

# AVANÇOS E DESAFIOS NA TAXONOMIA MODERNA DE *Cannabis spp.* UTILIZANDO A GENÔMICA E GENÔMICA COMPARATIVA

PhD CARLOS GODINHO DE ABREU  
Biólogo, PhD em Microbiologia e Genética

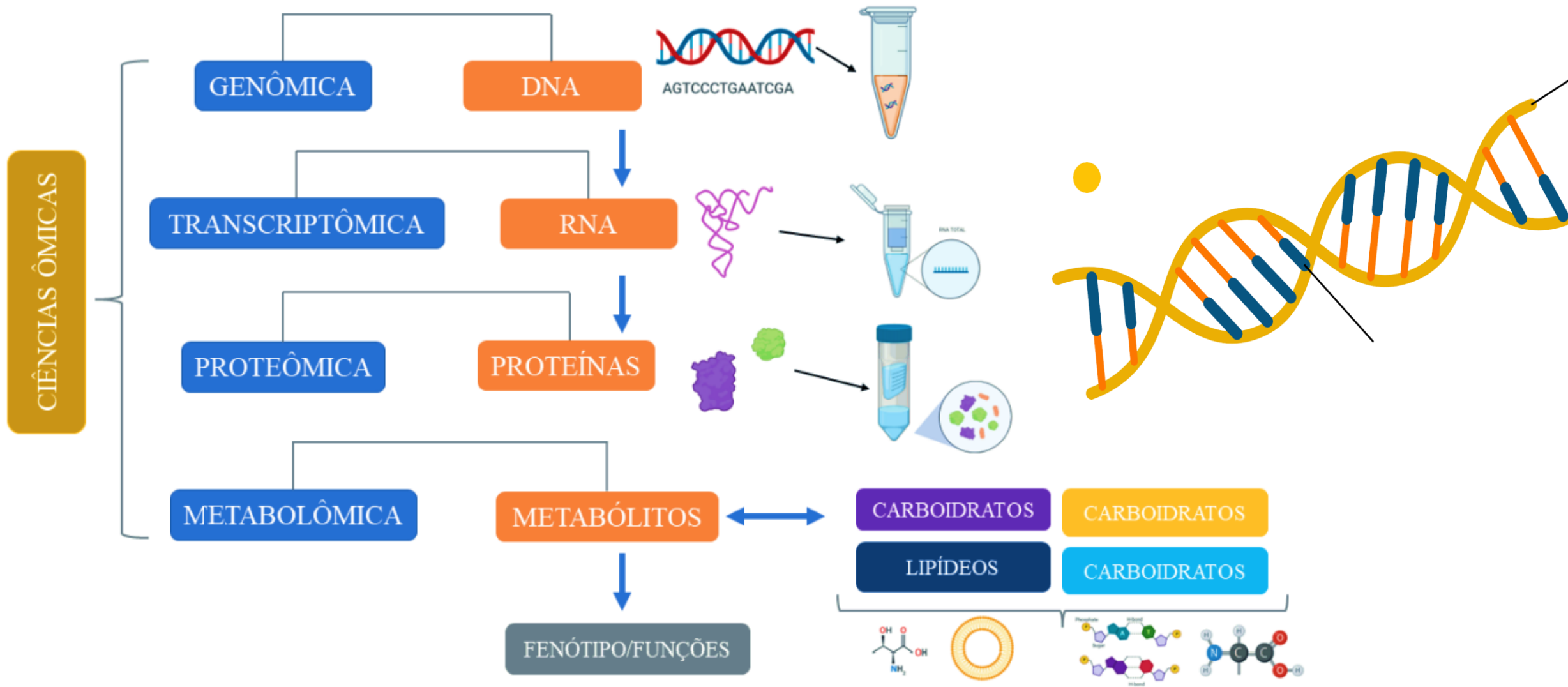
Disciplina de Tópicos Especiais: “Medicinal Cannabis: cultivation, therapeutics and market”



