

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**Classificação de genótipos de *Cannabis sativa* L. com base no quimiotipo**

Sergio Barbosa Ferreira Rocha  
*Doctor Scientiae*

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2026**

**SERGIO BARBOSA FERREIRA ROCHA**

**Classificação de genótipos de *Cannabis sativa* L. com base no quimiotipo**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Aluizio Borem de Oliveira

Coorientador: Leonardo Lopes Bhering

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2026**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

R672c  
2026  
Rocha, Sergio Barbosa Ferreira, 1985-  
Classificação de genótipos de *Cannabis sativa* L. com base  
no quimiotipo / Sergio Barbosa Ferreira Rocha. – Viçosa, MG,  
2026.

1 tese eletrônica (78 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Aluizio Borém de Oliveira.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Agronomia, 2026.

Referências bibliográficas: f. 69-78.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2026.268>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Cânhamo - Melhoramento genético.  
2. Tetraidrocanabinol. 3. Canabigenol. 4. Herança de caracteres  
adquiridos. 5. Canabinóides. I. Oliveira, Aluizio Borém de,  
1959-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de  
Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.  
III. Título.

CDD 22. ed. 633.532

**SERGIO BARBOSA FERREIRA ROCHA**

**Classificação de genótipos de *Cannabis sativa* L. com base no quimiotipo**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 23 de fevereiro de 2026.

Assentimento:

---

Sergio Barbosa Ferreira Rocha  
Autor

---

Aluizio Borem de Oliveira  
Orientador

Essa tese foi assinada digitalmente pelo autor em 28/05/2026 às 17:30:34 e pelo orientador em 28/05/2026 às 19:20:50. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **9XR6.AO2A.E5EY** e clique no botão 'Validar documento'.

À todas as pessoas perseguidas ao longo dos anos de proibição da Cannabis. Aos milhares de presos e mortos, resultado da perseguição irracional à uma planta cujos benefícios são imensuráveis para a sociedade. Às comunidades marginalizadas e que sofrem as consequências da nefasta política de drogas que mascara a política de extermínio da população negra e pobre. À todos que vieram antes de mim e aos que virão, e que hoje e amanhã se levantam contra o autoritarismo e a manutenção dos privilégios de uma minoria que se beneficia de tais injustiças.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus pela vida.

Aos meus familiares pelos valores ensinados e incentivo para minha formação acadêmica.

Aos meus antepassados, reis e rainhas africanos, que foram escravizados e deram suas vidas para que hoje eu possa estar vivo.

Aos meus amigos, pelo apoio ao longo dos anos, pelas reflexões e ensinamentos.

Aos meus colegas de trabalho pela dedicação e por acreditarem nesta proposta.

À Universidade Federal de Viçosa, através de seus professores, técnicos e servidores, em especial aos professores Aluizio Borém, Leonardo Bhering e Eugênio de Oliveira.

Ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia da UFV pelo apoio ao longo dos experimentos.

"Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)."

“Dready got a job to do  
And he's got to fulfill that mission  
To see his hurt is their greatest ambition.  
But we will survive in this world of competition  
Cause no matter what they do  
Natty keep on comin' through  
And no matter what they say  
Natty do them every day.  
Natty dread rides again  
Through the mystics of tomorrow  
Natty dread rides again  
Have no fear, have no sorrow”. (Bob Marley)

## RESUMO

ROCHA, Sergio Barbosa Ferreira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2026. **Classificação de genótipos de *Cannabis sativa* L. com base no quimiotipo.** Orientador: Aluizio Borem de Oliveira. Coorientador: Leonardo Lopes Bhering.

Devido a sua importância medicinal, versatilidade e qualidade enquanto matéria prima de fonte renovável para dezenas de indústrias, aliados a sua alta produtividade e possibilidade de uso para recuperação ambiental, a *Cannabis sativa* L. já é reconhecida como uma nova commodity agrícola. Apesar das barreiras morais dificultarem os avanços regulatórios no Brasil, já que além do país ter sido um dos primeiros a editar uma lei proibindo o cultivo e uso da espécie em todo o território nacional em 1920, e apenas em 2020 foi obtida a primeira autorização para cultivo com finalidade de pesquisa científica em uma universidade brasileira, nos últimos anos a legislação, e os órgãos e agências de controle têm buscado adequar as normas vigentes no país para atender à demanda interna e global. Apesar de existirem diferenças morfológicas, fenológicas e genéticas entre as diferentes variedades desta espécie, são as diferentes composições entre a concentração de canabinóides que comumente são utilizadas para a classificação das variedades em diferentes tipos de acordo com a sua finalidade de uso. Entre os desafios regulatórios está a determinação de critérios para essa classificação, que implica em maior ou menor necessidade de controle sobre cada um dos três tipos (droga, intermediário e fibra). Na maioria dos países onde o cultivo está regulado, os limites máximos na concentração de THC, composto com potencial psicotrópico, para que os genótipos sejam classificados como cânhamo, ou seja, do tipo fibra, estão entre 0,3 % e 2,0 %. A recente regulamentação dos cultivos no Brasil estabeleceu o limite de 0,3 % para a classificação do cânhamo. Porém, por questões inerentes à relação entre a síntese e a proporção dos cannabinoídeos majoritários THC, CBD e seu precursor comum CBG, governadas primordialmente por fatores genéticos, assim como as influências ambientais que podem afetar essa dinâmica, um mesmo genótipo pode ter comportamento diferente quando cultivada sob condições ambientais diferentes implicando em problemas regulatórios referentes aos limites de THC estabelecido para o país. Portanto, faz-se necessário a proposição de um novo modelo para a classificação de genótipos no Brasil. Neste trabalho, a partir do cultivo de 15 genótipos, foram determinados, utilizando a razão entre as concentrações de THC, CBD e CBG, cinco grupos distintos através da análise de variáveis canônicas. Nenhuma variedade ou grupo apresentou concentração de THC

igual ou inferior a 0,3 %. O grupo 1 apresentou a menor concentração de THC, 0,552 %, e a maior de CBD, 6,952 %, com razão de 1-25-2 entre THC, CBD e CBG. O grupo 4 apresentou a maior proporção de THC em relação aos demais (121-1-14), com concentração absoluta de 14,242 %. Dois grupos intermediários foram formados com razões de 3-1-2 e 2-2-4, respectivamente aos grupos 2 e 3, quando o CBG foi incluído junto ao THC e CBD. A adoção de limites muito rígidos na concentração de THC, como 0,3 %, pode inviabilizar ou causar prejuízos à cadeia produtiva nos países tropicais, sendo recomendado que este limite esteja entre 1,0 % e 2,0 % e a adoção de um grupo intermediário com equilíbrio entre a concentração dos três canabinóides.

Palavras-chave: cânhamo; THC; CBG; herdabilidade; melhoramento genético; perfil de canabinóides

## ABSTRACT

ROCHA, Sergio Barbosa Ferreira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2026. **Classification of genotypes of *Cannabis sativa* L. based on chemotype.** Adviser: Aluizio Borem de Oliveira. Co-adviser: Leonardo Lopes Bhering.

Due to its medicinal importance, versatility, and quality as a renewable raw material for dozens of industries, coupled with its high productivity and potential for environmental remediation, *Cannabis sativa* L. is already recognized as a new agricultural commodity. Despite moral barriers hindering regulatory progress in Brazil, since the country was one of the first to enact a law prohibiting the cultivation and use of the species throughout the national territory in 1920, and only in 2020 was the first authorization obtained for cultivation for scientific research purposes at a Brazilian university, in recent years legislation and regulatory bodies and agencies have sought to adapt existing regulations to meet domestic and global demand. Although there are morphological, phenological, and genetic differences between the various varieties of this species, it is the different compositions of cannabinoid concentrations that are commonly used to classify genotypes into different types according to their intended use. Among the regulatory challenges is the determination of criteria for this classification, which implies a greater or lesser need for control over each of the three types (drug, intermediate, and fiber). In most countries where cultivation is regulated, the maximum limits for THC concentration, a compound with psychotropic potential, for genotypes to be classified as hemp, i.e., fiber type, are between 0.3 % and 2.0 %. Recent regulations on cultivation in Brazil have established a limit of 0.3 % for hemp classification. However, due to issues inherent in the relationship between the synthesis and proportion of the major cannabinoids THC, CBD, and their common precursor CBG, governed primarily by genetic factors, as well as environmental influences that can affect this dynamic, the same genotype may behave differently when cultivated under different environmental conditions, implying regulatory problems regarding the THC limits established for the country. Therefore, it is necessary to propose a new model for the classification of genotypes in Brazil. In this study, five distinct groups were determined from the cultivation of 15 genotypes, using the ratio between the concentrations of THC, CBD, and CBG through canonical variable analysis. No variety or group presented a THC concentration equal to or less than 0.3 %. Group 1 presented the lowest THC concentration, 0.552 %, and the highest CBD concentration, 6.952 %, with a ratio of 1-25-2 between THC, CBD, and CBG. Group 4 presented the

highest proportion of THC in relation to the others (121-1-14), with an absolute concentration of 14.242 %. Two intermediate groups were formed with ratios of 3-1-2 and 2-2-4, respectively to groups 2 and 3, when CBG was included along with THC and CBD. The adoption of very strict limits on THC concentration, such as 0.3%, can make the production chain unviable or cause damage in tropical countries. It is recommended that this limit be between 1.0 % and 2.0 %, and that an intermediate group with a balance between the concentration of the three cannabinoids be adopted.

Keywords: hemp; THC; CBG; heritability; breeding; cannabinoid profile.

## LISTA DE SIGLAS

$\Delta$ 9-THC - Tetrahydrocanabiol

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária

CBC - Canabicromeno

CBCA - Ácido canabicromênico

CBD - Canabidiol

CBDA - Ácido canabidiólico

CBDAS - Canabidiol sintase

CBG - Canabigerol

CBGA - Ácido Canabigerólico

CBN - Canabinol

CBDV - Cannabidivarin

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CUD - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição

CV - Coeficiente de variação

CVe - Coeficiente de Variação Experimental

CVg - Coeficiente de Variação Genética

CVA - Análise de Variáveis Canônicas

DAA - Departamento de Agronomia

DAP - Dias após o plantio

DBC - Delineamento em blocos casualizados

FEND - Famílias endogâmicas

FIC - Famílias de irmãos completos

FMI - Famílias de meio irmãos

FST - Índice de fixação média

GDD - Graus Dia

GEN - Híbridos genitores

H<sup>2</sup> - Herdabilidade

IV - Índice de Variação

OLA - Ácido olivetólico

SD - Desvio Padrão

THC -Tetrahydrocannabinol

THCA - Ácido tetrahydrocannabinólico

THCAS -Tetrahydrocannabinol sintase

THCV - Tetrahydrocannabivarin

T<sub>máx</sub> - Temperatura máxima média

T<sub>média</sub> - Temperatura média

T<sub>min</sub> - Temperatura mínima média

UFV - Universidade Federal de Viçosa

UV - Ultra violeta

UV-A - Radiação ultravioleta A

UV-B - Radiação ultravioleta B

WSS - Soma dos quadrados dentro dos grupos

## LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1 - Concentração média absoluta de THC para as variedades genitoras (GEN), obtidas por cruzamentos de irmão completos a partir de GEN (FIC), cruzamentos endogâmicos de GEN (FEND) e cruzamentos de meio irmãos cujos genitores foram cultivadas em um experimento anterior (FMI).....45
- Gráfico 2 -Variação das temperaturas médias, máximas e mínimas avaliadas dias após o plantio (DAP).....47
- Gráfico 3 - Concentração média absoluta de CBD para as variedades genitoras (GEN, obtidas por cruzamentos de irmão completos a partir de GEN (FIC), cruzamentos endogâmicos de GEN (FEND) e cruzamentos de meio irmãos cujos genitores foram cultivadas em um experimento anterior (FMI).....49
- Gráfico 4 -Concentração média absoluta de CBG para as variedades genitoras (GEN), obtidas por cruzamentos de irmão completos a partir de GEN (FIC), cruzamentos endogâmicos de GEN (FEND) e cruzamentos de meio irmãos cujos genitores foram cultivadas em um experimento anterior (FMI). .....50
- Gráfico 5 - Quantidade de grupos a serem formados pela CVA. A linha tracejada indica a quantidade de grupos a partir da qual não existe grande variação em relação à soma dos quadrados dos grupos, indicando que o acréscimo de outro grupo não causa alterações significativas.....52
- Gráfico 6 - Variância explicada pela CVA.....53
- Gráfico 7 - Análise de variáveis canônicas (CVA) em relação à concentração de THC, CBD e CBG para as variedades genitoras (GEN), obtidas por cruzamentos de irmão completos a partir de GEN (FIC), cruzamentos endogâmicos de GEN (FEND) e cruzamentos de meio irmãos cujos genitores foram cultivadas em um experimento anterior (FMI).....54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nível de garantia dos fertilizantes utilizados ao longo do experimento.....	31
Tabela 2 - Denominação dos genótipos avaliados durante o experimento.....	32
Tabela 3 - Concentração (%) de THC, CBD e CBG, segundo o fornecedor, dos genótipos genitores (GEN) utilizados no experimento.....	33
Tabela 4 - Número total de plantas colhidas por genótipos ao final do experimento.....	35
Tabela 5 - Valores das concentrações médias absoluta (%) e padronizada dos canabinóides THC, CBD e CBG para os genótipos avaliados. Letras iguais na mesma coluna representam valor estatisticamente iguais, enquanto que letras diferentes na mesma coluna representam diferença estatística entre os valores.....	43
Tabela 6 - Concentrações médias absolutas dos canabinóides primários (THC, CBD e CBG) dos grupos obtidos pela CVA, e número de indivíduos por grupo.....	46
Tabela 7 - Concentração média padronizada dos canabinóides primários (THC, CBD e CBG), dos grupos formados a partir da CVA, e número de indivíduos em cada grupo.....	52

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localizações geográficas aproximadas postuladas da Cannabis sativa ancestral pré-domesticada e dos quatro principais grupos domesticados.....	16
Figura 2 - Distribuição geográfica atual de genótipos de Cannabis (locais de amostragem de plantas silvestres ou país de origem de variedades crioulas e cultivares).....	17
Figura 3 - Rota metabólica da biossíntese dos canabinóides majoritários.....	25
Figura 4 - Diferenças morfológicas, relacionadas à arquitetura e porte, entre os genótipos cultivados (genótipo baixo).....	37
Figura 5 - Diferenças morfológicas, relacionadas à arquitetura e porte, entre os genótipos cultivados (genótipo médio).....	37
Figura 6 - Diferenças morfológicas, relacionadas à arquitetura e porte, entre os genótipos cultivados (genótipo alto).....	37
Figura 7 - Folha com menor quantidade de folíolos e maior presença de antocianinas no pecíolo.....	38
Figura 8 - Folha com maior quantidade de folíolos e menor presença de antocianinas no pecíolo.....	38
Figura 9 - Diferenças morfológicas relacionadas à arquitetura e coloração das inflorescências (“feno trigo”).....	39
Figura 10 - Diferenças morfológicas relacionadas à arquitetura e coloração das inflorescências (inflorescência tradicional).....	39
Figura 11 - Diferenças morfológicas relacionadas à arquitetura e coloração das inflorescências (inflorescência com alta concentração de antocianinas).....	39
Figura 12 - Detalhe de uma flor macho.....	40
Figura 13 - Detalhe da inflorescência de uma planta macho.....	40
Figura 14 - Detalhe da inflorescência de uma planta fêmea.....	40

Figura 15 - Detalhe de flores macho e fêmea em uma planta monóica.....	40
Figura 16 - Detalhe da ocorrência de patógenos nos genótipos cultivados.....	41
Figura 17 - Detalhe da ocorrência de ácaros nos genótipos cultivados.....	41
Figura 18 - Detalhe da ocorrência de lepidoptera nos genótipos cultivados....	41
Figura 19 - Distribuição mundial dos diferentes biótipos de Cannabis desenvolvidos por humanos.....	61

## Sumário

1. Introdução Geral	15
1.1. Introdução	15
1.2. Estado da arte	22
2. Objetivos e metodologia	29
2.1. Objetivos	29
2.2. Materiais e Métodos	29
3. Resultados e discussão	35
3.1. Resultados	35
3.1.1. Taxa de sobrevivência, endogamia, expressão sexual e variabilidade dos dados.	35
3.1.2. Análise dos canabinóides	42
3.1.3. Agrupamentos	51
3.2. Discussão	57
4. Conclusões Gerais	66
Referências	67

## 1. Introdução Geral

### 1.1. Introdução

A *Cannabis sativa* L. já é considerada uma nova commodity agrícola devido a sua alta produtividade, rusticidade, possibilidade de uso como matéria prima para diversas indústrias de transformação, potencial terapêutico dos seus compostos químicos e alto valor agregado dos produtos derivados desta espécie (Johnson, 2018; United Nations, 2022). Além disso, a comercialização internacional desta matéria prima já é uma realidade (AFP, 2021; BRAZILIENSE, 2022; Gombata, 2020; OBSERVADOR, 2024) e algumas empresas possuem ações listadas em bolsas de valores (Afik; Cohen; Lahav, 2022; Chen et al., 2021; Soares, 2021).

Com provável origem na região centro-leste da Ásia (Chandra; Lata; ElSohly, 2017), sendo considerada uma das primeiras espécies domesticadas pela humanidade juntamente com o trigo e a cevada (Dal Martello et al., 2024), foram identificados quatro centros de domesticação da espécie, onde as plantas foram selecionadas e multiplicadas visando atender aos diferentes usos das populações de cada uma das regiões (Chandra; Lata; ElSohly, 2017).

Na Europa foram selecionadas plantas com maior aptidão para a produção de fibras e grãos, e baixa concentração de Tetrahydrocannabinol (THC) (cânhamo europeu). No leste da China foram selecionadas plantas com características semelhantes ao cânhamo europeu, porém com maiores concentrações de canabidiol (CBD) (cânhamo chinês), já que além do uso de fibras e grãos, o uso tradicional da espécie na medicina chinesa já foi confirmado. As variedades com maiores concentrações de THC, e em equilíbrio com a concentração de CBD (conhecidas popularmente como *cannabis sativa*), foram selecionadas na região centro sul da Ásia, próximo ao Himalaia, enquanto as variedades com predominância de alta concentração de THC (conhecidas popularmente como *cannabis indica*) foram selecionadas próximas ao Afeganistão, que é considerado um centro

de diversidade da espécie devido a grande quantidade de genótipos identificados (Chandra; Lata; ElSohly, 2017). A região da possível especiação, e os centros de domesticação encontram-se representados na figura 1.

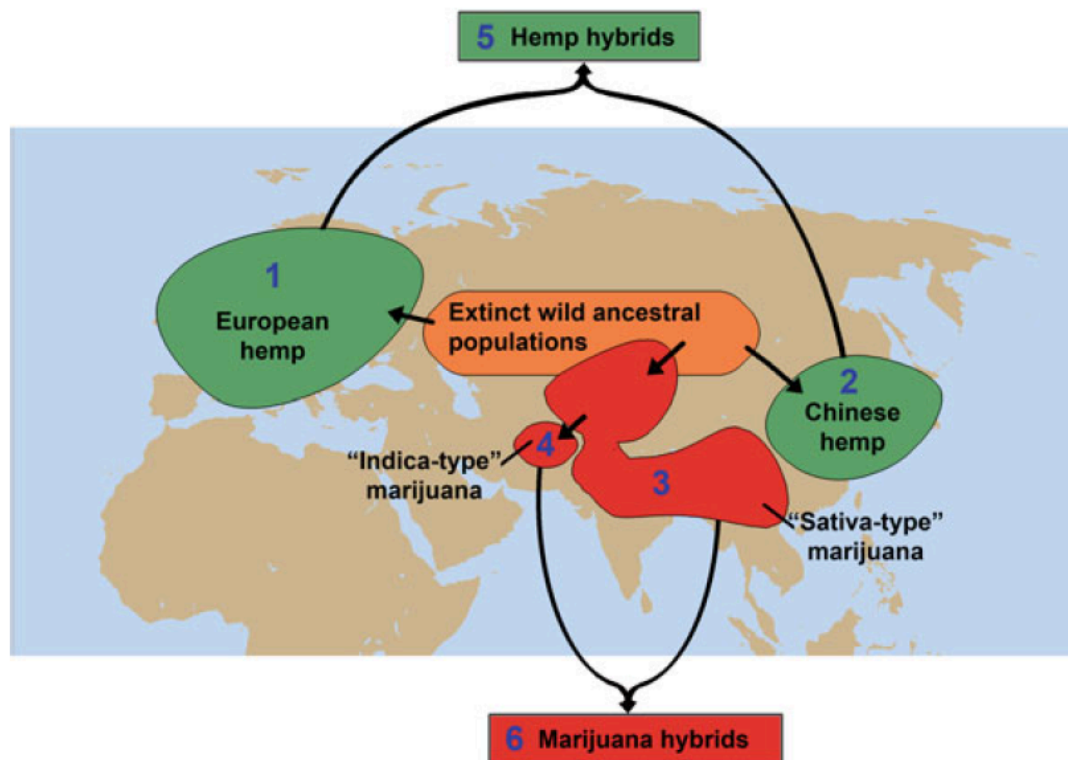


Figura 1: Localizações geográficas aproximadas postuladas da *Cannabis sativa* ancestral pré-domesticada e dos quatro principais grupos (1–4) domesticados há mais de um milênio e posteriormente transportados para outras partes do mundo. A hibridização, principalmente durante o último século e em grande medida nos EUA e na Europa, obscureceu as diferenças entre os dois grupos de fibra, 1 e 2 (gerando o grupo híbrido 5) e entre os dois grupos de maconha, 3 e 4 (gerando o grupo híbrido 6) (Chandra; Lata; ElSohly, 2017).

