

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS CURITIBANOS  
CURSO DE AGRONOMIA

Denize Carniel Spanholi

**Genética da cor do tegumento da semente de linhaça (*Linum usitatissimum* L.)**

Curitibanos

2023

Denize Carniel Spanholi

**Genética da cor do tegumento da semente de linhaça (*Linum usitatissimum* L.)**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Rurais, Campus de Curitibanos da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.  
Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Carolina da Costa Lara Fioreze.  
Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Naiara Guerra.

Curitibanos

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da  
UFSC.

Spanholi, Denize Carniel

Genética da cor do tegumento da semente de linhaça (*Linum  
usitatissimum* L.) / Denize Carniel Spanholi ; orientador, Ana  
Carolina da Costa Lara Fioreze, coorientador, Naiara Guerra,  
2023.

36 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade  
Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Graduação em  
Agronomia, Curitibanos, 2023.

Inclui referências.

1. Agronomia. 2. Linhaça. 3. Cor do tegumento da semente . 4.  
Genética da cor do grão . 5. Fenótipo. I. Fioreze, Ana Carolina  
da Costa Lara . II. Guerra, Naiara. III. Universidade Federal de  
Santa Catarina. Graduação em Agronomia. IV. Título.

DENIZE CARNIEL SPANHOLI

**Genética da cor tegumento da semente de linhaça (*Linum usitatissimum* L.)**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Agrônomo, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Agronomia.

Curitiba, 02 de junho de 2023.



Documento assinado digitalmente  
DJALMA EUGENIO SCHMITT  
Data: 21/06/2023 15:21:31-0300  
CPF: \*\*\*.180.539-\*\*  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof. Dr. Djalma Eugenio Schmitt  
Subcoordenador do curso

**Banca examinadora:**



Documento assinado digitalmente  
ANA CAROLINA DA COSTA LARA FIOREZE  
Data: 21/06/2023 15:53:07-0300  
CPF: \*\*\*.401.458-\*\*  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Carolina da Costa Lara Fioreze.  
Orientadora  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Documento assinado digitalmente  
Naiara Guerra  
Data: 21/06/2023 16:02:26-0300  
CPF: \*\*\*.641.708-\*\*  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Naiara Guerra  
Coorientadora  
Universidade Federal De Santa Catarina



Documento assinado digitalmente  
Viviane Glaser  
Data: 21/06/2023 15:50:23-0300  
CPF: \*\*\*.715.429-\*\*  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Viviane Glaser  
Membro da banca examinadora  
Universidade Federal De Santa Catarina



Documento assinado digitalmente  
ANA CAROLINE BASNIAK KONKOL  
Data: 22/06/2023 16:25:46-0300  
CPF: \*\*\*.209.039-\*\*  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Ana Caroline Basniak Konkol  
Membro da banca examinadora  
Universidade Federal de Viçosa

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Leomar A. Spanholi e Ilse S. Carniel,  
ao meu irmão Samoel A. C. Spanholi e meus queridos avós.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, que é minha força, onde deposito todos os meus sonhos e permitiu que eu chegasse até aqui.

À minha mãe, Ilse, pela vida, amor, carinho, atenção, preocupação e incentivo a ser uma mulher forte.

Ao meu pai Leomar, que me ensinou bons caminhos, apoia minhas decisões e não me deixou desistir.

Ao meu irmão Samoel, que me dá incentivo, apoio e compreendeu meus momentos de ausência durante a graduação.

Aos meus tios Marcos e Nilce, que sempre estiveram ao meu lado, me dando incentivo e carinho.

As minhas primas, Eloise e Monique, pela força e amizade durante todos esses anos.

À minha querida orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Carolina da C. Lara Fioreze, por ser uma grande apoiadora e amiga, pelos ensinamentos, atenção, carinho, paciência e pela honra de ser sua orientada.

Às minhas amigas, Gabriela Escopel e Gabriela Sanguanini, pela amizade incondicional, por me apoiarem, estarem sempre ao meu lado e serem compreensivas nos momentos de ausência durante a dedicação a esse trabalho.

Aos meus amigos, colegas de faculdade e de Curitiba que sempre estarão em meu coração: Jessica, Evelyn, Cristina, Thalyne, Ana Konkol, Ana Mabe, Paula, Bruna, Bianca, Constanza, Nathalia, Eduarda, Tainara, Beatriz, Angela e Antonio A. Prates.

Ao grupo GenLin, aos que já fizeram parte dele e com muita dedicação, contribuíram para a execução deste trabalho. Em especial minha querida amiga Ana K., Antonio e Anthony.

Aos professores da UFSC – Campus Curitiba, principalmente minha querida coorientadora Naiara, pelos ensinamentos que permitiram explorar meu melhor potencial durante esses anos de graduação.

Aos demais amigos, pessoas com quem convivi ao longo desses anos de curso, que tiveram grande impacto na minha vida social e formação. Vocês tornaram a caminhada até aqui mais leve e feliz em Curitiba.

Muito obrigada!

## RESUMO

A linhaça (*Linum usitatissimum* L.) é uma cultura de inverno com duplo propósito de produção, além da utilização do grão *in natura* e para a fabricação de óleo, também é possível utilizar as fibras extraídas do caule. Pertencente à família Linaceae, é uma planta autógama e diploide ( $2n = 2x = 30$  cromossomos). No Brasil, a cultura foi introduzida no século XVII, pelo Rio Grande do Sul, a qual era produzida em larga escala e utilizadas cultivares nacionais, canadenses e argentinas. Dentre várias características que são de interesse para o melhorista, a cor do grão tem sido um foco devido ao seu valor nutricional e a preferência do mercado consumidor. A semente de linho tem alto valor nutricional, é rica em ácidos graxos, ômega 3 e 6, proteínas e fibras digestíveis, que traz grandes benefícios à saúde humana. Sabe-se que a cor da semente influencia no conteúdo nutricional e trabalhos relatados até então, mostram que a cor do grão se dá por genes de herança nuclear; contudo, os mesmos encontrados na literatura foram realizados com genótipos estrangeiros, não havendo resultados de genótipos utilizados no Brasil. À vista disso, o presente trabalho teve como objetivo estudar a herança genética da cor do tegumento da semente de linhaça. No ano de 2021 foram cultivadas em casa de vegetação quatro linhagens de linhaça amarela desenvolvidas pelo programa de melhoramento genético Genlin e duas cultivares de linhaça marrom desenvolvidas pelo Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária da Argentina. Os cruzamentos para obtenção de híbridos foram realizados conforme as plantas floresciam, sendo utilizadas para os cruzamentos diretos: (i) linhagens amarelas como genitor feminino e as cultivares marrons como genitor masculino; e também seus recíprocos: (ii) cultivares marrons como genitor feminino e as linhagens amarela como genitor masculino. Gerando então as sementes  $F_1$  com fenótipo igual aos dos genitores femininos. Quando utilizado no cruzamento o genitor materno com semente marrom, gerou uma prole de sementes marrons e quando utilizado no cruzamento o genitor materno com semente amarela, gerou uma prole de sementes amarelas. Os dados obtidos foram submetidos à avaliação através da chave dicotômica usada para determinar o modo de herança da cor da casca da semente de linhaça. Até a atualidade, nenhum estudo identificou a presença de efeito materno na cor do tegumento da semente de linhaça e embora muitos trabalhos de excelência já tenham sido realizados obtendo bons resultados, nunca haviam sido estudados germoplasmas sul-americanos. Visto que a cor influencia no conteúdo nutricional da semente e esse fator é importante para o mercado consumidor, os programas de melhoramento genético tem interesse em estudar essa característica. Segundo os dados obtidos através do resultado do estudo em questão foi possível concluir que a cor do tegumento da semente de linhaça nos genótipos brasileiros e argentinos avaliados, foi do tipo herança materna.

**Palavras chave:** Herança materna. Fenótipo. Cruzamentos. Prole marrom. Prole amarela.

## ABSTRACT

Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) is a winter crop with dual purpose of production, which belongs to the Linaceae family. The plant is autogamous and diploid ( $2n = 2x = 30$  chromosomes). The culture was introduced in the 17th century in Brazil, at Rio Grande do Sul state, and was produced on a large scale with Canadian and Argentine cultivars. Among several characteristics that are of interest to the breeder, the color of the grain has been a focus due to its nutritional value and the preference of the consumer market. Flax seed has high nutritional value, and is rich in fatty acids, omega 3 and 6, protein, and digestible fiber, with greatly benefits to human health. It is known that the color of the seed influences its nutritional content. So far, some studies reported that the color of the grain is given by genes of nuclear inheritance; however, the same ones found in the literature were carried out with foreign genotypes, with no results of genotypes used in Brazil. Considering it, the present work aimed to study the genetic inheritance of the color of the linseed seed coat. In 2021, four yellow linseed lines developed by the Genlin genetic improvement program and two brown linseed cultivars developed by the National Institute of Agricultural Technology of Argentina were grown in a greenhouse. Crosses to obtain hybrids were carried out as the plants flowered, using for direct crosses: (i) yellow lines as female parent and brown cultivars as male parent; and also their reciprocals: (ii) brown cultivars as female parent and yellow lines as male parent. Then generating the F1 seeds with the same phenotype as the female parents. When used in the crossing, the maternal parent with brown seed, generated an offspring of brown seeds and when used in the crossing, the maternal parent with yellow seed, generated an offspring of yellow seeds. The data obtained were submitted to appraisal through the dichotomous key used to determine the mode of inheritance of flaxseed skin color. Up to the present, no study has identified the presence of a maternal effect on the color of the linseed seed coat and although many excellent works have already been carried out with good results, South American germplasm had never been studied. Since the color influences the nutritional content of the seed and this factor is important for the consumer market, genetic breeding programs are interested in studying this characteristic. According to the data obtained through the result of the study in question, it was possible to conclude that the color of the linseed seed coat in the Brazilian and Argentine genotypes evaluated was of the maternal inheritance type.

