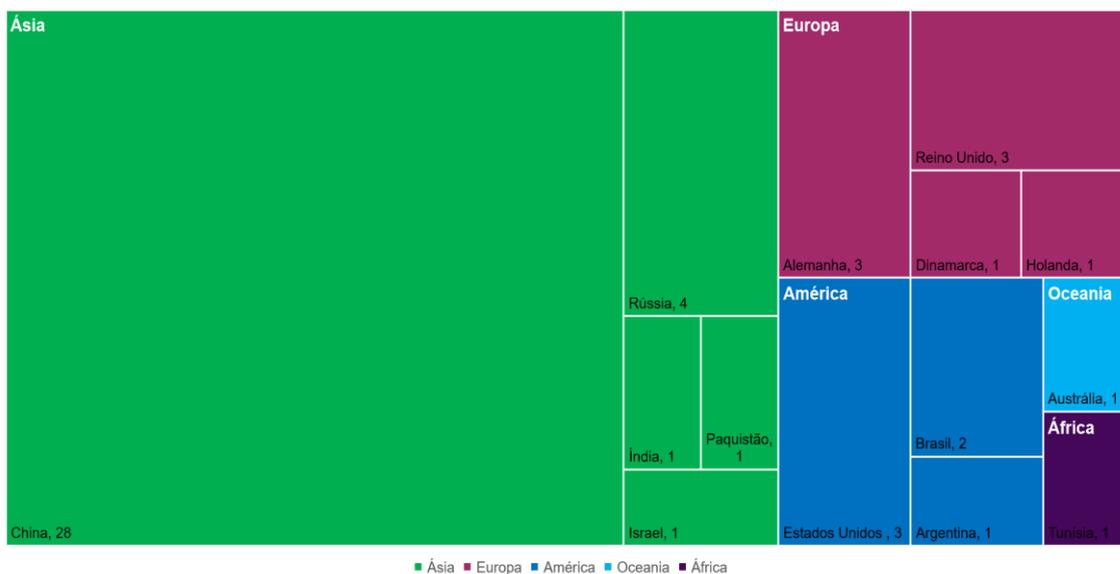


Figura 2. Países produtores de conhecimento sobre melhoramento genético de *Nicotiana tabacum* L. no período de 2019 a 2023, considerando a pesquisa no programa Start.

A análise dos anos de publicação dos artigos revela um aumento progressivo no interesse pelo campo de melhoramento genético associado a tolerância ao estresse e no aumento da produtividade em plantas de tabaco (Figura 3). De 2019 a meados de 2023, observa-se um crescimento constante no número de publicações, com destaque para os anos de 2020 e 2022, que apresentaram maior atividade de pesquisa. Embora 2023 conste apenas cinco artigos até o momento da análise, é possível que esse número aumente ao longo dos anos. Essa distribuição de publicações ao longo do tempo reflete um interesse contínuo e em evolução na área, possivelmente impulsionado por avanços tecnológicos e a necessidade de aprimorar o cultivo de tabaco.

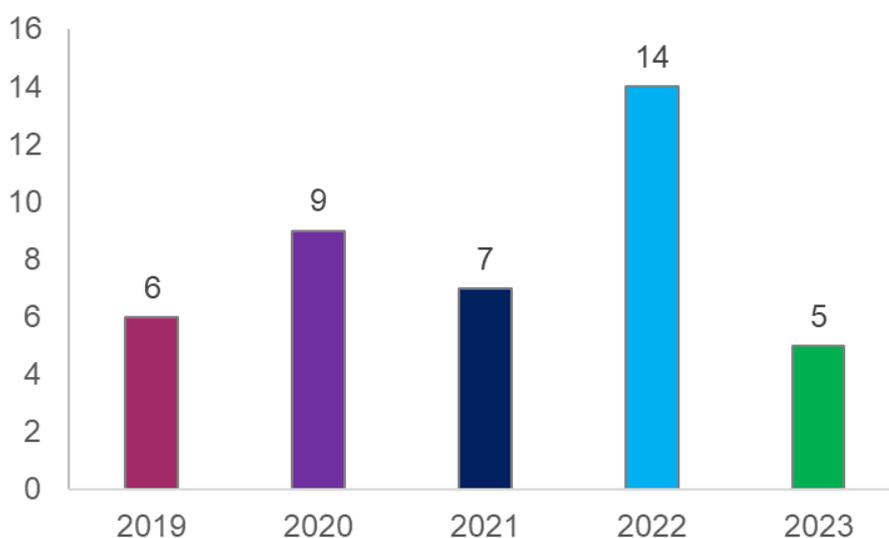


Figura 3. Número de artigos selecionados sobre melhoramento genético de *Nicotiana tabacum* L. no período de 2019 a 2023 selecionados pelo programa Start.

Os termos “*Nicotiana tabacum*” e “Tobacco” foram os mais frequentes entre os artigos selecionados. Além disso, estavam relacionados aos termos “genetics”, “metabolism”, Arabidopsis, “nonhuman”, entre outros (Figura 4).

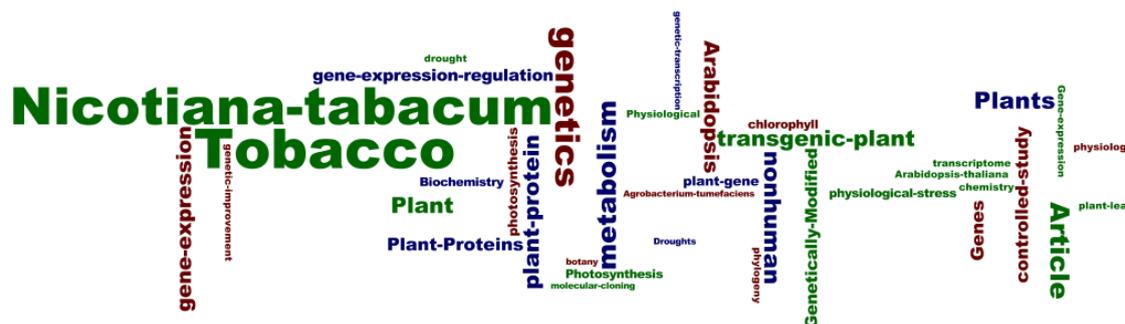


Figura 4. Número de artigos selecionados sobre melhoramento genético de *Nicotiana tabacum* L. no período de 2019 a 2023 selecionados pelo programa Start.

3.2 Melhoramento Genético e Tolerância ao Estresse

Os artigos 1, 2, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 14, 16, 18, 22, 24, 25, 28, 30, 31, 32, 34, 35, 37 e 39 abordam o desenvolvimento de variedades de tabaco mais resistentes a diversos estresses, incluindo metais pesados, ao déficit hídrico e outros fatores ambientais. Tais estudos demonstram a importância de identificar genes que desempenham um papel fundamental na resposta ao estresse e na adaptação das plantas a ambientes limitantes para o desenvolvimento da planta (Tabela 1).

Tabela 1. Artigos agrupados quanto a temática de melhoramento genético e tolerância ao estresse em *Nicotiana tabacum* L.

Identificação	Abordagem central	Autores
1	Seleção assistida por marcadores e melhoramento genético	Li <i>et al.</i> (2022)
2	Manipulação genética para melhoria da tolerância ao estresse	Myat <i>et al.</i> (2022)
5	Regulação da parede celular e contribuição para tolerância ao estresse	Xu <i>et al.</i> (2021)
6	Transcriptoma comparativo e potencial para melhoramento genético	Mo <i>et al.</i> (2022)

8	Resistência a metais pesados e implicações para tolerância ao estresse	Dai <i>et al.</i> (2022)
9	Efeitos de poluentes orgânicos e estratégias de tolerância	Wang <i>et al.</i> (2022)
11	Importância dos genes na evolução de características específicas	Wu <i>et al.</i> (2019)
12	Manejo de pragas através de biossíntese de DMNT	Liu <i>et al.</i> (2021)
14	Regeneração de brotações e expressão gênica	Li <i>et al.</i> (2019)
16	Desenvolvimento de plataforma de fenotipagem para resistência a doenças	Ye <i>et al.</i> (2022)
18	Tolerância ao sal e papel da proteína NTCBL5A	Mao <i>et al.</i> (2021)
22	Potencial dos genes ARGOS para melhoramento genético	Kuluev <i>et al.</i> (2019)
24	Regulação de aquaporinas na tolerância à seca	Xin <i>et al.</i> (2023)
25	Melhoria da tolerância a estresses através de genes envolvidos em metabolismo	Yi <i>et al.</i> (2022)
28	Melhoria do crescimento e tolerância a estresses abióticos	Kuluev, Ermoshin e Mikhaylova (2022)
30	Edição genética para melhoria do genoma em tabaco	Kumar <i>et al.</i> (2022)
31	Tolerância ao cádmio através de edição genômica:	Jia <i>et al.</i> (2022)
32	Identificação de genótipos resistentes a doenças:	Perez-Rodríguez <i>et al.</i> (2021)
34	Classificação de genótipos com base em características morfológicas	Moreno <i>et al.</i> (2020)
35	Recombinação homóloga em genomas mitocondriais	Garcia <i>et al.</i> (2021)
37	Tolerância à salinidade através da expressão de VvSIP	Ben-Amar <i>et al.</i> (2023)
39	Classificação de genótipos com base em características morfológicas	Santos <i>et al.</i> (2023)

No estudo conduzido por Dai *et al.* (2022), a pesquisa se concentra na avaliação da tolerância das plantas de tabaco ao cádmio e outros metais pesados, que são substâncias tóxicas com potencial para afetar o crescimento e a saúde das plantas. Os pesquisadores realizaram a clonagem e caracterização da proteína deidrina NtDhn17, demonstrando o seu papel como agente redutor de aglomeração em situações de excesso de cobre tóxico. Essas descobertas oferecem informações valiosas sobre como as plantas de tabaco podem resistir a estresses associados a metais pesados, o que abre caminhos para estratégias de melhoramento genético destinadas a fortalecer essa resistência e, assim, promover o crescimento saudável e produtivo das culturas.

Por outro lado, Xin *et al.* (2023) exploram a regulação das aquaporinas, proteínas que desempenham um papel fundamental no transporte de água e nutrientes nas plantas, com foco na adaptação à seca. Ao clonar e expressar o gene SiPIP2;4 em tabaco, eles conseguiram aumentar tanto a densidade quanto a sensibilidade estomática, resultando em uma maior tolerância à seca. Esse estudo revela a importância da regulação da resposta hídrica para o desempenho das plantas sob estresse ambiental e destaca a viabilidade de se

criar variedades de tabaco que sejam mais capazes de enfrentar a escassez hídrica, um fator crítico em muitas regiões de cultivo.

Esses estudos exemplificam como os avanços na compreensão dos mecanismos moleculares subjacentes às respostas ao estresse podem ser traduzidos em estratégias concretas de melhoramento genético em plantas de tabaco. Ao manipular e otimizar genes e proteínas envolvidos nas vias de tolerância a estresses específicos, os pesquisadores têm a capacidade de conferir características desejáveis às plantas cultivadas.

Ademais, a pesquisa conduzida por Kuluev *et al.* (2019) enfatiza o notável potencial dos genes ARGOS como alvo para aprimorar tanto a produtividade quanto a capacidade das plantas de tabaco lidarem com condições de estresse. Através de sua expressão, esses genes têm o papel crucial de regular o crescimento e as respostas ao estresse nas plantas. Ao investigar o papel desses genes, foi evidenciado a relevância de alvos específicos na busca por melhorias agronômicas, abrindo caminho para futuras estratégias de manipulação genética direcionadas.

Tais estudos exemplificam de maneira contundente como a manipulação genética pode ser uma ferramenta altamente eficaz para criar variedades de tabaco que sejam mais robustas em face das adversidades ambientais. Enquanto o estudo de Kuluev *et al.* (2019) ressalta a importância de genes reguladores específicos, o trabalho de Kumar *et al.* (2022) demonstra a capacidade de aprimorar o próprio processo de edição genômica para maximizar os benefícios na tolerância ao estresse. Ao compreender e otimizar os mecanismos subjacentes à resistência ao estresse, essas pesquisas contribuem para o desenvolvimento de variedades de tabaco que não só atendam às demandas da produção, mas também enfrentem os desafios climáticos em constante evolução.

3.3 Engenharia Genética e Edição de Genes

A engenharia genética e a edição de genes têm se tornado ferramentas fundamentais na busca por desenvolver plantas mais resistentes e adaptadas a condições de estresse, visando melhorar a produtividade agrícola e a qualidade dos cultivos. Os artigos selecionados fornecem uma visão abrangente de como

essas abordagens têm sido aplicadas de maneira inovadora e eficaz no contexto do melhoramento genético de plantas de tabaco (Tabela 2).

Tabela 2. Artigos agrupados quanto a temática de engenharia genética e edição de genes.

Identificação	Abordagem central	Autores
10	Engenharia de um Rubisco mais eficiente em plantas de tabaco	Chen <i>et al.</i> (2023)
26	Engenharia genética da síntese de glicina betaína (GB) e respostas das plantas ao estresse oxidativo	Shirokikh <i>et al.</i> (2021)
29	Estudo do gene HpPGIP na recalcitrância à transformação mediada por <i>Agrobacterium</i>	Xu <i>et al.</i> (2021)
36	Melhorar eficiência de edição genética usando CRISPR/Cas em tabaco	Hou <i>et al.</i> (2021)
38	Comparação de promotores sintéticos para expressão eficaz de transgenes	Efremova <i>et al.</i> (2020)
40	Edição de Genes, Cruzamentos, Análise de Proteínas	Ma <i>et al.</i> (2020)

No artigo 10, de Chen *et al.* (2023), a engenharia genética foi empregada para otimizar a eficiência fotossintética por meio da modificação do gene que codifica a enzima Rubisco. Ao tornar o Rubisco mais eficiente, houve um aumento na taxa de carboxilação e, conseqüentemente, no crescimento autotrófico das plantas de tabaco. Essa abordagem destaca como a manipulação genética pode direcionar a atividade enzimática fundamental para melhorar o desempenho da fotossíntese.

O estudo Shirokikh *et al.* (2021), também foi aplicado a engenharia genética para melhorar a resposta das plantas ao estresse oxidativo. A introdução do gene *codA* de *Arthrobacter gloiformis* levou à síntese de glicina betaína, que contribuiu para a resistência das plantas ao estresse oxidativo. Esse resultado ressalta como ela pode modular as respostas das plantas a fatores ambientais estressantes, aumentando sua capacidade de enfrentar desafios.

Outro exemplo é o estudo de Hou *et al.* (2021), que demonstrou a aplicação de técnicas de edição genética de precisão em tabaco. A utilização das nucleases CRISPR/Cas9 e *ttLbCas12a* permitiu a modificação específica de genes, resultando em maior eficiência de recombinação homóloga. Essa abordagem tem implicações significativas para a produção de medicamentos e metabólitos valiosos nas plantas de tabaco.

Além disso, Efremova *et al.* (2020) investigaram promotores sintéticos para melhorar a expressão de genes introduzidos nas plantas. A análise comparativa desses promotores demonstrou que a engenharia genética pode

ser empregada para direcionar a expressão de genes de interesse de maneira precisa e coordenada, ampliando as aplicações da engenharia genética no tabaco.

No artigo 40, Ma *et al.* (2020), destacam como a edição de genes pode ser utilizada para superar barreiras na hibridização entre espécies de tabaco. A inativação do gene Nt6549g30 (NtHL1) reverteu a letalidade híbrida em cruzamentos de diferentes espécies, visto que esse gene inviabiliza o cruzamento. Esse estudo ressalta o potencial da edição genética para expandir o pool genético disponível para o cultivo, permitindo a introdução de características desejáveis em variedades comerciais.

Por sua vez, o estudo de Kumar *et al.* (2022) destaca a otimização da edição gênica como uma abordagem estratégica para melhorar a tolerância ao estresse nas plantas de tabaco. Com o objetivo de superar os desafios associados à complexidade genômica do tabaco, os pesquisadores exploram diferentes configurações de T-DNA, promotores UBIQUITIN10 e complexos tRNA-gRNA. Ao fazer isso, eles alcançam um notável aumento na eficiência da edição genômica, abrindo caminho para a criação de linhagens de tabaco mais resistentes a condições de estresse ambiental.

Em conjunto, esses artigos evidenciam a importância da engenharia genética e da edição de genes como ferramentas poderosas para melhorar a produtividade, resistência ao estresse e qualidade das plantas de tabaco.

3.4 Estudos de Genes e Expressão Gênica

Os artigos selecionados revelaram um conjunto diversificado de pesquisas direcionadas aos estudos de genes e expressão gênica no contexto do melhoramento genético de tabaco. Esses estudos têm como objetivo investigar os mecanismos moleculares subjacentes à regulação genética, identificando genes com potencial impacto nas características desejáveis das plantas de tabaco (Tabela 3).

Tabela 3. Artigos agrupados quanto a temática de estudos de genes e expressão gênica.