A presente distribuição dos genótipos da espécie corrobora esta teoria, evidenciando a maior presença de genótipos com baixas concentrações de THC nas regiões de domesticação do cânhamo europeu e chinês, enquanto os genótipos com maiores concentrações de THC se localizam prioritariamente nas regiões próximas ao Oriente Médio e ao sudoeste asiático (figura 2).

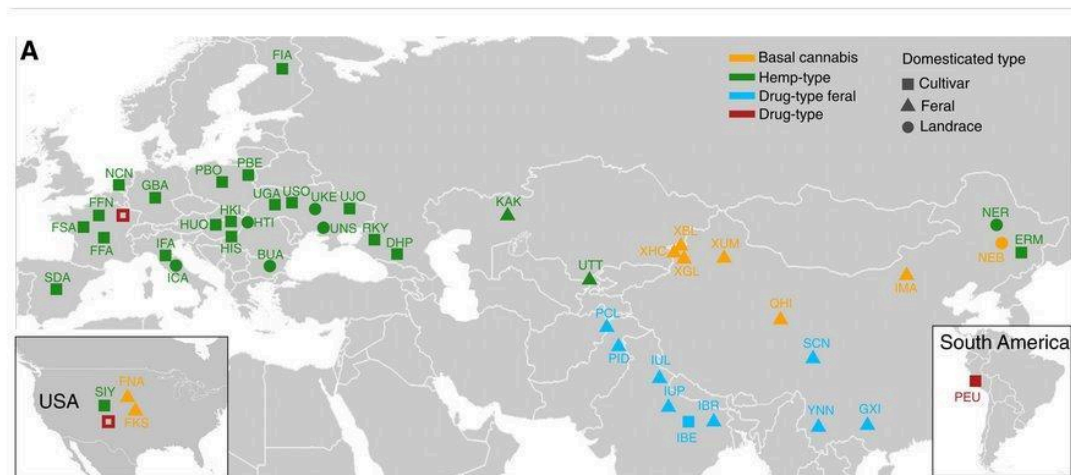


Figura 2: Distribuição geográfica atual de genótipos de Cannabis (locais de amostragem de plantas silvestres ou país de origem de variedades crioulas e cultivares). Os códigos de cores correspondem aos quatro grupos obtidos na análise filogenética (amarelo para populações basais, verde para o tipo cânhamo, vermelho para o tipo droga, e azul para o tipo droga pré-domesticada) e as formas indicam os tipos de domesticação (quadrado para cultivar comercial, triângulo para pré-domesticada, e círculo para crioula). Os dois quadrados vermelhos vazios simbolizam cultivares do tipo medicinal obtidas em lojas comerciais localizadas na Europa e nos Estados Unidos (Ren et al., 2021)

Além da diversidade morfológica e química existente entre as plantas destes quatro centro de domesticação, também foram identificadas diferenças nos hábitos reprodutivos, como a presença de plantas monóicas e dióicas (Chandra; Lata; ElSohly, 2017; McPartland, 2018), e também fenológicas, sendo identificadas plantas de dia curto e algumas plantas de dia neutro em regiões de latitudes elevadas no norte da Ásia (McPartland, 2018).

Essa diversidade de materiais genéticos, assim como o processo de seleção e cruzamento realizado ao longo dos anos favoreceu para que atualmente existam milhares de variedades desta espécie com características específicas, incluindo uma diversidade de perfis fitoquímicos, que podem atender a diversos tipos de uso, seja medicinal, industrial ou adulto e recreativo, dando origem a dezenas de milhares de produtos (Crini et al., 2020; Crini; Lichtfouse, 2020; Johnson, 2018).

Entre os principais usos da *C. sativa* L. destacam-se o uso medicinal dos canabinóides, presentes principalmente em suas inflorescências femininas (Nagy et al., 2019; Trofin et al., 2012), e também de suas sementes para alimentação humana e animal, e na produção de óleos e combustível (Crini; Lichtfouse, 2020).

As fibras das plantas possuem uma grande gama de possíveis usos e podem substituir diversos derivados do petróleo e outras matérias primas de fontes menos sustentáveis. Neste sentido, destaca-se sua versatilidade para a indústria têxtil (Vandepitte et al., 2020), de biocompósitos (Mazzanti et al., 2020; Zhao et al., 2020), automobilística (Crini; Lichtfouse, 2020), de papel e celulose (Amode; Jeetah, 2021), madeireira (Latif et al., 2015), de geração de energia elétrica (Marrot et al., 2022), de cosméticos (Martins et al., 2022), entre outros (Crini; Lichtfouse, 2020).

Por esses motivos, diversos países já atualizaram suas legislações permitindo o cultivo desta espécie para atender à crescente demanda do mercado. Dentre eles Estados Unidos, China, Alemanha e Canadá (Johnson, 2018; United Nations, 2022), os quais são grandes competidores do Brasil no agronegócio internacional. Israel se destaca em relação ao desenvolvimento de tecnologias agrícolas para esse setor (Mena; De Almeida, 2020), enquanto países sul americanos, como Uruguai, Colômbia e Paraguai já realizam exportações desta matéria prima (AFP, 2021; BRAZILIENSE, 2022; Gombata, 2020; OBSERVADOR, 2024).

O Brasil possui enorme potencial para o cultivo desta espécie, tanto para fins medicinais quanto industriais, e mais de 70 % das áreas agricultáveis do país possuem boa aptidão para o cultivo de fibras, flores e grãos (Rocha, 2018). Porém, faltam estudos agronômicos, assim como materiais genéticos adaptados às especificidades de clima, solo e dinâmica de pragas brasileiros, subsidiando assim a produção nacional. Portanto, é fundamental o desenvolvimento de genótipos superiores, que tenham características específicas a depender do interesse de uso, que possam ser cultivadas com sucesso e viabilizem a implantação de sistemas produtivos com baixo impacto ambiental aliados à alta produtividade e qualidade (“Audiência Pública para discutir a proposta para liberação do plantio da Cannabis para fins medicinais”, 2020).

Apesar da recente aprovação das regulamentações da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que entrarão em vigor em agosto de 2026 e permitirão o cultivo de cannabis por pessoas jurídicas para fins medicinais, e por instituições de pesquisa para fins científicos, em 1830 o Brasil foi um dos primeiros países a criar uma lei proibindo o uso da planta,

denominada popularmente de “pito de pango”. Em 1932, através do Decreto nº 20.930/1932, a cannabis passa a ser listada como entorpecente e tem seu cultivo e uso proibido em todo o território nacional (Valente, 2018). Mesmo com a Lei nº 11.343/2006 que prevê a possibilidade de autorização, por parte da União, de cultivos para fins medicinais e científicos no Brasil (Lei antidrogas, 2012), apenas em 2020 foi concedida a primeira autorização, obtida judicialmente, permitindo o cultivo de plantas em uma universidade brasileira (Biancarelli, 2020).

O país, que no passado já recebeu incentivos para o cultivo de cânhamo focado na produção de fibras (Rosa, 2024), e cuja relação com a planta vêm desde seu uso e disseminação no território através das populações africanas escravizadas (De Souza, 2022; Valente, 2018)), permaneceu por quase 100 anos no limbo do desenvolvimento relacionado ao cultivo, a produção comercial e à tecnologia agrícola relacionada à esta espécie, enquanto às principais potências mundiais, e que competem diretamente com o Brasil no agronegócio, já incorporaram a cannabis em suas matrizes produtivas.

Mesmo neste contexto desafiador, reforçado pelo histórico negativo do país em relação ao percentual investido em ciência e tecnologia, as pesquisas brasileiras relacionadas ao potencial farmacológico e terapêutico da cannabis são referência mundial, fundamentalmente devido aos estudos realizados pelo Dr. Elisaldo Carlini e sua equipe.

Embora as recentes normas que irão autorizar o cultivo sejam um avanço real, o país ainda se posiciona de maneira conservadora frente ao contexto mundial, principalmente por estabelecer limites muito rígidos em relação à concentração de THC para a classificação de genótipos como cânhamo (0,3 %), à regulamentação que limitou os cultivos apenas para uso medicinal e vedou os usos das fibras e grãos por outras indústrias, e à não discussão sobre a possibilidade do cultivo doméstico e uso adulto recreacional (BRASIL, 2026a, 2026b, 2026c). Em todos estes pontos o Brasil adotou uma postura aquém do que vem sendo feito pelos países que hoje estão na vanguarda em relação às políticas públicas relacionadas à cannabis.

Por se tratar de uma espécie alógama, anemófila, cuja polinização cruzada é favorecida pela dioicia e ocorrência de protandria, predominantes na maioria dos genótipos, além de ser classificada como uma planta de dia curto também para a maioria dos genótipos (Barcaccia et al., 2020; Salentijn; Petit; Trindade, 2019; Zhang et al., 2021), e cuja propagação pode ocorrer tanto por via seminal quanto vegetativa, somados à possibilidade de indução a reversão sexual, a *C. sativa* L. destaca-se como uma planta relativamente complexa e com muitas oportunidades para o desenvolvimento de pesquisas na área da ciência agrônômica.

Com foco na área de melhoramento genético, que também incluem trabalhos de caracterização e classificação de genótipos, destacam-se os trabalhos relacionados a caracterização química (Nagy et al., 2019; Trofin et al., 2012), morfológica, fenológica e agrônômica (Conneely et al., 2021; McPartland; Small, 2020; Raman et al., 2017; Stack et al., 2021) avaliação de diferentes materiais genéticos, estudos de herdabilidade (Campbell; Peach; Wizenberg, 2021; De Meijer et al., 2003; Mandolino et al., 2003; Wenger et al., 2020) e sobre marcadores moleculares (Borin et al., 2021; Murovec et al., 2022), além de trabalhos relacionados a hibridação (McPartland, 2018), edição gênica (GENETICS, 2022; Hesami et al., 2021a; Matchett-Oates et al., 2021; Seeds, 2022; Solomon, 2020) e haploidia (Hesami et al., 2021b; Industries, 2022; Simiyu; Jang; Lee, 2022).

Especificamente sobre caracterização ou classificação de genótipos, em um trabalho que avaliou duas populações utilizadas para fins medicinais, foram encontradas diferenças significativas na morfologia e na produção de biomassa (Kurtz et al., 2020a). Além disso, também foram encontradas diferenças claras no perfil de canabinóides entre os diferentes genótipos, porém estas diferenças não foram suficientes para a classificação das plantas enquanto um gênero poliespecífico (Barcaccia et al., 2020).

Além de todos os genótipos de cannabis serem capazes de cruzar entre si, deixando descendentes férteis, as diferenças entre os perfis genéticos já analisados também não é suficiente para a classificação em mais de uma espécie. Portanto, o mais indicado, conforme já apresentado por McPartland 2018, é a classificação botânica do gênero Cannabis enquanto variedades em preferência à subespécies (Barcaccia et al., 2020).

Quando foram comparados os perfis genéticos de diferentes genótipos de *C. sativa* L. foi identificada a distância máxima de 0,41 % entre eles, reforçando que, além do alto grau de hibridação, a classificação do gênero *Cannabis* como monoespecífico é mais adequada já que, plantas que são consideradas da mesma espécie porém de subespécies ou variedades diferentes possuem distância do código genético superior a 0,43 % (McPartland; Small, 2020).

Estudos que avaliaram o índice de fixação média (FST), demonstraram que plantas para uso de fibras e ou de canabinóides possuem valores de FST de 0,156, 0,099 e 0,229, em uma escala de 0 a 1. Estes valores indicam indivíduos intimamente inter cruzados e pertencentes à mesma espécie, ou seja, populações com baixa variabilidade genética (McPartland; Small, 2020).

Estudos de genética de populações em plantas híbridas modernas denominadas popularmente de “indicas” ou “sativas” demonstraram que existe pouca ou nenhuma diferença entre elas. Segundo *Hillig, 2005 e Gilmore; Peakall; Robertson, 2007*, estes dados contrastam com estudos feitos entre as décadas de 1970 e 1990 que apresentavam diferenças genéticas claras entre as variedades pouco domesticadas (McPartland; Small, 2020).

Desde a obtenção de dados sobre características morfológicas herdáveis, até estudos relacionados à marcadores moleculares, são descritos por diversos autores como o processo de caracterização de plantas. A avaliação destes dados é útil na diferenciação de espécies, subespécies e variedades, e fornece informações fundamentais para o uso tanto por melhoristas, no desenvolvimento de novas variedades com alto potencial produtivo e maior tolerância a diversos estresses bióticos e abióticos, quanto por produtores ao identificar diferentes fenótipos, plantas mais produtivas e com habilidades para adaptação ao stress ambiental e às mudanças climáticas (Dorice; Ephraim; George, 2020).

Caracteres hereditários, como atributos agronômicos, morfológicos e marcadores moleculares, são amplamente empregados nos estudos de caracterização de plantas. A classificação de genótipos em grupos com características comuns — os chamados grupos heteróticos — possibilita a

formação de coleções base, que constituem um alicerce estratégico em programas de melhoramento genético. Nesse sentido, a caracterização da diversidade genética assume papel central no esforço por ampliar a produtividade das culturas agrícolas contemporâneas, contribuindo para enfrentar os desafios globais emergentes ligados à segurança alimentar da população mundial. Além disso, essas abordagens permitem identificar gargalos, recuperar germoplasmas de interesse e explorar o potencial da diversidade genética presente nos genótipos disponíveis, contribuindo significativamente para o delineamento e o fortalecimento de iniciativas de melhoramento vegetal (Dorice; Ephraim; George, 2020).

Devido ao alto grau de hibridização entre os materiais genéticos disponíveis atualmente, o que impede a diferenciação de variedades apenas por suas características morfológicas, a caracterização dos genótipos como variedades tem sido feita com base no quimiotipo das plantas, ou perfil de canabinóides, sendo estas também chamadas de chemovar.

## **1.2. Estado da arte**

O perfil de canabinóides de cada genótipo é definido a partir da concentração de canabinóides, terpenos e flavonoides presentes nas plantas (Birenboim et al., 2022; Hazekamp; Fishedick, 2012; Reimann-Philipp et al., 2020). Porém, como estes são compostos do metabolismo secundário das mesmas, estão sujeitos a variações devido à influências ambientais (Birenboim et al., 2022; Chandra et al., 2011; Govindarajan et al., 2023; Hazekamp; Fishedick, 2012; Reimann-Philipp et al., 2020; Sikora; Berenji; Latkovic, 2011), o que torna a classificação a partir dos valores absolutos da concentração destes compostos mais complexa e sendo necessário o estabelecimento de uma escala de variação dos mesmos para a definição de grupos de variedades que tenham a composição química mais semelhantes entre si (Birenboim et al., 2022; Cerrato et al., 2021; Hazekamp; Fishedick, 2012; Hazekamp; Tejkalová; Papadimitriou, 2016; Reimann-Philipp et al., 2020).

Atualmente a maioria das classificações dos genótipos é representada pela proporção entre  $\Delta^9$ -THC ou THC (Tetrahidrocanabiol) e

CBD, dois dos principais canabinóides produzidos pelas plantas. Além disso, outros canabinóides, como o Canabigerol (CBG), Canabicromeno (CBC) e o Canabinol (CBN), também vêm se destacando e sendo utilizados juntamente com o CBD e o THC para a classificação dos quimiotipos em grupos (Birenboim et al., 2022; Cerrato et al., 2021; Hazekamp; Fishedick, 2012; Hazekamp; Tejkalová; Papadimitriou, 2016; Murovec et al., 2022; Reimann-Philipp et al., 2020).

Estão bem definidos ao menos 6 quimiotipos desta espécie, sendo eles: i) tipo droga: quando há predomínio de  $\Delta$ 9-THC; ii) tipo intermediário: quando há equilíbrio entre a concentração de  $\Delta$ 9-THC e CBD; iii) tipo fibra: quando a concentração de  $\Delta$ 9-THC é baixa, geralmente inferior a 0,3 % e possui maior concentração de CBD; iv) variedades onde o CBG é o canabinóide prevalecente; v) variedades que possuem concentrações indetectáveis dos principais canabinóides; e vi) variedades com período juvenil prolongado e produção de CBC durante essa fase (Borille; Alegre, 2016).

Porém, de maneira simplificada os tipos mais comuns utilizados são os tipos: i (droga), geralmente com concentrações médias de THC que variam de 2 % a 20%; ii (intermediário) em geral com variações entre 0,3 % e 2,0 % de THC; e iii (fibra), com concentrações de THC inferiores a 0,3 % (DeCarlo; Weaver, 2023; Kadkhodaei et al., 2021; Piluzza et al., 2013; Strzelczyk; Lochynska; Chudy, 2022; Zoorob, 2021).

A determinação do limite de THC é fundamentada pelas legislações e normas regulatórias locais já que a grande preocupação é o seu uso psicotrópico não autorizado. Ou seja, é determinado por questões administrativas e não biológicas. A depender do país podem ser encontrados valores que variam de 0,2 % à 2,0 % como o limite na concentração de THC para a classificação de uma variedade como tipo fibra ou droga (Borille; Alegre, 2016; DeCarlo; Weaver, 2023; Kadkhodaei et al., 2021; Piluzza et al., 2013; Strzelczyk; Lochynska; Chudy, 2022; Zoorob, 2021).

No que se refere aos caracteres fitoquímicos relacionados à concentração de canabinóides e terpenóides, é comum que, em vez de se avaliar diretamente a quantidade absoluta de canabinóides nas plantas,

sejam consideradas as proporções entre THC e CBD. Essa abordagem é preferida por ser mais estável e conservadora, uma vez que a proporção entre esses compostos tende a se manter constante, ao contrário da concentração absoluta de THC, que pode variar significativamente em função de aspectos morfológicos, como a densidade e o tamanho das inflorescências e tricomas. Tais variações não afetam a proporção entre THC e CBD, pois essa é uma característica de herança monogênica com codominância alélica, ou controlada por dois genes distintos, porém fortemente ligados. Em contraste, a expressão da concentração de THC é considerada poligênica, sendo regulada por múltiplos genes que são altamente influenciados por fatores ambientais, como temperatura, intensidade luminosa, disponibilidade de nutrientes e água, entre outros, os quais também afetam a morfologia da planta (McPartland; Small, 2020).

Algumas rotas metabólicas podem estar envolvidas na biossíntese dos canabinóides. A rota do 2-C-metil-D-eritritol 4-fosfato (MEP), produz o difosfato de geranila (GPP), que é utilizado juntamente com o ácido olivetólico (OLA) para a produção do ácido canabigerólico (CBGA). Na planta viva os canabinóides são encontrados em sua forma ácida, sendo o CBGA o precursor dos principais canabinóides (THC, CBD e CBC) em suas formas ácidas (ácido tetrahydrocanabinólico - THCA, ácido canabidiólico - CBDA, ácido canabicromênico - CBCA) (figura 3).