**Key-words:** Maternal inheritance. Phenotype. Crossings. Brown offspring. Yellow offspring.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Escala fenológica da planta de linhaça.....	17
Figura 2 - Dados de produção de linhaça (em toneladas) no mundo (2021) .....	19
Figura 3 - Linha do tempo do cultivo e melhoramento genético da linhaça na Região Sul do Brasil.....	20
Figura 4- Variação de cor em sementes de linhaça de uma população segregante.....	21
Figura 5 - Experimento conduzido em casa de vegetação para realização dos cruzamentos e obtenção dos híbridos.....	23
Figura 6 - Seleção do botão floral e flor aberta para polinização.....	24
Figura 7 - Início dos cruzamentos do experimento conduzido em casa de vegetação para obtenção dos híbridos.....	25
Figura 8 - Colheita, identificação e debulha das cápsulas por ocorrência da maturação.....	26
Figura 9 - Esquema das etapas do estudo da herança da cor do tegumento da semente de linhaça ( <i>Linum usitatissimum</i> L.).....	28

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Chave dicotômica usada para determinar o modo de herança da cor da casca da semente em gergelim, adaptada para a cultura da linhaça ( <i>Linum usitatissimum</i> L.).....	27
Tabela 2 - Cruzamentos diretos e recíprocos entre linhagens de sementes amarelas e cultivares de linhaça de sementes marrons; número de sementes amarelas e marrons produzidas pela geração F <sub>1</sub> cruzamentos diretos e recíprocos entre linhagens de sementes amarelas e cultivares de sementes marrons de linhaça.....	29

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1	OBJETIVOS .....	13
1.1.1.	Objetivo geral.....	13
1.1.2.	Objetivos específicos .....	13
1.2.	JUSTIFICATIVA .....	14
<b>2.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
2.1.	A CULTURA DA LINHAÇA ( <i>Linum usitatissimum</i> L.) .....	15
2.2.	ASPECTOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA LINHAÇA .....	16
2.3.	MELHORAMENTO GENÉTICO DA LINHAÇA.....	18
<b>3.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>22</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>28</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>32</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>33</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A linhaça (*Linum usitatissimum* L.) é uma cultura de inverno, autógama e diploide ( $2n = 2x = 30$  cromossomos) pertencente à família Linaceae que apresenta duplo propósito de produção. A espécie, originária do Oriente Próximo e regiões da Europa, teve sua domesticação baseada para o uso de fibras, ainda no período neolítico, com posterior utilização do óleo (ALLABY *et al.*, 2005; FU, 2005), sendo o óleo matéria-prima importante para indústria química (DAL COLL LÚCIO *et al.*, 2021).

No Brasil, a cultura foi introduzida no século XVII, pelo Rio Grande do Sul e era produzida em larga escala e utilizadas cultivares nacionais, canadenses e argentinas. A entrada de derivados de petróleo e a descaracterização das cultivares utilizadas, ocorrida após uma mistura acidental de sementes, prejudicou a continuidade do melhoramento genético e do interesse pela cultura da linhaça (TOMASINI, 1980), reduzindo a área de 60.000 (década de 60) para menos de 5.000 hectares (década de 70) (FLOSS, 1983).

O óleo da linhaça extraído dos grãos apresenta grande importância econômica para a composição de tintas, vernizes e corantes, e a fibra extraída do caule tem importância para a indústria têxtil, por ser matéria prima de tecidos de luxo. Além disso, o grão apresenta alto valor nutricional. O óleo extraído das sementes é rico em ômega-3, ácidos graxos, proteínas, e fibras digestíveis que traz grandes benefícios à saúde humana (MORRIS, 2007). Seu grão pode ser consumido cru ou em forma de farinhas, que além de um alimento saudável pode contribuir para a prevenção de doenças (SINGH *et al.*, 2011, YOU *et al.*, 2016). Além disso, serve como incremento de dietas de animais, condição que ampliou o consumo da oleaginosa (MARQUES, 2008).

Atualmente, segundo dados registrados no ano de 2021, a Rússia é a maior produtora de linhaça do mundo, seguido pelo Cazaquistão, Canadá e China (FAOSTAT, 2023). No Brasil, a maior produção está concentrada no estado do Rio Grande do Sul, em Giruá. A cidade conta com mais de 50% da área cultivada no Brasil (FAOSTAT, 2021; INSTITUTO..., 2021).

Devido ao desestímulo da produção frente a outras culturas, durante um longo período, cessaram os esforços e investimentos em pesquisas que almejassem a avaliação e o desenvolvimento de cultivares de linhaça, bem como a produção de sementes para o cultivo na Região Sul. Atualmente, o aumento do cultivo da linhaça na Região Sul pode ser promovido pelas pesquisas nacionais com enfoque no melhoramento genético de cultivares nacionais, desenvolvidas e validadas sob as condições edafoclimáticas brasileiras.

Com o objetivo de fomentar o cultivo da linhaça, os programas de melhoramento genético desenvolvem genótipos superiores e adaptados, que possam despertar interesse de utilização pelos produtores. Dentre várias características que são de interesse para o melhorista, a cor do grão tem sido um foco devido ao seu valor nutricional e a preferência do mercado consumidor. Existem estudos comprovando que a cor influencia em seu conteúdo nutricional (ABTAHI *et al.*, 2022), sendo que a linhaça marrom pode ter um teor elevado de antioxidantes (KAJLA *et al.*, 2015; XU *et al.*, 2015), e a linhaça amarela possui cotilédones ricos em carotenoides (TROSHCHYNSKA *et al.*, 2019). Sendo assim, a cor das sementes é um fator importante, que pode influenciar no valor de mercado das cultivares.

Trabalhos publicados até então, relatam que a cor do grão se dá por genes de herança nuclear; contudo, os mesmos encontrados na literatura foram realizados com genótipos estrangeiros, não havendo resultados de genótipos utilizados no Brasil (BARNES *et al.*, 1960; COMSTOCK *et al.*, 1969; MITTAPALLI; ROWLAND, 2003; SAEIDI; ROWLAND, 1999). Em virtude da ausência de resultados e da importância dessa característica para os programas de melhoramento, é importante que estudos acerca da genética da cor do grão sejam realizados.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo geral

O presente estudo teve como objetivo estudar a herança genética da cor do tegumento da semente de linhaça.

### 1.1.2. Objetivos específicos

- I. Testar a hipótese de herança monogênica nuclear na cor do tegumento da semente de linhaça.
- II. Testar a hipótese de herança materna na cor do tegumento da semente de linhaça.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

A linhaça é uma cultura agrícola importante em várias partes do mundo, sendo cultivada principalmente para o uso de suas sementes, que são utilizadas na alimentação humana, animal e na indústria farmacêutica por ser uma fonte rica de nutrientes. Em sua composição encontram-se ácidos graxos, ômega-3 e 6, entre outros que podem variar com relação à cor. A cor da semente de linhaça é determinada pela quantidade de pigmentos presentes e está relacionada a vários parâmetros de rendimento, a qualidade física e a preferência do mercado consumidor (BANGAR *et al.*, 2021; SINGH *et al.*, 2011; YOU *et al.*, 2016). Sementes de coloração marrom servem como fonte valiosa de antioxidantes, enquanto as de coloração amarela possuem carotenoides em seus cotilédones (KAJLA *et al.*, 2015; TROSHCHYNSKA *et al.*, 2019; XU *et al.*, 2015).

Visto que, o conteúdo nutricional da linhaça difere com relação à cor, essa característica é de importância para o melhoramento genético, devido ao aspecto nutricional e o mercado consumidor. Nesse sentido, é interessante para o melhorista que essa característica seja estudada para saber como ela é passada para a descendência como uma forma de controlar o produto final.

Embora estudos mostrem como essa característica pode ser herdada, nenhum relato até agora é com o uso de genótipos utilizados no Brasil. Nesse sentido, em vista da lacuna de resultados para o país e da importância para o melhoramento genético da linhaça, é importante que estudos sejam realizados, a fim de descobrir a herança genética da cor do tegumento da semente de linhaça.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. A CULTURA DA LINHAÇA (*Linum usitatissimum* L.)