Identificação	Abordagem central	Autores
5	Regulação da Parede Celular em Tabaco	Xu <i>et al.</i> (2021)
6	Heterose no Conteúdo de Potássio	Mo <i>et al.</i> (2022)

13	Caracterização de fatores de transcrição NtAP2/ERF	Gao <i>et al.</i> (2020)
15	Clonagem e caracterização do gene PIF1 em tabaco	Liu <i>et al.</i> (2023)
17	Investigação de clusters regulatórios de AP2/ERF	Paul <i>et al.</i> (2020)
20	Mecanismos genéticos da floração precoce induzida pelo frio	Xu <i>et al.</i> (2022)
21	Efeitos da aplicação de biochar no desenvolvimento do tabaco	Yan <i>et al.</i> (2019)
22	Papel dos genes ARGOS na produtividade e tolerância ao estresse	Kuluev <i>et al.</i> (2019)
23	Desenvolvimento de composto antiviral contra TMV	Lv <i>et al.</i> (2020)
24	Papel das aquaporinas na regulação do crescimento, desenvolvimento e adaptação ao estresse hídrico	Xin <i>et al.</i> (2023)
27	Transferência de gene transportador de fosfato para melhorar tolerância ao estresse de baixo fósforo	Rodrigues <i>et al.</i> (2022)
30	Otimização da edição de genes em tabaco	Kumar <i>et al.</i> (2022)
32	Caracterização molecular de genótipos de tabaco resistentes a doenças	Pérez-Rodríguez <i>et al.</i> (2021)
33	Melhoramento de tabaco usando cultura de anteras e tratamento com colchicina	Lu <i>et al.</i> (2020)
35	Elucidando padrões genômicos e eventos de recombinação em mitocôndrias de plantas híbridas	Garcia <i>et al.</i> (2019)
37	Superexpressão de VvSIP para melhorar tolerância à salinidade em tabaco	Ben-Amar <i>et al.</i> (2023)
40	Identificação e edição de um gene de letalidade híbrida em tabaco	Ma <i>et al.</i> (2020)
41	Construção de mapa genético de alta densidade e mapeamento de QTL relacionados à resistência ao vírus do mosaico do pepino em tabaco	Cheng <i>et al.</i> (2019)

O trabalho de Xu *et al.* (2021), identificaram e caracterizaram genes NAC envolvidos na regulação da parede celular em tabaco, por meio da análise de expressão gênica, classificando genes específicos e assim compreendendo seus papéis nos ramos das plantas. Esses achados contribuíram para o entendimento molecular da regulação da parede celular e potencialmente informarão estratégias de melhoramento genético para aprimorar a resistência estrutural do tabaco.

Outro estudo relevante é o de Gao *et al.* (2020), que caracterizaram fatores de transcrição NtAP2/ERF em tabaco sob estresse hídrico. Utilizando análises filogenéticas e de expressão global, em que se identificou fatores de transcrição que desempenham um papel fundamental na resposta das plantas ao estresse hídrico. Essas descobertas oferecem insights valiosos para o desenvolvimento de variedades de tabaco mais tolerantes à seca, atendendo às demandas crescentes por culturas resistentes a condições climáticas adversas.

Além disso, estudos como o de Liu *et al.* (2023) clonaram e caracterizaram o gene PIF1 em tabaco, demonstrando seu papel na regulação da tolerância à seca e na biossíntese de carotenoides. Esses tipos de pesquisas são essenciais

para elucidar os mecanismos moleculares subjacentes às respostas das plantas ao estresse ambiental, oferecendo uma base sólida para a engenharia genética direcionada.

Portanto, esses estudos representam apenas uma amostra do amplo espectro de investigações de genes e expressão gênica no melhoramento genético de tabaco.

3.5 Resposta a Doenças e Resistência

Esses estudos exploram diversas estratégias para aprimorar a capacidade das plantas de tabaco de combater infecções virais e responder a estresses bióticos (Tabela 4).

Tabela 4. Artigos agrupados quanto a temática de estudos de resposta a doenças e resistência.

Identificação	Abordagem central	Autores
16	Dinâmica da Infecção Viral	Ye <i>et al.</i> (2022)
23	Desenvolvimento de Compostos Antivirais	Lv <i>et al.</i> (2022)
26	Engenharia Genética e Resposta ao Estresse	Shirokikh <i>et al.</i> (2020)
29	Manipulação Genética da Recalcitrância	Hou <i>et al.</i> (2020)
34	Melhoria da Produção de Carotenoides	Moreno <i>et al.</i> (2020)
36	Edição Genética Eficiente	Huang <i>et al.</i> (2021)

O trabalho de Ye *et al.* (2022), destacaram uma abordagem automatizada de fenotipagem que permite avaliar o processo dinâmico de infecção pelo Vírus do Mosaico do Tabaco (TMV) em folhas de tabaco. Através do monitoramento da fluorescência em folhas infectadas, os pesquisadores investigaram a dinâmica da interação entre a planta e o vírus. Essa plataforma oferece insights cruciais sobre as estratégias de resposta da planta a infecções virais e pode auxiliar no desenvolvimento de variedades mais resistentes.

O estudo de Lv *et al.* (2020) concentrou-se na síntese de um composto antiviral altamente eficiente, o chloroinconazide, que demonstrou atividade contra o TMV. A síntese desse composto e sua aplicação mostraram-se promissoras para reduzir a incidência de infecções virais em plantações de fumo. Essa abordagem oferece uma alternativa potencialmente mais eficaz e sustentável para o controle de doenças virais, contribuindo para a segurança e produtividade das plantações.

Por sua vez, o estudo de Hou *et al.* (2020) investigaram o gene HpPGIP

e sua influência na recalcitrância à transformação mediada por *Agrobacterium*. Através da análise da expressão desse gene, conseguiram alterar a resposta da planta ao processo de transformação genética. Essa abordagem pode ter implicações significativas no desenvolvimento de plantas de tabaco mais receptivas à manipulação genética, permitindo avanços mais eficazes no melhoramento.

3.6 Fisiologia e Metabolismo Vegetal

Sobre a fisiologia e o metabolismo dos vegetais, os artigos selecionados abordam uma variedade de tópicos, desde a acumulação de metabólitos e pigmentos até respostas a estresses abióticos e manipulação genética para melhoramento de plantas (Tabela 5).

Tabela 5. Artigos agrupados quanto a temática de estudos de fisiologia e metabolismo vegetal.

Identificação	Abordagem central	Autores
3	Acúmulo de metabólitos e pigmentos	Xiao <i>et al.</i> (2022)
4	Estimativa de atributos de tabaco	Rodrigues <i>et al.</i> (2022)
25	Importância das MDHs no desenvolvimento de plantas	Yi <i>et al.</i> (2022)
28	Avaliação do gene AtGSTF11 na regulação do crescimento e tolerância ao estresse	Kuluev, Ermoshin e Mikhaylova (2022)
34	Manipulação genética da carotenogênese para melhorar produção de carotenoides e arquitetura da planta	Moreno <i>et al.</i> (2020)
35	Recombinação homóloga em mitocôndrias de plantas híbridas	Garcia <i>et al.</i> (2019)

Os estudos conduzidos por Xiao *et al.* (2022) e Moreno *et al.* (2020) contribuem substancialmente para a compreensão das intrincadas interações entre fisiologia e metabolismo vegetal. A primeira, oferece uma análise comparativa da variedade de flavonoides e carotenoides presentes em diferentes espécies de tabaco. Através desta exploração, o estudo destaca a relevância desses metabólitos secundários não apenas como pigmentos visuais, mas também como moléculas que desempenham um papel preponderante na coloração das flores de tabaco. A descoberta da conexão entre a expressão gênica diferencial e a formação de pigmentos específicos oferece uma visão mais profunda das implicações funcionais desses compostos, especialmente em

termos de atração de polinizadores e favorecimento da reprodução.

A pesquisa realizada por Moreno *et al.* (2020) adentra no segmento da engenharia genética examinando o metabolismo de carotenoides em plantas de tabaco. Esta investigação revela-se crucial ao explorar o impacto da manipulação genética do gene DcLCYB1 na síntese de carotenoides e, por conseguinte, na arquitetura da planta e eficiência fotossintética. Os resultados dessa pesquisa não apenas elucidam as complexas interações entre os pigmentos e a morfologia das plantas, mas também enfatizam a contribuição direta dos carotenoides para processos essenciais como a absorção de luz e a eficiência fotossintética.

Os estudos de Lv *et al.* (2020) e Kuluev, Ermoshin e Mikhaylov (2022) investigaram as complexas respostas das plantas à estresses. O segundo, concentra-se na amplificação da expressão do gene ATGSTF11, que codifica uma enzima de transferência de glutationa, através da manipulação genética. As plantas transgênicas demonstraram uma notável melhoria no crescimento radicular sob condições de salinidade e frio. A análise aprofundada das respostas fisiológicas, juntamente com marcadores bioquímicos, evidenciou a eficácia dessa estratégia para aumentar a tolerância a estresses abióticos. Por outro lado, o estudo de Lv *et al.* (2020) aborda uma perspectiva distinta, introduzindo um composto sintético, o cloroinconazide, que exibe alta eficiência na supressão do vírus do mosaico do tabaco. Esse composto demonstra promissora atividade antiviral, sinalizando a possibilidade de desenvolver agentes químicos para proteção das plantas contra patógenos virais.

No contexto da regulação gênica, adaptação à seca e biossíntese de carotenoides, os estudos Liu *et al.* (2023) identificaram o gene PIF1 como um regulador negativo tanto da tolerância à seca quanto da biossíntese de carotenoides. Essa descoberta intrincada ressalta a complexa interconexão entre vias moleculares que aparentemente operam independentemente. Por sua vez, o estudo de Xu *et al.* (2021) concentra-se na família de genes NAC, que desempenha papéis multifacetados na regulação do crescimento, desenvolvimento e resposta a estresses. A identificação desses genes NAC contribui para uma compreensão mais holística da regulação gênica que integra processos fundamentais para a adaptação das plantas.

A manipulação genética surge como uma abordagem-chave nos estudos

de Moreno *et al.* (2020) e Kuluev, Ermoshin e Mikhaylova (2022), ambos demonstrando a capacidade de melhorar características vegetais. O primeiro estudo, por meio da expressão do gene DcLCYB1, resulta em uma maior acumulação de carotenoides, resultando em eficiência fotossintética aprimorada e arquitetura modificada. Em concordância, o segundo estudo enfoca a amplificação do gene ATGSTF11 para melhorar o crescimento e a tolerância a estresses abióticos. Essas investigações reforçam que a manipulação genética é uma ferramenta versátil para aprimorar características desejáveis das plantas, sendo relevante para a produção agrícola e a adaptação em ambientes desafiadores.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os esforços direcionados à otimização das características do tabaco, como a resistência a doenças, desempenharam um papel crucial na melhoria da eficiência dos cultivos. Isso não apenas reduz perdas econômicas na indústria, mas também fortalece a base econômica. Além disso, a capacidade de ajustar os níveis de compostos específicos no tabaco oferece perspectivas para a produção de produtos finais de qualidade superior.

REFERÊNCIAS

AMABILE, R.F.; VILELA, M.S.; PEIXOTO, J.R. **Melhoramento de plantas-variabilidade genética, ferramentas e mercado**. Embrapa, Brasília, p. 12-15, 2018.

ARAUJO, D.G. de. **Metodologia visando a obtenção de hibridação interespecífica em *Nicotiana spp.*** 2004. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiros”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2004.

BARBOZA, A. L. **Transformação genética cloroplastidial visando aumento da eficiência fotossintética em tabaco (*Nicotiana tabacum*)**. 2016. Tese (Doutorado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

BASTOS, D.C.; OLIVEIRA, E.A.G. de.; SOUZA, J.A.M. de; PINTO, M. dos S.T.; HANSEN, E.E.T.; RIBEIRO, J.M. Transformação de plantas de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) com os genes recombinantes 35SHBsAg e 35SHBsAgER do vírus da hepatite B. **Biotemas**, Florianópolis. v.23, n.1, p.1-11, 2010.

BEN-AMAR, A.; DALDOUL, S.; ALLEL, D.; WETZEL, T.; MLIKI, A. Ectopic

expression of a grapevine alkaline α -galactosidase seed imbibition protein VvSIP enhanced salinity tolerance in transgenic tobacco plants. **Functional & Integrative Genomics**, Switzerland, v.23, n.1, p.103-118, 2023.

BERED, F.; BARBOSA NETO, J.F.; CARVALHO, F.I.F. de. Marcadores moleculares e sua aplicação no melhoramento genético de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria. v. 27, p. 513-520, 1997.

BOARETTO, L.F.; LABATE, M.T.V.; NASCIMENTO, D.D. do; GUTMANIS, G.; LABATE, C.A. Clonagem do cDNA do gene que codifica a udo-glucose desifrogenase de soja (*Glycine max*) e superexpressão desse em plantas de tabaco (*nicotiana tabacum*). Agropecuária; resumos, *In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTIFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO*, 12., 2004, São Paulo. **Anais [...]** de São Paulo: USP, 2004.

CHEN, T.; RIAZ, S.; DAVEY, P.; ZHAO, Z.; SUN, Y.; DYKES, G.F.; ZHOU, F.; HARWELL, J.; LAWSON, T.; NIXON, P.J.; LIN, Y.; LIU, L.N. Producing fast and active Rubisco in tobacco to enhance photosynthesis. **The Plant Cell**, Maryland, v.35, n.3, p.713-731, 2023.

CHENG, T.; CHENG, L.; CHEN, X.; JIANG, C.; MA, B.; REN, M.; CHENG, Y.; DAN, L.; RUI MEI, G.; YANG, A. High-density SNP genetic linkage map construction and quantitative trait locus mapping for resistance to cucumber mosaic virus in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). **Crop Science Society of China and Institute of Crop Science**, Beijing, v.59, n.6, p.2504-2515, 2019.

DAI, J.; SHEN, L.; ZHOU, J.; LIU, X.; CHEN, S. Role of NtDhn17 in Copper Tolerance. **International Journal of Molecular Sciences**, Washington, v. 23, n. 23, p. 151-162, 2022.

DRAKE, K.E.; MOORE, J.M.; BERTRAND, P.; FORTNUM, B.; PETERSON, P.; LEWIS, R.S. Black Shank Resistance and Agronomic Performance of Flue-Cured Tobacco Lines and Hybrids Carrying the Introgressed *Nicotiana rustica* Region, Wz. **Crop Science**, Madison. v.55, n.1, p.79-86, 2015.

EFREMOVA, L.N.; STRELNIKOVA, S.R.; GAZIZOVA, G.R.; MINKINA, E.A.; KOMAKHIN, R.A. Um promotor sintético forte e constitutivo derivado dos promotores pro-SmAMP1 e pro-SmAMP2 da *Stellaria media* para a expressão eficaz do transgene em plantas. **Genes**, Basel, v.11, n.12, p.1407, 2020.

FAO, Food and Agriculture Organization. Commodity Balances (non-food). **FAOSTAT**. 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/CB> 2020. Acesso em: 23 Jul. 2022.

FARIAS, G.J. **Melhoramento Genético do Fumo (*Nicotiana tabacum* L.)**. Resumo–Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, Seminários em Genética e Melhoramento de Plantas, USP, São Paulo, 2007.

GAO, Y.; HAN, D.; JIA, W.; MA, X.; YANG, Y.; XU, Z. Molecular characterization

and systematic analysis of NtAP2/ERF in tobacco and functional determination of NtRAV-4 under drought stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, Amsterdam, v.156, p.420-435, 2020.

GAO, Y.; HAN, D.; JIA, W.; MA, X.; YANG, Y.; XU, Z. Molecular characterization and systematic analysis of NtAP2/ERF in tobacco and functional determination of NtRAV-4 under drought stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 156, p. 420-435, 2020.

GOMES JUNIOR, R. A. **Transformação genética do tabaco (Nicotiana tabacum) via Agrobacterium tumefaciens com o gene Lhcb1* 2 de ervilha**. 2001. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 102p. 2001.

HEFFNER, E.; SORRELLS, M.; JANNINK, J. Genomic selection for crop improvement. **Crop Science**, Madison, v.49, n.1, p.1-12, 2009.

HUANG, T.; ARMSTRONG, B.; SCHINDELE, P.; PUCHTA, H. Efficient gene targeting in Nicotiana tabacum using CRISPR/SaCas9 and temperature tolerant LbCas12a. **Plant biotechnology journal**, New Jersey, v. 19, n. 7, p. 1314-1324, 2021.

JEREISSATI, E. de S. **Transformação genética de feijão-caupi [Vigna unguiculata (L.) Walp] e tabaco (Nicotiana tabacum) com uma quitinase de classe I**. Tese (Doutorado em Bioquímica) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 120p. 2012.

JIA, H.; YIN, Z.; XUAN, D.; LIAN, W.; HAN, D.; ZHU, Z.; LI, C.; LI, C.; SONG, Z. Mutation of NtNRAMP3 improves cadmium tolerance and its accumulation in tobacco leaves by regulating the subcellular distribution of cadmium. **Journal of hazardous materials**, Amsterdam, v.432, p.128701, 2022.

KULUEV, B.; MIKHAYLOVA, E.; ERMOSHIN, A.; VESELOVA, S.; TUGBAEVA, A.; GUMEROVA, G.; GAINULLINA, K.; ZAIKINA, E. The ARGOS-LIKE genes of Arabidopsis and tobacco as targets for improving plant productivity and stress tolerance. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdam, v.242, p.153033, 2019.

KULUEV, R.M.; ERMOSHIN, A.A.; MIKHAYLOVA, E.I. Overexpression of NtCBL5A Leads to Necrotic Lesions by Enhancing Na(+) Sensitivity of Tobacco Leaves Under Salt Stress. **Journal of Experimental Botany**, London, v.73, n.7, p.2577-2589, 2022.

KUMAR, A.K.; AYZENSHTAT, D.; MARKO, A.; BOCOBZA, S. Optimization of T-DNA configuration with UBIQUITIN10 promoters and tRNA-sgRNA complexes promotes highly efficient genome editing in allotetraploid tobacco. **Plant Cell Reports**, Berlin, v.41, n.1, p.61-75, 2022.

LEGG, P.D.; SMEETON, B.W. Breeding and genetics. *In*: DAVIS, D.L.; NIELSEN, M. (Ed.). **Tobacco, Production, Chemistry and Technology**. Colorado:Wiley-Blackwell, 1999.

LI, H.; IKRAM, M.; XIA, Y.; LI, R.; YUAN, Q.; ZHAO, W.; SIDDIQUE, K.H.D.; GUO, P. Genome-wide Identification of InDel Markers in Tobacco. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, New Deli, v.28, n.9, p.1827-1834, 2022.