A depender dos fatores genéticos e ambientais, as enzimas THCA sintase, CBDA síntese e CBCA sintase terão maior ou menor atividade, utilizando o CBGA sintetizado anteriormente para a produção de determinado canabinoide (figura 3). Por esse motivo, a capacidade de síntese de CBGA de uma variedade tem relação com o potencial de produção dos canabinóides majoritários (THC, CBD, CBG e CBC), podendo ser ou não um fator limitante.

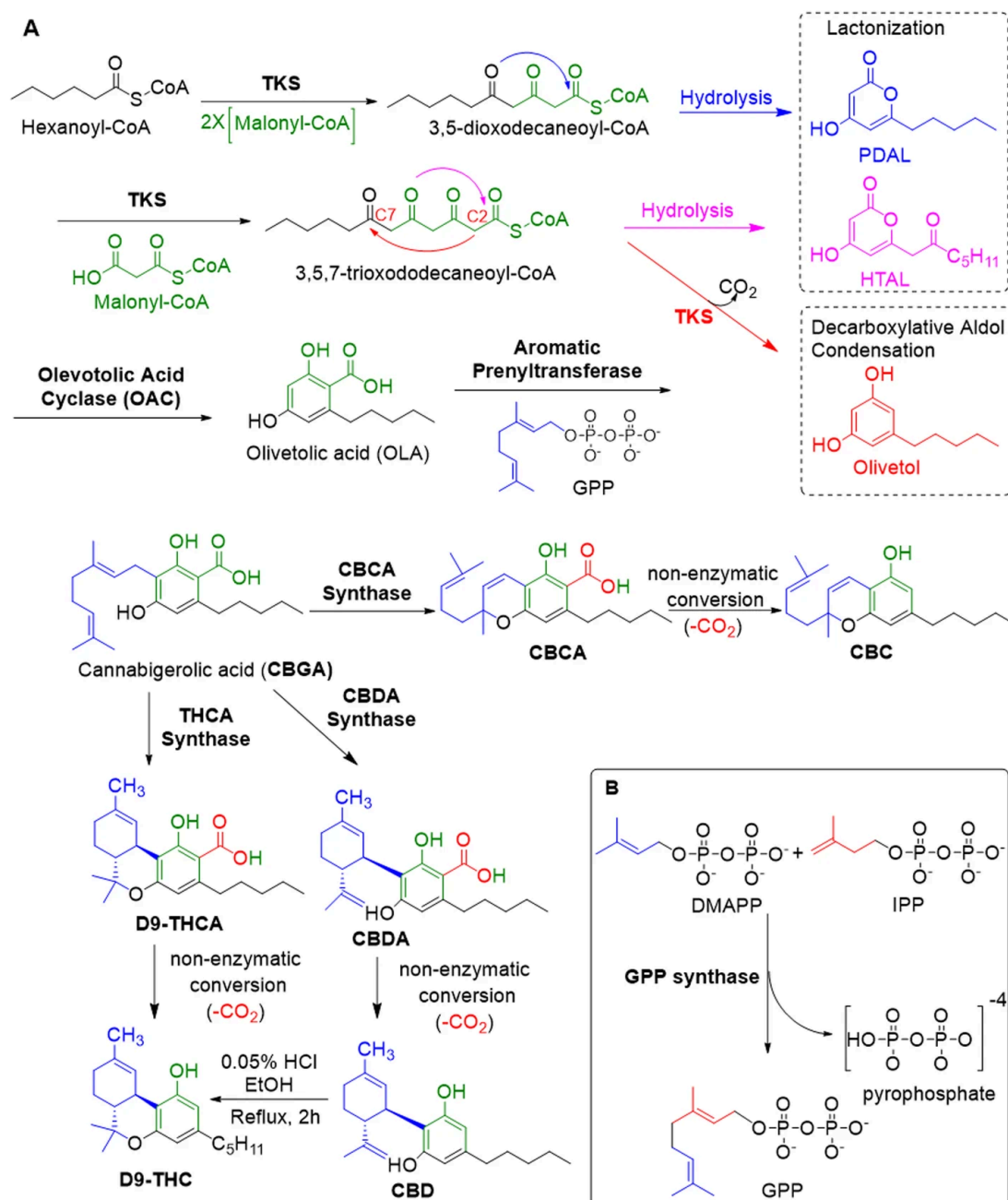


Figura 3: Rota metabólica da biossíntese de canabinóides majoritários. a) Via biossintética proposta para  $\Delta^9$ -tetraidrocannabinol ( $\Delta^9$ -THC), canabidiol (CBD) e canabicromeno (CBC), incluindo a formação de subprodutos (lactona pentil diacética (PDAL), lactona hexanoil triacética (HTAL) e olivetol, mostrados na caixa pontilhada) e destacando a conversão química de CBD em THC, há muito considerada a fonte de THC, mas essa conversão não ocorre in vivo. b) Síntese de pirofosfato de geranila (GPP) a partir de pirofosfato de dimetilalila (DMAPP) e pirofosfato de isopentenila (IPP) catalisada pela geranyl pirofosfato sintase (Tahir et al., 2021).

Os canabinóides Tetrahydrocannabivarin (THCV) e Cannabidivarin (CBDV) são considerados análogos do THC e do CBD, diferenciando-se estruturalmente por apresentarem uma cadeia lateral mais curta, e assim como o CBD não possuem efeitos psicotrópicos. A biossíntese desses compostos segue uma rota distinta já nas etapas iniciais, a partir da porção

relacionada ao resorcinol utilizado na formação do olivetol (figura 3). Cabe destacar que alguns estudos têm sugerido a inclusão desses análogos na análise das proporções entre THC e CBD, como critério complementar para a classificação dos caracteres fitoquímicos em diferentes quimiovars (McPartland; Small, 2020).

Terpenos e flavonoides integram os chamados óleos essenciais das plantas e desempenham um papel importante na definição do perfil fitoquímico de um genótipo. Esse perfil refere-se à composição e à proporção entre canabinóides, terpenos e flavonoides presentes em determinado genótipo. Os terpenóides, em particular, são compostos voláteis diretamente associados às características aromáticas das plantas, contribuindo para a diferenciação sensorial entre genótipos (McPartland; Small, 2020).

Parte significativa dos estudos de caracterização concentra-se na avaliação da concentração dos distintos canabinóides e de suas respectivas proporções entre diferentes variedades e órgãos das plantas da espécie (Nagy et al., 2019; Trofin et al., 2012). Além disso, alguns desses trabalhos também se dedicam à caracterização morfológica das estruturas florais e dos tricomas, contribuindo para uma compreensão mais ampla da variabilidade presente entre os genótipos analisados (Conneely et al., 2021; Raman et al., 2017).

Estudos voltados à caracterização agrônômica, morfológica e fitoquímica de plantas de *Cannabis* têm se intensificado nos últimos anos, impulsionados pelo expressivo aumento no cultivo da espécie e pela expansão do mercado associado a essa matéria-prima. Comparações entre variedades com predominância de THCA em relação ao CBDA e aquelas com o perfil inverso demonstraram que os genótipos ricos em THCA apresentam maior taxa de germinação, crescimento mais acelerado e floração mais precoce, quando comparados às variedades com predominância de CBDA (Yoshimatsu et al., 2004).

A escassez de estudos voltados à caracterização agroquímica de *Cannabis* tem chamado a atenção da comunidade científica, sendo considerada um entrave significativo para o avanço do melhoramento genético da espécie voltado a sistemas produtivos mais eficientes. Em uma

pesquisa que avaliou aspectos agronômicos de 30 genótipos destinados ao uso industrial, cultivadas em dois ambientes distintos, foram analisadas variáveis como produtividade, desempenho agronômico, resistência a pragas, tempo de floração e acúmulo de canabinóides. Os resultados revelaram variações expressivas tanto entre os diferentes genótipos quanto entre plantas de um mesmo genótipo. Com base nesses dados, os genótipos foram agrupados em cinco grupos distintos, sendo identificadas diferenças nas taxas de crescimento, duração do ciclo, sensibilidade ao fotoperíodo, proporção de canabinóides, incidência de pragas e produtividade (Stack et al., 2021).

Embora alguns trabalhos tenham demonstrado que as características morfológicas não são suficientes para diferenciar os genótipos em relação ao seu quimiotipo (Murovec et al., 2022), como relatado na literatura, foram identificados alguns caracteres fenológicos que podem auxiliar na seleção visando o melhoramento da espécie para a produção de canabinóides, entre eles: características das folhas como formato, serrilhamento e intensidade da coloração verde; e características das flores como quantidade das mesmas, densidade e quantidade de resina nos tricomas, além da resistência ou suscetibilidade à *Botrytis cinerea* (Jin et al., 2021). Portanto, tais aspectos podem ser melhor explorados visando melhores abordagens para estudos de melhoramento genético.

Estudos anteriores, conduzidos em 1992, também buscaram estabelecer relações entre características químicas e não químicas das plantas de Cannabis e o conteúdo de canabinóides. Os resultados indicaram que tais relações eram limitadas, porém revelaram que atributos como a largura foliar e o comportamento fenológico ao longo do ano podem servir como indicativos do perfil químico das plantas em nível populacional. No total, foram avaliados 23 caracteres não químicos — incluindo traços morfológicos, fenológicos e agronômicos — em associação com o teor de canabinóides de 97 genótipos da espécie (De Meijer; Van Der Kamp; Van Eeuwijk, 1992).

O estabelecimento de um critério claro para a classificação dos genótipos de acordo com grupos pré-determinados é fundamental para as atividades de melhoramento genético que são norteadas a partir dos

objetivos desejados relacionados às características das plantas de acordo com a finalidade, região de recomendação e nível tecnológico do produtor.

Da mesma maneira é indispensável para que os agentes envolvidos no processo de regulamentação dos cultivos da espécie tenham subsídios para diferenciar as diferentes estratégias e normas necessárias para atender tanto às questões mercadológicas, quanto de segurança e saúde públicas, entre outros fatores, como por exemplo os níveis de controle e segurança exigidos de acordo com o grupo de variedades que o produtor deseja cultivar.

Para além disso, em conjunto a classificação dos genótipos em grupos, em relação às características químicas e, conseqüentemente, às finalidades de uso, se faz necessário uma subdivisão que atenda também às técnicas agrônômicas. A definição de grupos de maturação, semelhante ao que ocorre na cultura da soja, que também é uma planta de dia curto e, portanto, sofre grande influência da latitude em relação ao comportamento fenológico e, conseqüentemente, à determinação do calendário agrícola para as diferentes regiões de acordo com as variedades disponíveis no mercado, pode ser uma estratégia também utilizada para a subdivisão dos grupos de variedades de *C. sativa* L..

No Brasil já foi realizado um trabalho preliminar que avaliou o desenvolvimento fenológico de quatro genótipos, a soma térmica em cada uma das fases, a partir da metodologia de Graus Dia (GDD), e as características morfológicas e químicas das plantas (Rocha, 2018). Trabalhos futuros também poderão contribuir para a melhor compreensão do comportamento da espécie, assim como da influência na composição química das mesmas e conseqüentemente, na classificação dos genótipos cultivados no país.

## **2. Objetivos e metodologia**

### **2.1. Objetivos**

#### **2.1.1. Objetivo Geral:**

Classificar, a partir da proporção entre os três canabinóides majoritários, THC, CBD e CBG, diferentes genótipos de *Cannabis sativa* L..

#### **2.1.2. Objetivos Específicos:**

Avaliar a concentração dos principais canabinóides dos genótipos;

Identificar os grupos de genótipos com maior contraste entre as proporções de canabinóides;

Propor parâmetros para a classificação do Cânhamo no Brasil com base na concentração de THC e na relação entre a concentração dos canabinóides.

### **2.2. Materiais e Métodos**

#### **2.2.1. Local**

O experimento para este estudo foi realizado em uma casa de vegetação não climatizada, localizada na Universidade Federal de Viçosa (UFV), na cidade de Viçosa - MG, Brasil, e cedida pelo Departamento de Agronomia (DAA) da UFV, através de um acordo de cooperação técnica firmado entre a empresa ADWA Cannabis, detentora das decisões judiciais que permitiram a sua realização, e o DAA.

A casa de vegetação está a aproximadamente 649 m acima do nível do mar e o clima predominante na região é classificado como subtropical de inverno seco (com temperaturas inferiores a 18 °C) e verão quente (com temperaturas superiores a 22 °C). A temperatura média é de 20.4 °C e a pluviosidade média anual é de 1251 mm. Os dados de temperatura foram obtidos através de uma estação meteorológica instalada no interior da casa de vegetação e conectada ao software Personal Grower®, também utilizado

para o registro dos dados morfológicos e de desenvolvimento das plantas e disponibilizado pela ADWA Cannabis.

O cultivo foi realizado em ambiente protegido, provido de sistema de monitoramento por câmeras e controle de acesso. A casa de vegetação é de vidro, possui área de aproximadamente 100 m<sup>2</sup>, sistema de circulação de ar composto por lanternins laterais e superiores, e seis ventiladores. O local possui sistema de irrigação localizado por gotejamento, com vazão de 0,300 L/hora por bico gotejador.

Para manter as plantas na fase vegetativa, independentemente da época do ano, foi fornecida iluminação suplementar através de lâmpadas de led de 50 W que permaneceram ligadas entre 17:00 horas e 23:59 horas ao longo dos dois primeiros meses de cultivo para completar o fotoperíodo, totalizando 18 horas de luz e 6 horas de escuro (Taiz; Zeiger, 2017; Yoshimatsu et al., 2004). Foram utilizadas 36 lâmpadas, totalizando 1.800 joules/s de energia radiante, em suplementação a luz solar. A partir do terceiro mês a iluminação suplementar foi desligada para induzir as plantas ao florescimento.

A adubação foi fornecida via fertirrigação e foram utilizados os fertilizantes da marca DuGreen, indicados para o uso na cultura em estudo. Os níveis de garantia dos produtos aplicados foram disponibilizados na tabela 1. Conforme orientação do fabricante, foram utilizadas soluções específicas para as fases vegetativas e de floração, sendo aplicado a dosagem de 2 ml da solução TODO CICLO e 4 ml da solução VEGA para cada litro de água aplicado em cada planta ao longo da fase vegetativa. Durante a fase de floração a dosagem foi de 2 ml da solução TODO CICLO e 4 ml da solução FLORA para cada litro de água aplicado por planta. Cada planta recebeu, em média, 1 litro de água por dia ao longo de todo o ciclo, variando de 250 ml na fase inicial à 1,250 L ao final da floração.

A fertirrigação foi realizada por gotejamento, utilizando bicos gotejadores autocompensantes com vazão de 1,2 L/h. Cada bico foi derivado em 4 estacas gotejadoras, e cada vaso recebeu 2 estacas, totalizando uma vazão média de 0,6 L/h por vaso. Foi realizado o teste de uniformidade de irrigação, através da determinação do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), que apresentou resultado classificado

como “bom”. Esse parâmetro foi adotado por ser mais criterioso devido a maior sensibilidade às variações da distribuição da água pois avalia a quantidade de água recebida nos pontos com menor vazão em relação à média de todo o sistema (Souza; Santos; Bassoi, 2017).

Tabela 1: Nível de garantia dos fertilizantes utilizados ao longo do experimento.

DuGreen Todo Ciclo VIA SOLO	DuGreen Vega VIA SOLO	DuGreen Flora VIA SOLO
Nitrogênio (N): 7,00 %	Nitrogênio (N): 3,00 %	Nitrogênio (N): 3,00 %
Potássio (K <sub>2</sub> O): 4,00 %	Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ): 2,90 %	Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ): 4,50 %
Magnésio (Mg): 1,00 %	Potássio (K <sub>2</sub> O): 4,40 %	Potássio (K <sub>2</sub> O): 4,40 %
Cálcio (Ca): 5,80 %	Magnésio (Mg): 1,00 %	Magnésio (Mg): 1,00 %
Ferro (Fe): 0,14 %	Boro (B): 0,01 %	Enxofre (S): 1,50 %
Cobre (Cu): 0,03 %	Manganês (Mn): 0,06 %	Manganês (Mn): 0,06 %
	Zinco (Zn): 0,06 %	Zinco (Zn): 0,06 %
	Molibdênio (Mo): 0,005 %	Molibdênio (Mo): 0,005 %

## 2.2.2. Material genético e cruzamentos

Foram avaliados 15 genótipos sendo, cinco híbridos genitores (GEN) provenientes dos Estados Unidos (A1, A2, A3, A4 e A5), quatro famílias de irmãos completos (FIC) (A1.4, A2.4, A3.4 e A5.4) obtidas a partir do cruzamento entre os genitores (GEN), duas famílias endogâmicas (FEND) (A2.2.1, A4.4.1) obtidas através de cruzamentos entre os genitores (GEN), e quatro famílias de meio irmãos (FMI) obtidas através de cruzamento ao acaso entre 4 genitores provenientes da França, Itália, da Colômbia e do Brasil (B100, B200, B300 e B400, respectivamente).

Entre os genitores, os materiais foram classificados previamente como: cânhamo, ou seja, com concentrações restritas de THC (abaixo de 1,0 %), sendo eles A1, A2, A3, A4, A5 e um dos genótipos utilizados para os cruzamentos de FMI cuja mãe deu origem ao genótipo B200; genótipos sem restrição em relação à concentração máxima de THC e que foram utilizados nos cruzamentos para obter os genótipos FMI B100, B300 e B400;

genótipos com valores mais elevados da concentração de CBG (A2); genótipos de dia curto (todos, com exceção de A1); um genótipo de dia neutro (popularmente conhecidos como automáticas) (A1); genótipos monóicos (um dos genitores dos FMI cuja mãe deu origem ao genótipo B200); genótipos dióicos regulares (não feminizados) (três dos genitores de FMI cujas mães deram origem aos genótipo B100, B300 e B400) e genótipos dióicos feminizados (A1, A2, A3, A4 e A5). A denominação dos genótipos avaliados está disponível na tabela 2.

Tabela 2: Denominação dos genótipos avaliados durante o experimento: híbridos genitores (GEN), família de irmãos completos (FIC), família de meio irmãos (FMI) e família endogâmica (FEND).

Denominação	Genótipos
GEN	A1; A2; A3; A4; A5
FIC	A1.4; A2.4; A3.4; A5.4
FMI	B100; B200; B300; B400
FEND	A2.2.1; A4.4.1

As sementes foram fornecidas pela empresa ADWA Cannabis. As estimativas das concentrações finais de canabinóides que foram disponibilizadas pelos fornecedores estão disponíveis na tabela 3. Os genitores importados foram escolhidos levando em consideração critérios agrônômicos, principalmente relacionados à fenologia e perfil da composição química, preconizando-se genótipos com potencial para produção de concentrações restritas de THC. Também foi levada em consideração a disponibilidade de recursos financeiros para a obtenção do material, assim como questões de logísticas relacionadas à possibilidade de aquisição do material já que até o momento não existiam normas estabelecidas para a importação e muitos fornecedores não conseguiam entregar o material no Brasil.

Tabela 3: Concentração (%) de THC, CBD e CBG, segundo o fornecedor, dos genótipos genitores (GEN) utilizados no experimento.

Genótipo	$\Delta 9$ -THC (%)	CBD (%)	CBG (%)	$\Delta 9$ -THC / CBD
A1	0,36	10,8	-	20:25:1
A2	0,13	-	14,7	36:01:00
A3	0,16 – 0,5	7,5 – 15,9	-	32:01:00
A4	0,16 – 0,6	7,8 – 17,9	-	30:01:00
A5	0,27 – 0,4	11,5 – 14,1	-	35:01:00

### 2.2.3. Análises químicas

Após colhidas, as inflorescências foram pesadas e colocadas para secar em uma estufa, com ventilação forçada à 21 °C por 15 dias (Challa; Misra; Martynenko, 2021). Após a secagem, o material foi pesado novamente para determinação da massa da matéria seca das inflorescências e realização das análises químicas. A avaliação da composição química foi feita através da mensuração da concentração (%) de THC ( $\Delta 9$ -THC) , CBD e CBG, utilizando-se um espectrômetro com infravermelho próximo (NIR) da marca Gemmacert (GemmaCert, 2017) que utiliza uma biblioteca virtual com curvas de calibração para estes compostos. Para realizar as análises foram retiradas amostras homogêneas de cada uma das repetições após as inflorescências terem sido secas e pesadas. As análises foram realizadas em triplicata, conforme orientação do fabricante.