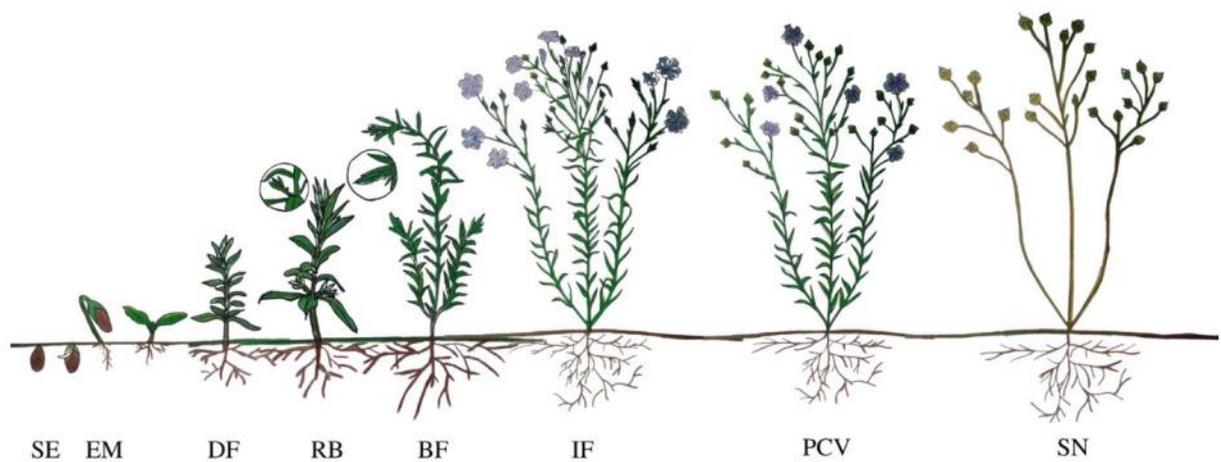
A linhaça (*Linum usitatissimum* L.), pertencente à família Linaceae e gênero *Linum*, é uma planta anual de inverno, diploide ( $2n=2x=30$  cromossomos) e seu genoma dispõe de 373 Mpb e 43.471 genes (ALLABY, 2005; WANG *et al.*, 2012). É uma planta autógama e possui duplo propósito de produção, podendo ser utilizada desde as fibras até os grãos. Originária do Sul da Europa, sua domesticação ocorreu no Oriente Médio no período Neolítico (VAN ZEIST *et al.*, 1975).

A planta pode atingir altura entre 40 e 90 cm, possui um sistema radicular superficial contando com uma raiz principal pivotante e algumas raízes laterais. Apresenta haste principal ereta de coloração verde acinzentado, sendo esse caule principal, responsável pela produção das fibras utilizadas na indústria. Além disso, apresenta ramificações secundárias das quais são voltadas para a produção de grãos e óleo. Suas folhas são lisas, alternadas, de tamanho entre 10 e 30 mm apresentando coloração verde, de onde surgem suas flores pentâmeras e hermafroditas, estas com cores variando do branco ao violeta e dispostas na parte aérea da planta. Seu pólen é viável em um período de aproximadamente 4 horas, que vai desde a deiscência das anteras até as pétalas secarem. Após a fecundação ocorre a queda do órgão reprodutivo, e a partir disso as cápsulas de características oblata, globular cilíndrica ou cônicas com cinco carpelos separados por septos incompletos, são formadas. Suas sementes possuem coloração marrom ou amarela e tamanho que varia de 4 até 5,25 mm, são achatadas, arredondadas na base e agudas no ápice. Cada cápsula pode produzir até 10 sementes, com variações dependendo de fatores como o genótipo e condições ambientais (DIEDERICHSEN; RICHARDS, 2003; FLAX COUNCIL OF CANADA, 2015; GILL, 1987; KADAM *et al.*, 1938; NÔŽKOVÁ *et al.*, 2016).

A cultura apresenta ciclo de 125 dias, sendo que 60 dias são de período vegetativo e 65 de período reprodutivo, distribuídos em 8 estádios de desenvolvimento, sendo eles: semeadura, emergência, desenvolvimento foliar, aparecimento da ramificação basal, aparecimento do botão floral, início do florescimento, primeiras cápsulas visíveis e senescência (Figura 1) (BOSCO *et al.*, 2021). O ciclo pode ser estendido em virtude do surgimento de algumas flores durante a maturação, devido às condições ambientais, como ocorrência de chuvas (FLAX COUNCIL OF CANADA, 2015). Visto que a linhaça necessita de umidade e

horas de frio para germinação, e tem exigência de temperaturas mais altas na maturação, a cultura responde positivamente as condições climáticas da região sul do Brasil, que conta com invernos chegando a temperaturas negativas e precipitações bem distribuídas, enquanto que no verão as temperaturas são mais amenas. Isso possibilita que a cultura seja utilizada como opção de cultivo no inverno, para produção de grãos para óleo ou sementes (STANCK *et al.*, 2017).

Figura 1- Escala fenológica da planta de linhaça demonstrando os seguintes estádios: SE = semeadura; EM = emergência, DF = desenvolvimento foliar, RB = aparecimento das ramificações basais, BF = aparecimento do botão floral, IF = início do florescimento, PCV = primeiras cápsulas visíveis e SN = senescência.



Fonte: BOSCO *et al.* (2021)

## 2.2. ASPECTOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA LINHAÇA

O óleo extraído da semente de linhaça, é de grande relevância econômica na indústria de tintas, já que possui um alto conteúdo de ácido linolênico, viabiliza a oxidação e polimerização o tornando um ótimo agente secante para tintas, vernizes, corantes e ceras. Com isso, é possível utilizar o óleo diretamente sobre a madeira como forma de acabamento, com intuito de que seja mais resistente. A semente também pode ser consumida *in natura* e apresenta bastante versatilidade, já que também pode ser utilizada moída em bolos e pães. Seu conteúdo é rico em ácidos graxos e ômega-3, sendo seu consumo indicado para reduzir inflamações no corpo, pode ajudar na prevenção de algumas doenças crônicas de origem cardíaca, diabetes e câncer. Além disso, a linhaça é rica em compostos vegetais com propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias. Além do uso para consumo humano, ainda pode ser utilizada para

alimentação animal, na forma de óleo ou farelo com intuito de incrementar a dieta (CASTRO *et al.*, 1995; DASH; NAIK; MOHAPATRA, 2017; GREEN *et al.*, 2008; KONKOL, 2021; SINGH *et al.*, 2011).

Com relação a fibra da planta, apresenta variadas utilidades visto que é matéria prima de tecidos. O linho é utilizado desde a antiguidade pois é de grande durabilidade, além de apresentar maior resistência e finura que o algodão. Além da fibra do linho ser utilizada para o mercado de tecidos de luxo, também pode ser utilizada para confecção de telas de pintura e papéis, já que depois da retirada da fibra, sobra a palha viável de ser utilizada para fabricação de até 16 papéis de cigarro, cédulas e papel para escrever (DASH; NAIK; MOHAPATRA, 2017; FLAX COUNCIL OF CANADA, 2015; GREEN *et al.*, 2008; TAYLOR, 2011).

A linhaça foi introduzida no Brasil, no estado do Rio Grande do Sul, em 1550 (PEIXOTO, 1972). Relatos indicam que a entrada da cultura na região Sul no início do século XVIII se deu pelos jesuítas (FLOSS, 1983). Já que a região atendia as condições de cultivo, a linhaça tinha grande demanda no estado. Com isso, empresas como a atualmente conhecida Lojas Renner S.A., impulsionou o cultivo de linho voltado a indústria têxtil (LEAL, 1967).

Atualmente, o Rio Grande do Sul segue sendo o maior produtor de linhaça do Brasil. No ano de 2019 o estado produziu cerca de 3.700 toneladas, em aproximadamente 3.900 ha. O município de Giruá é o maior produtor do estado e compreende cerca de 50% da produção brasileira (FAOSTAT, 2021; IBGE, 2021).

Sabe-se que a linhaça tem alto valor nutricional, é uma semente oleaginosa rica em gordura, fibra dietética e proteínas. Embora seja uma cultura com duplo propósito de produção, com uso baseado na fibra e também no grão, a produção mundial em termos de área de cultivo de linho voltado a produção de óleo é de cerca de 2,6 milhões de hectares, sendo 12 vezes maior que a produção de linho para fibra. Em 2019 a produção de linho foi em torno de 3,06 milhões de toneladas, com área de aproximadamente 3,22 milhões de hectares, com 1,05 toneladas por hectare de rendimento médio (LÚCIO *et al.*, 2021).

A Rússia é a maior produtora de linhaça do mundo (Figura 2). Na sequência estão o Cazaquistão e Canadá, que já lideraram o ranking de produção alguns anos. Além disso, outros países como, China, Índia, Etiópia, França e Reino Unido estão na lista de maiores produtores (FAOSTAT, 2023).

Figura 2- Dados de produção de linhaça (em toneladas) no mundo (2021).



Fonte: Adaptado de FAOSTAT (2023).

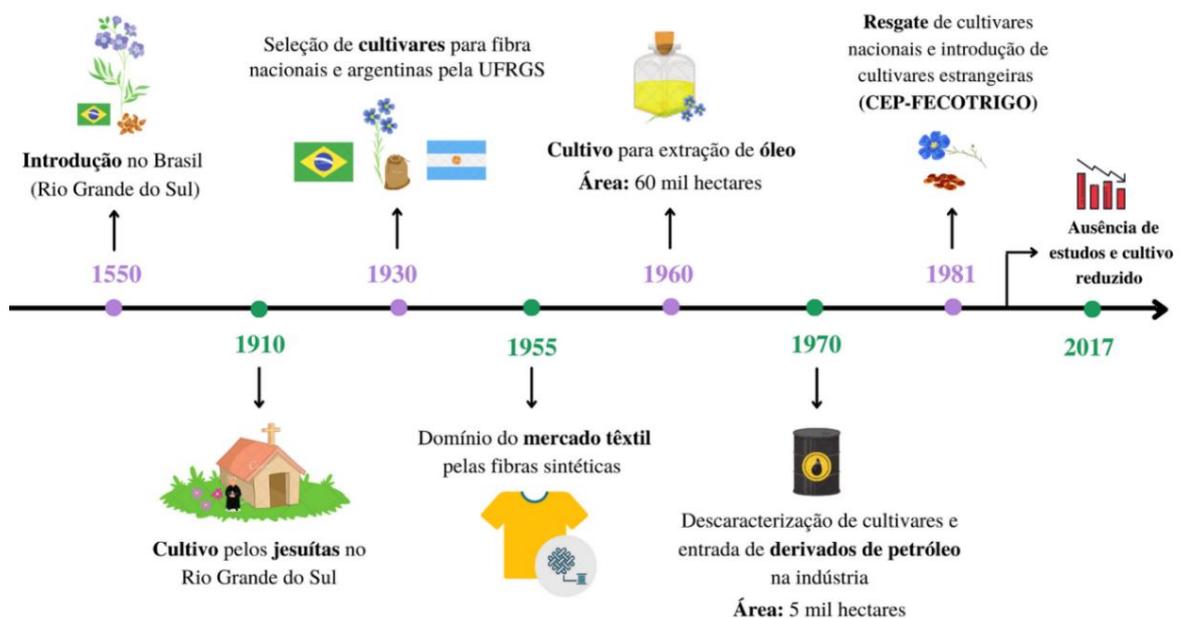
### 2.3. MELHORAMENTO GENÉTICO DA LINHAÇA