LI, K.; WANG, J.; LIU, C.; LI, C.; QIU, J.; ZHAO, C.; XIA, H.; MA, C.; WANG, X.; LI, P. Expression of AtLEC2 and AtIPTs promotes embryogenic callus formation and shoot regeneration in tobacco. **BMC Plant Biology**, London, v.19, n.1, p.564, 2019.

LIU, S.; ZHANG, Y.; PAN, X.; LI, B.; YANG, Q.; YANG, C.; ZHANG, J.; WU, F.; YANG, A.; LI, Y. PIF1, a phytochrome-interacting factor negatively regulates drought tolerance and carotenoids biosynthesis in tobacco. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v.195, p.688-696, 2023.

LU, X.; WU, H.; ZHANG, Q.; SUN, W.; CHEN, X.; WU, X.; CHEN, Y. Induction of pollen embryo and chromosome doubling in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). **Turkish Journal of Botany**, Ankara, v.44, n.1, p.9-18, 2020.

LV, X.; XIANG, S.; WANG, X.; WU, L.; LIU, C.; YUAN, M.; SUN, X. Synthetic chloroinconazole compound exhibits highly efficient antiviral activity against tobacco mosaic virus. **Pest Management Science**, New Jersey, v.76, n.4, p.1446-1456, 2020.

MA, J.; HANCOCK, W.G.; NIFONG, J.M.; KERNODLE, S.P.; LEWIS, R.S. Identification and editing of a hybrid lethality gene expands the range of interspecific hybridization potential in *Nicotiana*. **Theoretical and Applied Genetics**, Heidelberg, v.133, n.9, p.2585-2598, 2020.

MAO, J.; YUAN, J.; MO, Z.; AN, L.; SHI, S.; VISSER, R.G.; BAI, Y.; SUN, Y.; LIU, G.; LIU, H.; WANG, Q.; VAN DER LINDEN, C. G. Overexpression of NtCBL5A Leads to Necrotic Lesions by Enhancing Na(+) Sensitivity of Tobacco Leaves Under Salt Stress. **Journal of Experimental Botany**, London, v.73, n.7, p.2577-2589, 2021.

MAIA, L.C. **Desenvolvimento de ferramenta e análise in silico da ocorrência de microssatélites (simple sequence repeat) no genoma do arroz**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.120 p. 2007.

MO, Z.; LUO, W.; PI, K.; DUAN, L.; WANG, P.; KE, Y.; ZENG, S.; JIA, R.; LIANG, T.; HUANG, Y.; LIU, R. Comparative transcriptome analysis between inbred lines and hybrids provides molecular insights into K⁺ content heterosis of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v.13, p.838, 2022.

MORENO, J.C.; MI, J.; AGRAWAL, S.; KÖSSLER, S.; TUREČKOVÁ, V.; TARKOWSKÁ, D.; THIELE, W.; SALIM, A.; BOCK, R.; SCHÖTTLER, M.A. Expression of a carotenogenic gene allows faster biomass production by redesigning plant architecture and improving photosynthetic efficiency in tobacco. **The Journal Plant**, Cambridge, v.101, n.1, p.49-59, 2020.

MYAT, A.A.; ZHOU, Y.; 1, YUAN GAO, Y.; XIANG ZHAO, X.; LIANG, C.; ABID, M.A.; WANG, P.; AKRAM, U.; ABBAS, M.; ASKARI, M.; GUO, S.; 1, ZHANG, R.; MENG, Z. Overexpression of GhKTI12 Enhances Seed Yield and Biomass Production in *Nicotiana Tabacum*. **Genes**, Basel, v.13, n.3, p.426, 2022.

NIKOVA, V.; VLADOVA, R. *Nicotiana* species as sources of cytoplasmic male sterility in tobacco breeding. **Cooperation Centre for Scientific Research Relative to Tobacco Guide, Congress, Agronomy/Phytopathology**, Kunming. v.26, 2018.

PAUL, P.; P., SINGH, S.K.; PATRA, B.; LIU, X.; PATTANAIK, S.; YUAN, L. Mutually Regulated AP2/ERF Gene Clusters Modulate Biosynthesis of Specialized Metabolites in Plants. **Plant Physiology**, Maryland, 184(3), 1100-1121, 2020.

PEREZ-RODRÍGUEZ, J. L.; TOLEDO, V.; GARCÍA, H.; DÍAZ, M.; GORSKI, R.; TOCATE, F.; LUCIA LOPES, PADUA, J. Molecular identification of promising *Nicotiana* spp. genotypes resistant to multiple diseases. **BMC Genomics**, London, v.38, n.2, p.2221-2226, 2021.

PIETROBON, V.C.; DRESSANO, K.; BERGER, I.J.; CARRER, H. Transformação de cloroplasto de tomate e tabaco com o vetor pIJB20. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 11., 2003, São Paulo. **Anais [...]** de São Paulo: USP, 2003.

PSCHEIDT, A. **Capacidade de combinação entre linhagens de tabaco Dark**. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 56-p. 2020.

OKAMURA, J.K.; GOLDBERG, R.G. Tobacco single copy DNA is highly homologous to sequences present in genomes of its diploid progenitors. **Molecular and General Genetics**, Berlin, v.198, n.2, p.290-298, 1985.

RIBEIRO, J. M.; BASTOS, D.C.; OLIVEIRA, E.A.G. de; SOUZA, J.A.M. de; PINTO, M.D.S.T.; HANSEN, E.E.T. Transformação de plantas de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) com os genes recombinantes 35SHBsAg e 35SHBsAgER do vírus da hepatite B. **Biotemas**, Florianópolis. v.23, n.1, p.1-11, 2010.

RODRIGUES, M.; de OLIVEIRA, R.B.; dos SANTOS, G.L.A.A.; de OLIVEIRA, K.M.; REIS, A.S.; FURLANETTO, R.H.; BERNADO JÚNIOR, L.A.Y.; COELHO, S.F.; NANNI, M. R. Rapid quantification of alkaloids, sugar and yield of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) varieties by using Vis–NIR–SWIR spectroradiometry. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, Amsterdam, v. 274, p. 121082, 2022.

ROMANO, M.R. **Análise de crescimento, produção de biomassa, fotossíntese e biossíntese de aminoácidos em plantas transgênicas de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) que expressam o gene *Lhcb1* 2* de ervilha**. Tese (Doutorado em Fisiologia e Bioquímica Vegetal) - Universidade de São

Paulo. 81p. 2021.

SANTOS, L.G.S.; VIERA, I.G.; SILVA, L.F.; MOREIRA, R.F.C.; CONCEIÇÃO, A.L.D.S. Application of hierarchical grouping and machine learning models for classification of genotypes of *Nicotiana tabacum* L. with based on morphological characteristics. **Smart Agricultural Technology**, p. 100250, 2023.

SCHEFFEL, L.G. **Indução ao florescimento precoce de genótipos de tabaco pela aplicação de hormônio e cultivo em vasos pequenos**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) -Universidade Federal de Santa Maria , Santa Maria. 64p. 2021.

SHIROKIKH, I.G.; OGORODNIKOVA, S.Y.; NAZAROVA, Y.I.; SHUPLETSOVA, O.N. Reaction to Hydrogen-Peroxide Action in *Nicotiana tabacum* Plants Transformed by the Cholinoxidase Gene (cod A). **Applied Biochemistry and Microbiology**, Moscou, v. 57, p. 243-249, 2021.

SOOD, S.; PRASANNA, P.S.; REDDY, T.V.; GANDRA, S.V. Optimized Protocol for Haploid Development of Androgenic Haploids and Doubled Haploids in FCV Tobacco (*Nicotiana tabacum*). **Methods in Molecular Biology**, Heidelberg, v.2, p.105-112, 2021.

VAN NOCKER, S.; GARDINER, S.E. Breeding better cultivars, faster: applications of new technologies for the rapid deployment of superior horticultural tree crops. **Horticulture Research**, United Kingdom, v.1, n.14022, 2014.

VOSS-FELS, K.P.; COPPER, M.; HAYES, B.J. Accelerating crop genetic gains with genomic selection. **Theoretical and Applied Genetics**, Bethesda. v.132, n.3, p.669, 2019.

WANG, Y.; YU, Y.; ZHANG, H.; HUO, Y.; LIU, X.; CHE, Y.; WANG, J.; SUN, G.; ZHANG, H. The phytotoxicity of exposure to two polybrominated diphenyl ethers (BDE47 and BDE209) on photosynthesis and the response of the hormone signaling and ROS scavenging system in tobacco leaves. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v.426, p.128012, 2022.

WU, X.; GONG, D.; XIA, F.; DAI, C.; ZHANG, X.; GAO, X.; WANG, S.; QU, X.; LIU, G. A two-step mutation process in the double WS1 homologs drives the evolution of burley tobacco, a special chlorophyll-deficient mutant with abnormal chloroplast development. **Planta**, Heidelberg, v.251, p.1-15, 2020.

XIAO, Q.; ZHU, Y.; CUI, G.; ZHANG, X.; HU, R.; DENG, Z.; LEI, L.; WU, L.; MEI, L. A comparative study of flavonoids and carotenoids revealed metabolite responses for various flower colorations between *Nicotiana tabacum* L. and *Nicotiana rustica* L. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v.13, p.828042, 2022.

XIN, H.; LI, Q.; WANG, S.; ZHANG, Z.; WU, X.; LIU, R.; ZHU, J.; LI, J. *Saussurea involucreata* PIP2; 4 improves growth and drought tolerance in *Nicotiana tabacum* by increasing stomatal density and sensitivity. **Plant Science**, Waltham, v.326,

p.111526, 2023.

XU, N.; MENG, L.; SONG, L.; LI, X.; DU, S.; HU, F.; LV, Y.; SONG, W. Identification and characterization of secondary wall-associated nac genes and their involvement in hormonal responses in tobacco (*Nicotiana tabacum*). **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v.12, p.712254, 2021.

XU, G.; GUO, W.; LI, Z.; WANG, C.; XU, Y.; JIN, J.; ZHOUN, H.; DENG, S. Transcriptomic insights into the regulatory networks of chilling-induced early flower in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Journal of Plant Interactions*, v.17, n.1, p.496-506, 2022.

YE, J.; SONG, J.; GAO, Y.; LU, X.; PEI, W.; LI, F.; FENG, H.; YANG, W. An automatic fluorescence phenotyping platform to evaluate dynamic infection process of Tobacco mosaic virus-green fluorescent protein in tobacco leaves. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v.13, p.968855, 2022.

YI, S.J.; Li, W.; Sun, Z.Y.; Zhou, X.X.; Li, X.P. *Rhododendron micranthum* RmMDH gene encoding malic dehydrogenase confers tolerance to abiotic stress in transgenic *nicotiana tabacum*. **Pakistan Journal of Botany**, Karachi, v. 54, n. 6, p. 2033-2042, 2022.

CAPÍTULO II

ESTRATÉGIAS DE SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE *Nicotiana tabacum* L. NAS CONDIÇÕES DE CRUZ DAS ALMAS, BAHIA, COM BASE NA VARIABILIDADE E PARÂMETROS GENÉTICOS

ESTRATÉGIAS DE SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE *Nicotiana tabacum* L. NAS CONDIÇÕES DE CRUZ DAS ALMAS, BAHIA, COM BASE NA VARIABILIDADE E PARÂMETROS GENÉTICOS

RESUMO: A cultura do tabaco no Brasil é marcada pela liderança no mercado de exportação, gerando bilhões de dólares e milhões de empregos. Originária na América do Sul e difundida pelos indígenas, o cultivo comercial começou no Nordeste e, posteriormente, se consolidou no Sul do país. Programas de melhoramento visam aprimorar a produtividade e qualidade do tabaco. Este estudo teve como objetivo principal subsidiar o planejamento do melhoramento genético da espécie *Nicotiana tabacum* L., realizado pela ERMOR TABARAMA TABACOS DO BRASIL Ltda, com foco na avaliação de 11 genótipos de tabaco do tipo sumatra. Os genótipos foram analisados quanto a 17 descritores morfológicos quantitativos, seguindo as diretrizes do SINDIFUMO, com base na descrição da UPOV e em legislações Americana e Italiana. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com quatro repetições, cada parcela composta por 12 plantas. Para explorar a variabilidade genética, utilizou-se a análise de cluster pelo método k-means não hierárquico. A análise de componentes principais foi empregada para associar grupos formados com as variáveis avaliadas. Posteriormente, os dados de cada grupo foram submetidos ao teste de Normalidade de Shapiro-Wilk para verificar a homogeneidade das variâncias e a independência. Com a confirmação dos pré-requisitos, realizou-se a análise de variância para comparar médias, usando o teste Tukey com 5% de significância. Para estimar a herdabilidade e o ganho de seleção, foram aplicados modelos lineares mistos com máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viciada, utilizando o software Selegen-REML/BLUP. Os resultados indicaram que o genótipo ER 35-109 se destacou na largura e no comprimento da terceira folha, sugerindo sua adequação para a produção. Os genótipos ER 560 e ER 561 também apresentaram vantagens em diversas variáveis. Esses resultados enfatizam a importância da seleção criteriosa de genótipos, visando ao aprimoramento da qualidade e do rendimento na cultura do tabaco, embora seja necessário considerar a influência das condições ambientais e da região de cultivo nas análises.

PALAVRAS CHAVE: Tabaco; Melhoramento genético; Parâmetro gênico. Descritores morfológicos.

**STRATEGIES FOR SELECTION OF GENOTYPES OF *Nicotiana tabacum* L.
IN THE CONDITIONS OF CRUZ DAS ALMAS, BAHIA, BASED ON
VARIABILITY AND GENETIC PARAMETERS**

ABSTRACT: The tobacco culture in Brazil is characterized by its leadership in the export market, generating billions of dollars and millions of jobs. Originating in South America and disseminated by indigenous peoples, commercial cultivation began in the Northeast and later consolidated in the South of the country. Improvement programs aim to enhance the productivity and quality of tobacco. This study aimed to support the genetic improvement planning of the *Nicotiana tabacum* L. species conducted by ERMOR TABARAMA TABACOS DO BRASIL Ltda, with a focus on evaluating 11 genotypes of Sumatra-type tobacco. The genotypes were analyzed for 17 quantitative morphological descriptors, following SINDIFUMO guidelines, based on UPOV description and American and Italian legislation. The experimental design adopted was a randomized complete block design with four replicates, with each plot consisting of 12 plants. Non-hierarchical k-means cluster analysis was used to explore genetic variability. Principal component analysis was employed to associate groups formed with the evaluated variables. Subsequently, the data from each group were subjected to the Shapiro-Wilk Normality test to verify variance homogeneity and independence. With the confirmation of prerequisites, analysis of variance was performed to compare means, using the Tukey test with 5% significance. Mixed linear models with restricted maximum likelihood/best linear unbiased prediction were applied to estimate heritability and selection gain using the Selegen-REML/BLUP software. The results indicated that the ER 35-109 genotype stood out in the width and length of the third leaf, suggesting its suitability for production. Genotypes ER 560 and ER 561 also showed advantages in various variables. These results emphasize the importance of careful selection of genotypes to enhance quality and yield in tobacco cultivation, while considering the influence of environmental conditions and the cultivation region in the analyses.

Keywords: Tobacco; Genetic improvement; Gene diversity; Morphological descriptors;

1 INTRODUÇÃO

O cultivo da cultura do tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), popularmente conhecida como fumo, é um dos grandes marcos no setor agrícola brasileiro. O país lidera há 29 anos o posto de maior exportador de tabaco do mundo. Apenas no ano de 2021, foram gerados 1,5 bilhões de dólares em exportações, e mais de 2 milhões em empregos diretos e indiretos desde o plantio ao processamento final nas indústrias (AFUBRA, 2021; SINDITABACO, 2021; BRASIL, 2022).

Originária na América do Sul, a espécie já era cultivada pelos indígenas antes mesmo da chegada dos europeus no novo continente, sendo-a utilizada em rituais e cerimônias através da aspiração da fumaça da queima das folhas. Esses povos disseminaram a cultura pelo continente, inclusive para o território brasileiro (GOODSPEED, 1954; MARGARIDO, 1994; GATELY, 2001; VIGNOLI-SILVA, 2004; LORENCETTI *et al.*, 2008; SINDITABACO, 2019).

Os primeiros cultivos comerciais aconteceram durante o período colonial, no Nordeste do Brasil. O Recôncavo Baiano teve um grande destaque inicial na produção de fumo até meados da década de 50 (BUAINAIN *et al.*, 2009; DUTRA, 2015). Posteriormente, esse pólo produtivo foi transferido para o Sul do país, motivada pela chegada de colonos europeus. Os quais foram incisivos para a consolidação da fumagicultura na região (VENDRUSCOLO; WAQUIL, 2020).

Visando atender uma demanda crescente do mercado e das indústrias manufatureiras do tabaco, os programas de melhoramento desenvolvem e oferecem novas cultivares que permitam uma maior produtividade em rendimento foliar, como também em resistência a doenças, menores teores de substâncias nocivas à saúde humana, uniformidade no amadurecimento das folhas, entre outras características que permitam uma maior qualidade no produto final (LEGG; SMEETON, 1999; SANTOS, 2002; GAVILANO *et al.*, 2006; DAHAL *et al.*, 2015).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo subsidiar ações de planejamento de melhoramento genético de *N. tabacum* L., no âmbito de pesquisa da ERMOR TABARAMA TABACOS DO BRASIL Ltda, através da avaliação da relação de genótipos da espécie com diferentes descritores morfológicos quantitativos utilizados no melhoramento do tabaco.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O objeto de estudo foi com base no conjunto de dados obtidos através do programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, localizada no município de Cruz das Almas, Bahia, no ano de 2012. Essa empresa possui interesse na obtenção de materiais genéticos superiores, com vista à produção.

O desenho experimental conta com a avaliação de 11 genótipos (ER 560, ER 561, ER 562, ER 33-021ER 33-022, ER 33-023, ER 33-027, ER 33-046, ER 564, ER 565 e ER 35-109) de tabaco da espécie *N. Tabacum* (Tabela 1), sendo todos eles do tipo sumatra e provenientes de Cruz das Almas, Bahia, dispostos em delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, em que cada parcela é constituída por 12 plantas.