Jean Monnet  
Programme

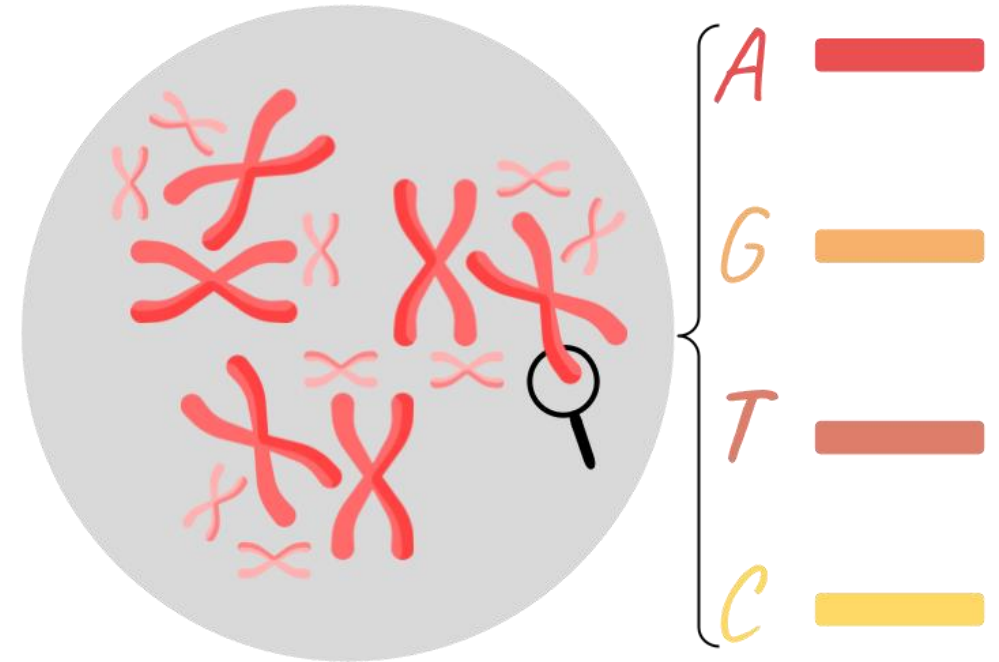


# Overview - ÁREAS ÔMICAS ATUAIS



# Genômica

- A **genômica** é a ciência que estuda o genoma dos organismos a partir do seu sequenciamento completo, entendendo **ESTRUTURA, ORGANIZAÇÃO E FUNÇÃO**.
- O **SEQUENCIAMENTO DO GENOMA** fornece evidências para estudos de **SINTENIA** das funções gênicas.
- Essa ciência divide-se em **ESTRUTURAL, FUNCIONAL E COMPARATIVA**



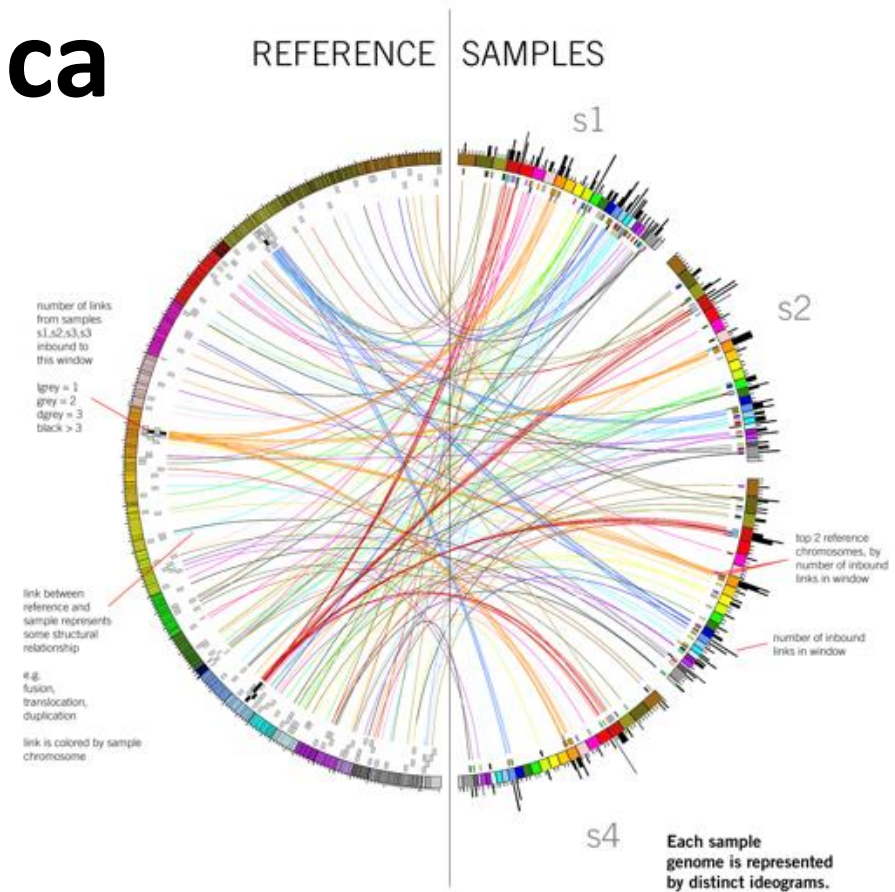
**SINTENIA:** técnica usada na genômica comparativa para **fazer novas inferências sobre um genoma a partir de estudos feitos em genomas relacionados**

# Genômica

- A genômica **ESTRUTURAL** estuda a **organização e estrutura dos genes**, analisando sequências estruturais por meio de metodologias como marcadores de DNA e sequenciamento (**16S e ITS**)

- O estudo das funções gênicas cabe à genômica **FUNCIONAL** que tenta compreender as **mudanças no funcionamento do genoma** em diferentes estágios do desenvolvimento e sob diferentes condições ambientais.

- A genômica **comparativa** **busca** conhecer as relações entre genomas, a homologia entre sequências e genes, **determinando o grau de SINTENIA de espécies correlacionadas.**



# NEXT GENERATION SEQUENCING - NGS

- **WGS – Whole Genome Sequencing** (Sequenciamento Total do Genoma) pela técnica NGS – *Next Generation Sequencing* (Sequenciamento de Nova Geração)
- Gera **esclarecimentos relevantes** quanto à produção de diversas substâncias bioativas e vias metabólicas
- O NCBI ([www.ncbi.nlm.nih.gov](http://www.ncbi.nlm.nih.gov)) é uma **ferramenta de depósito das sequências** que facilitaram o acesso ao acervo
- O NGS permitiu uma nova abordagem de **sequenciamento em larga escala e de sequenciamento MASSIVO** de DNA