No Canadá, ainda no século XX, iniciaram-se os programas de melhoramento genético de linhaça, por ocorrência da ferrugem do linho e também da doença da murcha. Nos anos de 1890 a 1930 pesquisadores começaram a trabalhar para desenvolverem variedades com características desejáveis, que atendessem as problemáticas da época. Tal fato alavancou os programas de melhoramento genético e ao longo das décadas foram feitos avanços significativos no melhoramento genético da linhaça canadense, tendo assim, o país registrado, 82 cultivares até 1910. As primeiras cultivares foram desenvolvidas pelo programa Agriculture and Agri-Food Canada, sendo elas Diadem, Ottawa 829C e Novelty (FLAX COUNCIL OF CANADA, 2015; YOU *et al.*, 2016).

No Brasil, a cultura foi introduzida no ano de 1550 e em 1910 os jesuítas iniciaram o cultivo. Na Figura 3 pode ser observada a história do melhoramento genético da linhaça na Região Sul do Brasil. Em 1930 a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), realizou a primeira seleção de cultivares de linhaça, introduzindo cultivares argentinas adaptáveis a região, voltadas ao uso para fibra. Dando continuidade à pesquisa, a Fundação Centro e Experimentação e Pesquisa CEP-FECOTRIGO, introduziu cultivares que melhor se adaptavam a região sul, contudo, com a chegada de derivados de petróleo as pesquisas cessaram. (FLOSS, 1983; TOMASINI, 1980).

Ao longo de 30 anos as pesquisas que buscavam desenvolver cultivares de linhaça adaptadas para o cultivo na região sul pararam. Contudo, por ocorrência de um aumento do cultivo de linhaça na região sul no ano de 2017, na Universidade Federal de Santa Catarina, no Centro de Ciências Rurais do Campus de Curitibanos, o grupo de pesquisa em Genética e Melhoramento da Linhaça Dourada (GenLin) foi criado, dando início ao programa de melhoramento genético da linhaça, na universidade, a partir da seleção de linhas puras com base em caracteres agronômicos como ciclo e componentes de produção com objetivo de obter cultivares adaptáveis e estáveis para o cultivo na região Sul do país (BENEVIDES, 2019; KONKOL *et al.*, 2020; ORSI, 2019). Também foi criado o grupo de pesquisa da Sociedade Educacional Três de Maio – SETREM, em Três de Maio (RS) (CAPPELLARI *et al.*, 2019), e em 2019 teve início o Programa de Melhoramento Genético Unijuí.

Figura 3 - Linha do tempo do cultivo e melhoramento genético da linhaça na Região Sul do Brasil.



Fonte: BOSCO *et al.* (2021).

Para que um programa de melhoramento tenha progresso é necessário que exista uma faixa de variabilidade em plantas superiores e também é preciso verificar a possibilidade de poder agrupar alelos em novas combinações através de hibridações. O desenvolvimento de cultivares em programas de melhoramento genético de linhaça ocorrem por métodos que utilizam a variabilidade genética natural, criando ou ampliando a variabilidade. Em plantas

autógamas como a linhaça quando já não existe mais variabilidade a ser explorada, métodos que envolvem hibridação são utilizados (BOSCO *et al.*, 2021; FIOREZE *et al.*, 2022).

Os programas de melhoramento genético da linhaça buscam aumentar a produtividade, reduzir e uniformizar o ciclo da cultura, desenvolver cultivares com resistência ao acamamento e a doenças, e aumento do conteúdo de óleo e proteínas da semente (HALL *et al.*, 2016). Além disso, a busca por variedades com alto teor de ácidos graxos e ômega-3 vem ganhando espaço.

A cor do tegumento da semente de linhaça pode ter variações de amarelo, azeitona, marrom claro ou marrom escuro. Sabe-se que a linhaça amarela contém menor quantidade de fibra total em relação à linhaça marrom, porém apresenta maiores teores de proteínas. Genótipos de semente amarela apresentam menor rendimento de sementes, atribuídos ao menor vigor, menor taxa de germinação, e falta de flavonoides em sementes amarelas (ABTAHI *et al.*, 2022; DIEDERICHESEN; RANEY, 2008; SAEIDI; ROWLAND, 1999; ZARE *et al.*, 2021). Nesse sentido, cor do grão tem sido um foco para os programas de melhoramento devido ao aspecto nutricional e a preferência do mercado consumidor.

#### 2.4. GENÉTICA DA COR DO GRÃO DA LINHAÇA

O estudo do controle genético de uma característica envolve a investigação dos genes que estão envolvidos no desenvolvimento dessa característica e como eles interagem para determinar o resultado final desse controle. O controle genético de uma característica pode ser influenciado por vários fatores, incluindo a presença de alelos dominantes e recessivos, interações genéticas complexas e fatores ambientais. Quando queremos estudar o controle genético de uma característica temos que ter genitores puros e divergentes para a determinada característica desejável em questão (RAMALHO *et al.*, 2012).

Existem duas cores básicas de grãos de linhaça: amarelo e marrom. No entanto, dentro de cada cor, há variações na tonalidade e na intensidade da cor (Figura 4). Estudos genéticos mostram que a cor do grão de linhaça é determinada por genes que controlam a produção de pigmentos, como a lignina, a antocianina e a melanina. A variação na cor do grão de linhaça tem implicações não só para fins de classificação comercial, mas também para a composição nutricional do grão. Algumas pesquisas sugerem que a linhaça marrom pode ter um teor elevado de antioxidantes (KAJLA *et al.*, 2015; XU *et al.*, 2015), enquanto que na linhaça amarela, os cotilédones são ricos em carotenoides (TROSHCHYNSKA *et al.*, 2019).

Figura 4- Variação de cor em sementes de linhaça de uma população segregante.



Fonte: autora.

Em linho, a cor do revestimento de sementes é controlada por três ou quatro locus nucleares (MITTAPALLI; ROWLAND, 2003). O alelo Y1 confere uma cor amarela dominante ao casaco de sementes, enquanto os alelos G, D e B1 conferem uma cor amarela recessiva. Nesses casos, o fenótipo alternativo é sempre marrom. Há também um alelo recessivo para o locus B1, chamado B1VG porque sua expressão produz um revestimento de sementes variegado (SAEIDI; ROWLAND, 1997).

Tammes (1922) mostra que 3 genes controlam o efeito da cor, sendo eles o gene G, D e B, mostrando a dominância de marrom sobre amarelo. Segundo Sood, Bhateria e Sood (2012), com base em um estudo onde a segregação da F2 (3M:1A) e de retroruzamentos (1M:1A) mostra que existe dominância da cor marrom do tegumento sobre a amarela, confirmando o domínio monogênico completo da cor marrom da casca da semente na linhaça. Enquanto a semente amarela é produzida na presença de alelos recessivos homozigotos em qualquer um dos três locus, a marrom é produzida na presença de pelo menos um alelo dominante em todos os três locus (BARNES *et al.*, 1960). Vale ressaltar que, além dos três locus básicos, que governam a cor da semente de linhaça, há estudos que mostram um gene com efeito na intensidade da cor da semente, dependendo do estado alélico neste locus (COMSTOCK, 1971; SHAW *et al.*, 1931).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido no ano de 2021 na Área Experimental Agropecuária da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Rurais, Campus de Curitibanos (SC), localizada a uma altitude de 1040 m, a uma latitude de 27° 16' S e longitude 50° 30W e clima classificado como Cfb, com temperatura média de 15,2 °C, e pluviosidade anual em torno de 1.300 mm (EMBRAPA, 2011).

Foram cultivadas em casa de vegetação quatro linhagens de linhaça amarela do Programa de Melhoramento Genético de Linhaça da Universidade Federal de Santa Catarina (Genlin). As linhagens LIN36, LIN49, LIN57 e LIN88 foram selecionadas como genitoras com base em ensaios de avaliação nos anos de 2018 e 2019 apresentando maturação precoce e produtividade de grãos superior (ORSI, 2019; KONKOL, 2021). Estas linhagens foram inicialmente selecionadas no ano de 2017, em uma lavoura comercial particular de aproximadamente 10 hectares, no município de Zortéa (SC). As plantas selecionadas são provenientes de uma mistura de material crioulo brasileiro de origem genética desconhecida, contudo, comprovadamente um material de linhaça amarela. Acredita-se que esse material foi trazido de algum outro país, multiplicado e utilizado pelos agricultores durante anos. Também foram utilizadas duas cultivares comerciais de linhaça marrom desenvolvidas no ano de 2013, pelo Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuaria da Argentina (INTA, 2021).