Os valores obtidos para cada unidade experimental foram padronizados a partir do menor valor entre a concentração dos três canabinóides, que recebeu o valor de 1 ( $\mu\text{m}$ ), permitindo a comparação entre as proporções entre eles. O valor padronizado para os demais canabinóides foi obtido de maneira proporcional ao canabinóide previamente padronizado com o valor 1 ( $\mu\text{m}$ ). Os valores padronizados das concentrações dos canabinóides foram utilizados para realizar os agrupamentos. Após a definição dos grupos, a proporção entre os

canabinóides de cada grupo foi obtida a partir da média da concentração de cada um dos canabinóides dos indivíduos do respectivo grupo.

#### **2.2.4. Delineamento experimental e análise estatística**

Para cada um dos 15 genótipos disponíveis, foram cultivadas 2 parcelas com 5 plantas em cada, totalizando 10 plantas por genótipo. O experimento foi montado em DBC (delineamento em blocos casualizados) com 2 blocos, com uma parcela de cada genótipo por bloco, totalizando 150 unidades experimentais.

Os dados foram submetidos ao teste Skott-Knott, e os dados padronizados foram utilizados para agrupar as plantas de acordo com a proporção entre os canabinóides. Para determinar a quantidade de grupos a serem formados, foi utilizado o método do cotovelo, que visa encontrar o ponto em que o ganho de informação ao adicionar mais grupos se torna insignificante.

Para determinar o número de grupos ideal a ser formado foi calculada a soma dos erros quadráticos dentro dos clusters (ou soma das distâncias ao quadrado entre cada ponto e o centróide do cluster a que pertence). Esta soma é conhecida como soma dos quadrados dentro dos grupos (WSS).

As plantas foram então agrupadas, utilizando a metodologia de Análise de Variáveis Canônicas (CVA), a partir da proporção padronizada entre os canabinóides, de maneira a maximizar a distância de mahalanobis entre os grupos. As concentrações médias, absolutas e padronizadas, dos canabinóides para cada um dos grupos formados, foram obtidas a partir dos valores das concentrações absolutas dos canabinóides de cada um dos indivíduos do seu respectivo grupo. Para realizar as análises estatísticas foi utilizada a linguagem R através dos pacotes *metan* (Olivoto, 2023) e *agricolae* (De Mendiburu, 2023), e para a elaboração dos gráficos foi utilizado o pacote *ggplot2* (Lin Pedersen, 2023).

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1. Resultados

##### 3.1.1. Taxa de sobrevivência, endogamia, expressão sexual e variabilidade dos dados.

Dos 15 genótipos utilizados, dois foram obtidos a partir de cruzamentos endogâmicos (FEND). O genótipo B200 não apresentou número de repetições suficientes (tabela 4), já que além da baixa taxa de germinação, muitas plantas foram descartadas ao longo do cultivo por apresentarem plantas macho ou monóicas. Como o objetivo deste trabalho foi a avaliação da composição química das inflorescências, ao longo do cultivo as plantas macho foram descartadas, assim como plantas doentes e monóicas.

Tabela 4: Número total de plantas colhidas por genótipos ao final do experimento. Inicialmente foram cultivadas 10 plantas de cada genótipo.

Genótipo	Nº de plantas colhidas	Genótipo	Nº de plantas colhidas	Genótipo	Nº de plantas colhidas
A01	10	A1.4	5	A4.4.1	4
A02	9	A2.4	9	B100	6
A03	6	A3.4	6	B200	1
A04	8	A5.4	10	B300	6
A05	7	A2.2.1	10	B400	6

Os genótipos que apresentaram baixa quantidade de plantas viáveis para a análise foram obtidos através de cruzamentos que utilizaram pelo menos um genitor em comum, sendo este um genótipo monóico classificado previamente como cânhamo e de origem italiana. O material obtido do cruzamento endogâmico, e que foi previamente descartado das análises estatísticas, foi obtido através da autopolinização deste genitor, e o genótipo B200 foi obtido através de cruzamento ao acaso desse mesmo genitor com um genitor masculino desconhecido.

Além destes genótipos, o material A4.4.1(FEND) também apresentou baixo número de plantas ao final do experimento com 60 % de descarte (tabela 4), tanto por perdas por falhas durante a germinação, quanto por descartes, já que houve a presença de plantas macho, monóicas e/ou doentes. Em contrapartida, para o genótipo A2.2.1 (FEND) todas as plantas foram colhidas ao final do experimento. Portanto, são necessários mais estudos sobre os efeitos de uma possível depressão endogâmica e a relação com a taxa de sobrevivência das plantas (Kurtz et al., 2020b).

Dentre os materiais genéticos cultivados, apenas entre os genótipos obtidos por cruzamentos de meio irmãos (FMI) existia a possibilidade de que ao menos um dos genitores fosse monóico, sendo o genótipo B200 o único cujo genitor feminino é sabidamente uma planta monóica, e apenas uma planta pôde ser colhida deste genótipo. Ao longo do experimento foram mantidas apenas as plantas fêmeas, sendo descartadas plantas macho ou monóicas já que o objetivo era a avaliação de plantas com potencial para produção de canabinóides. Os demais genótipos FMI avaliados (B100, B300 e B400) tiveram seis plantas colhidas, o que representou 40 % de perda.

O cruzamento A1.4, o único que foi realizado utilizando um genitor de dia neutro (A1) apresentou o segundo maior percentual de perda, com 40 % de descartes, o que indica a necessidade de aprofundamento em estudos utilizando materiais com esse comportamento fenológico.

Os dados sobre as perdas reforçam a necessidade de que, para fins medicinais, sejam utilizadas apenas plantas fêmeas, obtidas por clonagem ou produção de sementes feminizadas, já que, para os materiais onde havia a possibilidade de existência de plantas macho, ou seja os cruzamentos FMI, todos os genótipos apresentaram um número elevado de descartes. O número de plantas colhidas de cada genótipo está disponível na tabela 4.

Os genótipos apresentaram diferenças morfológicas perceptíveis, relacionadas a arquitetura da planta e das inflorescências, porte, morfologia foliar, hábitos reprodutivos, características fenológicas, tolerância à pragas, entre outras. As figuras de 4 a 18 ilustram parte da diversidade dos materiais cultivados e a ocorrência de pragas ao longo do experimento.



Figuras 4, 5 e 6: diferenças morfológicas, relacionadas à arquitetura e porte, entre os genótipos cultivados. Foram caracterizados materiais que incluíram plantas com altura média de um (1,0), dois (2,0) e três (3,0) metros, respectivamente à primeira, segunda e terceira fotos.



Figuras 7 e 8: diferenças morfológicas foliares entre os genótipos cultivados, incluindo coloração do pecíolo, formato da folha e número de folíolos. Foram caracterizadas plantas com maior presença de antocianinas nos pecíolos e menores quantidades de folíolos (esquerda), e plantas com maior quantidade de folíolos e menor presença de antocianinas nos pecíolos (direita).



Figuras 9, 10 e 11: diferenças morfológicas relacionadas à arquitetura e coloração das inflorescências, incluindo fenótipos popularmente chamados de “feno trigo” devido à semelhança da arquitetura das inflorescências com as espiguetas do trigo (primeira foto), fenótipos com arquitetura floral tradicional (segunda foto), e fenótipos com alta concentração de antocianinas responsáveis pela coloração roxa (terceira foto).



Figuras 12 e 13: detalhes de flor (esquerda) e inflorescência (direita) masculinas identificadas ao longo do experimento.



Figuras 14 e 15: detalhe de inflorescências femininas (esquerda) e de plantas monóicas com a presença de flores de ambos os sexos (direita).



Figuras 16, 17 e 18: foram registradas a ocorrência de patógenos (primeira foto) e organismos que podem se tornar pragas como ácaros (segunda foto) e lepidoptera (terceira foto).

### 3.1.2. Análise dos canabinóides

Em relação aos valores dos coeficientes de variação (CV), foram identificados valores relativamente elevados (tabela 5) porém, de certa maneira esperados já que o experimento foi conduzido com plantas cultivadas a partir de sementes o que pode influenciar para que plantas da mesma variedade tenham muitas diferenças entre si. Diferentemente de outras culturas agrícolas, cujo melhoramento genético moderno já permitiu o desenvolvimento de genótipos superiores, o mesmo ainda não ocorreu com os de cannabis que ainda possuem baixa homogeneidade e estabilidade (Stack et al., 2021), já que desde 1920 o cultivo da espécie foi proibido em quase todo o mundo, impedindo que a espécie se beneficiasse dos avanços relacionados às técnicas e métodos de melhoramento genético moderno (Schilling et al., 2020).

Além disso, os valores de CV foram maiores, 67,94 % e 41,11 %, para os canabinóides que naturalmente apresentam menores concentrações, CBG e CBD respectivamente, mesmo para as variedades que possuem esses canabinóides como majoritários, em comparação ao THC que é o canabinóide que pode alcançar valores mais elevados de concentração (tabela 5). Ou seja, esse comportamento era esperado, já que as variáveis que possuem maiores valores tendem a ter menores valores de CV em comparação às variáveis que apresentam valores concentrações.

O Índice de Variação (IV), foi obtido através da razão entre o Coeficiente de Variação Genética (CVg) e o Coeficiente de Variação Experimental (CVe) e representa com qual fator, genético ou ambiental, a variação dos dados tem maior relação. Todos os canabinóides apresentaram valor de IV maior do que um, com destaque para o a concentração de THC que apresentou valor de 3,64 (tabela 5. Isso indica que a seleção dos genótipos podem ser feita diretamente com base nestas características, já que as mesmas possuem maior relação com fatores genéticos do que com fatores ambientais.

Tabela 5: Valores das concentrações médias absoluta (%), padronizada e média geral (Média), coeficiente de variação (CV %), coeficiente de variação experimental (CVe %), coeficiente de variação genética (CVg %), índice de variação (IV = CVg/CVe), herdabilidade ( $H^2$ ), erro e desvio padrão (SD) dos canabinóides THC, CBD e CBG para os genótipos avaliados. Letras iguais na mesma coluna representam valor estatisticamente iguais, enquanto que letras diferentes na mesma coluna representam diferença estatística entre os valores.

Genótipo	Concentração absoluta (%)			Concentração padronizada		
	THC	CBD	CBG	THC	CBD	CBG
A01	0,91 D	7,68 A	0,51 C	1,81 C	21,06 A	1,43 C
A02	2,50 C	3,55 B	3,58 B	0,71 C	10,40 B	2,07 C
A03	0,94 D	7,71 A	0,89 C	2,95 C	15,07 A	1,79 C
A04	0,58 D	5,15 A	0,42 C	2,19 C	18,30 A	2,02 C
A05	1,26 D	6,46 A	0,98 C	1,56 C	16,25 A	1,67 C
A1.4	0,42 D	6,22 A	0,69 C	0,31 C	24,91 A	2,77 C
A2.4	0,77 D	6,02 A	0,47 C	1,97 C	16,54 A	1,48 C
A3.4	1,18 D	7,47 A	0,39 C	3,48 C	15,99 A	1,02 C
A5.4	0,86 D	5,40 A	0,77 C	1,68 C	20,87 A	2,32 C
A2.2.1	3,30 C	2,08 B	5,97 A	1,69 C	1,07 B	4,27 C
A4.4.1	0,52 D	5,12 A	0,32 C	3,15 C	29,19 A	2,97 C
B100	16,60 A	0,09 B	1,94 C	165,89 A	0,99 B	19,34 A
B300	11,90 B	0,53 B	2,39 B	70,47 B	0,99 B	4,79 C
B400	11,00 B	0,54 B	2,73 B	66,43 B	0,93 B	12,98 B
Média	3,38	4,62	1,71	19,13	13,39	3,96
CV (%)	35,92	41,11	67,94	105,3	91,13	124,37
CVe	39,15	44,69	73,16	115,08	99,44	135,09
CVg	142,43	54,05	99,59	224,21	54,65	110,43
IV	3,64	1,2	1,36	1,94	0,54	0,81
$H^2$	0,989	0,909	0,927	0,963	0,670	0,821
Erro	0,12	0,19	0,11	2,01	1,22	0,49
SD	1,22	1,9	1,16	20,33	12,31	4,94

O valores da Herdabilidade ( $H^2$ ) também confirmam a possibilidade de seleção de genótipos visando o melhoramento em relação à concentração de canabinóides utilizando como critério de seleção diretamente os valores das concentrações dos próprios canabinóides já que,

valores de  $H^2$  próximos à um (tabela 5) indicam características herdáveis, relacionadas à fatores genéticos e que podem ser transferidas para as próximas gerações.

Apenas um indivíduo, do genótipo B100, superou 20 % em relação à concentração de THC. Em relação aos valores médios da concentração deste canabinóide, este genótipo também apresentou a maior concentração, com valor médio de 16,6 %. Os genótipos B300 e B400 também apresentaram teores médios de THC relativamente elevados, 11,9 % e 11,0 %, respectivamente (tabela 5 e gráfico 1). Todos os três genótipos foram obtidos a partir do cruzamento ao acaso entre três genitores classificados inicialmente como tipo droga, ou seja, sem restrição na concentração máxima de THC e um genitor previamente classificado como cânhamo, conforme descrito na metodologia. Os genitores femininos destes genótipos não possuíam restrição em relação ao limite na concentração de THC, e as características químicas dos genitores masculinos não puderam ser determinadas devido ao tipo de cruzamento parental (FMI).

Em um experimento anterior, realizado na mesma época de plantio e no mesmo local, os genitores utilizados para a obtenção das FMI avaliadas no experimento atual apresentaram concentração de THC que variou de 10,42 % à 14,32 %, para os três genótipos sem restrição na concentração de THC e 3,61 % para o genótipo que havia sido previamente classificado como cânhamo (Rocha, 2018).

Apesar de 13 indivíduos terem apresentado concentração de THC inferior à 0,3 %, o que levaria a classificá-los como cânhamo, em relação às principais legislações mundiais, nenhum genótipo apresentou valor médio inferior a este percentual (tabela 5 e gráfico 1). Após a análise CVA, onde foram formados cinco grupos a partir da razão entre os canabinóides, o grupo 1 apresentou a menor concentração média de THC (0,552 %). Portanto, nenhum dos genótipos ou grupos poderiam ser classificados como cânhamo baseando-se em uma legislação que adote a restrição de até 0,3 % (tabela 6).

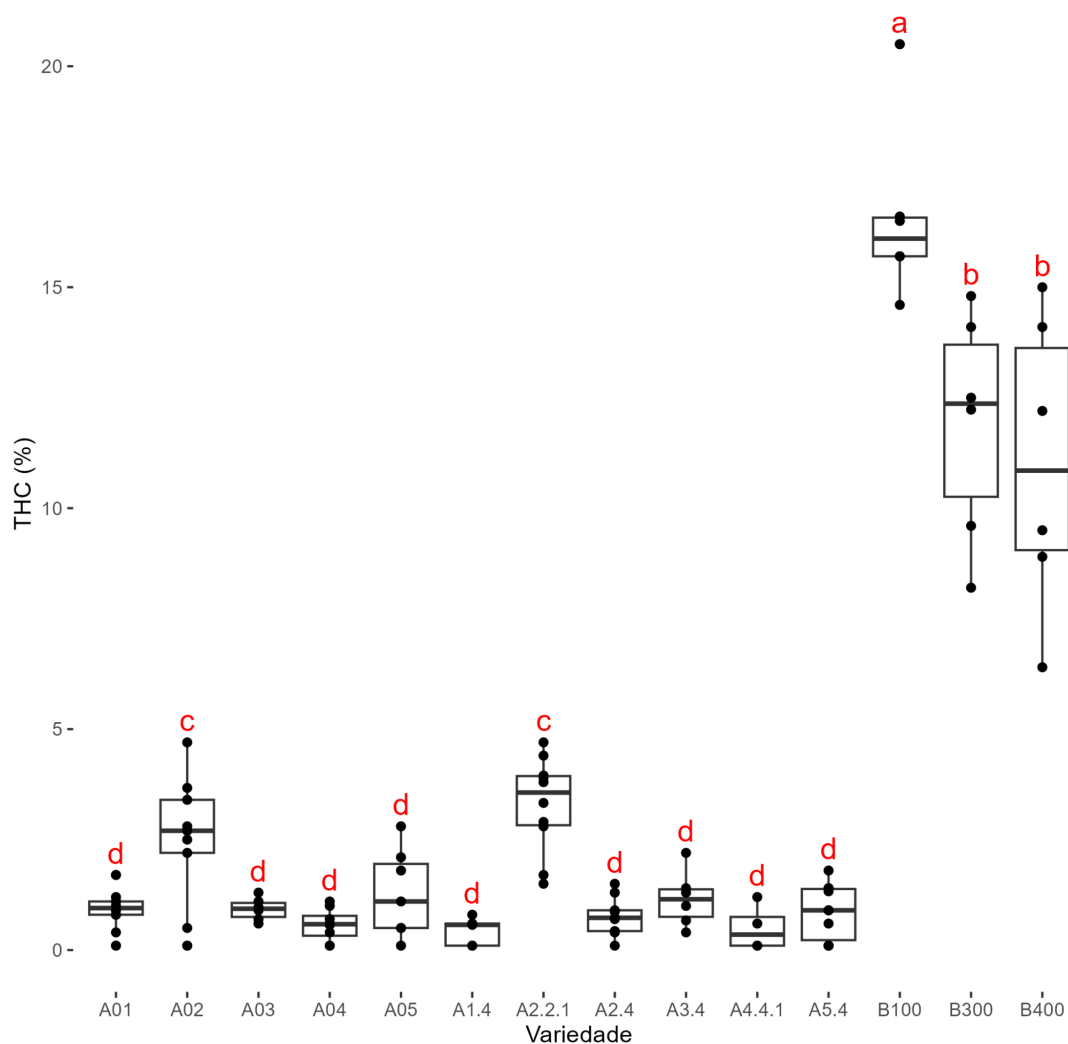


Gráfico 1: Concentração média absoluta de THC para as variedades genitoras (GEN - A1, A2, A3, A4 e A5), obtidas por cruzamentos de irmão completos a partir de GEN (FIC - A1.4; A2.4; A3.4; A5.4), cruzamentos endogâmicos de GEN (FEND - A2.2.1; A4.4.1) e cruzamentos de meio irmãos cujos genitores foram cultivadas em um experimento anterior (FMI - B100, B300 B400). Letras diferentes indicam diferença estatística entre grupos de médias. Teste de Skott-Knott a 5 %.

Sete dos 14 genótipos avaliados apresentaram concentração média de THC inferior à 1,0 % (tabela 5 e gráfico 1) e portanto, poderiam ser classificados como cânhamo em países cujo rigor à restrição deste canabinoide é mais brando, principalmente tratando-se de países tropicais onde a concentração deste canabinoide tende a ser maior. O grupo 1, que incluiu 45 indivíduos, ou seja aproximadamente 44,18 % das amostras, poderia ser classificado como cânhamo nestes países. O genótipo A1.4 apresentou a menor concentração média absoluta deste canabinoide (0,42 %), porém este valor não se diferenciou estatisticamente da concentração

média de THC dos seus genitores, A1 e A4, 0,91 % e 0,58 % respectivamente (tabela 5 e gráfico 1).

Tabela 6: Concentrações absolutas médias dos canabinóides primários (THC, CBD e CBG) dos grupos obtidos pela CVA, e número de indivíduos por grupo.

Grupo	THC	CBD	CBG	Obs
	%			
1	0,552	6,952	0,511	45
2	5,206	2,169	3,781	8
3	2,727	2,460	5,575	15
4	14,242	0,223	1,86	15
5	1,395	5,432	0,5	19

A exposição excessiva aos raios UV, principalmente UV-A e UV-B, pode resultar na maior produção de THC e seus derivados já que, a incidência acima de 320 nm pode aumentar a produção de fitocanabinóides (Govindarajan et al., 2023). Temperaturas muito elevadas também podem causar aumento na concentração de THC, fazendo com que variedades previamente classificadas como cânhamo ultrapassem os limites máximos estabelecidos quando submetidas a estas condições (Sikora; Berenji; Latkovic, 2011).