Tabela 1. Identificação dos genótipos de *Nicotiana Tabacum* L. e seus respectivos código, tipo e procedência obtidos pelo programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, Cruz das Almas, Bahia.

Genótipos	Código	Tipo	Procedência
ER 560	1	Sumatra	Cruz das Almas, Bahia
ER 561	2	Sumatra	Cruz das Almas, Bahia
ER 562	3	Sumatra	Cruz das Almas, Bahia
ER 33-021	4	Sumatra	Cruz das Almas, Bahia
ER 33-022	5	Sumatra	Cruz das Almas, Bahia
ER 33-023	6	Sumatra	Cruz das Almas, Bahia
ER 33-027	7	Sumatra	Cruz das Almas, Bahia
ER 33-046	8	Sumatra	Cruz das Almas, Bahia
ER 564	9	Sumatra	Cruz das Almas, Bahia
ER 565	10	Sumatra	Cruz das Almas, Bahia
ER 35-109	11	Sumatra	Cruz das Almas, Bahia

Para a caracterização dessas plantas foram avaliados 17 descritores quantitativos conforme o recomendado pelo SINDIFUMO (Subcomissão de Sementes), embasado na descrição da UPOV (International Union for the Protection of New Varieties of Plants) e Legislações Americana e Italiana, sendo eles: Ângulo de inserção 10^a folha (AID); Altura de planta (ALT); Comprimento da 10^a folha (CFD); Comprimento da flor (CFLR); Comprimento da 3a folha (CFT); Diâmetro da base da inflorescência (DCI); Diâmetro médio do caule (DCM); Diâmetro da flor (DFLR); Engrossamento tubo da flor (ETFLR); Índice cilíndrico, quociente entre diâmetro médio e base da inflorescência (INFSC); Largura da base da 10^a folha (LBD); Largura da 10^a folha (LFD); Média dos internódios (MINT); Número de folhas (NF); Produtividade (PROD); Comprimento da corola (TCRL), descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Descritores quantitativos avaliados sobre os genótipos de *Nicotina Tabacum* L. obtidos pelo programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, Cruz das Almas, Bahia.

Descritores	Unidade de medida
Altura de planta (ALT)	Cm
Ângulo de inserção 10ª folha (AID)	(°)
Comprimento da 10ª folha (CFD)	cm
Comprimento da 3ª folha (CFT)	cm
Comprimento da corola (TCRL)	cm
Comprimento da flor (CFLR)	cm
Diâmetro da base da inflorescência (DCI)	mm
Diâmetro da flor (DFLR)	mm
Diâmetro médio do caule (DCM)	mm
Engrossamento tubo da flor (ETFLR)	mm
Índice cilíndrico - quociente entre diâmetro médio e base da inflorescência (INFSC)	-
Largura da 10ª folha (LFD)	cm
largura da 3ª folha (LFT)	cm
Largura da base da 10ª folha (LBD)	Cm
Média dos internódios (MINT)	Cm
Número de folhas (NF)	-
Produtividade (PROD)	Kg ha ⁻¹

As análises estatísticas adotadas foram i) Variabilidade genética estimada conforme análise de cluster, pelo método k-means não hierárquico. Tal método foi escolhido devido o número de grupos ideais ser determinado a priori visando a maior homogeneidade dentro de cada população e a máxima variabilidade entre os genótipos (SNEATH; SOKAL, 1973; HAIR *et al.*, 2009).

Para avaliar a qualidade dos agrupamentos formados neste estudo, utilizou-se do índice Silhouette (SI), conforme proposto por Rousseeuw (1987), o qual mede o grau de similaridade de uma observação em relação às demais no mesmo grupo e os comparando-a com as observações do agrupamento mais próximo.

Posteriormente, com os grupos formados, os dados de cada um foram submetidos ao teste de Normalidade de Shapiro–Wilk, para confirmar se há homogeneidade (ou homocedasticidade) das variâncias e a independência (DARSKI *et al.*, 2020). Com a confirmação dos pré-requisitos, os resultados experimentais de cada variável foram submetidos à análise de variância (ANOVA), para as médias serem comparadas por meio do teste Tukey à 5% de significância. Sendo todas as análises descritas executadas no programa R (R DESENVOLVIMENTO CORE TEAM R, 2023); ii) Análise de Componentes Principais (ACP), visando associar os grupos formados com as variáveis avaliadas. Tal análise tem por finalidade a redução de dados, com formação de

novos componentes ortogonais que explicam o máximo de variação residual (HOTELLING, 1933).

A estimação do parâmetro genético de herdabilidade e ganho de seleção foi realizado por meio de modelos lineares mistos (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viciada), em análises executadas no *software* Selegen-REML/BLUP (RESENDE, 2016). Sendo a herdabilidade estimada para cada característica, calculando os componentes de variância de acordo com Marwede *et al.* (2004).

$$H^2 = \frac{V_g}{V_p} = \frac{V_g}{V_g + V_e} \quad (1)$$

Em que: V_g é a variância genética, V_p é a variância fenotípica e V_e é a variância do erro.

A estimativa do ganho de seleção foi realizada com base a equação proposta por Cruz e Carneiro (2003) em que:

$$GS = DS \times h^2 \quad (2)$$

Sendo que DS corresponde ao diferencial de seleção e h^2 demonstra a herdabilidade da característica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise de agrupamento, três grupos distintos foram identificados entre os 11 genótipos de *N. Tabacum* que foram avaliados. O método Silhouettes revelou a formação de grupos, demonstrando a qualidade da homogeneidade tanto dentro de cada grupo quanto entre os diferentes agrupamento (ROUSSEEUW, 1987) prevista por esse método estatístico. O número de grupos indicados de acordo a referida metodologia de interpretação e validação do conjunto de dados, mostra-se adequado com valor igual a três, observado no gráfico (Figura 1).

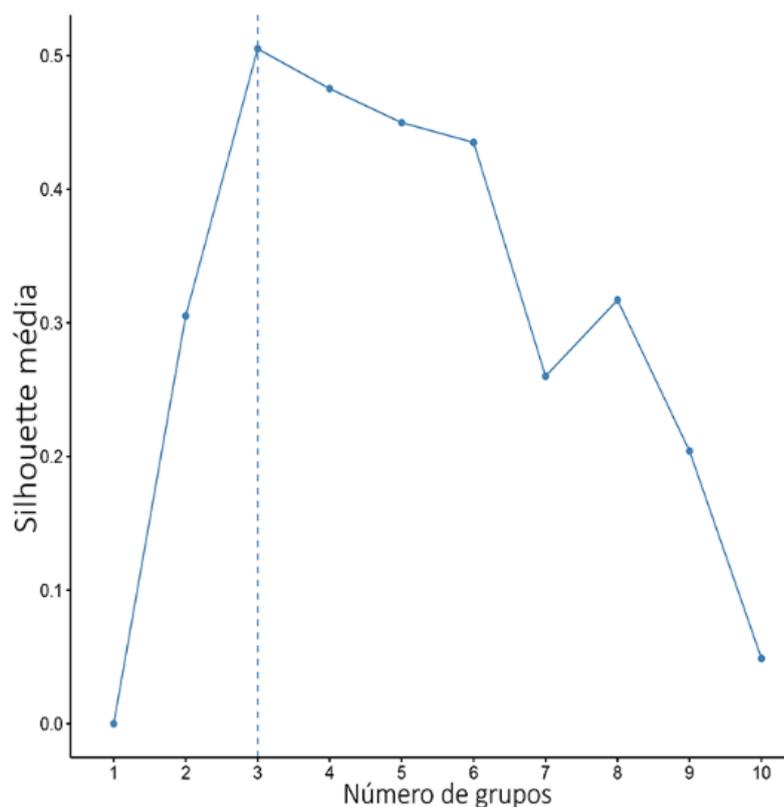


Figura 1. Número de grupos formados pela análise de agrupamento método (k-means) considerando 17 descritores quantitativos para os 11 genótipos de *Nicotiana Tabacum* L. do programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, em Cruz das Almas, Bahia.

Através da análise de agrupamento foram delimitados três grupos, sendo o grupo I composto com maior quantidade de genótipos (ER 33-021, ER 33-022, ER 33-023, ER 33-046, ER 562, ER 565), enquanto grupo II (ER 33-027, ER 35-109 e ER 564) e III (ER 560 e ER 561) apresentaram menor quantidade (dois e três genótipos respectivamente) (Figura 2).

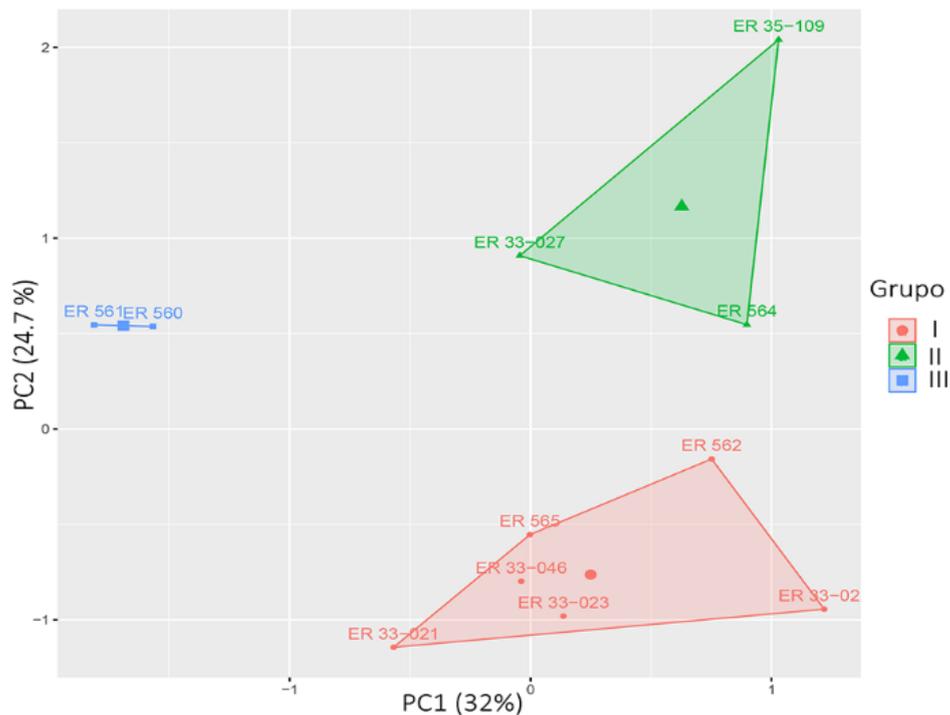


Figura 2. Os grupos formados considerando os 17 descritores quantitativos aplicados sobre os 11 genótipos de *Nicotiana Tabacum* L. do programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, em Cruz das Almas, Bahia. O grupo I é representado na cor vermelha; Grupo II é representado na cor verde; e Grupo III na cor azul.

O grupo I, o maior em termos de número de genótipos, incluiu 6 variedades. Por outro lado, os grupos II e III foram compostos por dois e três genótipos, respectivamente, sugerindo uma menor diversidade genética dentro desses grupos (Figura 2). Essa divisão demonstra que existe variabilidade genética entre os genótipos de tabaco avaliados. O grupo I, por ser o mais numeroso, pode representar uma fonte rica de diversidade genética que pode ser explorada no contexto do melhoramento genético. Variedades dentro deste grupo podem ser usadas como genitores em cruzamentos para criar progênies com características desejadas. Os grupos II e III, embora menores em tamanho, também são de interesse.

Além disso, a análise de agrupamento pode ser usada como base para a seleção de genitores em futuros cruzamentos. Ao escolher genótipos de diferentes grupos, é possível explorar a variabilidade genética entre eles, o que pode levar à criação de progênies com maior vigor híbrido e características desejadas. De acordo com a análise de Componentes Principais (PCA), os dois primeiros componentes principais explicam 56,7% da variação existente

entre os genótipos. O primeiro componente principal (CP1) representa 31,95% da variância total, enquanto o segundo componente principal (CP2) representa 24,66%. À medida que se avança para os componentes posteriores, a quantidade de variação explicada diminui gradualmente. O terceiro componente principal (CP3), explica 14,12% da variância, resultando em uma porcentagem acumulada de 70,73% (Tabela 2), com porcentagem de explicação adequada. Neste contexto, os primeiros componentes principais explicam a maior parte da variância total, enquanto os últimos componentes principais têm desvios padrões menores e explicam uma porcentagem muito baixa da variância. Para visualização desses, a representatividade no biplot foi realizada pelos CP1 e CP2.

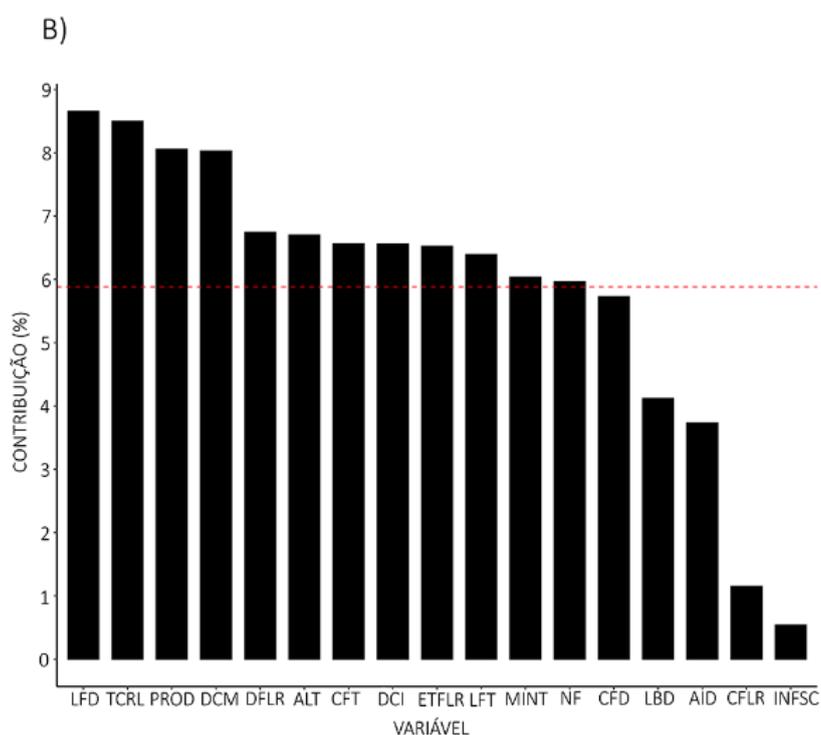
Tabela 2. Estimativas de componentes principais (CPs), autovalores (AV), porcentagem da variância explicada e proporção acumulada (%) para os descritores quantitativos avaliados em 11 genótipos de *Nicotina Tabacum* L. obtidos pelo programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, Cruz das Almas, Bahia

Componente principal	AV	AV (%)	% Acumulada
CP1	2,33	31,95	31,95
CP2	2,08	24,66	56,61
CP3	1,55	14,12	70,73
CP4	1,25	9,18	79,91
CP5	1,13	7,48	87,39
CP6	0,93	5,09	92,48
CP7	0,79	3,65	96,14
CP8	0,55	1,77	97,91
CP9	0,49	1,42	99,33
CP10	0,33	0,67	100,00
CP11	$2,98 \times 10^{-15}$	0	100,00

Manly (2008) destaca que nem sempre a PCA resulta em uma acumulação de 80% da variação nos dois ou três primeiros componentes, isso ocorre quando as variáveis originais são pouco correlacionadas entre si. Nesse caso, a distribuição da variação pode ser mais equilibrada, não acumulando a maior parte da variação nos primeiros componentes.

Ao analisar o impacto das variáveis nos componentes principais (CP1 e CP2), de forma conjunta (Figura 3) é possível observar que algumas delas apresentaram uma contribuição significativa (acima da linha vermelha tracejada) e relativamente alta. Dentre estas, encontram-se LDF, DCM, CFT, PROD, DCI, LFT, ALT, TCRL, ETFLR, DFRL, MINT e NF. As demais variáveis tiveram uma contribuição de discreta a irrisória para explicar a variação entre os genótipos.

Esta análise oferece uma perspectiva clara sobre quais variáveis merecem atenção prioritária ao tomar decisões relacionadas à seleção de genótipos ou ao estabelecimento de estratégias de cultivo. Em situações em que se busca selecionar genótipos de plantas de tabaco com características específicas, direcionar esforços e recursos para as variáveis que mais influenciam a variação entre os genótipos pode revelar-se uma abordagem mais eficaz. Por outro lado, as variáveis de menor relevância podem ser consideradas de menor prioridade em análises ou estratégias subsequentes.



LFD – Largura da 10ª folha; TCRL - Comprimento da corola; PROD – Produtividade; DCM – Diâmetro médio do caule; DFLR – Diâmetro da flor; ALT – Altura de planta; CFT - Comprimento da 3ª folha; DCI – Diâmetro da base da inflorescência; ETFLR – Engrossamento tubo da flor; MINT – Média dos internódios; NF – Número de folhas; CFD – Comprimento da 10ª folha; LBD – Largura da base da 10ª folha; AID – Ângulo de inserção 10ª folha; CFLR – Comprimento da flor; INFSC – Índice cilíndrico, quociente entre diâmetro médio e base da inflorescência.

Figura 3. Percentual de contribuição das variáveis para os 11 genótipos de *Nicotiana Tabacum* L. Do programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, em Cruz das Almas, Bahia.

A dispersão dos genótipos de cada grupo formado pela análise de cluster, observada no gráfico de PCA indica que eles possuem diferentes relações com as variáveis avaliadas (Figura 4). Observa-se estreita relação dos genótipos ER33-022 com maior produtividade (PROD), ER 33-023 com a altura, ER52 com maior CFT, ER564 com maior AID.