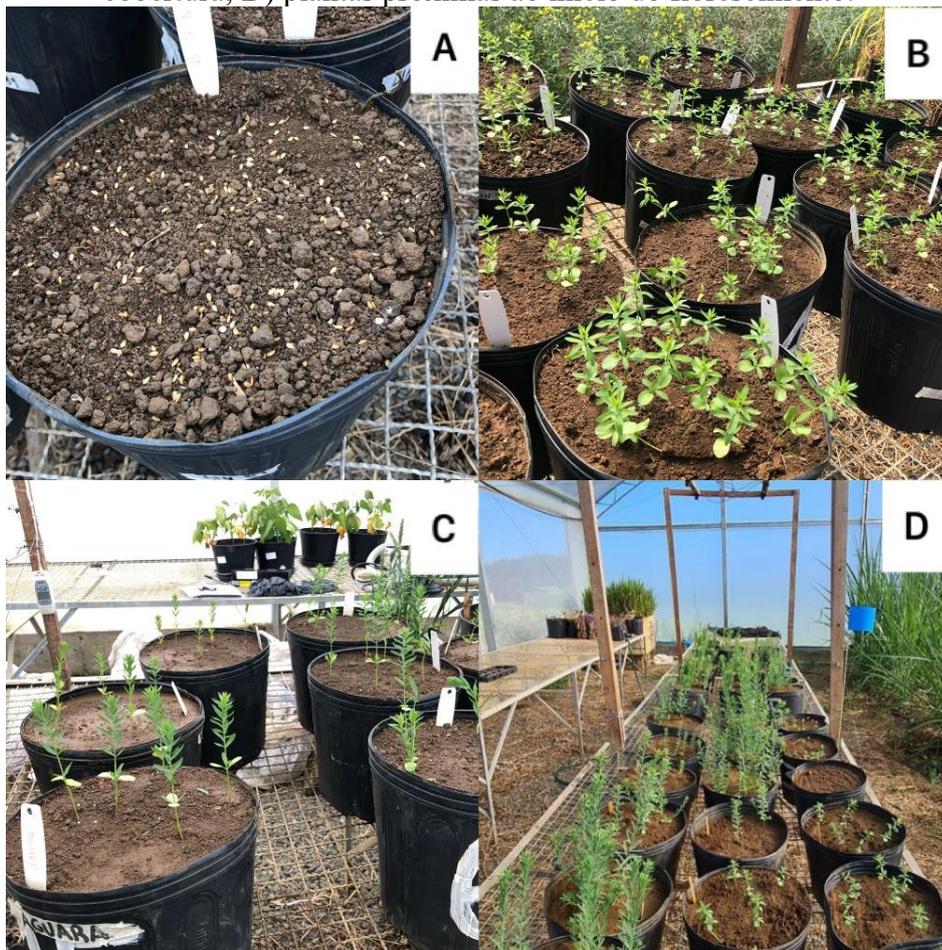
A cultivar Aguará INTA é voltada a produção de linho oleaginoso, apresenta flores de tamanho médio, coloração azul-púrpura e nervuras roxas, com filamentos de estames levemente coloridos e anteras azuis. Tem cápsulas esféricas e glabras, são parcialmente deiscentes, com sementes marrons com peso de mil sementes de 6,0 g. A altura na maturidade é média (69 cm). Em relação ao seu ciclo, para uma data de plantio no início de junho, tem uma média de 112 dias desde a emergência até a plena floração e 163 dias para a maturidade da colheita. Apresenta resistência a murcha (REVISTA BAQUEANO, 2020).

A cultivar Caburé INTA também é voltada a produção de linho oleaginoso e apresenta resistência a murcha. Suas flores têm tamanho médio, azul-púrpura e nervuras roxas, com estames filamentosos incolores, anteras azuis, estilete colorido em sua parte basal, e estigma roxo localizado abaixo das anteras. Suas cápsulas são esféricas e glabras e parcialmente deiscentes, com sementes marrons e pesando 6,9 g por 1000 sementes. A altura na maturidade é média (67 cm), tamanho pouco reduzido se comparada com a cultivar Aguará. Seu ciclo, para

uma data de plantio no início de junho, tem uma média de 116 dias desde a emergência até a plena floração, e 167 dias para a maturidade da colheita (REVISTA BAQUEANO, 2020).

Em vasos de polipropileno de 8 litros, quatro linhagens e duas cultivares foram semeadas. Os vasos foram preenchidos com solo, previamente adubado, segundo as recomendações do Manual de Adubação e Calagem para o estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SBCS, 2016). Foi utilizada uma quantidade de 240 gramas do adubo formulado 09-33-12 e 140 gramas de calcário para cada 10 vasos, e mantidos em casa de vegetação. Foram deixadas crescer cinco plantas por vasos e estas conduzidas durante todo o ciclo, mantendo a irrigação e retirada de plantas invasoras de forma manual (Figura 5).

Figura 5- Experimento conduzido em casa de vegetação para realização dos cruzamentos e obtenção dos híbridos: A) vaso após sementeira em condições adequadas para cultivo em estufa; B) início da emergência; C) plantas em estatura adequada para realizar a adubação de cobertura; D) plantas próximas ao início do florescimento.

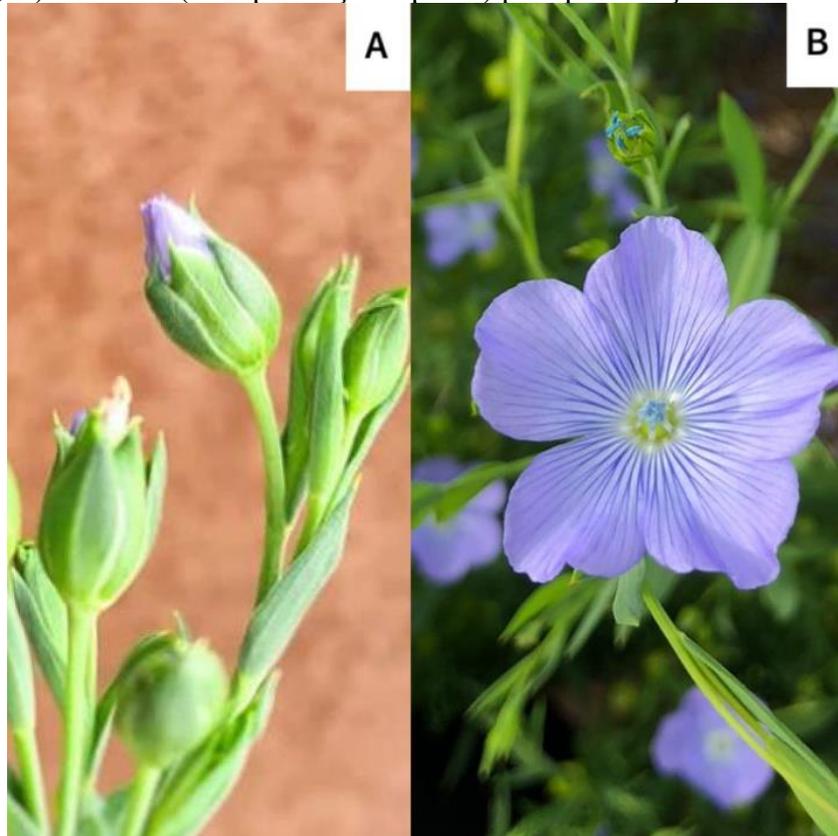


Fonte: autora.

Por ocasião do florescimento, iniciaram-se as hibridações. A princípio ocorreu a seleção do botão floral que deve estar fechado com parte das pétalas aparecendo (Figura 6A).

No final da tarde, a emasculação era realizada, retirando as sépalas, pétalas e os estames com as anteras, com o auxílio de tesoura e pinça, estas eram protegidas com saco de papel manteiga. Na manhã seguinte, as flores emasculadas eram polinizadas com pólen das flores abertas (Figura 6B) dos outros genótipos, com a metodologia de encostar e esfregar delicadamente os estames com as anteras no estigma da flor fêmea.

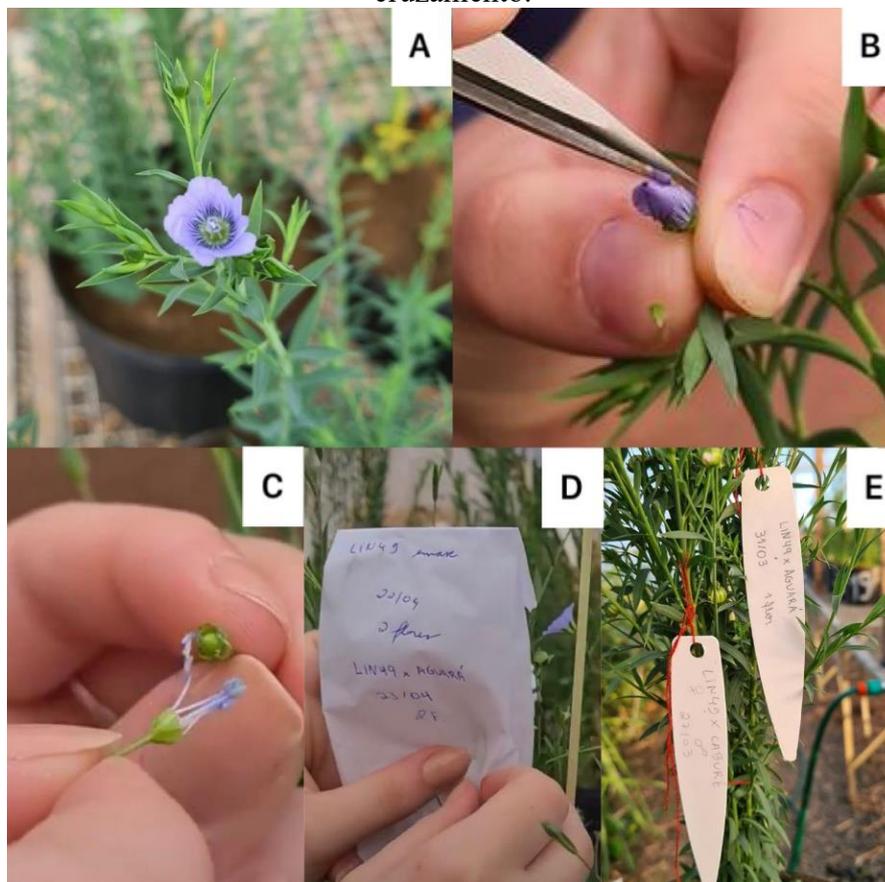
Figura 6 - Seleção do botão floral e flor aberta para polinização: A) botão floral ideal para emasculação; B) flor ideal (com presença de pólen) para polinização das flores emasculadas.