## PLATAFORMAS

- **PIROSEQUENCIAMENTO COM DETECÇÃO DE PIROFOSFATO (454 – ROCHE)**
  - **SEQUENCIAMENTO POR LIGAÇÃO (SOLID)**
    - **METODOLOGIA DE SEMICONDUTORES (ION TORRENT)**
      - **SEQUENCIAMENTO POR SÍNTESE (ILLUMINA)**
  - **SEQUENCIAMENTO DE MOLÉCULAS ÚNICAS (PACIFIC BIOSCIENCES)**
    - **MinION ou GridION (Nanopore)**



# Cannabis NO NCBI

An official website of the United States government [Here's how you know](#)



Search NCBI

Results found in

TAXONOMY



## Literature

Bookshelf	3,641
MeSH	11
NLM Catalog	903
PubMed	34,499
PubMed Central	60,816

## Genes

Gene	39,399
GEO DataSets	1,355
GEO Profiles	33,202
HomoloGene	error
PopSet	202

## Proteins

Conserved Domains	5
Identical Protein Groups	104,765
Protein	177,339
Protein Family Models	5
Structure	31

## Genomes

Assembly	15
BioCollections	0
BioProject	243
BioSample	11,801
Genome	1
Nucleotide	107,186
SRA	10,400
Taxonomy	1

## Clinical

ClinicalTrials.gov	1,635
ClinVar	1
dbGaP	16
dbSNP	0
dbVar	0
GTR	1
MedGen	60
OMIM	1

## PubChem

BioAssays	622
Compounds	4
Pathways	532
Substances	96

**MAS TUDO  
TEM UM  
COMEÇO...  
E a história  
se inicia  
com...**



# EXTRAÇÃO DE DNA

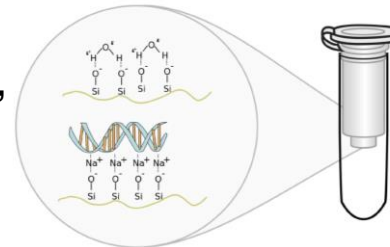
## TIPOS DE EXTRAÇÃO:



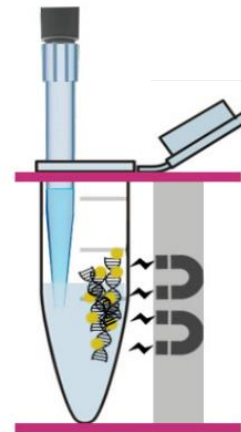
**EXTRAÇÃO ORGÂNICA:** Fenol/clorofórmio



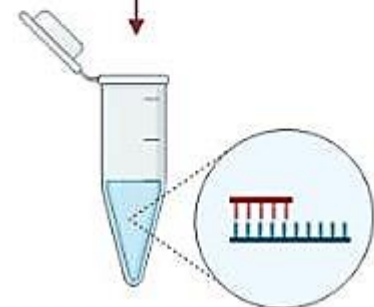
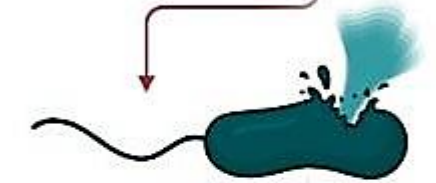
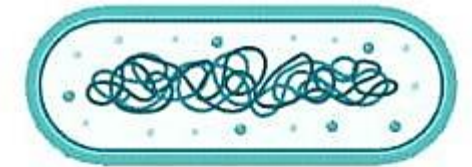
**TECNOLOGIA BASEADA EM SÍLICA:** kits de “colunas”