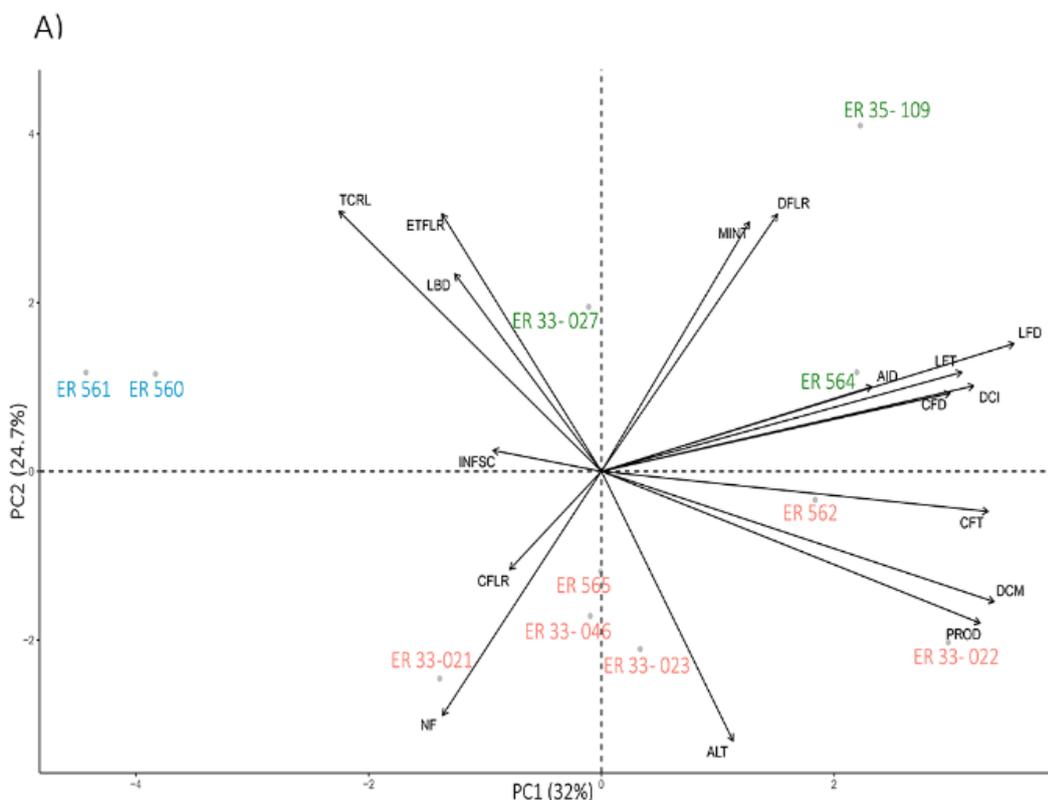


Figura 4. Análise componente principal (PCA) para os 11 genótipos de *Nicotiana Tabacum* L. Do programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, em Cruz das Almas, Bahia.

Quanto aos agrupamentos formados, observou-se uma dispersão e tendência de dispersão relacionados às diferentes variáveis. No Grupo I, foram identificadas as maiores dimensões de ALT, CFLR e um número significativamente maior de folhas. Além disso, esse grupo apresentou valores elevados de PROD e DCM. Já o Grupo II se destacou pelas maiores médias em MINT, DFLR, ETFLR e LFD. No entanto, esse grupo apresentou um número menor de folhas e valores mais baixos em CFLR e ALT. Já o Grupo III se caracterizou por ter valores mais baixos em quase todas as variáveis, exceto por TCRL, onde obteve médias mais elevadas. Ademais, registrou as menores médias de PROD, DCM e LFD.

No teste de média, representado por um gráfico de box plot (Figura 5), não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos para as variáveis ALT, NF, DCI e MINT. No entanto, foram observadas diferenças para as variáveis relacionadas às dimensões da terceira folha (LDF e CFT), das inflorescências (DFLR, ETFLR e TRCRL) e para a produtividade. Por outro lado, as variáveis INFSC, DCM, CFD, LFD, LBD, AID e CFLR não apresentam

distribuição normal dos resíduos, sugerindo que a aplicação de análise paramétrica pode não ser apropriada para essas variáveis. É importante destacar que a interpretação dos resultados pode ser comprometida nessas situações, conforme mencionado por Zar (2010). Dessa forma, para as referidas variáveis, mesmo após transformação de dados não foi possível realização de ANOVA e posterior teste de média.

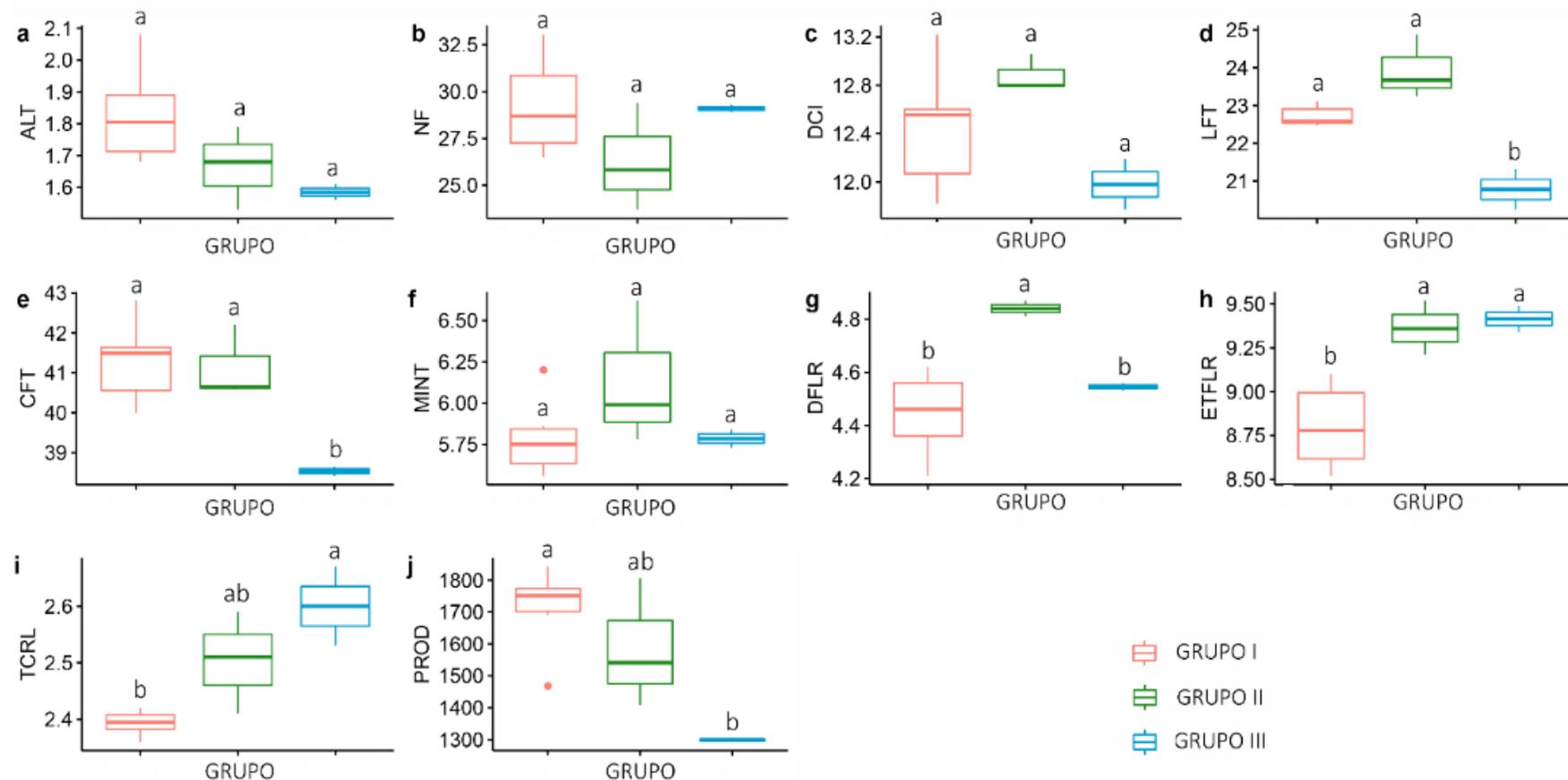


Figura 5. Gráfico box plot para teste de média para as variáveis Altura de planta (ALT), Número de folhas (NF), Diâmetro da base da inflorescência (DCI), Largura da 3ª folha (LFT) Comprimento da 3ª folha (CFT), Média dos internódios (MINT), Diâmetro da flor (DFLR), Engrossamento tubo da flor (ETFLR), Comprimento da corola (TCRL) e Produtividade (PROD) para os três grupos obtidos pelo método (k-means) para os 11 genótipos de *Nicotiana Tabacum* L. do programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, em Cruz das Almas, Bahia, em blox pot à 5% de significância.

No caso da variável LDF, os grupos I e II apresentaram médias superiores ao grupo III. O grupo II obteve a maior média de largura foliar, 23,93 cm, seguido pelo grupo I, 22,71 cm, enquanto o grupo III teve a menor (20,77 cm). Em relação à variável CFT, os grupos I e II também apresentaram médias superiores ao grupo III. O grupo I teve o maior comprimento (41,28 cm), seguido pelo grupo II (41,14 cm), enquanto o grupo III obteve a menor média (38,53 cm).

A terceira folha em plantas de fumo desempenha um papel fundamental na produção da cultura, a qual tem destaque por suas características específicas, como tamanho, espessura, teor de nicotina e aroma (ZOU *et al.*, 2019). Sua textura suave a torna adequada para envolver o tabaco, proporcionando qualidade do produto, além disso, contribui para a aparência estética dos cigarros e charutos, influenciando a uniformidade e apresentação visual do produto (REIS, 2016).

Assim, ao considerar a importância de as dimensões métricas foliares na produção de tabaco, os genótipos presentes nos Grupos I e II são opções promissoras para futuros esforços de seleção genética, visando folhas mais largas e compridas, o que pode se traduzir em uma maior produtividade e qualidade na indústria do tabaco (HIRSCH; LANDAU, 2020).

Para o DFLR, observou-se que o grupo II apresentou flores com um diâmetro maior em comparação aos outros grupos (4,84 mm), seguido pelo grupo III (4,54 mm) e pelo grupo I (4,45 mm). Em relação ao engrossamento do tubo da flor, o grupo III apresentou a maior média (9,41 mm), seguido pelo II (9,36 mm) e pelo I (8,80 mm). Quanto ao TCRL, o grupo III também obteve a maior média (2,6 cm), sendo caracterizado por possuir corolas mais longas, seguido pelo grupo II (2,50 cm) e pelo I (2,39 cm). No geral, o grupo II foi o que apresentou as maiores flores nas características avaliadas (diâmetro da flor, engrossamento do tubo da flor e comprimento da corola). Algumas espécies do gênero *Nicotiana* são cultivadas como plantas ornamentais devido às suas flores atrativas e aromáticas, no entanto, em cultivos comerciais, as inflorescências são normalmente removidas antes de atingirem o pleno desenvolvimento, a fim de promover um maior crescimento das folhas (EICHELBERGER, 2017). Isso ocorre porque o processo de produção de sementes exige uma quantidade significativa de energia da planta, o que diminui a capacidade de síntese de

nutrientes pelas folhas (VIEIRA *et al.*, 2010). Nesse contexto, o florescimento é desejável em programas de melhoramento genético e para produção de sementes, porém, é indesejável em lavouras comerciais (THOMAS; BREDEMEIER, 2016). Deste modo, considerando que o foco principal é a produção de folhas de tabaco e a minimização do desenvolvimento das inflorescências, é importante levar em conta a preferência por plantas que produzam menos inflorescências, uma vez que a remoção das inflorescências pode contribuir para um maior crescimento das folhas, resultando em uma maior produção foliar. Embasada pelas análises das dimensões métricas foliares, os genótipos dos Grupos I e II são os mais promissores para melhorar a produtividade na cultura do tabaco, pois ambos apresentam valores médios mais altos para a largura e comprimento das folhas em comparação com o Grupo III. Além disso, o Grupo I também se destaca por apresentar as menores médias de DFLR, ETFLR e TCRL em comparação com os demais, o que um menor desenvolvimento das inflorescências, o que pode ser vantajoso para a produção de folhas de tabaco.

Para a produtividade, os resultados revelaram diferenças significativas entre os grupos. O grupo I obteve a maior média de produtividade, com um valor de 1.713,5 Kg ha⁻¹. Já o II, apresentou uma produtividade ligeiramente menor, com uma média de 1.585,13 Kg ha⁻¹. Por outro lado, o grupo III teve a menor média de produtividade, com um valor de 1.298,4 kg ha⁻¹. No âmbito do melhoramento da cultura do tabaco, o objetivo principal do programa é desenvolver e disponibilizar novas variedades que apresentem melhorias significativas em várias características cruciais. Essas melhorias incluem aumentar a produtividade das folhas de tabaco, tornando-as mais resistentes a doenças, reduzindo os níveis de substâncias prejudiciais à saúde humana, garantindo que as folhas amadureçam de forma uniforme e alcançando uma qualidade superior no produto final (LEEG; SMEETON, 1999; SANTOS, 2002; GAVILANO *et al.*, 2006; DAHAL *et al.*, 2015).

Considerando este contexto, a análise estatística sobre os agrupamentos evidencia o Grupo I como notável dentre os outros dois avaliados, devido ao seu desempenho considerável em variáveis-chave, como produtividade e tamanho de folha. Tais resultados corroboram a ênfase dos programas na busca de melhorias dessas características.

A avaliação de parâmetros genéticos e a predição de ganhos genéticos têm se mostrado ferramentas fundamentais no contexto do melhoramento de plantas. Essas análises proporcionam informações valiosas sobre o potencial genético de indivíduos, famílias e clones, auxiliando na seleção e recombinação de genótipos para os próximos ciclos de seleção (BORÉM *et al.*, 2021). Essas ferramentas têm sido aplicadas em uma variedade de culturas agrícolas, demonstrando sua importância em diferentes contextos, como para o açaizeiro (FARIAS NETO *et al.*, 2008), maracujá (SILVA *et al.*, 2009), eucalipto (ROSADO *et al.*, 2012), entre inúmeras outras. Sendo cruciais para direcionar a seleção e atender à crescente demanda por alimentos, fibras e recursos vegetais de alta qualidade em todo o mundo.

O coeficiente de variação genotípico (CV_{gi}) e do coeficiente de variação ambiental (CV_e) fornecem informações cruciais para os pesquisadores e melhoristas. Ao analisar os valores de CV_{gi} e CV_e, pode-se determinar o grau de variabilidade genética e ambiental respectivamente, presentes na população, o que é essencial para tomar decisões no processo de melhoramento genético de plantas (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014; AMBROSIO *et al.*, 2021). Ao analisar os resultados do CV_{gi} e CV_e nos três grupos, pode-se observar diferentes padrões (Tabela 3).

Tabela 3. Estimativas do Coeficiente de variação genotípica (CVgi%), Coeficiente de variação ambiental (Cve%), Coeficiente da variação relativa (CVr), Herdabilidade da média de genótipo (h²mc) e Acurácia da seleção de genótipos (Acclon) para os descritores quantitativos avaliados sobre os 11 genótipos de *Nicotiana Tabacum* L. do programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, em Cruz das Almas, Bahia.

	Grupo I										
	ALT	NF	DCM	DCI	LFT	CFT	LFD	MINT	DFLR	ETFLR	TCRL
CVgi (%)	4,95	7,23	5,01	4,16	2,24	1,43	2,34	1,87	1,34	0,93	0,15
CVe (%)	10,82	7,98	15,68	18,78	15,06	8,48	17,02	6,98	22,16	16,72	3,20
h ² mc	0,46	0,77	0,29	0,16	0,08	0,10	0,07	0,23	0,14	0,01	0,00
CVr	0,46	0,90	0,32	0,23	0,15	0,17	0,14	0,27	0,06	0,05	0,04
Acclon	0,67	0,87	0,54	0,40	0,28	0,31	0,26	0,47	0,12	0,12	0,09
Média	1,85	29,36	26,07	11,97	23,40	40,83	25,56	5,79	4,64	8,51	2,40
	Grupo II										
	ALT	NF	DCM	DCI	LFT	CFT	LFD	MINT	DFLR	ETFLR	TCRL
CVgi (%)	6,97	10,34	3,84	0,23	1,40	0,37	3,03	6,60	0,20	0,92	3,04
CVe (%)	6,00	7,14	4,75	4,67	6,51	4,59	6,89	5,31	4,45	2,74	3,26
h ² mc	0,85	0,89	0,73	0,00	0,15	0,02	0,43	0,86	0,00	0,31	0,77
CVr	1,16	1,44	0,80	0,04	0,21	0,08	0,45	1,24	0,04	0,34	0,93
Acclon	0,92	0,94	0,85	0,09	0,39	0,16	0,67	0,92	0,08	0,56	0,88
Média	1,67	26,30	26,36	12,88	23,93	41,14	26,57	6,12	4,83	9,36	2,50
	Grupo III										
	ALT	NF	DCM	DCI	LFT	CFT	LFD	MINT	DFLR	ETFLR	TCRL
CVgi (%)	1,75	0,15	0,20	0,38	2,84	0,15	2,09	0,23	0,14	0,23	2,56
CVe (%)	3,09	2,64	4,29	6,53	4,60	3,24	5,93	4,28	3,07	4,34	6,02
h ² mc	0,56	0,01	0,00	0,01	0,60	0,00	0,33	0,01	0,00	0,01	0,42
CVr	0,57	0,05	0,04	0,05	0,62	0,04	0,35	0,05	0,04	0,05	0,42
Acclon	0,75	0,12	0,09	0,12	0,78	0,09	0,57	0,10	0,09	0,10	0,64
Média	1,58	29,10	24,13	11,98	20,77	38,53	22,96	5,78	4,54	9,41	2,59

No Grupo I, para todas as características foram observados valores mais altos de C_{Ve} em comparação com o C_{Vgi}, o que infere que os fatores ambientais têm uma influência significativa na expressão. Por outro lado, os valores de C_{Vgi} foram relativamente baixos, sugerindo uma menor variabilidade genética nesse grupo. No Grupo II, também foi observada uma predominância de valores mais altos de C_{Ve} em relação ao C_{Vgi}, indicando uma influência considerável do ambiente nas características estudadas. No entanto, algumas características, como DCM, LFT, LFD e ETFLR, apresentaram valores relativamente mais altos de C_{Vgi}, indicando uma maior variabilidade genética nessas características. No Grupo III, tanto o C_{Vgi} quanto o C_{Ve} foram baixos para a maioria das características. Isso sugere que tanto a variabilidade genética quanto a influência do ambiente foram menos expressivas.