Fonte: autora.

As flores polinizadas (hibridação) foram identificadas com a colocação de etiquetas plásticas, com a descrição dos genitores macho e fêmea e a data do cruzamento. O processo pode ser observado na Figura 7.

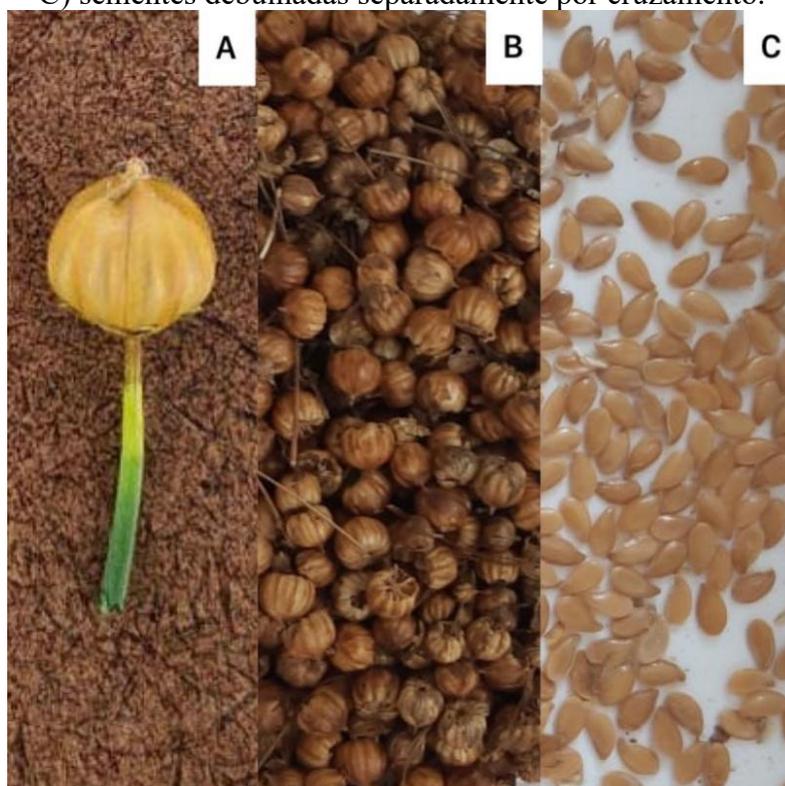
Figura 7– Início dos cruzamentos do experimento conduzido em casa de vegetação para obtenção dos híbridos: A) início do florescimento, flor aberta com presença de pólen nas anteras utilizada nos cruzamentos; B) retirada das sépalas, pétalas e estames com o auxílio de tesoura e pinça; C) polinização cruzada; D) identificação dos parentais e isolamento da flor polinizada com papel manteiga; E) identificação com etiqueta plástica dos parentais e data do cruzamento.



Fonte: autora.

Por ocasião da maturação das cápsulas, que ocorreu ao longo do tempo (já que os cruzamentos foram sendo realizados conforme ocorria o sincronismo), as cápsulas resultantes dos cruzamentos, foram colhidas. Após a colheita de cada cruzamento e identificação, as mesmas eram debulhadas separadamente (Figura 8).

Figura 8- Colheita, identificação e debulha das cápsulas por ocorrência da maturação: A) cápsula ideal para colheita; B) cápsulas separadas e identificadas por cruzamento realizado; C) sementes debulhadas separadamente por cruzamento.



Fonte: autora.

A avaliação das sementes de cada cruzamento se deu visualmente, contabilizando as sementes amarelas e as marrons presentes. Os dados de quantidade de sementes amarelas e marrons foram avaliados comparando com o fenótipo da cor do tegumento dos genitores de cada cruzamentos. Foram levantadas duas hipóteses: 1) a cor do tegumento da semente de linhaça é de herança monogênica nuclear e 2) a cor do tegumento da semente de linhaça é controlada por efeito materno, como apresentado na tabela 1.

Tabela 1- Chave dicotômica usada para determinar o modo de herança da cor da casca da semente em linhaça (*Linum usitatissimum* L.).

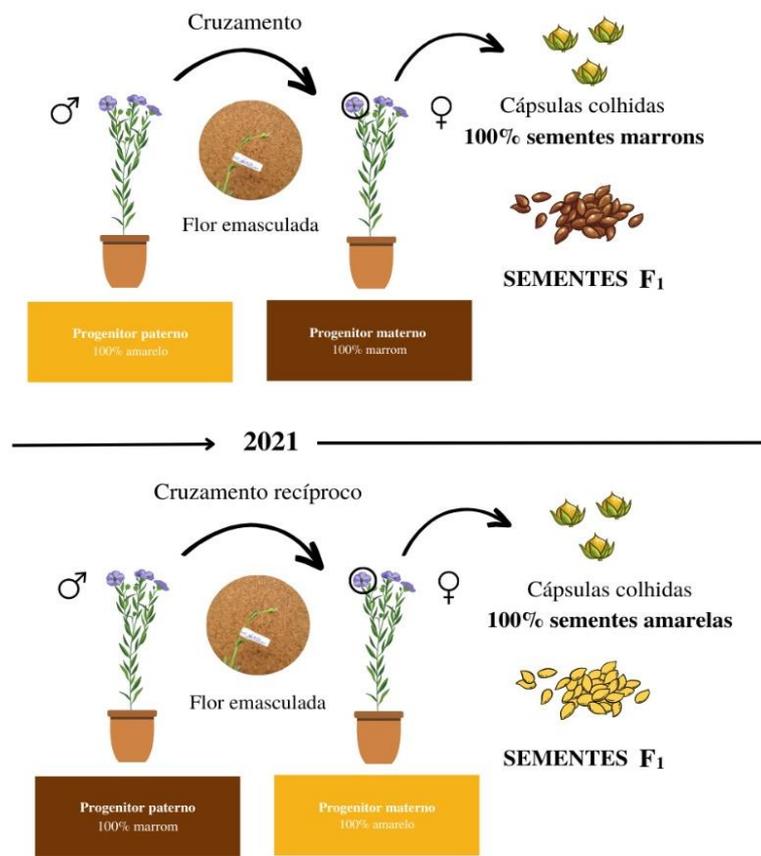
	Resultados alternativos	Tipo de herança
1	100% de indivíduos com o mesmo fenótipo dentro de cada F <sub>1</sub> (F <sub>1</sub> e F <sub>1</sub> recíproco), e ambos os F <sub>1</sub> (F <sub>1</sub> e F <sub>1</sub> recíproco) com o mesmo fenótipo.	Herança nuclear
	100% de indivíduos com o mesmo fenótipo dentro de cada F <sub>1</sub> (F <sub>1</sub> e F <sub>1</sub> recíproco), mas ambos os F <sub>1</sub> (F <sub>1</sub> e F <sub>1</sub> recíproco) com fenótipos diferentes.	2
2	100% de indivíduos com o mesmo fenótipo dentro de cada F <sub>2</sub> (F <sub>2</sub> e F <sub>2</sub> recíproco), e ambos os F <sub>2</sub> (F <sub>2</sub> e F <sub>2</sub> recíproco) com o mesmo fenótipo.	Efeito materno
	100% de indivíduos com o mesmo fenótipo dentro de cada F <sub>2</sub> (F <sub>2</sub> e F <sub>2</sub> recíproco), mas ambos os F <sub>2</sub> (F <sub>2</sub> e F <sub>2</sub> recíproco) com fenótipos diferentes.	Herança citoplasmática

Fonte: Adaptado de LAURENTIN; BENÍTEZ, 2014.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização dos cruzamentos, colheita, identificação e análise visual das sementes da geração  $F_1$  foi possível observar que, como demonstrado na Figura 9, quando utilizado no cruzamento o genitor materno com semente marrom, gerou uma prole de sementes também marrons. Enquanto que, quando utilizado no cruzamento o genitor materno com semente amarela, gerou uma prole de sementes amarelas.

Figura 9- Esquema das etapas do estudo da herança da cor do tegumento da semente de linhaça (*Linum usitatissimum* L.), com cruzamentos diretos e recíprocos da população  $F_1$ .