Estes fatores podem ter contribuído para que alguns dos genótipos previamente classificados como cânhamo não apresentassem a mesma resposta neste experimento. As temperaturas médias, mínimas e máximas ao longo do experimento foram 26,3 °C, 20,4 °C e 35,9 °C, respectivamente, o que demonstra que apesar da temperatura média permanecer dentro do valor médio considerado ideal para a cultura, que seria de 21 °C considerando-se que a maioria das variedades possui aptidão para climas temperados ou subtropicais (Rosenthal, 2010), houveram muitos picos de temperaturas superiores aos 35 °C o que pode ter influenciado na concentração de THC dos genótipos (gráfico 2).

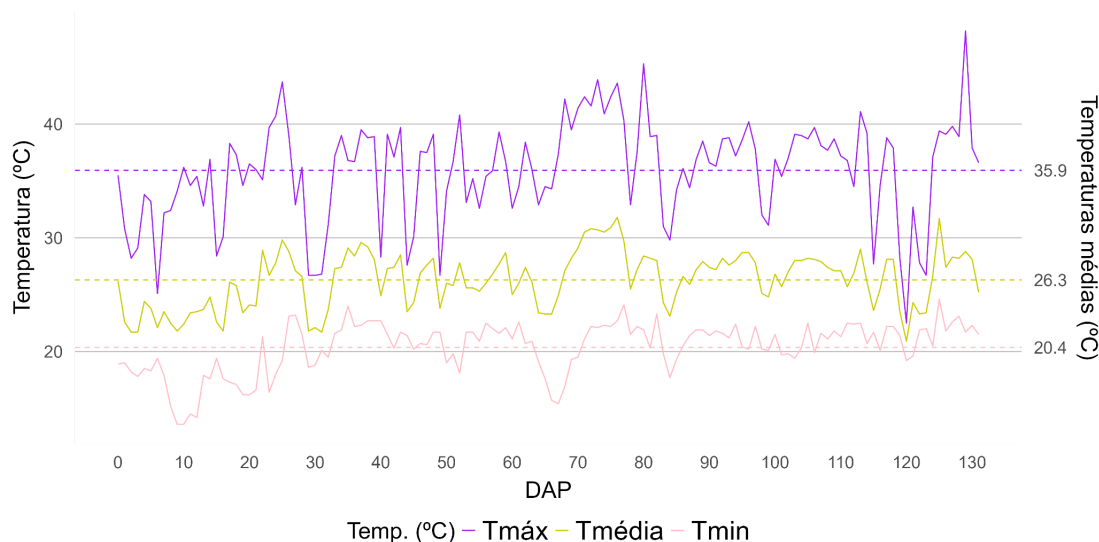


Gráfico 2: Variação das temperaturas médias, máximas e mínimas ao longo dos dias após o plantio (DAP).

Em comparação às estimativas, informadas pelos fornecedores, das concentrações médias dos canabinóides de cada um dos genitores (GEN) avaliados (tabela 3), apenas o genótipo A4 apresentou a concentração média de THC dentro da faixa previamente estimada (tabela 5 e gráfico 1). Todos os demais genótipos apresentaram concentrações superiores, com destaque para os genótipos A2 e A5, cujas concentrações médias estimadas pelo fornecedor eram de 0,13 % e de 0,27 % a 0,40 % (tabela 3), porém os valores médios aferidos foram de 2,5 % e 1,26 %, respectivamente (tabela 5 e gráfico 1).

Em relação às concentrações médias de CBD, os maiores valores variaram entre 5.12 % e 7.71 %, para os genótipos A4.4.1 e A03. Nenhum genótipo FMI figurou entre os que obtiveram maiores concentrações em relação a este canabinóide, e apenas o genótipo A2 entre genótipos do tipo GEN figurou entre os materiais que apresentaram as menores concentrações médias para este fitoquímico. As menores concentrações médias variaram entre 0.09 % a 3.55 %, para os genótipos B100 e A02 respectivamente (tabela 5).

Apesar dos valores médios não estarem na faixa observada para os genótipos com maior potencial de produção de CBD, individualmente alguns indivíduos apresentaram valores superiores à 10 % deste canabinóide, entre eles duas plantas do genótipo A5 (GEN), com concentrações de 12,1 % e

10,2 %, e quatro indivíduos de FIC obtidos a partir do cruzamento do genótipo A4 (GEN). Para estes cruzamentos os valores obtidos foram de 13,1 %, 11,3 %, 10,43 %, 10,17 %, respectivamente à indivíduos dos genótipos A3.4, A2.4, A1.4 e A2.4. O material A3.4 apresentou o maior valor individualmente, e também está entre os maiores valores médios em relação à concentração de CBD (tabela 5 e gráfico 3), portanto o cruzamento de FIC entre os genitores A3 e A4 pode ser promissor visando a obtenção de materiais com maior potencial de produção deste canabinóide.

Ainda em relação às concentrações médias de CBD, apenas o genótipo A3 apresentou valores médios dentro da faixa estimada pelos fornecedores, porém com valores muito próximos ao limite inferior (tabelas 4 e 5, e gráfico 3). Com exceção do genótipo A2 que, segundo o fornecedor não apresentava potencial estimado para produção significativa deste canabinóide por ser uma variedade com potencial para produção de CBG (tabela 3), nenhum dos materiais apresentou valores médios próximos ou superiores aos limites máximos informados (tabelas 3 e 5, e gráfico 3), embora o genótipo A2 tenha apresentado concentração média de 3,55 % de CBD.

Apenas para um dos genótipos avaliados estava disponível, inicialmente, a informação sobre o potencial de produção de concentrações médias significativas de CBG (tabela 3). Após a avaliação das plantas colhidas o genótipo A2.2.1 (FEND), obtido a partir do cruzamento endogâmico do genótipo A2 (GEN), apresentou concentração média de 5,97 % para este canabinóide, valor estatisticamente superior alcançado pelo seu genitor (A2), que foi de 3,58 % (tabela 5 e gráfico 4).

Estes valores foram muito inferiores aos informados pelo fornecedor deste genitor, que teria a concentração média estimada em 14,7 % (tabela 3). Individualmente, os quatro indivíduos que apresentaram as maiores concentrações médias para esse canabinóide, que variaram de 6,50 % à 9,43 %, foram plantas do genótipo A2.2.1 (FEND) (tabela 5 e gráfico 4). Estes resultados podem indicar um possível ganho genético obtido a partir do cruzamento endogâmico do genótipo A2, porém as concentrações médias alcançadas para estes materiais sob as condições de cultivo deste experimento ainda estão abaixo dos resultados obtidos em outros

experimentos ao redor do mundo cujas concentrações de CBG já ultrapassaram 10 % (Crawford et al., 2021; Ioannidis et al., 2020).

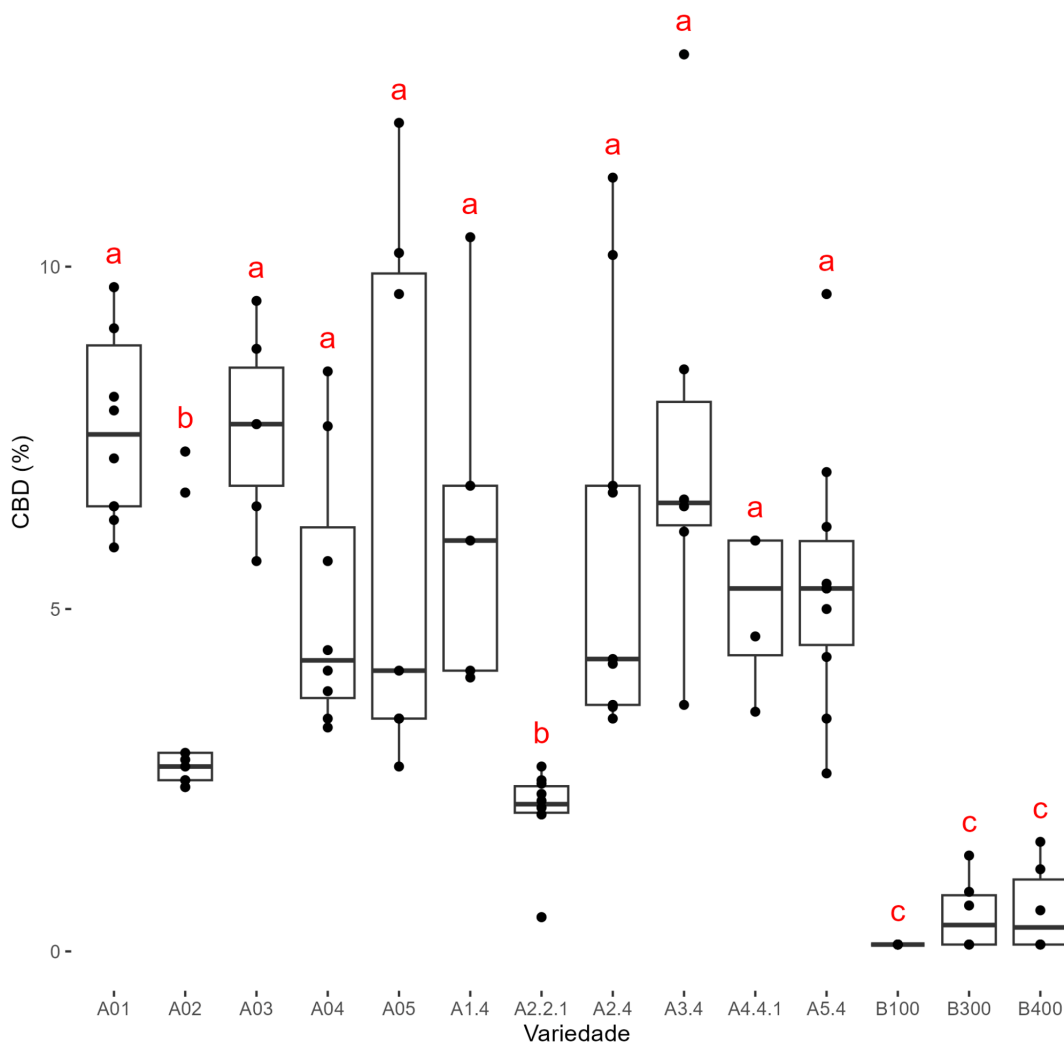


Gráfico 3: Concentração média absoluta de CBD para as variedades genitoras (GEN - A1, A2, A3, A4 e A5), obtidas por cruzamentos de irmão completos a partir de GEN (FIC - A1.4; A2.4; A3.4; A5.4), cruzamentos endogâmicos de GEN (FEND - A2.2.1; A4.4.1) e cruzamentos de meio irmãos cujos genitores foram cultivadas em um experimento anterior (FMI - B100, B300 B400). Letras diferentes indicam diferença estatística entre grupos de médias. Teste de Skott-Knott a 5 %.

Os genótipos B400 e B300 (FMI) alcançaram valores de concentração de CBG estatisticamente iguais aos do genótipo A2 (GEN), sendo eles 2,73 % e 2,39 %, respectivamente. Apenas o genótipo B100 apresentou concentração deste canabinóide estatisticamente inferior do que os demais genótipos de FMI (tabela 5 e gráfico 4). Este genótipo apresentou as maiores concentrações média e individual de THC (tabela 5 e gráfico 2).

Os genótipos FMI, B300 e B400, que apresentaram concentrações intermediárias de THC, também apresentaram concentrações intermediárias de CBG (tabela 5 e gráficos 2 e 4).

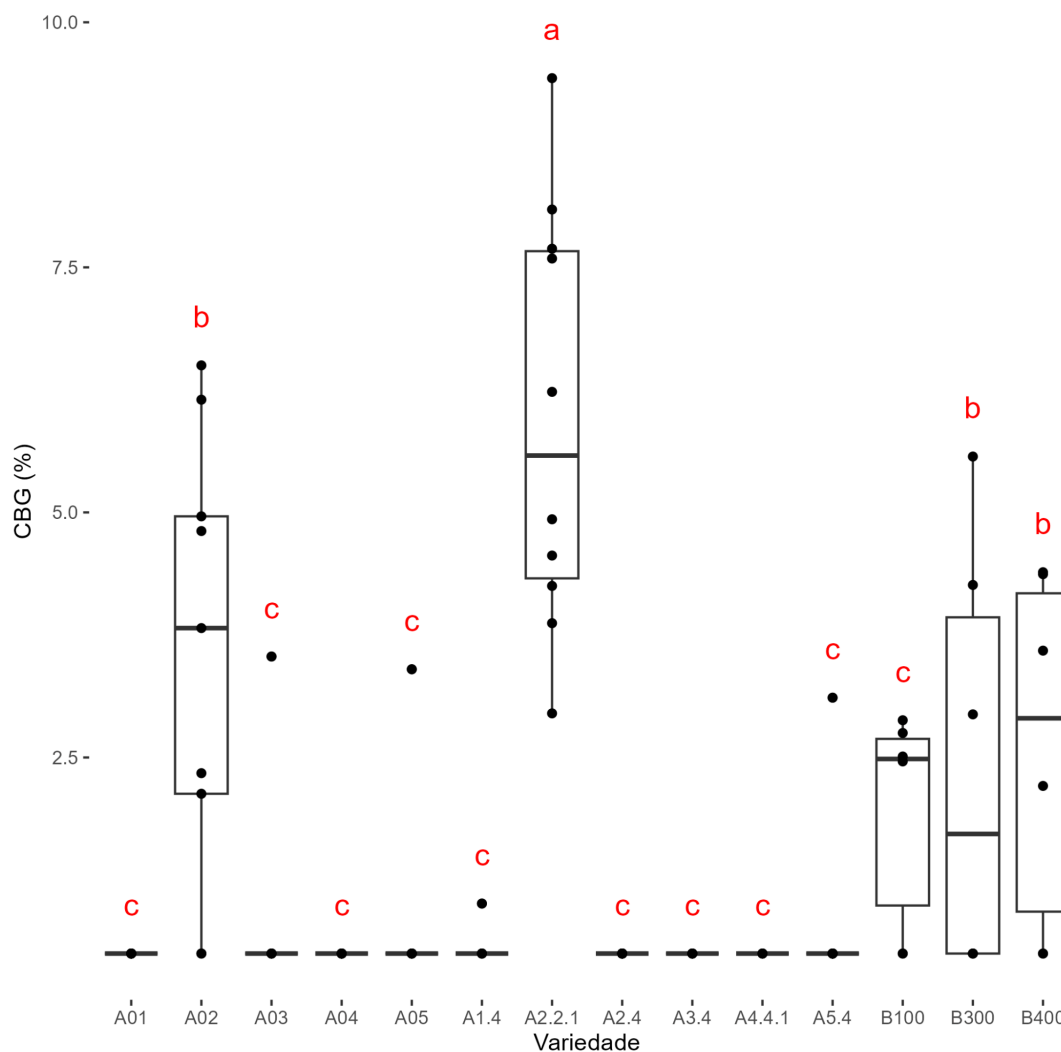


Gráfico 4: Concentração média absoluta de CBG para as variedades genitoras (GEN - A1, A2, A3, A4 e A5), obtidas por cruzamentos de irmão completos a partir de GEN (FIC - A1.4; A2.4; A3.4; A5.4), cruzamentos endogâmicos de GEN (FEND - A2.2.1; A4.4.1) e cruzamentos de meio irmãos cujos genitores foram cultivadas em um experimento anterior (FMI - B100, B300 B400). Letras diferentes indicam diferença estatística entre grupos de médias. Teste de Skott-Knott a 5 %.

Este comportamento pode indicar uma relação entre as concentrações de ambos os canabinóides, já que durante a síntese de THC e CBD, o CBG, em sua forma ácida CBGA, atua como um precursor utilizado pelas THC e CBD sintases (Grassa et al., 2018; Tahir et al., 2021). Sendo assim, as maiores concentrações de CBG podem indicar concentrações mais baixas, porém mais equilibradas, dos outros dois

canabinóides majoritários THC e CBD, já que o CBGA, substrato em comum para a síntese de ambos, ao não ser consumido pelas sintases de THC e CBD, acaba por se acumular nos tricomas glandulares, dando origem a uma maior concentração de CBG após a descarboxilação.

A relação antagônica entre a síntese de THC e CBD já é conhecida, tendo em vista que ambas as sintases (THCAS e CBDAS, respectivamente), competem pelo mesmo precursor, o CBGA (Grassa et al., 2018, 2021; Tahir et al., 2021). Esta relação também pôde ser verificada pelo padrão apresentado pela concentração desses canabinóides neste experimento, já que os genótipos que apresentaram as três maiores concentrações de THC (B100, B300 e B400 respectivamente), também apresentaram as menores concentrações de CBD (tabela 5, e gráficos 2 e 3).

### **3.1.3. Agrupamentos**

Em relação à formação de grupos com base na proporção entre os três canabinóides, a partir da soma dos erros quadráticos (WSS), foi determinado como cinco o número ideal de grupos a serem formados, já que a adição de mais grupos não implicaria necessariamente em adição de informações relevantes para a classificação (gráfico 5). A razão padronizada entre os canabinóides e o número de indivíduos em cada um dos grupos formados estão na tabela 7.

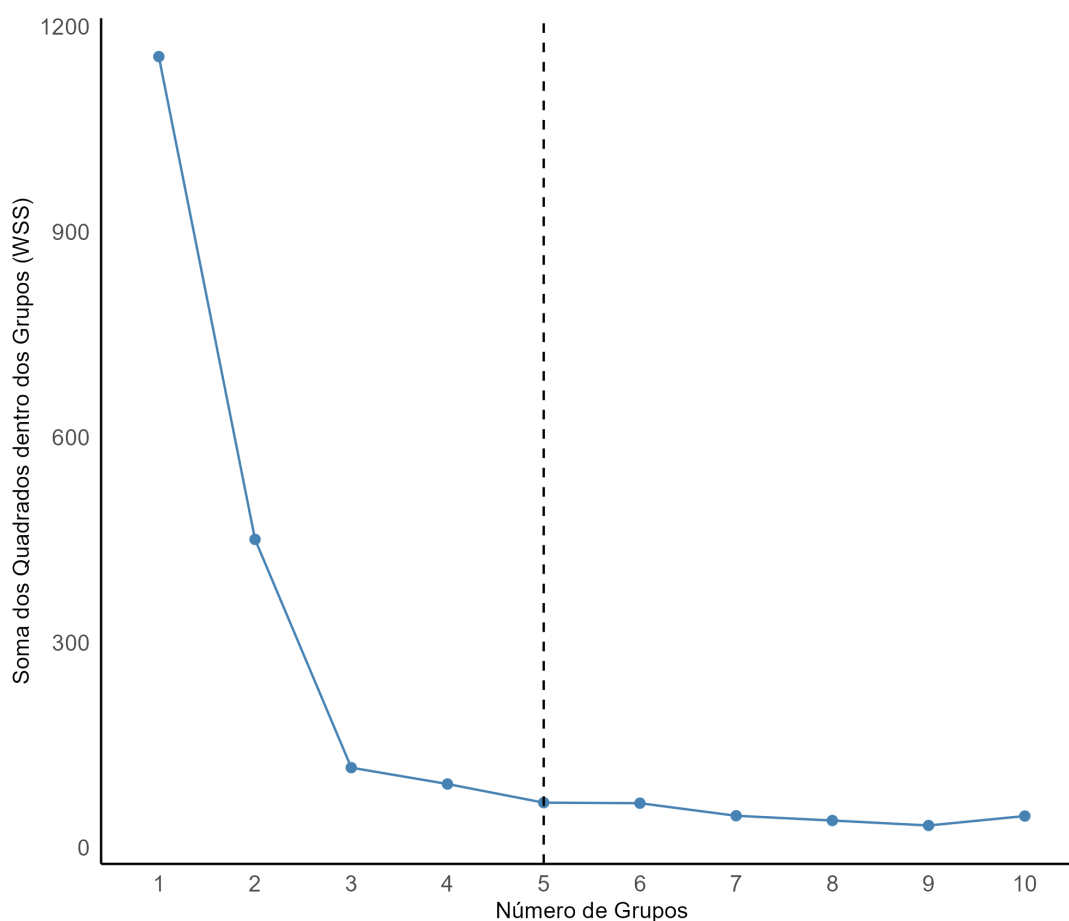


Gráfico 5: Quantidade de grupos a serem formados pela CVA. A linha tracejada indica a quantidade de grupos a partir da qual não existe grande variação em relação à soma dos quadrados dos grupos, indicando que o acréscimo de outro grupo não causa alterações significativas.

