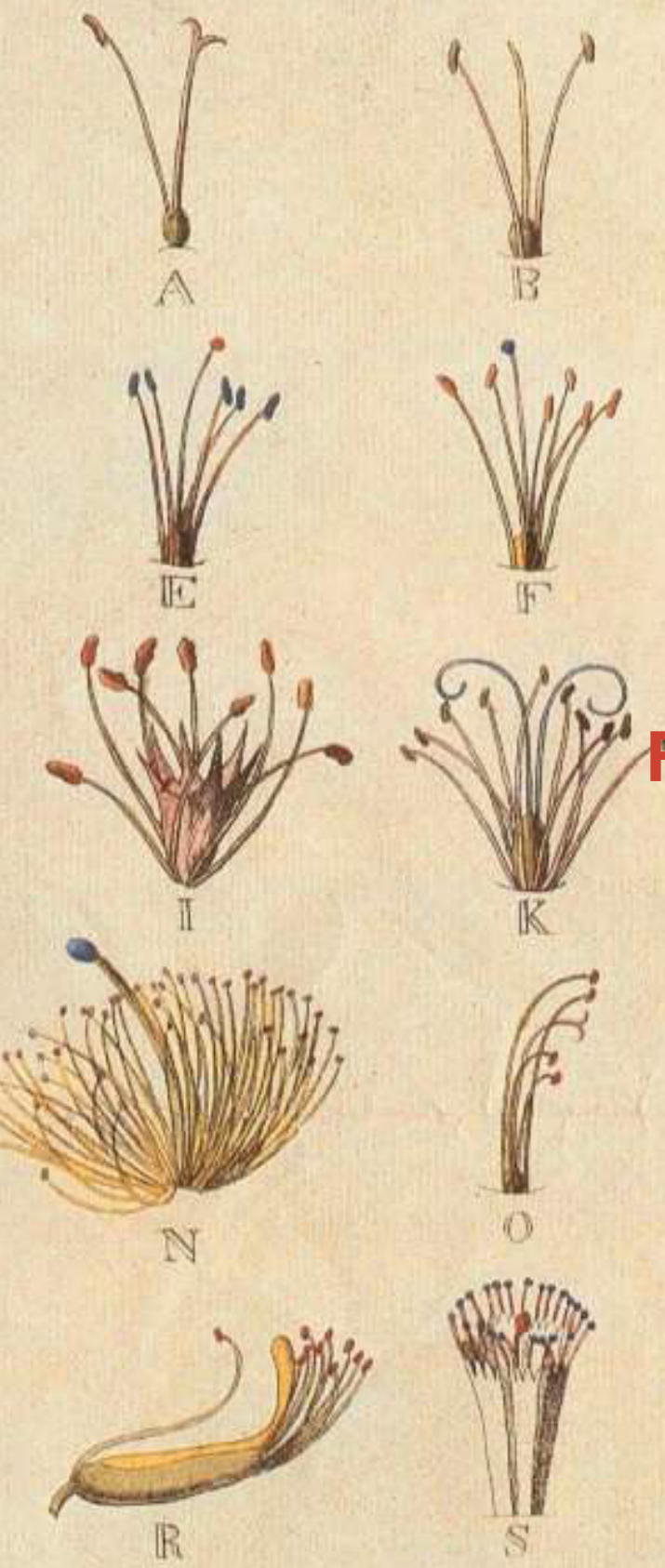


CLASS: LINNÆI. M. D.

METHODUS plantarum SEXUALIS
in SYSTEMATE NATURALI
descripta

U. PORTO
FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

**Dep. de Biologia
Faculdade de Ciências**



Botânica Sistemática: Fundamentos e Práticas

Uma Introdução à
Taxonomia Vegetal

CADERNOS DE
BIOLOGIA, VOL. I

Rubim Almeida

2025



NOTA DO AUTOR

Este texto nasce com um propósito simples, mas ambicioso: ajudá-lo a entrar no mundo da taxonomia botânica com o pé direito. Se está a começar a estudar Biologia, é natural que a nomenclatura lhe pareça, à primeira vista, uma floresta densa de regras, nomes estranhos e códigos que parecem escritos noutra língua. E, de certa forma, são. Mas são também a base de tudo o que virá a aprender sobre plantas — e não só.