**SEPARAÇÃO MAGNÉTICA:** beads magnéticas

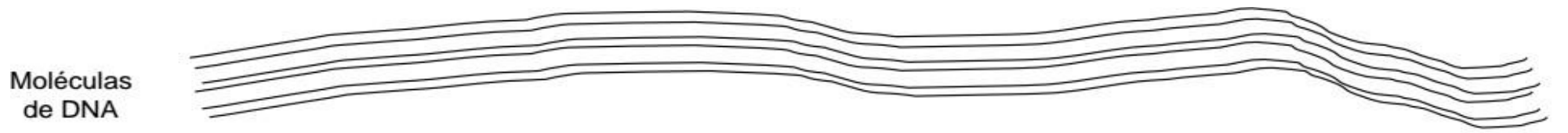


## Extração de DNA





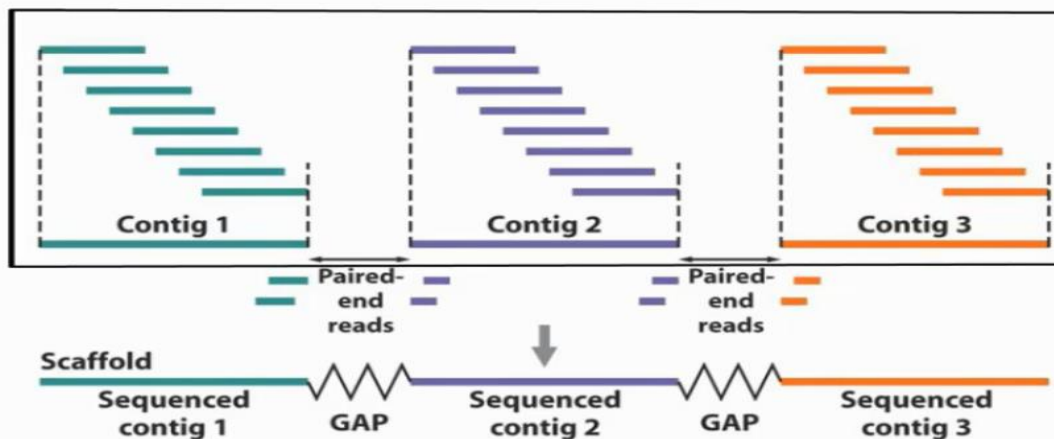
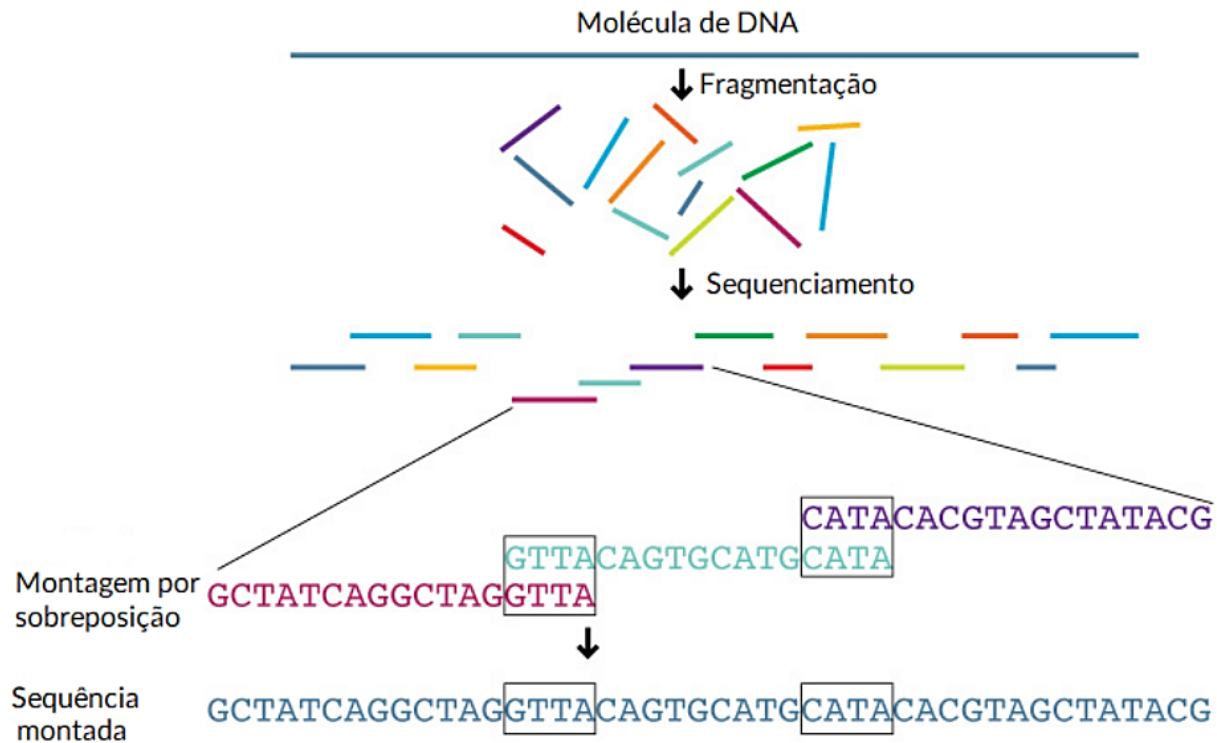
# À grosso modo: Como montar genomas com milhões ou até bilhões de pares de bases?



**MAS ISSO NÃO É UM PROCESSO TÃO SIMPLES COMO PARECE!**



# À grosso modo: Como montar genomas com milhões ou até bilhões de pares de bases?



Softwares se utilizam de **ALGORÍTMOS** complexos que alinham os fragmentos gerados dos sequenciamentos os quais são chamados de **READS**, baseando em **regiões de sobreposição** entre elas, produzindo sequências únicas denominadas **CONTIGS**

E a união de vários **CONTIGS**, leva a formação dos **SCAFFOLDS** com possíveis **GAPs** entre eles.

Logo depois procedemos à **anotação ou predição dos genes**.

**ARTIGO PUBLICADO  
NO DOUTORADO**



Research in Microbiology





Available online 11 August 2023, 104116

In Press, Journal Pre-proof  What's this? 