Tabela 7: Concentração média padronizada dos canabinóides primários (THC, CBD e CBG), dos grupos formados a partir da CVA, e número de indivíduos em cada grupo (Obs).

Grupo	THC / CBD / CBG	Obs
1	1 - 25 - 2	45
2	3 - 1 - 2	8
3	2 - 2 - 4	15
4	121 - 1 - 14	15
5	3 - 11 - 1	19

Após a análise de variáveis canônicas (CVA), cujo primeiro componente explicou mais de 80 % da variância dos dados (gráfico 6), é possível observar os cinco grupos formados, assim como a quantidade de

indivíduos em cada grupo e o comportamento dos mesmos em relação às concentrações dos três canabinóides avaliados (gráfico 7).

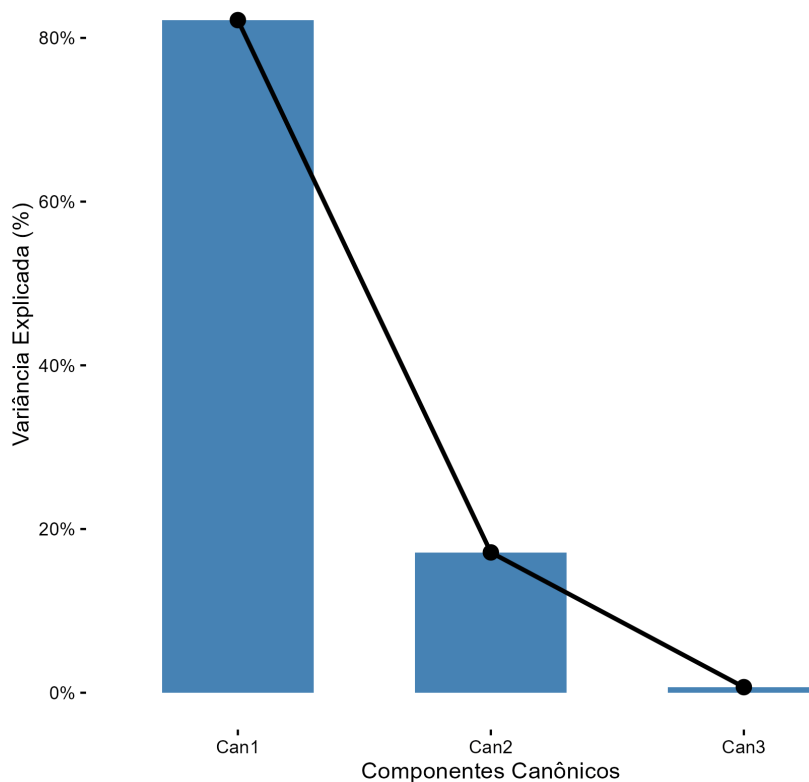


Gráfico 6: Variância explicada pela CVA.

A maior parte dos materiais avaliados apresentou predominância de CBD, totalizando 64 indivíduos somando-se os grupos 1, e 5, o que equivale a 62,75 % do total de amostras. O grupo 1 se destacou por apresentar a maior proporção desse canabinóide que foi 25 vezes maior do que a média da concentração padronizada de THC no mesmo grupo (tabela 7 e gráfico 7). Entre os dois grupos com maiores proporções de CBD, o grupo 1 apresentou a maior concentração média absoluta, com valor de 6,952 %, enquanto o grupo 5, com concentração de CBD 11 vezes maior em relação ao CBG, apresentou 5,432 % (tabelas 6 e 7).

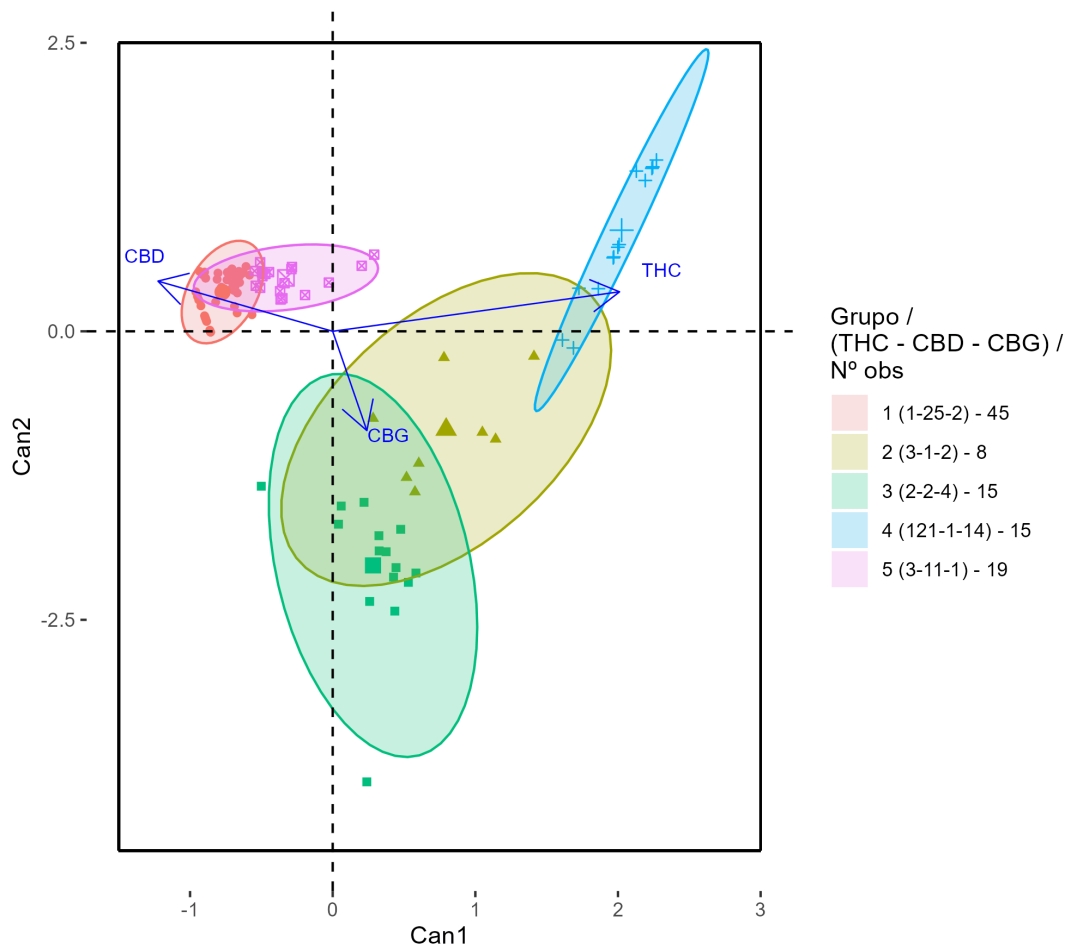


Gráfico 7: Análise de variáveis canônicas (CVA) em relação à concentração de THC, CBD e CBG para as variedades genitoras (GEN - A1, A2, A3, A4 e A5), obtidas por cruzamentos de irmão completos a partir de GEN (FIC - A1.4; A2.4; A3.4; A5.4), cruzamentos endogâmicos de GEN (FEND - A2.2.1; A4.4.1) e cruzamentos de meio irmãos cujos genitores foram cultivadas em um experimento anterior (FMI - B100, B300 B400). O comprimento das setas em cor azul indica a amplitude das concentrações obtidas para cada canabinóide. Para cada grupo formado foi informada a razão da concentração média padronizada e o número de indivíduos.

Em contraste ao grupo 1, o grupo 4 apresentou concentração padronizada de THC 121 vezes maior em relação ao CBD no mesmo grupo (tabela 7 e gráfico 7), com valor absoluto médio de 14,242 %, enquanto o grupo 1 apresentou concentração média absoluta de 0,552 % , sendo esta a menor concentração absoluta média aferida entre os grupos (tabela 6). Também em contraste ao grupo com o grupo 1 que reuniu 45 indivíduos, 19 plantas foram agrupadas no grupo 4, sendo esse o segundo menor grupo formado (tabela 7 e gráfico 7). O comportamento antagônico entre as concentrações de CBD e THC já foi observado e analisado em trabalhos anteriores (Grassa et al., 2018, 2021; Tahir et al., 2021).

O grupo 3 apresentou a relação mais proporcional entre THC e CBD dentre todos os grupos, com concentrações médias padronizadas de THC exatamente iguais em relação às de CBD (tabela 7 e gráfico 7). Os grupos 2 e 4 foram os únicos onde houve predominância de THC, apresentando valores absolutos médios de 5,206 % e 14,242 %. Nestes grupos também houve predominância do CBG em relação ao CBD, com valores absolutos médios de 3,781 % e 1,86 %, respectivamente aos grupos 2 e 4 (tabela 6). Os grupos 2 e 3 apresentaram concentrações relativamente homogêneas entre os três canabinóides, com razões de 3-1-2 e 2-2-4, respectivamente (tabelas 6 e 7, e gráfico 7).

No grupo 3 o CBG foi o canabinóide predominante. Apenas no grupo 5 este canabinóide apresentou as menores proporções em relação ao canabinóide predominante no respectivo grupo. Com exceção do grupo 4, todos os demais apresentaram equilíbrio entre as concentrações de CBG e THC, sendo a maior diferença para o grupo 5 com proporção de 3:1 entre THC e CBG em relação às concentrações padronizadas (tabela 7).

Os grupos que apresentaram os menores valores absolutos médios de CBG também foram os grupos que apresentaram os maiores valores absolutos médios de CBD, e por relação, os menores de THC (tabela 6), o que pode indicar a maior eficiência no uso do CBGA para a síntese de CBD, em relação ao uso deste ácido quando o direcionamento é para a síntese de THC.

A partir da interpretação dos resultados obtidos, dos cinco grupos formados pela análise CVA, as plantas do grupo 1 poderiam ser classificadas como cânhamo apenas para os locais onde a concentração máxima de THC seja de 1,0 %. Nenhum dos grupos apresentou concentração média absoluta deste canabinóide inferior a 0,3 % e portanto não poderiam ser classificados como cânhamo para países cujas concentrações sejam mais restritivas. O grupo 5 apresentou concentração média absoluta de 1,395 % de THC, sendo este valor considerado baixo para a indústria de THC, porém viabilizando o uso destas plantas como cânhamo apenas para os locais onde o limite é de até 2,0 %.

Em relação a proporção entre THC e CBD, os grupos 2 e 3 poderiam ser classificados como intermediários, já que houve equilíbrio entre as

concentrações de THC e CBD. O grupo 3 apresentou os valores mais próximos entre as concentrações médias absolutas desses canabinóides, com 2,727 % e 2,460 %, respectivamente (tabela 6).

O grupo 5, apesar da concentração de THC relativamente baixa quando comparada aos genótipos cultivadas com a finalidade de produção deste canabinóide, seria classificado como tipo droga, já que às concentrações de THC foram superiores ao limites máximo estabelecidos pelas legislações mundiais vigentes (tabela 6).

Neste caso, levando-se em consideração a classificação em três tipos principais de genótipos, de acordo com a concentração dos canabinóides THC e CBD e a razão entre os mesmos, apenas um grupo (grupo 1) seria classificado como tipo fibra para legislação com limite de até 1,0 % de THC, e o grupo 3 poderia ser classificado como tipo intermediário. Porém, levando-se em consideração a razão entre os canabinóides principais, incluindo o CBG, o grupo 2 também poderia ser classificado como tipo intermediário.

Como o CBG é o precursor direto de THC e do CBD, o limite na concentração destes dois canabinóides está diretamente relacionado à disponibilidade de CBG, em sua forma ácida, CBGA, e à eficiência das atividades da THCAS e CBDAS. A classificação dos genótipos em relação ao quimiotipo, sem a inclusão do CBG, pode acarretar em situações onde a concentração de THC de uma determinada variedade seja ligeiramente superior ao limite para a sua classificação como tipo iii (fibra), porém muito inferior ao das variedades para uso medicinal ou adulto quando o interesse é a alta concentração deste fitoquímico. Nesta situação a variedade seria classificada como tipo i (droga), o que inviabilizaria o seu uso para a maioria das finalidades industriais, por exemplo.

A inclusão do CBG nesta análise de classificação pode redefinir o posicionamento dessa variedade. Antes, ela não se encaixava como tipo III (fibra/cânhamo) nem atendia aos padrões de qualidade para a indústria de alto THC. Com essa nova abordagem, no entanto, pode ser classificada como tipo II (intermediário). Essa mesma variedade pode ainda apresentar concentrações elevadas de CBD e outros canabinóides de interesse para diversas indústrias.

Esta situação pode ser confirmada com a análise do grupo 2, que apresentou a razão de 3-1-2 em relação às concentrações padronizadas de THC, CBD e CBG, respectivamente. Esse grupo apresentou concentração de THC de 5,206 %, superior aos limites para ser classificado como tipo iii (fibra), porém muito abaixo da qualidade exigida pelo mercado medicinal e para uso adulto quando o interesse é este canabinóide.

### **3.2. Discussão**

Estudos anteriores indicaram o possível efeito de depressão endogâmica devido ao aumento da homozigose para características recessivas (Kurtz et al., 2020b; Stack et al., 2021). Progênies obtidas a partir de autofecundação foram menores e menos produtivas, além de apresentarem variação e maior variação em relação ao peso das inflorescência. Além disso, ao avaliar a variância molecular de progênies obtidas por polinização cruzada, autofecundação e seus genitores, foi observado que as progênies obtidas através de polinização cruzada apresentaram maior proximidade com os genitores femininos, o que pode indicar um possível efeito materno (Kurtz et al., 2020b).

Nos cultivos com a finalidade de obtenção de canabinóides, preconiza-se o cultivo de plantas fêmeas, já que estas, além de produzirem maior quantidade de flores, também produzem maior quantidade de canabinóides em comparação com as plantas macho (Nagy et al., 2019). Além disso, a presença de plantas masculinas junto com plantas femininas acarreta na polinização das plantas fêmeas e consequente produção de sementes, reduzindo significativamente a produção de canabinóides (Campbell; Peach; Wizenberg, 2021).

Apesar da expressão sexual das plantas dióicas estar diretamente relacionada à questões genéticas, já que plantas macho possuem cromossomos XY e plantas fêmeas XX, a expressão de alguns genes relacionados à diferenciação sexual pode sofrer influência de fatores ambientais, induzindo inclusive a ocorrência de monoícia em plantas dióicas. Nas plantas monóicas os efeitos ambientais têm maior influência na expressão sexual e são mais percebidos, já que estas plantas também

possuem cromossomos XX e o percentual de flores masculinas e femininas pode variar de acordo com as condições do ambiente, já que esta é uma característica considerada quantitativa e sob controle autossômico (XX+A) (Amaducci et al., 2008; Carlson et al., 2021; Hall; Bhattarai; Midmore, 2012; Petit et al., 2020; Salentijn et al., 2015; Salentijn; Petit; Trindade, 2019).

Além disso, os hormônios desempenham um papel fundamental na expressão sexual. Por essa razão, a administração de hormônios exógenos pode influenciar a diferenciação sexual, sendo, inclusive, uma estratégia amplamente utilizada em programas de melhoramento genético (Salentijn et al., 2015; Salentijn; Petit; Trindade, 2019).

Embora a influência ambiental na expressão sexual necessite de maior investigação já que ainda existem lacunas, o aumento da temperatura pode favorecer a ocorrência de flores masculinas enquanto temperaturas baixas de flores femininas (Tru et al., 2007). A ocorrência de baixas temperaturas relativas também pode induzir a monoiccia em plantas dioicas (Hall; Bhattarai; Midmore, 2012; Kaushal, 2012).

Os canabinóides são compostos do metabolismo secundário das plantas, e como tal, possuem relação com uma grande quantidade de genes e estão sujeitos a sofrer influência ambiental (Birenboim et al., 2022; Chandra et al., 2011; Govindarajan et al., 2023; Hazekamp; Fishedick, 2012; Reimann-Philipp et al., 2020; Sikora; Berenji; Latkovic, 2011). Entretanto, a razão entre a concentração dos canabinóides majoritários (THC e CBD) é governada por uma pequena quantidade de genes. Essas alterações ambientais não causam grande interferência na proporção entre as concentrações dos canabinóides majoritários, já que esta é uma característica monogênica com codominância alélica, ou determinada por dois genes separados (THCAS e CBDAS) mas estreitamente ligados (McPartland; Small, 2020).

Portanto, questões genéticas estão diretamente relacionadas com a razão da concentração dos canabinóides majoritários entre as variedades, porém pequenas variações nos valores absolutos, mesmo de indivíduos de uma mesma variedade, podem ocorrer devido às variações ambientais (De Meijer et al., 2003; Kim et al., 2022; Toth et al., 2020). Isso ocorre pois a expressão da concentração desses canabinóides é considerada como uma

característica poligênica, ou seja, é governada por muitos genes que sofrem grande interferência de fatores ambientais (temperatura, luminosidade, disponibilidade de nutrientes e água, ataque de pragas, entre outros) e que também contribuem para alterações morfológicas (McPartland; Small, 2020). Estas variações podem ser maiores ou menores a depender da plasticidade fenotípica de cada variedade.

Embora haja evidências da influência dos fatores ambientais na concentração final de canabinóides existe a necessidade de mais estudos nesse sentido já que alguns fatores ambientais bióticos e abióticos, como excesso de água, herbivoria, incidência de pragas e aplicação de etefon, não causaram alterações significativas na concentração dos canabinóides (Toth et al., 2020).

A produção de THC, CBD e CBG está diretamente relacionada às enzimas de síntese das formas ácidas dos três canabinóides majoritários, THCA, CBDA e CBGA, respectivamente. Os três genes que codificam estas enzimas compartilham mais de 83 % das sequências de aminoácidos. Portanto, são os fatores genéticos os principais responsáveis para que uma variedade produza uma determinada razão entre estes canabinóides (Kim et al., 2022).

Os locus B e O são os principais envolvidos na determinação do quimiotipo e razão entre os canabinóides. Indivíduos que possuem locus BT/BT ou BT/BO e O/O ou O/o produzem principalmente THC. Já indivíduos BT/BD e O/O ou O/o produzem concentrações semelhantes de THC e CBD. Indivíduos BD/BD ou BD/BO e O/O ou O/o produzem principalmente CBD, enquanto indivíduos BO/BO e O/O ou O/o produzem predominantemente CBG. Indivíduos que possuem homozigose recessiva para o locus O, ou seja o/o, são considerados como livres de canabinóides majoritários (De Meijer et al., 2003; Stack et al., 2021; Toth et al., 2020).

Portanto, a influência dos fatores ambientais nos valores absolutos das concentrações de cada canabinóide varia conforme a plasticidade fenotípica de cada variedade. Entretanto, a razão entre os canabinóides, principalmente os majoritários (THC, CBD e CBG), sofre menor interferência do ambiente, sendo essa uma característica mais estável mesmo quando a mesma variedade é cultivada em ambientes diferentes.

Sendo assim, ao utilizar a relação entre as concentrações dos canabinóides para realizar os agrupamentos, a metodologia proposta foca na razão entre estes fitoquímicos, parâmetro este, que tende a sofrer menor interferência ambiental. Ainda assim, as variações ambientais podem afetar os grupos, já que para os genótipos cuja plasticidade fenotípica seja maior, as mudanças na concentração de determinado canabinóide podem ser mais acentuadas. Porém, espera-se que o comportamento dos agrupamentos seja semelhante, para a maioria dos genótipos, mesmo quando ocorrerem variações ambientais.

Os valores de  $CV_e$  menores do que de  $CV_g$  (tabela 5) indicam que o experimento foi bem conduzido, contribuindo para que os fatores genéticos tenham maior importância, em relação aos fatores ambientais, na variação dos resultados. A relação entre os dois parâmetros, mensurada através do IV e que apresentou valores acima de 1 para a concentração de todos os canabinóides (tabela 5), indicam a possibilidade de seleção de genótipos com base nestas características já que os valores obtidos tiveram maior relação com fatores genéticos e, portanto, possuem o potencial para serem transferidas para as próximas gerações.