Além disso, a partir da realização dos cruzamentos, dezesseis populações de geração  $F_1$  foram obtidas, conforme o que está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2- Cruzamentos diretos e recíprocos entre linhagens de sementes amarelas e cultivares de linhaça de sementes marrons; número de sementes amarelas e marrons produzidas pela geração F<sub>1</sub> cruzamentos diretos e recíprocos entre linhagens de sementes amarelas e cultivares de sementes marrons de linhaça.

Genitor Materno ♀	Genitor Paterno ♂	Fenótipo Da Semente	Nº de flores Cruzadas	Sementes / cápsula	Sementes		F <sub>1</sub>
					Amarela	Marrom	
LIN49	×	Aguará	amarela × marrom	4	6	17	0
Aguará	×	LIN49	marrom × amarela	14	9	0	96
LIN49	×	Caburé	amarela × marrom	11	7	60	0
Caburé	×	LIN49	marrom × amarela	8	5	0	44
LIN57	×	Aguará	amarela × marrom	10	7	55	0
Aguará	×	LIN57	marrom × amarela	15	6	0	62
LIN57	×	Caburé	amarela × marrom	11	7	72	0
Caburé	×	LIN57	marrom × amarela	9	7	0	51
LIN88	×	Aguará	amarela × marrom	11	7	67	0
Aguará	×	LIN88	marrom × amarela	10	8	0	84
LIN88	×	Caburé	amarela × marrom	16	8	116	0
Caburé	×	LIN88	marrom × amarela	9	7	0	51
LIN36	×	Aguará	amarela × marrom	16	5	61	0
Aguará	×	LIN36	marrom × amarela	15	8	0	97
LIN36	×	Caburé	amarela × marrom	15	5	74	0
Caburé	×	LIN36	marrom × amarela	7	4	0	17

Como pode ser observado na tabela 2, existiu uma variação na quantidade de flores cruzadas, esse fato se deu em função da ausência de sincronia no florescimento. As cultivares utilizadas apresentaram florescimento mais tardio com relação as linhagens. Nesse sentido, foi necessário realizar os cruzamentos com as linhagens e cultivares que estavam florescidas no determinado momento do cruzamento em questão.

A mesma variação ocorreu para o número de sementes por cápsula. Sabe-se que a cápsula de linhaça pode formar até 10 sementes, podendo ocorrer cápsulas com menos sementes, influenciadas por alguns fatores ambientais como o clima e também o genótipo

utilizado (NÔZKOVÁ *et al.*, 2016). Visto que as plantas estavam em ambiente artificial, em casa de vegetação, fora da época de cultivo e em condições limitadas de crescimento por estarem dispostas em vasos, pode ter ocorrido influência no desenvolvimento da planta e isso afetado o desenvolvimento das sementes e cápsulas. Em condições de cultivo a campo, embora a planta esteja em condições diferentes de plantas conduzidas em ambientes artificiais e controlados, isso também pode ocorrer devido à fatores ambientais e genotípicos. Contudo, nenhum cruzamento realizado contabilizou total falha na fertilização, todos os cruzamentos geraram sementes, sendo possível a realização das avaliações.

Os resultados obtidos para cor de cultivares podem ser observados na Figura 9. As sementes  $F_1$  apresentaram o mesmo fenótipo de cor de grão dentro de cada cruzamento direto. Sementes  $F_1$  resultantes de cruzamentos com LIN 49, LIN 57, LIN 88 e LIN36, sendo essas linhagens de sementes amarelas, utilizadas como genitor feminino e as cultivares Aguará ou Caburé, possuindo sementes marrons, sendo utilizadas como genitor masculino, apresentaram fenótipo amarelo.

O mesmo se deu para o cruzamento recíproco, onde sementes  $F_1$  de cruzamentos em que o progenitor feminino era a cultivar Aguará ou Caburé que possuem sementes marrons, e o progenitor masculino eram as linhagens (LIN 49, LIN 57, LIN 88 e LIN36), exibiram um fenótipo marrom.

Nesse sentido, a herança monogênica nuclear foi descartada. Isso pode ser observado com base na chave dicotômica mostrada na tabela 1, sendo possível verificar que, em cruzamentos onde a linhagem mãe tinha o fenótipo de semente amarela, a geração  $F_1$  também apresentou semente amarela. Já nos cruzamentos em que a mãe apresentava fenótipo marrom, toda geração  $F_1$  de semente marrom. Contudo, o cruzamento direto e recíproco foi diferente, com isso, pode-se observar na chave dicotômica que a hipótese de herança nuclear não é aceita, e assim pode-se considerar a hipótese de herança materna.

O efeito materno pode ser expresso de várias maneiras (WOLF; WANG, 2009) e pode ser classificado em herança de genes citoplasmáticos, localizados em mitocôndrias e cloroplastos, e efeito de produtos gênicos citoplasmáticos maternos. A herança de genes citoplasmáticos ocorre através da transferência de mitocôndrias e cloroplastos do progenitor feminino para a prole. O efeito dos produtos gênicos citoplasmáticos maternos é dado pela expressão de proteínas e mRNA pré-existente no citoplasma materno, que são transferidos no momento da fertilização. Nesse caso, as mudanças no fenótipo de sementes são observadas com cada geração, pois a cor do revestimento de semente depende do genótipo da planta mãe.

A semente de linho consiste em três tecidos principais: o embrião diploide e o endosperma triploide como produtos de fertilização dupla e o tecido da camada de semente materna (VENGLAT *et al.*, 2011). A cor do revestimento de sementes de linho varia durante o desenvolvimento de sementes antes que a camada final seja estabelecida, sugerindo a existência de modificações em alguns componentes específicos da camada de sementes, incluindo compostos fenólicos como proantocianidinas. Logo após a fertilização, a semente é translúcida (MIART *et al.*, 2021). A camada grossa, clara e frágil do óvulo fertilizado diferencia um revestimento fino, escuro e protetor de sementes durante o desenvolvimento de sementes (VENGLAT *et al.*, 2011).

Em diversas culturas, embora o revestimento de sementes seja de origem materna, o fenótipo final das sementes da prole nem sempre é igual ao do genitor materno, sendo determinado pelo genótipo do embrião resultante da fertilização. Dito isso, o efeito materno também é relacionado à cor das sementes em culturas como o feijão comum (POSSOBOM *et al.*, 2015), o gergelim (LAURENTIM, 2014) e na composição de ácidos graxos da soja (GILSENGER *et al.*, 2010).

Até a atualidade, nenhum estudo identificou a presença de efeito materno na cor do tegumento da semente de linhaça e embora muitos trabalhos de excelência já tenham sido feitos e resultados obtidos, nunca haviam sido estudados germoplasmas sul-americanos. Os resultados obtidos nesse trabalho, abrem espaço para a continuação do estudo e a possível confirmação do efeito materno, diferindo assim dos resultados de estudos anteriores já relatados. Isso é importante para os programas de melhoramento genético visto que a cor do grão tem característica de importância no mercado consumidor.

## **5. CONCLUSÃO**

A cor do tegumento da semente de linhaça nos genótipos brasileiros e argentinos avaliados, foi do tipo herança materna. A comprovação do efeito materno ou da herança citoplasmática se dará a partir da avaliação das gerações seguintes.

## REFERÊNCIAS

- ABTAHI, M.; MIRLOHI, A.; SHARIF-MOGHADDAM, N.; ATAIL, E. (2022) Revealing seed color variation and their possible association with yield and quality traits in a diversity panel of flax (*Linum usitatissimum* L.). **Front Plant Science** 13: 1038079.
- ALLABY, Robin G. *et al.* Evidence of the domestication history of flax (*Linum usitatissimum* L.) from genetic of the sad2 locus. **Theor Appl Genet**, v. 112, p.58-65, out. 2005.
- BANGAR, S.P. *et al* (2021) Process parameter optimization and characterization for an edible film: Flaxseed concern coatings. **Coatings** 11: 1106.
- BARNES, D.K.; CULBERTSON, J.D.; LAMBER, J.W. (1960) Inheritance of seed and flower colors in flax. **Agronomy Journal** 52: 456–459.
- BENEVIDES, João Pedro de Almeida. **Teste de Progênies de Linhaça Dourada (*Linum usitatissimum* L.) Visando a Maturação Precoce**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2019.
- BOSCO, Leosane Cristina *et al.*, **Experiências Com o Cultivo de Linhaça em Santa Catarina: Aspectos Edafoclimáticos e Genéticos**. Ponta Grossa, Paraná: Atena, 2021. E-book (156p.) (Ciências Agrárias). color. ISBN: 978-65-5983-205-7. DOI: 10.22533/at.ed.057212106. Disponível em: d91cb9a0e2ce7570c186721aa38782797c0fc773.pdf.
- CAPPELLARI, L. *et al.* Ensaio comparativo de linhagens e cultivares de linho. **XVII Salão de Pesquisa SETREM**, Três de Maio, 2019.
- CASTRO, C.; SEQUEIRA, M. **O Linho e a sua Cultura**. 1 ed. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, p. 31, 1995.
- COMSTOCK, V.E.; FORD, G.H.; GIMORE, E.C. (1969) Seed quality characters associated with D locus of flax *Linum usitatissimum* L. **Crop Science** 9: 513–514.
- DAL'COL LÚCIO, A.; FOLLMANN, D. N.; EMANUELLI, T.; MARCHIORO, V.S.; VELHO, J.P.; (2021) Histórico, usos e importância econômica da linhaça. In: VELHO, J. P.; DAL'COL LÚCIO A.; *Linhaça: Perspectiva de produção e usos na alimentação humana e animal*. Editora Atena 1:1-9.
- DASH, Janakinath; NAIK, Bhimasen. S.; MOHAPATRA, Uma Ballav. Linseed: a valuable crop plant. **International Journal of Advanced Research**, n. 5, v. 3, p. 1428-1442, 2017.
- DIEDERICHSEN, Axel; RICHARDS, Ken. Cultivated flax and the genus *Linum* L.: taxonomy and germplasm conservation. In: MUIR, A.D.; WESTCOTT, N.D. (Eds.). **Flax: The Genus *Linum***. New York: Taylor and Francis Ltd., 2003, p. 22–54.
- DIEDERICHSEN, A.; RANEY, J.P. (2008) Pure-lining of flax (*Linum usitatissimum* L.) genebank accessions for efficiently exploiting and assessing seed character diversity. **Euphytica** 164: 255–273.
- FAOSTAT. **Crops**. 2023. Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/en/#compare> >. Acesso em: 10 mar. 2023.