Original Article

# Decoding the chromosome-scale genome of the nutrient-rich *Agaricus subrufescens*: A Resource for fungal biology and biotechnology

Carlos Godinho de Abreu<sup>a</sup>, Luiz Fernando Wurdig Roesch<sup>b</sup>, Fernando Dini Andreote<sup>c</sup>,  
Saura Rodrigues Silva<sup>b</sup>, Tatiana Silveira Junqueira de Moraes<sup>a</sup>, Diego Cunha Zied<sup>d</sup>,  
Félix Gonçalves de Siqueira<sup>e</sup>, Eustáquio Souza Dias<sup>a</sup>, Alessandro M. Varani<sup>f</sup>  ,  
Victor Satler Pylro<sup>a</sup>  

Published: 11 August 2023

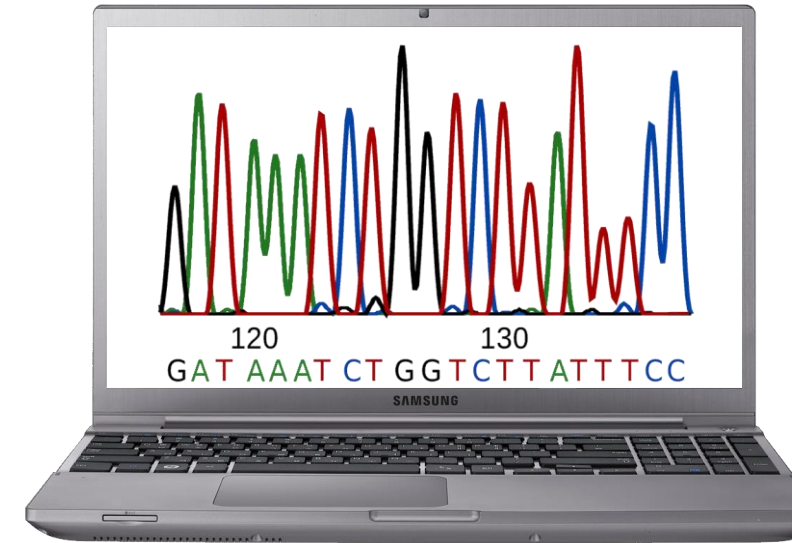


# BIOINFORMÁTICA

**“SE REFERE AO USO DE SUPER COMPUTADOR PARA ARMAZENAR E ANALISAR GRANDE QUANTIDADE DE SEQUÊNCIAS E AS ESTRUTURAS DOS ÁCIDOS NUCLEICOS E PROTEÍNAS”**

Análises em **LARGA ESCALA**;

- **COMPARAÇÕES** (busca por homologias entre sequências de diferentes organismos);
- **ALINHADORES DE SEQUÊNCIAS**;
- **ANÁLISES FILOGENÉTICAS**;
- **IMPULSIONOU O DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARES PARA ANÁLISES DE SEQUÊNCIAS**;



**ion torrent**  
by life technologies™

**PACIFIC BIOSCIENCES®**

**illumina®**

**Oxford NANOPORE Technologies**

# Genômica em *Cannabis* spp. – ARTIGOS PRINCIPAIS



Check for updates

Review

Research review

Recent advances in *Cannabis* sa

Address for correspondence:  
Mathew G. Lewsey  
Email: [m.lewsey@latrobe.edu.au](mailto:m.lewsey@latrobe.edu.au)

Received: 20 July 2020  
Accepted: 27 November 2020

Bhavna Hurgob  
Monika S. Dobl  
Mathew G. Lews

<sup>1</sup>La Trobe Institute for Agr  
University, AgriBio Buildin  
La Trobe University, AgriB  
Energy Biology, La Trobe U

*New Phytologist* (2021) 230: 73–89  
doi: 10.1111/nph.17140

**Key words:** breeding, cannabinoids,  
cannabis, crop improvement, genome  
assembly, genomics.




## Summary

*Cannabis* (*Cannabi*  
medicinal propertie  
Convention on Narc  
supply of narcotic  
research, medica  
jurisdictions. As a re  
use and potential  
technologies. While

 **Genome**  
An International Journal  
for Genetics and Genomics

OPEN ACCESS | Review

## Genomics-based taxonomy to clarify cannabis classification

Éliana Lapierre <sup>a</sup>, Adrian S. Monthony <sup>a,b,c</sup>, and Davoud Torkamaneh <sup>a,b,c,d</sup>

<sup>a</sup>Département de phytologie, Université Laval, Québec, QC, Canada; <sup>b</sup>Institut de Biologie Intégrative et des Systèmes (IBIS), Université Laval, Québec, QC, Canada; <sup>c</sup>Centre de recherche et d'innovation sur les végétaux (CRIV), Université Laval, Québec, QC, Canada; <sup>d</sup>Institut intelligence et données (IID), Université Laval, Québec, QC, Canada

Corresponding author: Davoud Torkamaneh (email: [davoud.torkamaneh.1@ulaval.ca](mailto:davoud.torkamaneh.1@ulaval.ca))

## Abstract

In the 18th century, Carolus Linnaeus created a formalized system of classification of living organisms based on their anatomic relationships, which we know as taxonomic nomenclature. Historically, the genus *Cannabis* has been described three ways under this system: *Cannabis sativa* by C. Linnaeus in 1753, *Cannabis indica* by J.B. Lamarck in 1785, and *Cannabis ruderalis* by D.E. Janischewsky in 1924, with these taxonomic classifications having been derived from physical, morphological, chemical, and geographical data. Today, this confusing taxonomy has led to an ongoing debate about whether the genus *Cannabis* consists of a single species or multiple distinct species or subspecies. Recently, genome sequencing and bioinformatics have provided greater resolution of taxonomic assignments at the species level. As a result, some previously discussed classification frameworks have been brought into question. The aim of this review is to provide a historical context for the confusion surrounding the taxonomy of the genus *Cannabis* and highlight recent research on genomics-based taxonomical approaches to clarify the