Essa possibilidade é reforçada pelos valores de herdabilidade ( $H^2$ ) obtidos no experimento, que se aproximaram de um para todas as características (tabela 5), indicando que, apesar da influência dos fatores ambientais na concentração dos canabinóides, os fatores genéticos que determinaram o perfil químico das plantas foram predominantes.

Após a análise dos valores de herdabilidade ( $H^2$ ), e tendo em vista a possibilidade do uso de FMI e FIC, diferentes estratégias podem ser utilizadas visando o melhoramento genético. Enquanto as FIC utilizam  $\frac{1}{2}$  da variância aditiva, fração herdável da variância, mas também levam em consideração outras frações da variância, como a variância de dominância e epistática para a composição da herdabilidade, às FMI utilizam apenas a variância aditiva, porém em uma fração menor,  $\frac{1}{4}$ . Ou seja, apesar de utilizar a metade da fração herdável, em relação às FIC, as FMI levam em consideração apenas a Herdabilidade no sentido restrito, sem interferência dos efeitos epistáticos e de dominância.

Apesar disso, em outros experimentos fatores como incidência de baixas temperaturas e aplicação de herbicidas foram responsáveis pela redução na concentração de canabinóides (Galic et al., 2022), enquanto o aumento na temperatura, a incidência de UVB, aplicação de ácido abscísico e o déficit hídrico moderado foram responsáveis pelo aumento da concentração de canabinóides, principalmente o THC (Caplan; Dixon; Zheng, 2019; Lydon; Teramura; Coffman, 1987; Mansouri; Asrar, 2012; Mansouri; Asrar; Szopa, 2009).

A conhecida relação entre a maior concentração de THC e a incidência de altas temperaturas e radiação UV elevada pode ser um dos fatores que contribui para que as variedades tipicamente utilizadas para uso adulto recreativo sejam encontradas, em prevalência, nas regiões tropicais ou próximas a elas, enquanto as variedades de cânhamo, são identificadas, em sua maioria, em regiões com latitudes mais elevadas, próximas às regiões subtropicais ou temperadas (figura 19).

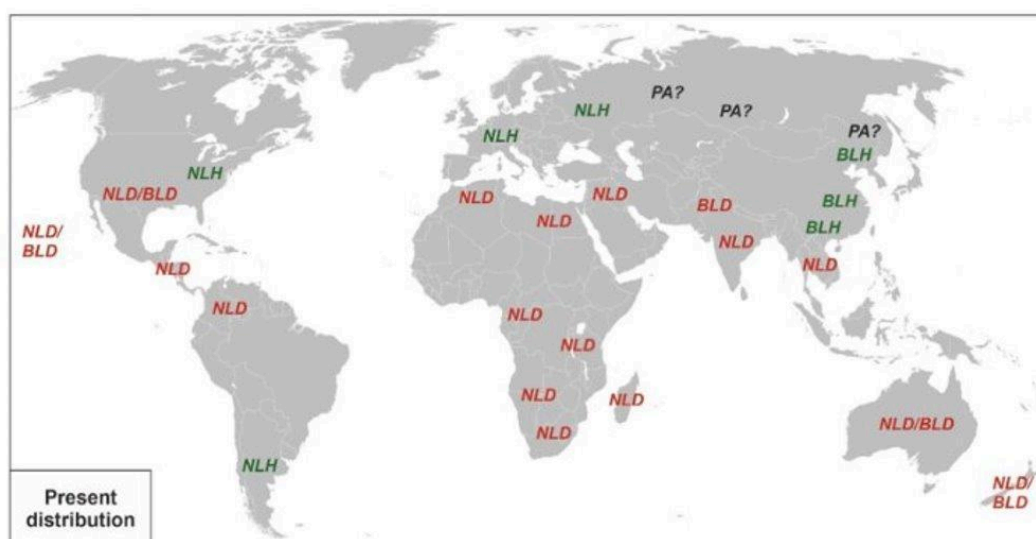


Figura 19: Distribuição mundial dos diferentes biótipos de Cannabis desenvolvidos por humanos. Os biótipos de cânhamo estão em verde e os biótipos de cannabis para uso recreativo em vermelho. NLH, cânhamo de folha estreita; BLH, cânhamo de folha larga; NLD, cannabis de folha estreita para uso recreativo; BLD, cannabis de folha larga para uso recreativo; NLD/BLD, híbrido entre NLD e BLD; PA?, possível ancestral da Cannabis. (Rull, 2022)

Durante a síntese dos canabinóides o ácido olivetólico (OLA) é convertido, através da adição do geranyl pirofosfato, a ácido cannabigerólico (CBGA), precursor que diverge para a formação dos ácidos cannabinólicos

(THCA, CBDA, and CBCA). Após a descarboxilação estes são transformados em THC, CBD, e CBC. Apesar da semelhança de 96 % entre as sequências de CBDAS e THCAS, oito compostos podem ser produzidos, em diferentes proporções, através das atividades dessas enzimas. Além disso, a THCAS pode sintetizar pequenas quantidades de CBDA e CBCA, enquanto a CBDAS também é capaz de sintetizar pequenas quantidades de THCA, CBCA e CBDA (Tahir et al., 2021). Esta capacidade pode explicar o motivo pelo qual mesmo variedades com maior potencial para produção de um dos dois canabinóides majoritários, THC ou CBD, também podem produzir quantidades menores do outro canabinóide.

Além disso, essa dinâmica pode explicar por qual motivo não são encontradas variedades com concentrações muito elevadas dos canabinóides majoritários simultaneamente. A concentração dos canabinóides está ligada diretamente a disponibilidade de CBGA, sendo este um limitante, ou seja, a planta pode priorizar a síntese de altas concentrações de um dos canabinóides majoritários, ou valores mais equilibrados entre eles. Desta maneira variedades com maior equilíbrio entre as concentrações dos canabinóides majoritários possuem menores concentrações desses canabinóides em comparação às variedades que produzem apenas um destes canabinóides de maneira majoritária.

Pelo fato do CBGA (forma ácida do CBG), ser um precursor do THC e CBD ela atua como um fator limitante e portanto variedades com equilíbrio entre os canabinóides majoritários também produzem menores concentrações deste canabinóides quando comparado às variedades em que um destes canabinóides possui concentração predominante.

Em comparação ao THC e ao CBD, que são os canabinóides mais conhecidos e estudados e cujo potencial medicinal já está consolidado, os demais canabinóides, como o CBG, CBN, CBC, THCV, entre outros, ainda são relativamente pouco conhecidos. Porém, com o avanço científico sobre a Cannabis, estes outros canabinóides estão despertando cada vez mais o interesse do mercado. Entre os que mais têm ganhado destaque está o CBG. Alguns trabalhos mais recentes já incluem a avaliação da concentração de outros canabinóides, além do THC e CBD (Birenboim et al., 2022; Borille; Alegre, 2016; Cerrato et al., 2021; Hazekamp; Fishedick,

2012; Hazekamp; Tejkalová; Papadimitriou, 2016; Murovec et al., 2022; Reimann-Philipp et al., 2020).

A classificação de genótipos de Cannabis utiliza, geralmente, tanto os valores absolutos dos teores de THC, CBD e CBG, quanto a proporção entre eles. Para a classificação como tipo I (droga), a concentração absoluta de THC é utilizada como referência, já que para este grupo de plantas não existe restrição ao limite na concentração deste canabinóide. Em geral é adotado um valor médio que pode variar de 2 % a 20 % como referência para esse tipo (Zoorob, 2021).

Para o tipo III (fibra), conhecido popularmente como cânhamo, a concentração absoluta de THC também é utilizada como critério de classificação, mas neste caso existe um limite máximo neste valor, que pode variar de acordo com a legislação de cada país. Na maioria dos locais onde o cultivo está regulamentado, este limite é de 0,3 %, porém alguns países na Europa já adotaram 0,2 %, enquanto outros países adotam valores de até 2,0 % (Borille; Alegre, 2016; DeCarlo; Weaver, 2023; Kadkhodaei et al., 2021; Piluzza et al., 2013; Strzelczyk; Lochynska; Chudy, 2022; Zoorob, 2021).

Porém, para o tipo II (intermediário), não são os valores absolutos das concentrações que são utilizados para classificar os genótipos neste grupo, e sim a proporção entre os canabinóides THC e CBD. Quando não classificado como o tipo III (fibra ou cânhamo), para este tipo de plantas a proporção entre os canabinóides deve ser semelhante, independente do valor absoluto da concentração de cada um. Por isso, geralmente utiliza-se o valor da concentração padronizada para estabelecer essa relação (Piluzza et al., 2013).

A classificação de genótipos de cannabis a partir do quimiotipo, e a definição dos mesmos em “tipos”, é uma abordagem com finalidades regulatórias. Os critérios utilizados para essa classificação são definidos por cada país, e a discussão sobre a regulamentação dos cultivos de variedades com concentrações restritas de THC está em pauta no Brasil. Neste contexto, a abordagem proposta neste trabalho pode contribuir para que as normas regulatórias brasileiras sejam revistas, levando em conta as questões técnicas agrônômicas relacionadas ao comportamento

ecofisiológico da espécie em países tropicais, assim como a diversidade de usos e indústrias para os quais os diferentes tipos de plantas podem ser utilizadas e que não incluem o uso para fins psicotrópicos.

No Brasil, a própria Polícia Federal conduziu um estudo para compreender o potencial psicotrópico de sementes de cannabis apreendidas. Neste estudo, realizado em 2016, a autora indica que já são reconhecidos ao menos seis grupos químicos bem definidos (Borille; Alegre, 2016).

Sendo assim, a adoção do CBG para a classificação dos quimiotipos possui uma importância regulatória, tendo em vista os diferentes níveis de controle, restrição e segurança necessários a cada tipo de planta, dependendo do potencial risco de cada um.

Também existe um impacto mercadológico direto, tanto para o produtor, quanto para a indústria de processamento e beneficiamento, já que amplia as possibilidades do uso da espécie e dá mais segurança para o produtor que corre menos risco de ter um campo de cultivo descartado caso as plantas cultivadas ultrapassem os limites de THC para sua classificação como fibra. Neste caso, o produtor poderia direcionar seu cultivo para a indústria que utiliza plantas do tipo intermediário. Ou seja, para fins de recomendação agrônômica, assim como existem variedades de milho indicadas para grãos, silagem, milho verde e milho pipoca, a classificação da cannabis em grupos ou tipos que melhor representem a demanda do mercado também é uma necessidade regulatória para atender a realidade brasileira.

Ainda sobre as questões regulatórias, essa situação permitiria que, os produtores que por ventura estejam habilitados a produzir plantas do tipo fibra, e por alguma eventualidade, como a ocorrência de fatores ambientais inesperados, as plantas tenham ultrapassado o limite máximo de THC sendo classificadas como tipo intermediário, recebam uma sinalização por parte dos órgãos de controle para que seja adotada alguma medida para corrigir o problema para as próximas safras. Desta maneira, evita-se o descarte da produção e grandes prejuízos aos produtores, permitindo que os órgãos e agências reguladoras tenham parâmetros bem definidos e adequados às

condições ecofisiológicas da espécie em relação ao seu comportamento em países tropicais.

A estreita relação fisiológica entre a biossíntese dos três canabinóides (CBG, THC e CBD), e o balanço existente entre a concentração dos mesmos, faz com que a adoção desta metodologia também leve em consideração parâmetros bioquímicos relacionados à disponibilidade de cada canabinóide em relação aos demais.

Semelhante ao que já ocorreu em outro países que regulamentaram o cultivo de cannabis mas utilizando critérios mais restritivos em relação ao THC para a classificação de plantas do tipo fibra, principalmente nos primeiros anos após a regulamentação, a inexistência de materiais genéticos adaptados especificamente às condições ambientais de países tropicais, principalmente no que tange ao fotoperíodo crítico para a indução à floração e altas taxas de radiação solar e temperaturas elevadas, pode acarretar na necessidade de descarte de grandes quantidades de material vegetal que por ventura não mantenham as concentrações de THC abaixo dos valores estabelecidos (Cowee, 2019).

Portanto, a utilização de critérios menos restritivos em relação à concentração de THC para a classificação das variedades como cânhamo (tipo fibra), como 1,0 % conforme já adotado por mais de dez países, entre eles Austrália, Colômbia, Equador, México, Nova Zelândia, Peru e Suíça (DeCarlo; Weaver, 2023), ou ainda 2,0 % já que este também é um parâmetro reconhecido para diferenciar os tipo fibra e droga, principalmente tendo em vista que para o mercado de THC preconiza-se o uso de variedades com concentrações médias de 20 % de THC (Zoorob, 2021), demonstra ser um parâmetro mais adequado à realidade brasileira.

O reconhecimento de um tipo intermediário, também é mais adequado a essa realidade, gerando maior segurança para o mercado, tanto para órgãos de controle quanto para produtores. Caso ocorram situações onde sejam colhidas plantas que ultrapassem o limite previsto para a classificação como tipo fibra mas se enquadrem no tipo intermediário, o produtor pode receber uma notificação para que tome medidas para reduzir a concentração de THC na próxima safra, sem que tenha que, obrigatoriamente, descartar sua produção, já que o equilíbrio entre a

concentração dos canabinóide inviabiliza, fisiologicamente, altas concentrações de THC.

#### **4. Conclusões Gerais**

A partir da análise de variáveis canônicas (CVA), em caso de adoção de 0,3 % como o limite máximo da concentração de THC para a classificação de genótipos como tipo fibra (cânhamo), todos os grupos seriam classificados como tipo droga já o que o grupo 1 apresentou a menor concentração média deste canabinóide, 0,552 %. Os grupos 2 e 3 poderiam ser classificados como grupos intermediários, com valores de THC superiores aos estipulados para a classificação como tipo fibra, porém com equilíbrio entre os canabinóides, o que, conseqüentemente, inviabiliza altas concentrações de THC. Caso o limite de restrição na concentração desse canabinóide fosse de 1,0 %, apenas o grupo 1 poderia ser classificado como cânhamo (tipo fibra). Nenhum genótipo apresentou valor médio absoluto de THC abaixo de 0,3 %, e apenas 13 indivíduos, o que representa apenas 12,74 % do total de plantas que tiveram a composição química avaliada, apresentaram concentração deste canabinóide abaixo deste valor.

O grupo 4 apresentou a maior razão e concentração absoluta de THC em relação aos demais, com valores de 121-1-14 e 14,242 %, respectivamente. Já o grupo 1 apresentou o mesmo comportamento para o CBD com valores de 1-25-2 e 6,952 %, respectivamente.

A adoção de critérios muito restritivos em relação a concentração máxima de THC para que o genótipo possa ser classificado como tipo fibra (cânhamo) pode inviabilizar ou causar grandes prejuízos à cadeia produtiva de cannabis, principalmente em países tropicais como é o caso do Brasil, devido a questões genéticas e ecofisiológicas da própria espécie e suas relações com os fatores ambientais. Portanto limites entre 1,0 % e 2,0 % para o tipo fibra (cânhamo) são mais indicados por estarem adequados tanto a questões ecofisiológicas da espécie quanto mercadológicas e regulatórias.

A inclusão de um tipo intermediário, que inclua a concentração do CBG para a determinação da razão entre os canabinóides majoritários, pode beneficiar diversas indústrias que não tem interesse em plantas com altas

concentrações de THC, ou que utilizam este composto em baixas concentrações, como o caso de alguns produtos para uso medicinal. Além disso, garante mais segurança ao produtor que, caso ocorra, por algum fator não controlável, um pequeno aumento na concentração de THC superando o limite estabelecido para a classificação como tipo fibra, o material vegetal poderá ser destinado para outro tipo de indústria, ao invés de ser descartado.

Esse tipo de abordagem pode contribuir para a elaboração de critérios técnicos mais pertinentes à realidade brasileira em relação ao estabelecimento de legislações que levem em conta os quesitos necessários para classificar genótipos como plantas de cânhamo, ou seja, tipo fibra, tipo droga ou tipo intermediário, por meio de normas claras e adequadas à fisiologia e ao comportamento agrônomo da espécie sob as condições edafoclimáticas brasileiras.

Além disso, pode auxiliar nos processos de gestão dos cultivos, principalmente no direcionamento do material vegetal para processamento, de acordo com suas características químicas relacionadas ao quimiotipo e as devidas finalidades de produção, dando maior segurança ao mercado e evitando prejuízos principalmente para o setor agrícola e farmacêutico.

## Referências

AFIK, Zvika; COHEN, Tehila R.; LAHAV, Yaron. Getting high on cannabis stock returns an event study. **Finance Research Letters**, v. 46, p. 102226, maio 2022.

AFP. Colômbia autoriza uso industrial de cannabis e exportação. jul. 2021.

AMADUCCI, Stefano *et al.* Modelling post-emergent hemp phenology (Cannabis sativa L.): Theory and evaluation. **European Journal of Agronomy**, v. 28, n. 2, p. 90–102, fev. 2008.

AMODE, Noushra Shamreen; JEETAH, Pratima. Paper Production from Mauritian Hemp Fibres. **Waste and Biomass Valorization**, v. 12, n. 4, p. 1781–1802, abr. 2021.

**Audiência Pública para discutir a proposta para liberação do plantio da Cannabis para fins medicinais.** , mar. 2020.

BARCACCIA, Gianni *et al.* Potentials and Challenges of Genomics for Breeding Cannabis Cultivars. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 573299, 25 set. 2020.

BIANCARELLI, AURELIANO. **Universidades federais plantam maconha com aval da Justiça para estudos inéditos no Brasil**. Disponível em: <<https://globo rural.globo.com/Noticias/Pesquisa-e-Tecnologia/noticia/2020/11/universidades-federais-plantam-maconha-com-aval-da-justica-para-estudos-ineditos-no-brasil.html>>. Acesso em: 20 fev. 2026.

BIRENBOIM, Matan *et al.* Multivariate classification of cannabis chemovars based on their terpene and cannabinoid profiles. **Phytochemistry**, v. 200, p. 113215, ago. 2022.

BORILLE, Bruna Tassi; ALEGRE, Porto. Caracterização química da planta *Cannabis sativa* L. a partir de sementes apreendidas pela Polícia Federal no estado do Rio Grande do Sul. 2016.

BORIN, Marcello *et al.* Developing and Testing Molecular Markers in *Cannabis sativa* (Hemp) for Their Use in Variety and Dioecy Assessments. **Plants**, v. 10, n. 10, p. 2174, 14 out. 2021.

BRASIL, Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA ANVISA Nº 1.012, DE 30 DE JANEIRO DE 2026. . 30 jan. 2026 a.

BRASIL, Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA ANVISA Nº 1.013, DE 30 DE JANEIRO DE 2026. . 30 jan. 2026 b.

BRASIL, Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA ANVISA Nº 1.014, DE 30 DE JANEIRO DE 2026. . 30 jan. 2026 c.

BRAZILIENSE, CORREIO. Cannabis decola na América do Sul, menos no Brasil. jan. 2022.

CAMPBELL, Lesley G.; PEACH, Kristen; WIZENBERG, Sydney B. Dioecious hemp (*Cannabis sativa* L.) plants do not express significant sexually dimorphic morphology in the seedling stage. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 16825, 19 ago. 2021.

CAPLAN, Deron; DIXON, Mike; ZHENG, Youbin. Increasing Inflorescence Dry Weight and Cannabinoid Content in Medical Cannabis Using Controlled Drought Stress. **HortScience**, v. 54, n. 5, p. 964–969, maio 2019.

CARLSON, Craig H. *et al.* Morphometric relationships and their contribution to biomass and cannabinoid yield in hybrids of hemp (*Cannabis sativa*). **Journal of Experimental Botany**, v. 72, n. 22, p. 7694–7709, 4 dez. 2021.

CERRATO, Andrea *et al.* Phytocannabinomics: Untargeted metabolomics as a tool for cannabis chemovar differentiation. **Talanta**, v. 230, p. 122313, ago.

2021.

CHALLA, Sai Kiran Reddy; MISRA, N. N.; MARTYNENKO, Alex. Drying of cannabis—state of the practices and future needs. **Drying Technology**, v. 39, n. 14, p. 2055–2064, 30 set. 2021.