O coeficiente de variação relativa (C_{Vr}) permite avaliar a contribuição do C_{Vg} e da C_{ve} na expressão de características, o qual fornece informações sobre a adaptabilidade das cultivares a diferentes condições ambientais e ajuda na escolha de genótipos com maior estabilidade de desempenho (CRUZ, 2007).

De acordo com Vencovsky (1987), a relação entre os coeficientes de variação genotípica e residual (C_{Vr}), também conhecido como índice b, é considerada favorável à seleção quando possui um valor igual ou superior a 1. No caso do presente estudo, apenas as variáveis do grupo II, ALT (1,16) e NF (1,44), apresentaram valores consideráveis (>1). Esses resultados indicam que essas características possuem uma variação genética relativamente alta em relação à variação residual, o que sugere que elas são mais influenciadas pelos genótipos das plantas do que por outros fatores. Essas características podem ser consideradas como promissoras para seleção e condução de populações segregantes no programa de melhoramento.

A existência da variabilidade é fundamental para a formação de qualquer programa de melhoramento genético, mas, o sucesso da seleção de genótipos superiores irá depender de parâmetros genéticos e ambientais associados aos caracteres de interesse (BLIND *et al.*, 2018). Outro parâmetro avaliado foi o coeficiente de herdabilidade (h^2_{mc}), que é uma medida que quantifica a proporção da variação de uma característica que é devida à variação genética, indicando a contribuição dos genes na expressão da mesma (CRUZ, 2005). Valores próximos a zero significam que a característica é influenciada

principalmente pelo ambiente, enquanto valores próximos a 1 indicam uma forte influência dos genes (FALCONER; MACKAY, 1996). Esse coeficiente ajuda a identificar quais caracteres são mais passíveis de serem melhoradas por meio da seleção genética.

No Grupo I, as variáveis ALT, NF, DCM, DCI, LFT, CFT e MINT apresentaram valores de h^2_{mc} relativamente moderados, variando de 0,08 (LFT) a 0,77 (NF). Esses valores indicam que para essa população, essas características têm uma influência genética considerável, com uma proporção significativa da variação fenotípica sendo atribuída às diferenças genéticas entre os indivíduos. Por outro lado, as variáveis DFLR, ETFLR e TCRL apresentaram valores muito baixos de h^2_{mc} , próximos a zero, sugerindo uma influência ambiental mais forte ou uma menor contribuição genética para essas características.

No Grupo II, as variáveis ALT, NF, DCM, LFT, CFT, LFD, MINT, DFLR, ETFLR e TCRL mostraram valores relativamente altos de h^2_{mc} , variando de 0,15 (LFT) a 0,89 (NF). Isso indica uma herdabilidade significativa nessas características, com uma proporção considerável da variação fenotípica sendo determinada por diferenças genéticas. No entanto, a característica DCI apresentou um valor muito baixo de h^2_{mc} , próximo a zero, sugerindo uma influência ambiental predominante para esta característica.

No Grupo III, a ALT, LFT e LFD apresentaram valores moderados de h^2_{mc} , variando de 0,33 (LFD) a 0,60 (LFT), indicando uma contribuição genética significativa nessas características. As demais, como NF, DCM, DCI, CFT, MINT, DFLR, ETFLR e TCRL, mostraram valores muito baixos de h^2_{mc} , próximos a zero, sugerindo uma influência ambiental mais forte ou uma menor contribuição genética.

Em termos gerais, pode-se observar que as características relacionadas ao dimensões da planta, como ALT, NF, DCM, LFT, CFT e LFD, tendem a ter uma influência genética moderada a alta nos Grupos I e II. No entanto, no Grupo III, apenas ALT, LFT e LFD mostraram uma influência genética significativa, enquanto as demais características nesse grupo são mais fortemente influenciadas pelo ambiente. Por outro lado, as características relacionadas à forma e morfologia das flores, como DFLR, ETFLR e TCRL, geralmente apresentam valores muito baixos de h^2_{mc} em todos os grupos, o que sugere que

essas características são mais sensíveis às variações ambientais e têm uma contribuição genética limitada.

Foi analisada a acurácia da seleção (Ac_{clon}), que é um parâmetro crucial para seleção no melhoramento genético de plantas. Ela representa a precisão na escolha dos genótipos mais desejáveis com base em informações fenotípicas e genéticas (RESENDE; DUARTE, 2007). Uma alta acurácia permite uma seleção mais eficiente e direcionada, maximizando o progresso genético ao longo das gerações (RESENDE; BARBOSA, 2005). Além disso, a acurácia da seleção economiza recursos, reduz o tempo necessário para obter resultados desejados e proporciona estabilidade ao processo de seleção (HAYWARD; BOSEMARK; ROMAGOSA, 2012).

No Grupo I, observou-se uma faixa de acurácia ampla, indicando que algumas características apresentaram uma maior confiabilidade na predição dos valores genéticos do que outras. As características ALT e NF mostraram acurácias relativamente altas (0,67 e 0,87), sugerindo uma maior precisão na predição dos valores genéticos para essas características. Por outro lado, as características ETFLR e TCRL apresentaram as acurácias mais baixas (0,12 e 0,09), indicando uma menor confiabilidade na predição dos valores genéticos.

Já no Grupo II, os resultados mostraram uma aumento na acurácia em comparação com o Grupo I. Destacam-se as variáveis NF, ALT, MINT, TCRL e DCM que apresentaram acurácias mais altas (0,85 - 0,92) em relação às outras. No entanto, o DCI e DFLR apresentaram acurácias relativamente baixas (0,09 e 0,08), sugerindo uma menor precisão na predição dos valores genéticos.

No Grupo III, foram observadas variações na acurácia da seleção para diferentes características. Assim como nos outros grupos, a característica NF apresentou uma acurácia relativamente baixa (0,12), enquanto outras características, como LFT e TCRL (0,78 e 0,64), mostraram acurácias mais altas.

O ganho genético no melhoramento genético do tabaco é um processo que visa aperfeiçoar continuamente as variedades de tabaco, tornando-as mais eficientes, produtivas e adequadas às condições variáveis do ambiente e isso contribui para o fortalecimento da indústria do tabaco e para a satisfação tanto dos agricultores quanto dos consumidores (LEGG; SMEETON, 1999).

No grupo I, para variável ALT, o genótipo ER 33-023 apresentou o maior ranqueamento (1), com um valor genotípico previsto de 0,10 e um valor

genotípico total de 1,96. Isso sugere que o genótipo ER 33-023 possui um potencial promissor em relação à altura das plantas de tabaco. Na variável NF, o genótipo ER 33-023 também obteve o melhor ranqueamento (1), com um valor genotípico previsto de 2,82 e um valor genotípico total de 32,18. Isso indica uma alta produtividade em termos do número de folhas das plantas de tabaco para o genótipo ER 33-023 (Tabela 4).

Tabela 4. Ranqueamento e estimativas dos valores genotípicos previstos (G), dos valores genotípicos (u+g) e da nova média quanto às variáveis Altura (ALT), Número de folhas (NF), Diâmetro médio do caule (DCM), Largura da 3° folha (LFT) e Comprimento da 3° folha (CFT) para o grupo I formado pelos genótipos de *Nicotiana Tabacum* L. ER 33-023, ER 33-021, ER 33-022, ER 565, ER 33-046 e ER 562 do programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, em Cruz das Almas, Bahia.

Altura (ALT)					
Ranque	Genótipo	G	u+g	Ganho	Nova média
1	ER 33-023	0,10	1,96	0,10	1,96
2	ER 33-021	0,02	1,87	0,06	1,92
3	ER 33-022	0,00	1,86	0,04	1,89
4	ER 565	-0,01	1,84	0,02	1,89
5	ER 33-046	-0,04	1,80	0,01	1,87
6	ER 562	-0,07	1,78	0,00	1,85
Número de folhas (NF)					
Ranque	Genótipo	G	u+g	Ganho	Nova média
1	ER 33-023	2,82	32,18	2,82	32,19
2	ER 33-021	1,63	31,00	2,23	31,59
3	ER 33-046	-0,34	29,02	1,37	30,74
4	ER 33-022	-0,68	28,68	0,86	30,23
5	ER 565	-1,51	27,84	0,38	29,75
6	ER 562	-1,92	27,43	0,00	29,36
Diâmetro médio do caule (DCM)					
Ranque	Genótipo	G	u+g	Ganho	Nova média
1	ER 33-022	1,16	27,23	1,16	27,23
2	ER 562	0,18	26,25	0,97	26,74
3	ER 33-023	0,01	26,08	0,45	26,52
4	ER 33-021	-0,10	25,97	0,31	26,38
5	ER 33-046	-0,24	25,82	0,20	26,27
6	ER 565	-1,01	25,06	0,00	26,07
Largura da 3° folha (LFT)					
Ranque	Genótipo	G	u+g	Ganho	Nova média
1	ER 565	0,30	23,69	0,30	23,69
2	ER 33-021	-0,02	23,37	0,14	23,53
3	ER 33-023	-0,06	23,33	0,07	23,47
4	ER 33-022	-0,06	23,33	0,04	23,43
5	ER 562	-0,07	23,32	0,01	23,41
6	ER 33-046	-0,07	23,32	0,00	23,40
Comprimento da 3° folha (CFT)					
Ranque	Genótipo	G	u+g	Ganho	Nova média
1	ER 562	0,20	41,03	0,20	41,03
2	ER 33-023	0,08	40,91	0,14	40,97
3	ER 33-021	0,07	40,91	0,12	40,95
4	ER 33-022	0,05	40,89	0,10	40,93
5	ER 33-046	-0,08	40,75	0,06	40,90

6	ER 565	-0,33	40,51	0,00	40,83
---	--------	-------	-------	------	-------

Em relação ao DCM, o genótipo ER 33-022 foi ranqueado em primeiro lugar, com um valor genotípico previsto de 1,16 e um valor genotípico total de 27,23. Esses resultados sugerem que o genótipo ER 33-022 possui um diâmetro médio do caule desejável, indicando um bom potencial para essa característica. Para a LFT, o genótipo ER 565 obteve o melhor ranqueamento (1), com um valor genotípico previsto de 0,30 e um valor genotípico total de 23,69. Isso indica que o genótipo ER 565 apresenta uma largura adequada para a terceira folha das plantas de tabaco. Na variável CFT, o genótipo ER 562 obteve o melhor ranqueamento (1), com um valor genotípico previsto de 0,20 e um valor genotípico total de 41,03. Esses resultados indicam que o genótipo ER 562 possui um comprimento adequado para a terceira folha das plantas de tabaco.

Para o grupo II, o genótipo ER 564 obteve o melhor ranqueamento para ALT, o qual apresentou um valor genotípico previsto de 0,10 e um valor genotípico total de 1,77, indicando um desempenho superior em relação aos demais genótipos. Assim como para NF, com um valor genotípico previsto de 2,76 e um valor genotípico total de 29,07, sugerindo uma alta produtividade. E para DCM, o genótipo ER, com um valor genotípico previsto de 1,00 e um valor genotípico total de 27,35, inferindo que ele apresenta um potencial para essa característica (Tabela 5).

Tabela 5. Ranqueamento e estimativas dos valores genotípicos previstos (g), dos valores genotípicos (u+g) e da nova média quanto às variáveis Altura (ALT), Número de folhas (NF), Diâmetro médio do caule (DCM), Largura da 3ª folha (LFT) e Comprimento da 3ª folha (CFT) para o grupo II formado pelos genótipos de *Nicotiana Tabacum* L. ER 564, ER 33-027 e ER 35-109 do programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, em Cruz das Almas, Bahia.

Altura (ALT)					
Ranque	Genótipo	G	u+g	Ganho	Nova média
1	ER 564	0,10	1,77	0,10	1,77
2	ER 33-027	0,00	1,67	0,05	1,72
3	ER 35-109	-0,11	1,56	0,00	1,67
Número de folhas (NF)					
Ranque	Genótipo	G	u+g	Ganho	Nova média
1	ER 564	2,76	29,07	2,76	29,07
2	ER 33-027	-0,43	25,87	1,16	27,47
3	ER 35-109	-2,33	23,98	0,00	26,30
Diâmetro médio do caule (DCM)					
Ranque	Genótipo	G	u+g	Ganho	Nova média

1	ER 564	1,00	27,35	1,00	27,35
2	ER 33-027	-0,45	25,90	0,27	26,63
3	ER 35-109	-0,54	25,83	0,00	26,36
Largura da 3° folha (LFT)					
Ranque	Genótipo	G	u+g	Ganho	Nova média
1	ER 35-109	0,15	24,08	0,15	24,08
2	ER 33-027	-0,04	23,90	0,05	23,98
3	ER 564	-0,10	23,83	0,00	23,93
Comprimento da 3° folha (CFT)					
Ranque	Genótipo	G	u+g	Ganho	Nova média
1	ER 35-109	0,02	41,16	0,03	41,17
2	ER 564	-0,01	41,13	0,00	41,15
3	ER 33-027	-0,02	41,13	0,00	41,14

O genótipo ER 35-109 obteve o melhor ranqueamento tanto na variável Largura da 3ª folha (LFT) quanto no Comprimento da 3ª folha (CFT). Na LFT, o genótipo ER 35-109 apresentou um valor genotípico previsto de 0,15 e um valor genotípico total de 24,08, indicando uma largura adequada para a terceira folha das plantas de tabaco. Assim como para o CFT, o genótipo ER 35-109 teve um valor genotípico previsto de 0,02 e um valor genotípico total de 41,16.

No grupo III, para a variável ALT, o genótipo ER 560 apresentou melhor desempenho, com valor genotípico previsto de 0,02 e valor genotípico total de 1,60. No NF, o genótipo ER 561 obteve o melhor ranqueamento, com valor genotípico previsto de 0,00 e valor genotípico total de 29,10. Para DCM, os genótipos ER 560 e ER 561 apresentaram resultados semelhantes, com ranqueamento em primeiro lugar e valores genotípicos próximos. Para a LFT, o genótipo ER 560 obteve o melhor ranqueamento, com valor genotípico previsto de 0,33 e valor genotípico total de 21,09. E no o CFT, o genótipo ER 561 obteve o melhor ranqueamento, com valor genotípico previsto de 0,00 e valor genotípico total de 38,53 (Tabela 6).

Tabela 6 . Ranqueamento e estimativas dos valores genotípicos previstos (g), dos valores genotípicos (u+g) e da nova média quanto às variáveis Altura (ALT), Número de folhas (NF), Diâmetro médio do caule (DCM), Largura da 3° folha (LFT) e Comprimento da 3° folha (CFT) para o grupo III formado pelos genótipos de *Nicotiana Tabacum* L. ER 560 e ER 561 do programa de pesquisa da Ermor Tabarama Tabacos do Brasil Ltda, em Cruz das Almas, Bahia.

Altura (ALT)					
Ranque	Genótipo	G	u+g	Ganho	Nova média
1	ER 560	0,02	1,60	0,01	1,60
2	ER 561	-0,02	1,57	0,00	1,58
Número de folhas (NF)					
Ranque	Genótipo	G	u+g	Ganho	Nova média
1	ER 561	0,00	29,10	0,00	29,10

2	ER 560	-0,00	29,09	0,00	29,10
Diâmetro médio do caule (DCM)					
Ranque	Genótipo	G	u+g	Ganho	Nova média
1	ER 561	0,00	24,14	0,00	24,14
2	ER 560	-0,00	24,13	0,00	24,13
Largura da 3° folha (LFT)					
Ranque	Genótipo	G	u+g	Ganho	Nova média
1	ER 560	0,33	21,09	0,33	21,09
2	ER 561	-0,33	20,45	0,00	20,76
Comprimento da 3° folha (CFT)					
Ranque	Genótipo	G	u+g	Ganho	Nova média
1	ER 561	0,00	38,53	0,00	38,53
2	ER 560	-0,00	38,53	0,00	38,53

Ao comparar os resultados dos três grupos, o grupo III se destaca em meio aos demais, o qual apresentou um desempenho superior em relação às características avaliadas, mostrando um potencial promissor para o desenvolvimento de plantas de tabaco com características desejáveis.

Os resultados obtidos no presente estudo podem fornecer informações importantes para seleção e melhoramento genético de *Nicotina tabacum*. Os genótipos com melhores desempenhos para cada variável podem ser selecionados para futuros programas de melhoramento, visando o desenvolvimento de plantas com características desejáveis para a Região do Recôncavo baiano.

4 CONCLUSÃO

Os resultados do estudo apontam que o genótipo ER 35-109 teve um desempenho superior na largura e no comprimento da terceira folha das plantas de tabaco, sugerindo que ele é adequado para a produção. Além disso, os genótipos ER 560 e ER 561 do Grupo III se destacaram em várias características, como altura das plantas, número de folhas, densidade de clorofila, largura e comprimento da terceira folha.

O Grupo III, ao qual esses genótipos pertencem, demonstrou potencial significativo no desenvolvimento de plantas de tabaco com características desejáveis. O Grupo I mostrou maior influência do ambiente em comparação com a genética nas características avaliadas, com exceção da altura e número de folhas. O Grupo II também teve uma influência ambiental considerável, embora algumas características apresentassem alta variabilidade genética. A acurácia da seleção variou entre os grupos e as características, mostrando o

quão confiável é a previsão dos valores genéticos.