# *Cannabis sativa* L. (*cannabis*)

- *Cannabis sativa* L. (*cannabis*), um membro da família *Cannabaceae*, é uma das culturas domesticadas mais antigas do mundo
- Acredita-se que tenha origem na Ásia Central, de onde o seu cultivo se espalhou rapidamente pela Ásia e Europa.
- Hoje em dia o cultivo **LEGAL E ILEGAL** de *Cannabis* ocorre globalmente
  - O número exato de espécies que compõem o gênero *Cannabis* é **CONTROVERSO**.
  - “**ALGUNS**” afirmam que o gênero consiste em **três espécies** que apresentam diferenças fenotípicas distintas; nomeadamente *C. sativa* L., *C. indica* Lam (Lamarck) e *C. ruderalis*
  - O ponto de vista alternativo, e talvez o mais aceito, é que *Cannabis* **É UM GÊNERO MONOTÍPICO QUE CONSISTE EM UMA ÚNICA ESPÉCIE**, *Cannabis sativa* L. (doravante denominada *cannabis*)



# PAPER CENTRAL

## Genomics-based taxonomy to clarify cannabis classification

Éliana Lapierre <sup>a</sup>, Adrian S. Monthony <sup>a,b,c</sup>, and Davoud Torkamaneh <sup>a,b,c,d</sup>

<sup>a</sup>Département de phytologie, Université Laval, Québec, QC, Canada; <sup>b</sup>Institut de Biologie Intégrative et des Systèmes (IBIS), Université Laval, Québec, QC, Canada; <sup>c</sup>Centre de recherche et d'innovation sur les végétaux (CRIV), Université Laval, Québec, QC, Canada; <sup>d</sup>Institut intelligence et données (IID), Université Laval, Québec, QC, Canada

Corresponding author: **Davoud Torkamaneh** (email: [davoud.torkamaneh.1@ulaval.ca](mailto:davoud.torkamaneh.1@ulaval.ca))

### Abstract

In the 18th century, Carolus Linnaeus created a formalized system of classification of living organisms based on their anatomic relationships, which we know as taxonomic nomenclature. Historically, the genus *Cannabis* has been described three ways under this system: *Cannabis sativa* by C. Linnaeus in 1753, *Cannabis indica* by J.B. Lamarck in 1785, and *Cannabis ruderalis* by D.E. Janischewsky in 1924, with these taxonomic classifications having been derived from physical, morphological, chemical, and geographical data. Today, this confusing taxonomy has led to an ongoing debate about whether the genus *Cannabis* consists of a single species or multiple distinct species or subspecies. Recently, genome sequencing and bioinformatics have provided greater resolution of taxonomic assignments at the species level. As a result, some previously discussed classification frameworks have been brought into question. The aim of this review is to provide a historical context for the confusion surrounding the taxonomy of the genus *Cannabis* and highlight recent research on genomics-based taxonomical approaches to clarify the question of *Cannabis* taxonomy. We suggest that the latest evidence shifts away from the previous multiple species framework

**TAXONOMIA BASEADA NA  
GENÔMICA PARA  
ESCLARECER A  
CLASSIFICAÇÃO DA  
CANNABIS**

**Fornece um contexto histórico  
para A CONFUSÃO EM TORNO  
DA TAXONOMIA do  
gênero *Cannabis* e destacar  
pesquisas recentes sobre  
ABORDAGENS TAXONÔMICAS  
BASEADAS NA GENÔMICA  
para esclarecer a questão da  
taxonomia *da Cannabis***

# TAXONOMIA

**É A CIENCIA E A PRÁTICA DE CLASSIFICAR AS COISAS.**

**Na biologia:** É a ciência que dedicada a **definir** e **nomear** grupos biológicos com base em características compartilhadas.

As plantas são agrupadas **em táxons** e então ranqueadas de forma **hierárquica**

**Classificação:** Agrupamentos de organismos baseada em relações evolutivas hipotéticas = **ANÁLISE FILOGENÉTICA**

## HIERARCHY OF BIOLOGICAL CLASSIFICATION





# TAXONOMIA ATUAL

Baseada em um **SISTEMA BINOMIAL**.

Cada espécie baseada em seu sistema binomial possui um nome que contém duas partes: **o nome genérico** (primeiro) e **o nome específico** (segundo).

Inicialmente, a classificação dos organismos vivos baseava-se **exclusivamente na abordagem morfológica lineana**.

*Pinus sylvestris* L.