CHANDRA, Suman *et al.* Photosynthetic response of *Cannabis sativa* L., an important medicinal plant, to elevated levels of CO<sub>2</sub>. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 17, n. 3, p. 291–295, jul. 2011.

CHANDRA, Suman; LATA, Hemant; ELSOHLY, Mahmoud A. (ORGS.). **Cannabis sativa L. - Botany and Biotechnology**. Cham: Springer International Publishing, 2017.

CHEN, Xiaoyan *et al.* Contents of Cannabinoids in Hemp Varieties Grown in Maryland. **ACS Omega**, v. 6, n. 47, p. 32186–32197, nov. 2021.

CONNELLY, Lee James *et al.* Characterization of the *Cannabis sativa* glandular trichome proteome. **PLOS ONE**, v. 16, n. 4, p. e0242633, abr. 2021.

COWEE, Maggie. **Chart 20% of hemp lots will exceed 0.3% THC limit next year, USDA estimates**. Disponível em: <<https://hempindustrydaily.com/chart-20-of-hemp-lots-will-exceed-0-3-thc-limit-next-year-usda-estimates/>>. Acesso em: 24 fev. 2025.

CRAWFORD, Seth *et al.* Characteristics of the Diploid, Triploid, and Tetraploid Versions of a Cannabigerol-Dominant F1 Hybrid Industrial Hemp Cultivar, *Cannabis sativa* ‘Stem Cell CBG’. **Genes**, v. 12, n. 6, p. 923, jun. 2021.

CRINI, Grégorio *et al.* Applications of hemp in textiles, paper industry, insulation and building materials, horticulture, animal nutrition, food and beverages, nutraceuticals, cosmetics and hygiene, medicine, agrochemistry, energy production and environment: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 18, n. 5, p. 1451–1476, set. 2020.

CRINI, Grégorio; LICHTFOUSE, Eric (ORGS.). **Sustainable Agriculture Reviews 42: Hemp Production and Applications**. Cham: Springer International Publishing, 2020. v. 42

DAL MARTELLO, Rita *et al.* Morphometric approaches to *Cannabis* evolution and differentiation from archaeological sites: interpreting the archaeobotanical evidence from bronze age Haimenkou, Yunnan. **Vegetation History and Archaeobotany**, v. 33, n. 4, p. 503–518, jul. 2024.

DE MEIJER, E. P. M.; VAN DER KAMP, H. J.; VAN EEUWIJK, F. A. Characterisation of *Cannabis* accessions with regard to cannabinoid content in relation to other plant characters. **Euphytica**, v. 62, n. 3, p. 187–200, jan. 1992.

DE MEIJER, Etienne P. M. *et al.* The Inheritance of Chemical Phenotype in

*Cannabis sativa* L. **Genetics**, v. 163, n. 1, p. 335–346, 1 jan. 2003.

DE MENDIBURU, Felipe. **Package ‘agricolae’**. , 22 out. 2023.

DE SOUZA, Jorge Manuel Luz. **É PROIBIDA A VENDA E USO DO PITO DO PANGO”: O PROIBICIONISMO DA CANNABIS NO RIO DE JANEIRO DO SÉCULO XIX**. [S.l.]: Universidade Federal da Bahia, 2022.

DECARLO, Samantha; WEAVER, Marin. Keeping the High out of Hemp: Global THC Standards. 2023.

DORICE, Leonard Lutatenekwa; EPHRAIM, Joseph Mtengeti; GEORGE, Mutani Msalya. A review of plant characterization: First step towards sustainable forage production in challenging environments. **African Journal of Plant Science**, v. 14, n. 9, p. 350–357, set. 2020.

GALIC, Andrei *et al.* Effects of Cold Temperature and Acclimation on Cold Tolerance and Cannabinoid Profiles of *Cannabis sativa* L. (Hemp). **Horticulturae**, v. 8, n. 6, p. 531, 15 jun. 2022.

GEMMACERT, GemmaCert. **Cannabis Potency Variability and Cost-Effective Testing - A statistical analysis of potency variance and its potential solutions**. , 2017.

GENETICS, NEW WEST. **Announcing NWG AMPLIFY™ \_ a genetic trait that doubles hemp yields..pdf**. PR Newswire, jan. 2022. Disponível em: <<https://www.prnewswire.com/news-releases/announcing-nwg-amplify--a-genetic-trait-that-doubles-hemp-yields-301467435.html>>. Acesso em: 7 mar. 2022

GOMBATA, Matilde, Marsílea. Uruguai amplia exportação de produtos de maconha. ago. 2020.

GOVINDARAJAN, Rasiravathanahalli Kaveriyappan *et al.* Biosynthesis of Phytocannabinoids and Structural Insights: A Review. **Metabolites**, v. 13, n. 3, p. 442, mar. 2023.

GRASSA, Christopher J. *et al.* **A complete *Cannabis* chromosome assembly and adaptive admixture for elevated cannabidiol (CBD) content**. [S.l.]: Genomics, 31 out. 2018. Disponível em: <<http://biorxiv.org/lookup/doi/10.1101/458083>>. Acesso em: 22 nov. 2023.

GRASSA, Christopher J. *et al.* A new *Cannabis* genome assembly associates elevated cannabidiol (CBD) with hemp introgressed into marijuana. **New Phytologist**, v. 230, n. 4, p. 1665–1679, maio 2021.

HALL, Jack; BHATTARAI, Surya P.; MIDMORE, David J. Review of Flowering Control in Industrial Hemp. **Journal of Natural Fibers**, v. 9, n. 1, p. 23–36, jan. 2012.

HAZEKAMP, A.; FISCHEDICK, J. T. Cannabis - from cultivar to chemovar. **Drug Testing and Analysis**, v. 4, n. 7–8, p. 660–667, jul. 2012.

HAZEKAMP, Arno; TEJKALOVÁ, Katerina; PAPADIMITRIOU, Stelios. Cannabis: From Cultivar to Chemovar II—A Metabolomics Approach to Cannabis Classification. **Cannabis and Cannabinoid Research**, v. 1, n. 1, p. 202–215, dez. 2016.

HESAMI, Mohsen *et al.* Synergizing Off-Target Predictions for In Silico Insights of CENH3 Knockout in Cannabis through CRISPR/Cas. **Molecules**, v. 26, n. 7, p. 2053, 3 abr. 2021a.

HESAMI, Mohsen *et al.* Advances and Perspectives in Tissue Culture and Genetic Engineering of Cannabis. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 11, p. 5671, 26 maio 2021b.

INDUSTRIES, Dark Heart. **Dark Heart Announces World's First Intrinsically Seedless Cannabis for Commercial Producers.** **Yahoo Finance**, mar. 2022.

IOANNIDIS, Kostas *et al.* Biotechnological Approaches on Two High CBD and CBG Cannabis sativa L. (Cannabaceae) Varieties: In Vitro Regeneration and Phytochemical Consistency Evaluation of Micropropagated Plants Using Quantitative <sup>1</sup>H-NMR. **Molecules**, v. 25, n. 24, p. 5928, dez. 2020.

JIN, Dan *et al.* Identification of Phenotypic Characteristics in Three Chemotype Categories in the Genus Cannabis. **HortScience**, v. 56, n. 4, p. 481–490, abr. 2021.

JOHNSON, Renée. Hemp as an Agricultural Commodity. **Congressional Research Service - EUA**, 22 jun. 2018.

KADKHODAEI, Kian *et al.* Differentiation between drug-type, fibre-type and intermediate-type in cannabis samples: HPLC-UV versus GC-FID. **Journal of Pharmaceutical and Biopharmaceutical Research**, v. 2, n. 2, p. 161–168, 2021.

KAUSHAL, Suman. Impact Of Physical And Chemical Mutagens On Sex Expression In Cannabis Sativa. v. 2, 2012.

KIM, Ae Lim *et al.* Profiling Cannabinoid Contents and Expression Levels of Corresponding Biosynthetic Genes in Commercial Cannabis (Cannabis sativa L.) Cultivars. **Plants**, v. 11, n. 22, p. 3088, 14 nov. 2022.

KURTZ, Lauren E. *et al.* Comparing Genotypic and Phenotypic Variation of Selfed and Outcrossed Progeny of Hemp. **HortScience**, v. 55, n. 8, p. 1206–1209, ago. 2020a.

KURTZ, Lauren E. *et al.* Comparing Genotypic and Phenotypic Variation of Selfed and Outcrossed Progeny of Hemp. **HortScience**, v. 55, n. 8, p. 1206–1209, ago. 2020b.

LATIF, Eshrar *et al.* Hygrothermal performance of wood-hemp insulation in timber frame wall panels with and without a vapour barrier. **Building and Environment**, v. 92, p. 122–134, out. 2015.

**Lei antidrogas: dispositivos constitucionais pertinentes: Lei nº 11.343/2006: vetores presidenciais: regulamentações: normas correlatas: quadro comparativo: índice temático.** [S.l.]: Senado Federal, 2012.

LIN PEDERSEN, Thomas. **Package ‘ggplot2’**. , 12 out. 2023.

LYDON, John; TERAMURA, Alan H.; COFFMAN, C. Benjamin. UV-B RADIATION EFFECTS ON PHOTOSYNTHESIS, GROWTH and CANNABINOID PRODUCTION OF TWO *Cannabis sativa* CHEMOTYPES. **Photochemistry and Photobiology**, v. 46, n. 2, p. 201–206, ago. 1987.

MANDOLINO, Giuseppe *et al.* Qualitative and Quantitative Aspects of the Inheritance of Chemical Phenotype in *Cannabis*. **Journal of Industrial Hemp**, v. 8, n. 2, p. 51–72, mar. 2003.

MANSOURI, H.; ASRAR, Z. Effects of abscisic acid on content and biosynthesis of terpenoids in *Cannabis sativa* at vegetative stage. 2012.

MANSOURI, Hakimeh; ASRAR, Zahra; SZOPA, Jan. Effects of ABA on primary terpenoids and  $\Delta^9$ -tetrahydrocannabinol in *Cannabis sativa* L. at flowering stage. **Plant Growth Regulation**, v. 58, n. 3, p. 269–277, jul. 2009.

MARROT, Laetitia *et al.* Valorization of Hemp Stalk Waste Through Thermochemical Conversion for Energy and Electrical Applications. **Waste and Biomass Valorization**, v. 13, n. 4, p. 2267–2285, abr. 2022.

MARTINS, Ana M. *et al.* Cannabis-Based Products for the Treatment of Skin Inflammatory Diseases: A Timely Review. **Pharmaceuticals**, v. 15, n. 2, p. 210, fev. 2022.

MATCHETT-OATES, L. *et al.* In silico analysis enabling informed design for genome editing in medicinal cannabis; gene families and variant characterisation. **PLOS ONE**, v. 16, n. 9, p. e0257413, 22 set. 2021.

MAZZANTI, V. *et al.* Natural fiber-induced degradation in PLA-hemp biocomposites in the molten state. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 137, p. 105990, out. 2020.

MCPARTLAND, John M. *Cannabis* Systematics at the Levels of Family, Genus, and Species. **Cannabis and Cannabinoid Research**, v. 3, n. 1, p. 203–212, out. 2018.

MCPARTLAND, John M.; SMALL, Ernest. A classification of endangered high-THC cannabis (*Cannabis sativa* subsp. *indica*) domesticates and their wild relatives. **PhytoKeys**, v. 144, p. 81–112, abr. 2020.

MENA, Fernanda; DE ALMEIDA, Lelo. Governo israelense incentiva avanço científico em maconha. set. 2020.

MUROVEC, Jana *et al.* Analysis of Morphological Traits, Cannabinoid Profiles, THCAS Gene Sequences, and Photosynthesis in Wide and Narrow

Leaflet High-Cannabidiol Breeding Populations of Medical Cannabis. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 786161, 24 fev. 2022.

NAGY, David U. *et al.* Chemical Characterization of Leaves, Male and Female Flowers from Spontaneous Cannabis (*Cannabis sativa* L.) Growing in Hungary. **Chemistry & Biodiversity**, v. 16, n. 3, p. e1800562, mar. 2019.

OBSERVADOR, EL. **Uso medicinal y consumo qué pasa con la industria del cannabis en Uruguay**. **EL OBSERVADOR**, nov. 2024. . Acesso em: 9 dez. 2024

OLIVOTO, Tiago. **Package ‘metan’**. , 5 mar. 2023.

PETIT, Jordi *et al.* Genetic Variability of Morphological, Flowering, and Biomass Quality Traits in Hemp (*Cannabis sativa* L.). **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 102, 20 fev. 2020.

PILUZZA, G. *et al.* Differentiation between fiber and drug types of hemp (*Cannabis sativa* L.) from a collection of wild and domesticated accessions. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 60, n. 8, p. 2331–2342, dez. 2013.

RAMAN, Vijayasankar *et al.* Morpho-Anatomy of Marijuana (*Cannabis sativa* L.). *In*: CHANDRA, Suman; LATA, Hemant; ELSOHLY, Mahmoud A. (Orgs.). **Cannabis sativa L. - Botany and Biotechnology**. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 123–136.

REIMANN-PHILIPP, Ulrich *et al.* Cannabis Chemovar Nomenclature Misrepresents Chemical and Genetic Diversity; Survey of Variations in Chemical Profiles and Genetic Markers in Nevada Medical Cannabis Samples. **Cannabis and Cannabinoid Research**, v. 5, n. 3, p. 215–230, set. 2020.

REN, Guangpeng *et al.* Large-scale whole-genome resequencing unravels the domestication history of *Cannabis sativa*. **Science Advances**, v. 7, n. 29, p. eabg2286, jul. 2021.

ROCHA, Sérgio Barbosa Ferreira. **Zoneamento Agroclimático para o Cultivo de Cannabis sativa L. para uso Medicinal e Industrial no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso: Especialista em Agroecologia—Rio Pomba - MG: Instituto Federal De Educação Ciência E Tecnologia Do Sudeste De Minas Gerais Campus Rio Pomba, 2018.

ROSA, Lilian. Real Feitoria do Linho Cânhamo: da diversificação econômica aos desafios produtivos (1783-1824). **Economia e Sociedade**, v. 33, n. 2, p. e269846, 2024.

ROSENTHAL, Ed. **Marijuana Growers Handbook**. Oakland, EUA. Quick American a Division of Quick Trading Co.: [S.n.].

RULL, Valentí. Origin, early expansion, domestication and anthropogenic diffusion of Cannabis, with emphasis on Europe and the Iberian Peninsula.

**Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 55, p. 125670, jun. 2022.

SALENTIJN, Elma M. J. *et al.* New developments in fiber hemp (*Cannabis sativa* L.) breeding. **Industrial Crops and Products**, v. 68, p. 32–41, jun. 2015.

SALENTIJN, Elma M. J.; PETIT, Jordi; TRINDADE, Luisa M. The Complex Interactions Between Flowering Behavior and Fiber Quality in Hemp. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 614, 16 maio 2019.

SCHILLING, Susanne *et al.* **The Cream of the Crop: Biology, Breeding and Applications of Cannabis sativa**. [S.l.]: Preprints, 1 out. 2020.

Disponível em:

<<https://www.authorea.com/users/360584/articles/483690-the-cream-of-the-crop-biology-breeding-and-applications-of-cannabis-sativa?commit=6532fb15968ae2aa7e3410d50241bbd53a2ff5cf>>. Acesso em: 24 nov. 2023.

SEEDS, Trilogene. **World's First 0\_ THC, High CBD Hemp Cultivar Enters U.S. Market**. **PR Newswire**, mar. 2022. Disponível em:

<<https://www.prnewswire.com/news-releases/worlds-first-0-thc-high-cbd-hemp-cultivar-enters-us-market-301460021.html>>

SIKORA, Vladimir; BERENJI, Janos; LATKOVIC, Dragana. Influence of agroclimatic conditions on content of main cannabinoids in industrial hemp (*Cannabis sativa* L.). **Genetika**, v. 43, n. 3, p. 449–456, 2011.

SIMIYU, David Charles; JANG, Jin Hoon; LEE, Ok Ran. Understanding *Cannabis sativa* L.: Current Status of Propagation, Use, Legalization, and Haploid-Inducer-Mediated Genetic Engineering. **Plants**, v. 11, n. 9, p. 1236, 2 maio 2022.

SOARES, Rebeca. Cannabis: mercado em queda, mas com boas perspectivas para investir. nov. 2021.

SOLOMON, Shoshanna. **Israeli startup says it has edited cannabis plant gene to resist fungus**. **The Times of Israel**, nov. 2020. . Acesso em: 7 mar. 2022

SOUZA, M. H. C.; SANTOS, R. D. S.; BASSOI, L. H. AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO. *In*: IV INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING. **Anais do IV Inovagri International Meeting - 2017**. Fortaleza, Ceará, Brasil:

INOVAGRI/ESALQ-USP/ABID/UFRB/INCT-EI/INCTSal/INSTITUTO FUTURE, 2017. Disponível em:

<<http://www.inovagri.org/biblioteca/iv-inovagri-meeting/res4020655>>. Acesso em: 22 nov. 2023

STACK, George M. *et al.* Season-long characterization of high-cannabinoid hemp (*Cannabis sativa* L.) reveals variation in cannabinoid accumulation, flowering time, and disease resistance. **GCB Bioenergy**, v. 13, n. 4, p.

546–561, abr. 2021.

STRZELCZYK, Malgorzata; LOCHYNSKA, Malgorzata; CHUDY, Magdalena. Systematics and Botanical Characteristics of Industrial Hemp *Cannabis Sativa* L. **Journal of Natural Fibers**, v. 19, n. 13, p. 5804–5826, dez. 2022.

TAHIR, M. Nazir *et al.* The biosynthesis of the cannabinoids. **Journal of Cannabis Research**, v. 3, n. 1, p. 7, mar. 2021.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. [S.l.]: Artmed, 2017.

TOTH, Jacob A. *et al.* Development and validation of genetic markers for sex and cannabinoid chemotype in *Cannabis sativa* L. **GCB Bioenergy**, v. 12, n. 3, p. 213–222, mar. 2020.

TROFIN, Irenne Gabriela *et al.* Identification And Characterization Of Special Types Of Herbal Cannabis. **U.P.B. Sci. Bull.**, Series B. v. 74, 2012.

TRU, Elena *et al.* SOME ASPECTS OF SEX DETERMINISM IN HEMP. 2007.

UNITED NATIONS. **Commodities at a Glance: Special Issue on Industrial Hemp**. Erscheinungsort nicht ermittelbar: United Nations, 2022.

VALENTE, Mário José Bani. DO PITO DE PANGO À PROIBIÇÃO: REFLEXÕES HISTÓRICAS, CRIMINOLÓGICAS E JURÍDICAS SOBRE A CRIMINALIZAÇÃO DA MACONHA NO BRASIL (1890-1940). 2018.

VANDEPITTE, Katrien *et al.* Hemp (*Cannabis sativa* L.) for high-value textile applications: The effective long fiber yield and quality of different hemp varieties, processed using industrial flax equipment. **Industrial Crops and Products**, v. 158, p. 112969, dez. 2020.

WENGER, Jonathan P. *et al.* Validating a predictive model of cannabinoid inheritance with feral, clinical, and industrial *Cannabis sativa*. **American Journal of Botany**, v. 107, n. 10, p. 1423–1432, out. 2020.

YOSHIMATSU, Kayo *et al.* Growth characteristics of *Cannabis sativa* L. cultivated in a phytotron and in the field. 2004.

ZHANG, Mengzi *et al.* **Photoperiodic Flowering Response of Essential Oil, Grain, and Fiber Hemp ( *Cannabis sativa* L.) Cultivars**. [S.l.]: Plant Biology, 16 maio 2021. Disponível em: <<http://biorxiv.org/lookup/doi/10.1101/2021.05.13.444025>>. Acesso em: 1 nov. 2023.

ZHAO, Jikai *et al.* Bioconversion of industrial hemp biomass for bioethanol production: A review. **Fuel**, v. 281, p. 118725, dez. 2020.

ZOOROB, Michael J. The frequency distribution of reported THC concentrations of legal cannabis flower products increases discontinuously

around the 20% THC threshold in Nevada and Washington state. **Journal of Cannabis Research**, v. 3, n. 1, p. 6, dez. 2021.