REFERÊNCIAS

AMBROSIO, M.; VIANA, A.P.; RIBEIRO, MR.M.; PREISIGKE, S.C.; CAVALCANTE, N.R.; SILVA, F.A.; TORRES, G.X.; SOUSA, C.M.B. Genotypic superiority of *Psidium Guajava*S and simultaneous selection families using mixed modeling to. **Science Agrícola**, Piracicaba. v.78, n.2, 2021.

BLIND, A.D.; VALENTE, M.S.F.; LOPES, M.T.G.; RESENDE, M.D.V. Estimativa de parâmetros genéticos, análise de trilha e seleção em bucha vegetal para caracteres agrônômicos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife. v.13, n.2, e5522, 2018.

AFUBRA, Associação dos Fumicultores do Brasil. Fumicultura no Brasil. **AFUBRA**. 2021. Disponível em: <https://afubra.com.br/fumicultura-brasil.html>. Acesso em: 27 Jul. 2022.

BRASIL, Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **ComexVis**. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vix>. Acesso em: 23 Jul. 2022.

BUAINAIN, A.M.; SOUZA FILHO, H.M. de; SERIGATI, F.C.; CALIXTO, L.L. **Organização e funcionamento do mercado de tabaco no Sul do Brasil**. Campinas: Editora Unicamp. 2009.

BOIEIRO, M. Tabaco. **Instituto Hipocrates**, 2008. Disponível em: <http://www.institutohipocrates.pt/index.php/medicinas-nao-convencionais/fitoterapia/192-tabaco.html>. Acesso em: 30 Jul. 2022.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. 8 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2021.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Medidas do grau de precisão experimental em ensaios de competição de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v.44, p.111-117, 2009.

COSTA, T.P.P. **Caracterização morfoagronômica de genótipos de tabaco na região do Recôncavo da Bahia**. Dissertação (Mestrado em em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 55p., 2012.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Ed. da UFV, 2003. V.2, 585p.

CRUZ, C.D. **Princípios de genética quantitativa**. Viçosa: UFV; 2005

CRUZ, C.D. **Programa Genes**: aplicativo computacional em genética e estatística. Versão Windows 2007. Viçosa: UFV, 2007. v. 1. 442 p

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2014.

DAHAL, K.; MARTYN, G.D.; VANLERBERGHE, G.C. Improved photosynthetic performance during severe drought in *Nicotiana tabacum* overexpressing a nonenergy conserving respiratory electron sink. **New Phytologist**, Lancaster. v.208, n.2, p.382-95, 2015.

DARSKI, C.; KUHL, C.; TERRACIANO, P.B.; NIENOV, O.H. Desfechos quantitativos: amostras independentes. In: CAPP, E.; NIENOV, O.H. (Orgs). **Bioestatística quantitativa aplicada**. Porto Alegre: UFRGS, 2020.

DAVIS, D.L.; NIELSEN, M.T.(Eds.). **Tobacco: Production, Chemistry and Technology**. New Jersey: Wiley-Blackwell, 1999.

DUTRA, E.J. da S. **A produção de fumo em perspectiva**: A tipologia dos produtores de fumo no município de Canguçu, Rio Grande do Sul, Brasil. 2015. 168p. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.

EICHELBERGER, L. **Facilitando a colheita do tabaco**. 2017. 78p. Monografia (Graduação em Design) - Universidade do Vale do Taquari, Centro de Ciências Humanas e Sociais, Lajeado, 2017.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics**. 4 ed. Edinburgh: Longman Group Limited, 1996.

FARIAS NETO, J.T. de; RESENDE, M.D.V.D.; OLIVEIRA, M.D.S.P.D.; NOGUEIRA, O.L.; FALCÃO, P.N.B.; SANTOS, N.S.A.D. Estimativas de parâmetros genéticos e ganhos de seleção em progênies de polinização aberta de açaizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal. v. 30, p. 1051-1056, 2008.

GATELY, I. **Tobacco**: a cultural history of how an exotic plant seduced civilization. New York: Grove Press. 2001.

GAVILANO L.B.; COLEMAN N.P.; BURNLEY L.E.; BOWMAN M.L.; KALENGAMALIRO N.E.; HAYES A.; BUSH L.; SIMINSZKY B. Genetic engineering of *Nicotiana tabacum* for reduced nicotine content. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington. v.54, n.24, p.9071-9078, 2006.

GOMES, P.L.; SOUZA, T.A.N.; SOARES, D.P.; OLIVEIRA, S.L.; LEANDRO, R.I.; FILHO, A.G. Contribuição relativa de caracteres morfoagronômicos para a diversidade genética em genótipos de girassol em cultivo irrigado no município de Januária. In: FÓRUM DE ENSINO, PESQUISA, EXTENSÃO E GESTÃO, 9., Montes Claros. **Anais** [...] de Montes Claros: Fepeg, 2015;

GOODSPEED, T.H. **The genus Nicotiana**. Waltham: Chronica Botanica. v. 16, 1954.

HAIR J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. **Análise Multivariada de dados**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2009.

HAYWARD, M. D.; BOSEMARK, N. O.; ROMAGOSA, T. (Eds.). **Plant breeding: principles and prospects**. Berlin: Springer Science & Business Media, 2012.

HIRSCH, A.; LANDAU, E.C. Evolução da Produção de Fumo (*Nicotiana tabacum*, Solanaceae). In: LADAU, E.C.; SILVA, G.A. da; MOURA, L.; HIRSCH, A.; GUIMARÃES, D.P. **Dinâmica da Produção Agropecuária e da Paisagem Natural no Brasil nas Últimas Décadas**. Brasília: Embrapa, 2020, v.3, p. 801-836.

HOTELLING, H. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. **Journal of Educational Psychology**, Washington. v. 24, p.417-441, 1933.

HUNZIKER, A.X. **Genera Solanacearum: The genera of Solanaceae. Illustrated, Arranged According to a New System**. Ruggell: Gantner, 2001.

LEGG, P.D.; SMEETON, B.W. Breeding and genetics. In: DAVIS, D.L.; NIELSEN, M. (Ed.). **Tobacco, Production, Chemistry and Technology**. Colorado: Wiley-Blackwell, 1999.

LORENCETTI, C.; MALLMANN, I.L.; SANTOS, M. Fumo. In: BARBIERI, R.L.; STUMPF, E.R.T. (Ed.). **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 379-401.

MANLY, B.F.J. **Métodos Estatísticos Multivariados: Uma Introdução**. Porto Alegre: Artmed/Bookman, 229 p, 2008.

MARGARIDO, A. **As surpresas da flora no tempo dos descobrimentos**. Lisboa: Elo. 1994.

MARSHALL, D.R. Limitations to the use of germplasm collections. In: BROWN, A.D.H.; MARSHALL, D.R.; WILLIAMS, J.T. **The use of plant genetic resources**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. p. 105-120.

MARWEDE, V.; SCHIERHOLT, A.; MÖLLERS, C.; BECKER, H.C. Interações genótipo x ambiente e herdabilidade dos conteúdos de tocoferol em canola. **Crop Science**, Madison. v.44, p.728-731, 2004.

NASS, L.L.; PATERNIANI, E. Pre-breeding: a link between genetic resources and maize breeding. **Scientia Agricola**, Piracicaba; v.57, p.581-587, 2000.

OLIVEIRA, E.J.; SILVA SANTOS, V.; LIMA, D.S.; MACHADO, M.D.; LUCENA, R.S.; MOTTA, T.B.N.; CASTELLEN, M.S. Seleção em progênies de maracujazeiro-amarelo com base em índices multivariados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v. 43, n. 11, p. 1543-1549, 2008.

OLIVEIRA, J.M.C. de. A cultura do fumo na Bahia: refletindo sobre a convenção-quadro. **Revista Bahia Agrícola**, Salvador, v. 7, n. 2, p. 59-65, 2006.

PALMER, R.G. Germplasm collections and the experimental biologist. In: BROWN, A.H.D.; MARSHALL, D.R.; FRANKEL, O.H.; WILLIAMS, J.T. (Eds.). **The use of plant genetic resources**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. p. 32-45.

PAULAN, S. de C.; PUPIN, S. **Genética e Melhoramento de Plantas e Animais**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2019. 192 p.

R CORE TEAM R. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2023. URL <https://www.R-project.org/>

REIS, M.M. DOS (Coord.) **Guia para o profissional do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária: controle de produtos derivados do tabaco**. Rio de Janeiro: Educação a Distância da Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, 2016. 52p.

RESENDE, M.D.V. de. **Análise estatística de modelos mistos via REML/BLUP na experimentação em melhoramento de plantas perenes**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 101p. (Embrapa Florestas. Documentos, 47).

RESENDE, M.D.V.; BARBOSA, M.H.P. **Melhoramento genético de plantas de propagação assexuada**. Colombo: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 130p.

RESENDE, M.D.V. de. Correções nas expressões do progresso genético com seleção em função da amostragem finita dentro de famílias e populações e implicações no melhoramento florestal. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.23, p.61-77, 1991.

RESENDE, M.D.V. de; DUARTE, J.B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia. v.37, p.182-194, 2007.

RESENDE, M.D.V. Software Selegen - REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa. v.16, n.4, p.330–339, 2016.

ROSADO, A.; ROSADO, T.; ALVES, A.; LAVIOLA, B.; BHERING, L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.7, p.964-971. 2012.

ROUSSEEUW, P. **Silhouettes**: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Netherlands. v.20, p.53-65, 1987.

SNEATH, P.H.; SOKAL, R.R. **Numerical Taxonomy**: The Principles and Practice of Numerical Classification. 1 ed. San Francisco: W. H. Freeman, 1973.

SANTOS, M. **Caracterização fenotípica e molecular de genótipos de fumo no Sul do Brasil**. 2002, 122p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SILVA, M.G. de M.; VIANA, A.P.; GONÇALVES, G.M.; AMARAL JÚNIOR, A.T.D.; PEREIRA, M.G. Seleção recorrente intrapopulacional no maracujazeiro amarelo: alternativa de capitalização de ganhos genéticos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 170-176, 2009.

SINDITABACO, Sindicato Interestadual da Indústria do Tabaco. Exportações. **SindiTabaco**, 2021. Disponível em <https://www.sinditabaco.com.br/sobre-o-setor/exportacao/>. Acesso em: 26 Jul. 2022.

SINDITABACO, Sindicato Interestadual da Indústria do Tabaco. Origem do Tabaco. **SindiTabaco**, 2019. Disponível em: <https://www.sinditabaco.com.br/sobre-o-setor/origem-do-tabaco/>. Acesso em: 26 Jul. 2022.

THOMAS, A.L.; BREDEMEIER, C. Desenvolvimento da planta de fumo. In: THOMAS, A.L. (Org.). **Desenvolvimento das plantas de Batata, Mandioca, Fumo e Cana-de-açúcar**. Porto Alegre: UFRGS, 2016 p. 38-53.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G.P. (Ed.). **Melhoramento e produção do milho**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.137-214.

VENDRUSCOLO, R.; WAQUIL, P.D. **Mudanças institucionais na fumicultura do Rio Grande do Sul-Brasil**: análise da trajetória de vida das famílias produtoras. Instituições, regras e hábitos: proposições teóricas e aplicadas para estudos rurais. Curitiba: Editora CRV, 2020, p.153-179.

VIEIRA, E. L.; SOUZA, G. S.; SANTOS, A. R.; SANTOS, J. S. Translocação e Distribuição. In: VIEIRA, E. L.; SANTOS, G.; SANTOS, A. R. dos; SILVA, J. do S. **Manual de Fisiologia Vegetal**. São Luis: EDUFMA, 2010. p.110.

VIGNOLI-SILVA, M. **Os gêneros Nicotiana L., Bouchetia Dunal e Nierembergia Ruiz & Pav. (Solanaceae) no Rio Grande do Sul, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Instituto de Biociências Departamento de Botânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 151p., 2004.

WEBER, T.; RORATO, P.R.N.; LOPES, J.S.; COMIN, J.G.; DORNELLES, M.A.; ARAÚJO, R.O. Parâmetros genéticos e tendências genéticas e fenotípicas para escores visuais na faze pós-desmana de bovinos da raça Aberdeen Angus. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.3, p832-837, mai-jun, 2009.

ZAR, J. H. **Biostatistical Analysis**. 5 ed. New Jersey: Prentice Hall. 2010.

ZOU, C.; HU, X.; HUANG, W.; ZHAO, G.; YANG, X.; JIN, Y.; XIONG, K. Different yellowing degrees and the industrial utilization of flue-cured tobacco leaves. **Scientia Agricola**, São Paulo. v. 76, p. 1-9, 2019.

ANEXOS

ANEXOS A

Quadro 1. Identificação dos artigos utilizados na revisão sistemática no período de 2019 a 2023.

Identificação	Título	Autores	País	Nome do periódico	Tema Central	Técnicas e Abordagens	Principais Resultados	Impactos Gerados
1	Genome-wide identification and development of InDel markers in tobacco (<i>Nicotiana tabacum</i> L.) using RAD-seq	Li <i>et al.</i> (2022)	China e Austrália	Physiology and Molecular Biology of Plants	Seleção Assistida por Marcadores	Sequenciamento RAD-seq, PCR, análises de diversidade genética	Identificação de 32.884 loci InDel, 113 usados na análise de diversidade genética	Marcadores usados no melhoramento genético de tabaco
2	Overexpression of GhKTI12 Enhances Seed Yield and Biomass Production in <i>Nicotiana Tabacum</i>	Myat <i>et al.</i> (2022)	China e Paquistão	Genes	Gene GhKTI12 e Desenvolvimento de Tabaco	Transformação gênica, análises microscópicas, RNA-seq	Identificação de flavonóides e carotenóides em flores, papéis de biomarcadores	Contribuição para modificar a cor das flores em tabaco
3	A Comparative Study of Flavonoids and Carotenoids Revealed Metabolite Responses for Various Flower Colorations Between <i>Nicotiana tabacum</i> L. and <i>Nicotiana rustica</i> L.	Xiao <i>et al.</i> (2022)	China e Reino Unido	Frontiers in Plant Science	Formação de Cor de Flores de Tabaco	Análise de metabolomas usando UPLC-ESI-MS/MS	Identificação de flavonóides e carotenóides em diferentes espécies de tabaco	Entendimento das cores de flores em tabaco
4	Rapid quantification of alkaloids, sugar and yield of tobacco (<i>Nicotiana tabacum</i> L.) varieties by using Vis-NIR-SWIR spectroradiometry	Rodrigues <i>et al.</i> (2022)	Brasil	Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy	Estimativa de Atributos de Tabaco	Espectrorradiometria Vis-NIR-SWIR, Regressão PLSR	Modelos PLSR preditivos para atributos de tabaco	Estimativa rápida e econômica de atributos de tabaco
5	Identification and Characterization of	Xu <i>et al.</i> (2021)	China	Frontiers in Plant Science	Regulação da Parede Celular	Identificação de genes SWN, análise	Classificação de genes SWN, papéis em veias e	Contribuição ao entendimento

	Secondary Wall-Associated NAC Genes and Their Involvement in Hormonal Responses in Tobacco (<i>Nicotiana tabacum</i>)				em Tabaco	de expressão gênica	caule	molecular e melhoramento genético
6	Comparative transcriptome analysis between inbred lines and hybrids provides molecular insights into K ⁺ content heterosis of tobacco (<i>Nicotiana tabacum</i> L.)	Mo <i>et al.</i> (2022)	China	Frontiers in Plant Science	Heterose no Conteúdo de Potássio	Análise comparativa de transcriptoma	Padrões de expressão dominante e superdominante, genes associados a K ⁺	Insights moleculares para melhoramento genético
7	Optimized Protocol for Development of Androgenic Haploids and Doubled Haploids in FCV Tobacco (<i>Nicotiana tabacum</i>)	Sood <i>et al.</i> (2021)	Índia	Methods in Molecular Biology	Cultura de Anteras em Tabaco	Protocolo eficiente de cultura de anteras	Geração rápida de haplóides e DHs em tabaco	Implicações para o melhoramento genético
8	A YSK-Type Dehydrin from <i>Nicotiana tabacum</i> Enhanced Copper Tolerance in <i>Escherichia coli</i>	Dai <i>et al.</i> (2022)	China	International Journal of Molecular Sciences	Proteção Contra Estresses de Metais Pesados	Clonagem e caracterização da deidrina NtDhn17	NtDhn17 como agente antiagregante sob toxicidade de cobre	Implicações para resistência a estresses
9	The phytotoxicity of exposure to two polybrominated diphenyl ethers (BDE47 and BDE209) on photosynthesis and the response of the hormone signaling and ROS scavenging system in tobacco leaves	Wang <i>et al.</i> (2022)	China	Journal of Hazardous Materials	Efeitos de Poluentes Orgânicos nas Plantas	Técnicas fisiológicas e transcriptômicas	Impactos dos poluentes PBDEs nas plantas	Contribuição para estratégias de tolerância a estresses
10	Producing fast and active	Chen <i>et</i>	China e	The Plant Cell	Engenharia de	Engenharia genética,	Rubisco mais eficiente	Melhoria da taxa de