**Género**

Primera letra en  
mayúscula

**Especie**

Todo en minúscula

↑  
**Botánico**  
(Linneo)  
Sin cursiva  
Primera letra  
mayúscula

Todo en cursiva

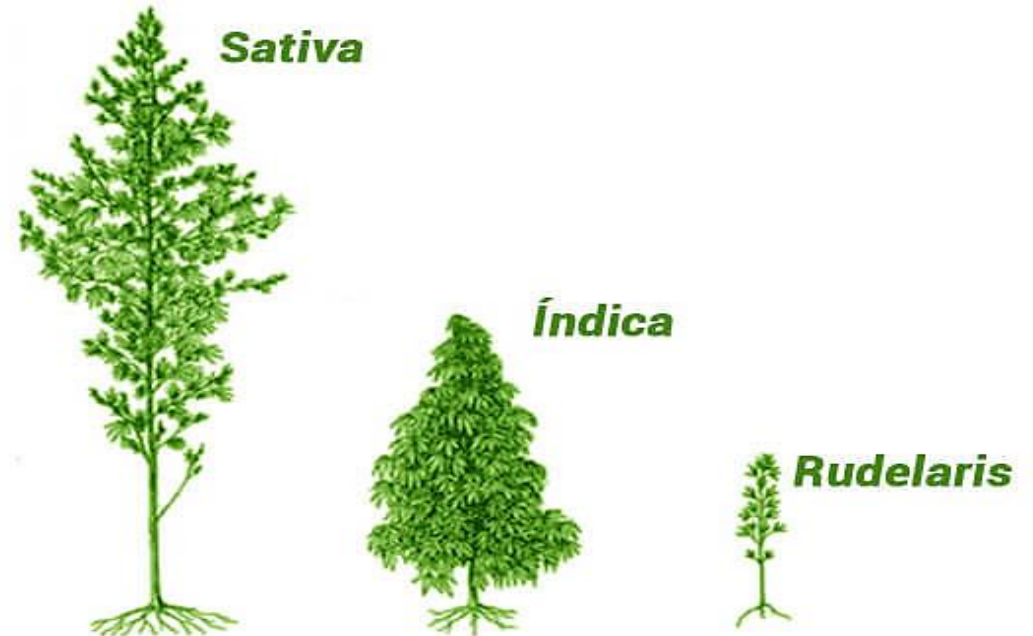


# TAXONOMIA ATUAL

**Historicamente, o gênero Cannabis foi descrito de três maneiras neste sistema:**

- 1. Cannabis sativa por C. Linnaeus em 1753**
- 2. Cannabis indica por JB Lamarck em 1785**
- 3. Cannabis ruderalis por DE Janischewsky em 1924**

(Essas classificações taxonômicas foram derivadas de classificações **físicas, dados morfológicos, químicos e geográficos**)



# TAXONOMIA ATUAL

***Cannabis sativa***: mais alta e esguia, com flores que não são tão densas quanto as flores indica. As plantas de *Cannabis sativa* também **contêm THC, assim como muitos outros canabinóides, incluindo o CBD e o CBG.**

***Cannabis indica***: as folhas em leque são mais curtas, as flores são mais densas e a planta é, em geral, mais compacta. **A planta apresenta um teor de THC mais alto do que as contrapartes sativa.**

***Cannabis ruderalis***: É uma planta menor e de crescimento selvagem. As plantas de *ruderalis* florescem muito rapidamente e tendem a ser resistentes, e é por isso que muitas vezes são cruzadas com plantas de *Cannabis indica* e *sativa* para produzir híbridos fortes e de floração rápida. **Mais rica em CBD.** O cânhamo é definido como qualquer planta da espécie "*Cannabis*" que contém menos de 0,3% de tetrahydrocannabinol, ou THC.



*Sativa*



*Indica*



*Ruderalis*



**Sativa**



**Índica**



**Rudalaris**

# TAXONOMIA *Cannabis* (NCBI)

## Navegador de taxonomia

Táxons selecionados

Cannabis sativa ✕ | Insira um ou mais nomes taxonômicos

✕

Nome taxonômico		Genomas
▼ <i>Eucariotos</i> (eucariotos)	<b>Domínio</b>	39.071
▼ <i>Viridiplantae</i> (plantas verdes)	<b>FILO</b>	4.440
▼ <i>Streptofita</i>	<b>Divisão</b>	4.152
▼ <i>Magnoliopsida</i> (angiospermas)	<b>Classe</b>	4.022
▼ <i>Rosales</i>	<b>Ordem</b>	229
▼ <i>Cannabaceae</i> (família do cânhamo)	<b>Família</b>	22
▼ <i>Cannabis</i>	<b>Gênero</b>	15
▼ <i>Cannabis sativa</i>	<b>Espécie</b>	15
> <i>Cannabis sativa</i> subsp. <i>sativa</i> (cânhamo)		0
<i>Cannabis sativa</i> subsp. <i>indica</i> (maconha)	<b>Subespécies</b>	1

# TAXONOMIA MODERNA

Não se baseia apenas no modelo morfológico de Lineu, mas numa abordagem mais **SISTEMÁTICA, MULTIDISCIPLINAR E POLIFÁSICA**

Hoje, as classificações taxonômicas são informadas por informações obtidas por meio de tecnologias avançadas, como

**SEQUENCIAMENTO DO GENOMA, MICROSCOPIA ELETRÔNICA, CROMATOGRAFIA E MODELOS MATEMÁTICOS E ESTATÍSTICOS**

Apesar dos esforços contínuos para modernizar o sistema taxonômico, ainda **HÁ UMA NECESSIDADE URGENTE DE:**

- **FILOGENIAS CLARAS E DE ALTA RESOLUÇÃO EM MUITOS DOMÍNIOS, INCLUINDO A BOTÂNICA, PARA ELUCIDAR E RESOLVER DEBATES DE LONGA DATA SOBRE ALGUMAS RELAÇÕES ENTRE ESPÉCIES**

## Nomenclatura binomial

**Rana iberica**  
↓                      ↘  
letra maiuscula    letra minuscula

1º nome: Gênero  
2º nome: Espécie

Destaque ao escrever: *italico* ou sublinhado



# TAXONOMIA - Linhagem, estirpe, strain, variedade e cepa

Em botânica, o termo **“CEPA”** é usado para designar plantas que pertencem a **UMA MESMA ESPÉCIE**.