FAOSTAT. **Crops**. 2021. Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/en/#compare> >. Acesso em: 05 mar. 2023.

FIGLIANO, A. C. da C. L.; PARIZOTTO, C.; ORSI, N.; KONKOL, A. C. B. Análise multivariada como ferramenta nas seleções iniciais de linhaça dourada (*Linum usitatissimum* L.). **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 21, n. 3, p. 247-255, 2022. DOI: 10.5965/223811712132022247.

FLAX COUNCIL OF CANADA. **Growing flax: production, management and diagnostic guide**. Saskatchewan: Flax Council of Canada, 2015. 64 p.

FLOSS, Elmar Luiz. **Linho: Cultivo e utilização**. Boletim Técnico nº 3 - EMBRAPA. Passo Fundo, FAUPF, 1983.

FU, Yong-Bi. *et al.* RAPD analysis of genetic relationship of seven flax species in the genus *Linum*. **Genetic Resources Crop Evolution**, v. 49, n. 3, p. 253 - 259, 2005.

GILL, K.S. **Flax**. Índia: Indian Council of Agricultural Research, 1987. 386 p.

GILSINGER, J.J.; BURTON, J.W.; CARTER JUNIOR, T.E. (2010) Maternal effects on fatty acid composition of soybean seed oil. **Crop Science** **50**: 1874-1881.

GREEN, Allan G. *et al.* Flax. In: CHITTARANJAN, K.; HALL, T.C. (Eds.). **Compendium of Transgenic Crop Plants: Transgenic Oilseed Crops**. Reino Unido: Blackwell Publishing Ltd., 2008. p. 200–226.

HALL, Linda M. *et al.* Flax (*Linum usitatissimum* L.). **Industrial Oil Crops**, v. 9, n. 1, p. 157-194, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Agropecuário**. 2017. Disponível em: < [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro\\_2017\\_resultados\\_preliminares.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro_2017_resultados_preliminares.pdf) > Acesso em: 10 mar. 2023.

KADAM, B. S.; PATEL, S. M. Anthesis in flax. **Journal of American Society of Agronomy**. v. 30. p. 932-940. 1938. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj1938.00021962003000110006x>. Acesso em: 24 fev. 2023.

KAJLA, P.; SHARMA, A.; SOOD, D.R. (2015) Flaxseed—a potential functional food source. **Journal of Food Science and Technology** **52**: 1857–1871.

KONKOL, Ana Caroline Basniak. **Seleção de Linhas Puras em Linhaça Dourada (*Linum usitatissimum* L.)**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2021.

KONKOL, A.C.B **Seleção de Linhas Puras em Linhaça Dourada**. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Rurais, Curitibanos. II Simpósio de Genética, Melhoramento e conservação de plantas. Goiania, GO. 2020.

LAURENTIN, H.; BENITEZ, T. (2014) Inheritance of seed coat color in sesame. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **49**: 290–295.

LEAL, J. C. Linho. Plantas da Lavoura Sul Riograndense. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia e Veterinária, UFRGS, 1967. p. 139-148.

LUCIO, Alessandro Dal' Col; FOLLMANN, Diego Nicolau; EMANUELLI, Tatiana; MARCHIORO, Volmir Sergio; VELHO, João Pedro. **Linhaça: Perspectiva de Produção e**

**Usos na Alimentação Humana e Animal.** Ponta Grossa: Atena, 2021. 156 p. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/600338>. Acesso em: 03 mar. 2023.

MARQUES, A. C. **Propriedades Funcionais da Linhaça (*Linum usitatissimum* L.) em Diferentes Condições de Preparo e de Uso em Alimentos.** 2008. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

MIART, F. *et al* (2021) Integument-specific transcriptional regulation in the mid-stage of flax seed development influences the release of mucilage and the seed oil content. **Cells** **10**: 2677.

MITTAPALLI, O.; ROWLAND, G. (2003) Inheritance of seed color in flax. *Crop Science* **43**: 1945-1951 Parikh M, Maddaford TG, Austria JA, Aliani M, Netticadan T, Pierce GN (2019). Dietary flaxseed as a strategy for improving human health. **Nutrients** **11**: 1171.

MORRIS, Diane. H. **Flax - A Health and Nutrition Primer.** 4. ed. Canadá: Flax Council of Canada, 2007. 140 p.

NÔZKOVÁ, Janka *et al.* **Descriptor list for flax (*Linum usitatissimum*).** 2016. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/317720788\\_Descriptor\\_list\\_for\\_flax\\_Linum\\_u](https://www.researchgate.net/publication/317720788_Descriptor_list_for_flax_Linum_u)> Acesso em: 06 mar. 2023.

ORSI, Nicole. **Seleção de Progênies de Linhaça Dourada (*Linum usitatissimum* L.) com base em caracteres produtivos.** 2019. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2019.

PEIXOTO, Ariosto Rodrigues. Linho. **Plantas Oleaginosas Herbáceas.** São Paulo: Livraria Nobel, 1972. p. 89-104.

POSSOBOM, M.T.D.; RIBEIRO, N.D.; DOMINGUES, L.S.; CASAGRANDE, C.R. (2015) Genetic control of iron concentration in Mesoamerican and Andean common bean seeds. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **50**: 383-391.

RAMALHO, Magno Antonio Patto *et al.* **Genética na Agropecuária.** 5 ed. Lavras: Editora UFLA, 2012.

SAEIDI, G.; ROWLAND, G.G. (1999) The effect of temperature, seed colour and linolenic acid concentration on germination and seed vigour in flax. **Canadian Journal of Plant Science** **79**: 315–319.

SHAW, F.J.; KHAN, A.R.; ALAM, M. (1931) Studies in indian oilseeds. V. The inheritance of characters in Indian linseed. **Indian Journal of Agricultural Sciences** **1**: 1–57

SINGH, K.K.; MRIDULA, D.; REHAL, J.; BARNWAL, P. (2011) Flaxseed: A potential source of food, feed and fiber. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition** **51**: 210-222.

SOOD, S.P.; BHATERIA, S.; SOOD, S. (2012). Inheritance of flower and seed colour in flax (*Linum usitatissimum* L.) over environments in North Western Himalaya. **National Academy Science Letters** **35**: 127–130

STANCK, L.T.; BECKER, D.; BOSCO, L.C. Crescimento e produtividade da linhaça. **Agrometeoros**, v. 25, n.1, p: 249-256, 2017.

TAMMES, T. (1922). Genetic analysis, schemes of co-operation and multiple allelemorphs of *Linum usitatissimum*. **Journal of Genetic** **12**: 19–46.

TAYLOR, David C. *et al.* Metabolic engineering of higher plants to produce bio-industrial oils. In: MOO-YOUNG, M. (Ed.). **Comprehensive Biotechnology**. 2 ed. Elsevier B.V., 2011. p. 67–85.

TOMASINI, Regina G. **Linho**: resultado de pesquisas. Passo Fundo: EMBRAPA, 1980. 39 f.

TROSHCHYNSKA, Y. *et al.* (2019) Discrimination of flax cultivars based on visible diffusion reflectance spectra and colour parameters of whole seeds. **Czech Journal of Food Science** **37**: 199–204.

VAN ZEIST, W.; BAKKER-HEERES, J. A. H. Evidence for Linseed Cultivation Before 6000 BC. **Journal of Archaeological Science**, Groningen, v. 2, p.215-219, 1975.

VENGLAT, P. *et al.* (2011) Gene expression analysis of flax seed development. **BMC Plant Biology** **29**: 11, 74.

WANG, Zhiwen *et al.* The genome of flax (*Linum usitatissimum*) assembled de novo from short shotgun sequence reads. **The Plant Journal: for cell and molecular biology**, v. 72, n. 3, p. 461-473. 2012.

WOLF, J.B.; WANG, M.J. (2009) What are maternal effects (and what are they not)? **Philosophical Transactions of the Royal Society B** **364**: 1107-1115.

XU, W.; DUBOS, C.; LEPINIEC, L. (2015) Transcriptional control of flavonoid biosynthesis by MYB–bHLH–WDR complexes. **Trends Plant Science** **20**: 176–185.

YOU, Frank M. *et al.* Pedigrees and genetic base of flax cultivars registered in Canada. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 96, p. 837 – 852, 2016.

ZARE, S.; MIRLOHI, A.; SAEIDI, G.; SABZALIAN, M.R.; ATAI, E. (2021) Water stress intensified the relation of seed color with lignan content and seed yield components in flax (*Linum usitatissimum* L.). **Scientific Reports** **11**: 23958.