	Rubisco in tobacco to enhance photosynthesis	<i>al.</i> (2023)	Reino Unido		um Rubisco mais eficiente em plantas de tabaco	expressão em cloroplastos, análise funcional	aumentou a taxa de carboxilação e crescimento autotrófico	fotossíntese e produtividade de culturas
11	A two-step mutation process in the double WS1 homologs drives the evolution of burley tobacco, a special chlorophyll-deficient mutant with abnormal chloroplast development Engineering Nicotiana tabacum for the de novo biosynthesis of DMNT to regulate orientation behavior of the parasitoid wasps <i>Microplitis mediator</i>	<i>Wu et al.</i> (2019)	China	Plant	Evolução do Tabaco Burley	Clonagem e caracterização dos genes WS1A e WS1B	Genes WS1A e WS1B ligados ao caráter burley em tabaco	Compreensão molecular do caráter burley, estratégia de clonagem de genes
12	Molecular characterization and systematic analysis of NtAP2/ERF in tobacco and functional determination of NtRAV-4 under drought stress Expression of AtLEC2 and AtIPTs promotes embryogenic callus formation and shoot regeneration in tobacco PIF1, a phytochrome-interacting factor negatively regulates drought tolerance and carotenoids biosynthesis in tobacco	<i>Liu et al.</i> (2021)	China	Pest Management Science	Biossíntese de DMNT para Controle de Pragas	Introdução de vias metabólicas, testes comportamentais	Plantas transgênicas produzindo DMNT afetaram comportamento de vespas parasitoides	Potencial para manejo de pragas usando estratégia "push & pull"
13		<i>Gao et al.</i> (2020)	China	Plant Physiology and Biochemistry	Fatores de Transcrição em Resposta ao Estresse	Análises filogenéticas, expressão global sob estresse	Identificação de fatores de transcrição envolvidos na resposta ao estresse	Valioso para estudos de melhoramento genético para tolerância ao estresse
14		<i>Li et al.</i> (2019)	China	BMC Plant Biology	Regeneração de Brotações em Tabaco	Expressão induzida de genes, análises de regeneração	Expressão de AtLEC2 e AtIPTs levou à regeneração eficiente de brotações	Aplicação na regeneração eficiente de plantas a partir de calos embriogênicos
15		<i>Liu et al.</i> (2023)	China	International Journal of Biological Macromolecules	Regulação da Tolerância à Seca e Biossíntese de Carotenoides	Clonagem e caracterização do gene PIF1 em tabaco	Gene PIF1 ligado à regulação da tolerância à seca e biossíntese de carotenoides	Contribuição para compreensão da resposta à seca e produção de carotenoides

16	An automatic fluorescence phenotyping platform to evaluate dynamic infection process of Tobacco mosaic virus-green fluorescent protein in tobacco leaves	Ye <i>et al.</i> (2022)	China	Journal of Experimental Botany	Desenvolvimento de plataforma de fenotipagem para avaliar infecção pelo TMV	Monitoramento de fluorescência em folhas infectadas	Plataforma automática para avaliação da infecção pelo TMV em folhas de tabaco	Aplicação no estudo de interações planta-patógeno
17	Mutually Regulated AP2/ERF Gene Clusters Modulate Biosynthesis of Specialized Metabolites in Plants	Paul <i>et al.</i> (2020)	China e EUA	Plant Physiology	Investigação de clusters regulatórios de AP2/ERF em metabólitos	Análise de expressão gênica, superexpressão de genes	Identificação de clusters de genes regulatórios de metabólitos	Potencial para manipulação genética na produção de compostos especializados
18	Overexpression of NtCBL5A Leads to Necrotic Lesions by Enhancing Na(+) Sensitivity of Tobacco Leaves Under Salt Stress	Mao <i>et al.</i> (2021)	China e Holanda	Journal of Experimental Botany	Papel da proteína NtCBL5A na sensibilidade ao sal	Superexpressão de genes, análise fenotípica	Superexpressão de NtCBL5A resultou em sensibilidade ao sal e necrose nas folhas	Implicações na compreensão da tolerância ao sal em plantas
19	Spontaneous reactivation of a site-specifically placed transgene independent of copy number or DNA methylation	Wei, Dong e Ow (2020)	China	Journal of Experimental Botany	Estabilidade e reativação da expressão de transgenes em tabaco	Introdução de gene repórter, análise de expressão	Reativação da expressão de gene sem correlação com cópias ou metilação	Contribuição para a produção de sementes transgênicas estáveis
20	Transcriptomic insights into the regulatory networks of chilling-induced early flower in tobacco (<i>Nicotiana tabacum</i> L.)	Xu <i>et al.</i> (2022)	China	Journal of Plant Interactions	Mecanismos genéticos da floração precoce induzida pelo frio	Sequenciamento do transcriptoma, análise de expressão gênica	Identificação de genes relacionados à floração precoce induzida pelo frio	Compreensão dos mecanismos moleculares da floração precoce
21	Transcriptome sequencing reveals the effect of biochar	Yan <i>et al.</i> (2019)	China	PLoS One	Efeitos da aplicação de biochar no	Aplicação de biochar, sequenciamento do transcriptoma	Aplicação de biochar impactou metabolismo e desenvolvimento do tabaco	Contribuição para práticas agrícolas mais sustentáveis

	improvement on the development of tobacco plants before and after topping				desenvolvimento do tabaco			
22	The ARGOS-LIKE genes of Arabidopsis and tobacco as targets for improving plant productivity and stress tolerance Synthetic chloroinconazide compound exhibits highly efficient antiviral activity against tobacco mosaic virus	Kuluev <i>et al.</i> (2019)	Rússia	Journal of Plant Physiology	Papel dos genes ARGOS na produtividade e tolerância ao estresse	Expressão de genes, análise de resposta ao estresse	Genes ARGOS regulam crescimento e estresse em plantas	Potencial para melhoramento genético para aumentar produtividade e resistência
23	aussurea involucrata PIP2;4 improves growth and drought tolerance in <i>Nicotiana tabacum</i> by increasing stomatal density and sensitivity	Lv <i>et al.</i> (2020)	China e Austrália	Pest Management Science	Desenvolvimento de composto antiviral contra TMV	Síntese de composto, testes anti-TMV, análise de efeitos	Composto CHI mostrou eficácia contra o TMV	Potencial impacto na redução de perdas causadas por vírus em plantações
24	Rhododendron micranthum rmmhd gene encoding malic dehydrogenase confers tolerance to abiotic stress in transgenic <i>Nicotiana tabacum</i>	Xin <i>et al.</i> (2023)	China	Plant Science	Papel das aquaporinas na regulação do crescimento, desenvolvimento e adaptação ao estresse hídrico	Clonagem, expressão, análise de densidade estomática, resposta estomática ao déficit de pressão de vapor	Expressão de SiPIP2;4 aumentou a densidade e sensibilidade estomática, resultando em maior tolerância à seca	Implicações no melhoramento genético de culturas para desenvolver variedades mais resistentes à seca
25	Reaction to Hydrogen-Peroxide Action in <i>Nicotiana tabacum</i> Plants Transformed by the Cholinoxidase Gene (<i>codA</i>)	Yi <i>et al.</i> (2022)	China	Pakistan Journal of Botany	Importância das MDHs no desenvolvimento de plantas	Isolamento do gene RmMDH, análise de sequência, transformação genética	Plantas transgênicas exibiram maior resistência a estresses de NaCl, NaHCO ₃ , polietilenoglicol e alumínio	Potencial para desenvolver plantas mais resistentes a estresses
26		Shirokikh <i>et al.</i> (2021)	Rússia	Applied Biochemistry and Microbiology	Engenharia genética da síntese de glicina betaina (GB) e respostas das plantas ao	Utilização do gene <i>codA</i> de <i>Arthrobacter gloiformis</i> , estresse oxidativo, análises bioquímicas	Plantas transgênicas mostraram menor resistência ao estresse oxidativo, variações nas respostas à indução de estresse	Importância para engenharia genética visando resistência ao estresse

27	Rapid quantification of alkaloids, sugar and yield of tobacco (<i>Nicotiana tabacum</i> L.) varieties by using Vis-NIR-SWIR spectroradiometry	Rodrigue <i>s et al.</i> (2022)	China	Plant Molecular Biology Reporter	estresse oxidativo Transferência de gene transportador de fosfato para melhorar tolerância ao estresse de baixo fósforo	Clonagem do gene PmPT1, transferência para tabaco, análises de expressão gênica	Plantas transgênicas mostraram aumento na expressão de genes de transporte de fosfato, melhor tolerância ao estresse de baixo fósforo	Potencial para desenvolver plantas resistentes a baixo teor de fósforo
28	Overexpression of the Glutathione S-Transferase ATGSTF11 Gene Improves Growth and Abiotic Stress Tolerance of Tobacco Transgenic Plants Overexpression of polygalacturonase-inhibiting protein (PGIP) gene from <i>Hypericum perforatum</i> alters expression of multiple defense-related genes and modulates recalcitrance to <i>Agrobacterium tumefaciens</i> in tobacco	Kuluev, Ermoshin e Mikhaylo va (2022)	Rússia	Russian Journal of Plant Physiology	Avaliação do gene AtGSTF11 na regulação do crescimento e tolerância ao estresse	Expressão gênica induzida por estresse, análise do crescimento e marcadores bioquímicos	Superexpressão do AtGSTF11 resultou em melhor crescimento radicular sob salinidade e frio, aumento de marcadores de estresse	Potencial para desenvolver plantas mais resistentes a estresses abióticos
29	Optimization of T-DNA configuration with UBIQUITIN10 promoters and tRNA-sgRNA complexes promotes highly efficient genome editing in allotetraploid tobacco	Hou <i>et al.</i> (2020)	Portugal e China	Journal of Plant Physiology	Estudo do gene HpPGIP na recalcitrância à transformação mediada por <i>Agrobacterium</i>	Análise do gene HpPGIP, influência na eficiência de transformação, expressão gênica	Gene HpPGIP afetou a eficiência da transformação, revelou genes relacionados à defesa e regulação de vias de defesa	Implicações para engenharia genética na transformação de plantas
30		Kumar <i>et al.</i> (2022)	Israel	Plant Cell Reports	Otimização da edição de genes em tabaco	Utilização de promotores UBIQUITIN10, tRNA- sgRNA, análise de edição genômica	Uso de ttLbCas12a aumentou eficiência de recombinação homóloga em tabaco, alta eficácia de nocaute alélico	Potencial para edição genética eficiente em tabaco

31	Mutation of NtNRAMP3 improves cadmium tolerance and its accumulation in tobacco leaves by regulating the subcellular distribution of cadmium	Jia <i>et al.</i> (2022)	China	Journal of Hazardous Materials	Papel do gene NtNRAMP3 na tolerância e acúmulo de cádmio	Edição genômica CRISPR/Cas9, análise de localização subcelular, resposta antioxidante	Mutação de NtNRAMP3 aumentou tolerância e acúmulo de cádmio em folhas de tabaco, transporte modificado de cádmio	Implicações para desenvolver plantas tolerantes a metais pesados
32	Molecular identification of promising <i>Nicotiana</i> spp. genotypes resistant to multiple diseases	Perez-Rodríguez <i>et al.</i> (2021)	China e EUA	BMC Genomics volume	Caracterização molecular de genótipos de tabaco resistentes a doenças	RNA-seq, análise genômica, validação por PCR, transformação genética	Identificação de genes relacionados à suscetibilidade a potyvírus, caracterização molecular de genótipos resistentes	Potencial para desenvolver variedades de tabaco resistentes a múltiplas doenças
33	Induction of pollen embryo and chromosome doubling in tobacco (<i>Nicotiana tabacum</i> L.)	Lu <i>et al.</i> (2020)	China	Turkish Journal of Botany	Melhoramento de tabaco usando cultura de anteras e tratamento com colchicina	Cultura de anteras, indução de embriões de pólen, tratamento com colchicina, análise de ploidia, avaliação de taxa de sobrevivência, citometria de fluxo	Cultura de anteras em diferentes meios resultou em variações na indução de embriões de pólen, meio B apresentou altas taxas. Tratamento com colchicina dobrou cromossomos em plântulas haploides estéreis. Plântulas TMK-12 x Jiyang 5 e K326 x Shuangkang 70 mostraram alta duplicação cromossômica.	Método eficaz de melhoramento genético de tabaco via cultura de anteras e colchicina. Base teórica para acelerar criação e melhoria de variedades.
34	Expression of a carotenogenic gene allows faster biomass production by redesigning plant architecture and improving photosynthetic efficiency in tobacco	Moreno <i>et al.</i> (2020)	Alemanha e Dinamarca	The journal plant	Manipulação genética da carotenogênese para melhorar produção de carotenoides e arquitetura da planta	Expressão do gene DcLCYB1 em tabaco, experimentos em diferentes condições de crescimento, análise de transcriptoma	A expressão de DcLCYB1 aumentou acumulação de carotenoides, alterou arquitetura da planta. Transcriptoma revelou expressão aumentada de genes relacionados a carotenoides, clorofila, hormônios e fotossíntese. Fenótipo com maior eficiência fotossintética e	Insights sobre interações genéticas e fisiológicas, potencial de modificações genéticas para melhoramento.

							maiores rendimentos de planta.	
35	Elucidating genomic patterns and recombination events in plant cybrid mitochondria	Garcia <i>et al.</i> (2021)	Argentina e Reino Unido	Plant Molecular Biology	Recombinação homóloga em mitocôndrias de plantas cíbridas	Análises detalhadas do mtDNA, comparação com mtDNAs parentais, técnicas genômicas e bioinformáticas	Cíbrido apresentou mtDNA intermediário, sequências homólogas herdadas perdidas, genes de ambos os pais e genes quiméricos. Recombinação homóloga por diferentes mecanismos, BIR mais frequente.	Contribuição para compreensão da recombinação em cíbridos, interação entre genomas mitocondrial e nuclear. Implicações para evolução genômica, melhoramento e engenharia genética. Avanço das ferramentas de edição genética em plantas, potencial para produção de medicamentos e metabólitos valiosos.
36	Efficient gene targeting in <i>Nicotiana tabacum</i> using CRISPR/SaCas9 and temperature tolerant LbCas12a	Huang <i>et al.</i> (2021)	Alemanha	Plant Biotechnology Journal	Melhorar eficiência de edição genética usando CRISPR/Cas em tabaco	Edição genética usando SaCas9 e ttLbCas12a, otimização do protocolo de transformação, recombinação homóloga	Substituição de SpCas9 por ttLbCas12a aumentou eficiência da recombinação homóloga, múltiplos eventos hereditários identificados. Extensão da sequência de conversão analisada.	Insights sobre mecanismos de resposta ao estresse salino, potencial para melhoramento de culturas importantes.
37	Ectopic expression of a grapevine alkaline α-galactosidase seed imbibition protein VvSIP enhanced salinity tolerance in transgenic tobacco plants	Ben-Amar <i>et al.</i> (2023)	Tunísia e Alemanha	Functional & Integrative Genomics	Superexpressão de VvSIP para melhorar tolerância à salinidade em tabaco	Superexpressão de VvSIP em tabaco, ensaios de germinação, crescimento vegetativo e ensaios em vasos, análises fisiológicas e bioquímicas	Superexpressão de VvSIP resultou em maior tolerância à salinidade durante germinação e vegetação tardia, ajuste eficiente ao estresse salino.	Contribuição para estratégias de engenharia genética
38	A synthetic strong and constitutive promoter derived from the <i>stellaria media</i> pro-smamp1 and	Efremova <i>et al.</i> (2020)	Rússia	Genes	Comparação de promotores sintéticos para expressão eficaz	Comparação dos promotores pro-SmAMP1 e pro-SmAMP2 com	Promotor pro-SmAMP1 mais forte na expressão transiente, promotor pro-SmAMP2 eficaz na seleção	

	pro-smamp2 promoters for effective transgene expression in plants				de transgenes	promotor 35S do vírus do mosaico da couve-flor, análise de expressão gênica transiente, seleção de células transgênicas Análise de divergência genética entre genótipos de tabaco, algoritmos plataforma como redes neurais artificiais, Random Forest e árvore de decisão para classificação Identificação e inativação do gene Nt6549g30 como candidato ao controle da letalidade híbrida em tabaco. Reversão da letalidade em cruzamentos com diferentes espécies. Implicações na evolução de genes de resistência.	de células transgênicas, elementos cis-induzíveis identificados.	
39	Application of hierarchical grouping and machine learning models for classification of genotypes of <i>Nicotiana tabacum</i> L. based on morphological characteristics	Santos et al. (2023)	Brasil	Smart Agricultural Technology	Uso de plataforma para classificar genótipos de tabaco com base em características morfológicas		Identificação de grupos divergentes de genótipos, alta precisão na classificação usando redes neurais, Random Forest e árvore de decisão.	Potencial para conservação da variabilidade genética e melhoramento de culturas, aplicável à região do Recôncavo da Bahia.
40	Identification and editing of a hybrid lethality gene expands the range of interspecific hybridization potential in <i>Nicotiana</i>	Ma et al. (2020)	EUA	Theoretical and Applied Genetics	Edição de Genes, Cruzamentos, Análise de Proteínas		O estudo demonstra que a inativação do gene Nt6549g30 (NtHL1) reverte a letalidade híbrida em cruzamentos de tabaco com diferentes espécies	Expansão do pool genético para cultivo via edição de genes
41	High-density SNP genetic linkage map construction and quantitative trait locus mapping for resistance to <i>cucumber mosaic virus</i> in tobacco (<i>Nicotiana</i>)	Cheng et al. (2019)	China	Crop Science Society of China and Institute of Crop Science	Utilização da técnica de sequenciamento de DNA associada a sítios de restrição para identificação		A construção do mapa genético de alta densidade proporcionou uma ferramenta avançada para a análise genética e o melhoramento do tabaco. A identificação de QTL	O mapa genético de alta densidade permite uma melhor compreensão das bases genéticas dos traços

tabacum L.)

de marcadores de polimorfismo de nucleotídeo único (SNP); mapeamento genético com base na análise de SNP; identificação de loci de traços quantitativos (QTL).

construção de um mapa genético de alta densidade com 13,273 marcadores SNP mapeados em 24 grupos de ligação genética; mapeamento de sete QTL relacionados à resistência ao vírus do mosaico do pepino (CMV).

relacionados à resistência ao CMV demonstra a utilidade prática do mapa para a pesquisa agrícola.

importantes do tabaco, como a resistência a doenças. Isso pode impulsionar os esforços de melhoramento genético para desenvolver variedades de tabaco mais resistentes e produtivas, contribuindo para a indústria tabagista e agrícola.