Porém o termo *“Cannabis strain”* tem um **sentido ligeiramente distinto**.

Quando nos referimos então a uma *cepa de Cannabis*, vamos **ALÉM DO QUE A TAXONOMIA TRADICIONAL FAZ**, que é classificar as plantas em subespécies.

A aplicação do termo, aqui, é mais para **DESIGNAR PROPRIEDADES AINDA MAIS ESPECÍFICAS**.

De qualquer forma, o sentido literal da palavra “cepa” não se perde. Ele só ganha um novo significado ao elencar as várias estirpes de *Cannabis*

# TAXONOMIA - Linhagem, estirpe, variedade, cepa

Foi assim que se consolidou o conceito de **cepa/strain/variedade/linhagem/estirpe** de *Cannabis*, que **SERVE PARA CLASSIFICAR AS PLANTAS DESSE GÊNERO CONFORME AS SUAS PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS.**

Essa categorização pode fazer **REFERÊNCIA ÀS CONCENTRAÇÕES DE THC, CBD, ORIGEM, TERPENOS E FLAVONOIDES OU CONFORME A SUA POTÊNCIA OU AROMA.**



# TAXONOMIA - Linhagem, estirpe, variedade, cepa

Quando se trata de *Cannabis*, os diferentes nomes das cepas servem para descrever a origem, uma propriedade aromática ou um efeito.

## SKUNK

Tem altos níveis de mirceno, um dos terpenos existentes

Oferece relaxamento, criatividade, melhora o humor quando consumida

Ambientes quentes e ensolarados são ideais para seu cultivo

Pode conter 1% de CBG

Como vimos, **O NOME DA CEPA JÁ EXPLICA, O EFEITO ESPERADO** e também diz muito sobre a genética, origem e propriedades envolvida na formação da planta.

Contém por volta de 16% de THC

**HINDU KUSH**, e **cepa Afghani**, cuja terra natal é o **AFEGANISTÃO**.

Já strains como **Somango XL** e **Royal Highness** se distinguem, respectivamente, por suas propriedades **estimulantes de apetite e analgésicas**.

Tem sabores terrosos, cítricos e florais

tempo longo

Pequena, densa e com folhas largas

Pode causar sonolência

Oferece efeitos psicotrópicos sem exagero para o usuário

Contém por volta de 18% de THC



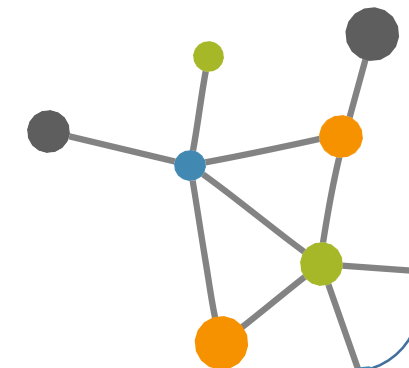
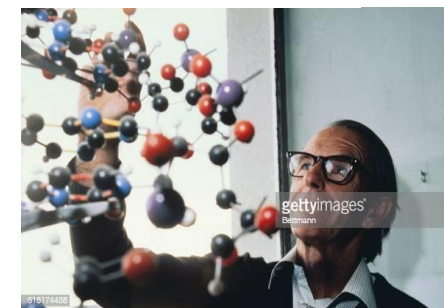
# TAXONOMIA NA ERA GENÔMICA

A **CAPACIDADE DE SEQUENCIAR OS GENOMAS INTEIROS** inaugurou **uma nova era da genética e da bioinformática e abriu as portas para novas biotecnologias** e uma maior compreensão do desenvolvimento vegetal e animal, bem como da taxonomia.

Rastreando regiões de genes ou genomas que compartilhe semelhanças ou diferenças para melhor compreender a função e a evolução da informação genética

Isto levou a uma nova era de taxonomia baseada na genômica que liga a filogenia e os dados genômicos, os chamados

**FILOGENÔMICOS**, o que levou à **RECLASSIFICAÇÃO E CLARIFICAÇÃO DE MUITAS RELAÇÕES TAXONÔMICAS** em várias espécies.



# TAXONOMIA NA ERA GENÔMICA

Estudos filogenômicos semelhantes baseados em genômica **resolveram e esclareceram as classificações taxonômicas conflitantes** de numerosas espécies de plantas e animais, incluindo:

1. Trigo (gênero *Triticum* L. ( [Goncharov et al. 2009](#) ; [Goncharov 2011](#) ))
2. Estrela frágil (gênero *Ophioderma* ( [Lessios e Hendler 2022](#) ))
3. Bambu ( *Phyllostachys edulis* ( [Zhao et al. 2015](#) ))
4. Samambaia ( *Alsophila spinulosa* ( [Huang et al. 2022](#) ))
5. Zokors (gênero *Myospalax* ( [Liu et al. 2022](#) ))
6. Pulga de água espinhosa ( *Bythotrephes leydig* ( [Karpowicz et al. 2021](#) ))
7. Arruda do prado ( *Thalictrum* spp. ( [Xiang et al. 2022](#) ))
8. Sálvia ( *Salvia* spp. ( [Hu et al. 2018](#) ))