A nomenclatura botânica não é um obstáculo; é uma ferramenta. É o que nos permite falar a mesma língua quando estudamos a diversidade vegetal, comunicar com precisão, evitar confusões e, acima de tudo, compreender como a ciência organiza o conhecimento sobre o mundo natural. Saber nomear é saber reconhecer, comparar, classificar — e isso é essencial para qualquer biólogo.

Este livro foi escrito a pensar em si, que está a dar os primeiros passos nesta área. Não pretende ser um manual fechado, mas sim um convite à descoberta. Vai encontrar aqui explicações claras, exemplos práticos e, espero, algumas surpresas que o façam olhar para a taxonomia com curiosidade e até com algum entusiasmo.

Porque, no fundo, estudar nomes é estudar histórias. E a história das plantas é também a nossa.

Botânica Sistemática: Fundamentos e Práticas

Uma Introdução à Taxonomia Vegetal

"Nomina si nescis, perit et cognitio rerum"

(Se não conheces os nomes, perece também o conhecimento das coisas)

Carl Linnaeus

Rubim Almeida

2025

Conteúdo

Capítulo 1: A História da Classificação Botânica.....	6
Antiguidade: Theophrastus e a Fundação do Pensamento Botânico	6
Renascimento: A Revolução da Observação	8
Século XVII: John Ray e a Definição de Espécie	9
Século XVIII: Linnaeus e a Revolução Sistemática	10
Século XIX: Darwin e a Revolução Evolutiva	11
Século XX: Hennig e a Cladística	12
Século XXI: O APG e a Integração de Dados.....	12
Referências	14
Capítulo 2: Nomenclatura — A Estabilidade no Nome.....	15
Como se Escolhe um Holótipo? Critérios e Prática na Descrição de uma Nova Espécie	16
Referências	19
Capítulo 3: O Conceito de Espécie em Botânica	20
3.1 A Hibridação: Rompendo Barreiras Reprodutivas.....	20
3.2 A Poliploidia: Duplicação do Genoma	21
3.3 A Apomixia: Reprodução Sem Fecundação	22
3.4 Implicações para a Sistemática	23
Referências	24
Capítulo 4: Filogenia e Classificação Moderna.....	25
4.1 Princípios da Análise Filogenética	25
4.2 O Sistema APG: Uma Revolução na Classificação	26
4.3 Marcadores Moleculares na Sistemática Vegetal	27
4.4 Filogenómica: O Futuro da Sistemática	28
4.5 Implicações para a Conservação	28
Referências	29
Capítulo 5: Identificação de Plantas	30
5.1 Chaves de Identificação	30
5.2 Caracteres Morfológicos Importantes	31
5.3 Tecnologias Digitais na Identificação.....	32
5.4 Recursos para Identificação	33

5.5 Boas Práticas na Identificação	34
Referências	35
Capítulo 6: Trabalho de Campo e Coleta de Espécimes.....	36
6.1 Planeamento da Expedição	36
6.2 Equipamento Essencial	36
6.3 Técnicas de Coleta	37
6.4 Dados de Campo Essenciais.....	38
6.6 Ética e Legislação.....	39
6.7 Tecnologias Modernas no Campo	40
Referências	40
Capítulo 7: O Futuro da Taxonomia Vegetal.....	42
7.1 A Revolução Genómica.....	42
7.2 Inteligência Artificial e Aprendizagem Automática.....	42
7.3 Ciência Cidadã e Democratização do Conhecimento	43
7.4 Desafios da Taxonomia Integrativa	44
7.5 Herbários Digitais e Acesso Global.....	44
7.6 Desafios Éticos e Legais	45
7.7 A Corrida Contra a Extinção	46
7.8 Novas Fronteiras	47
7.9 O Papel dos Taxonomistas do Futuro.....	47
Referências	48
8. Conclusão.....	49

Capítulo 1: A História da Classificação Botânica

A classificação das plantas não começou com Linnaeus. Começou muito antes, com a necessidade humana de nomear, ordenar e compreender o mundo vegetal. A taxonomia é, em última instância, uma resposta a uma pergunta prática: "O que é isto?" — seja para comer, curar, evitar ou cultivar. Mas ao longo dos séculos, essa pergunta simples foi-se transformando numa investigação científica sobre as relações entre os seres vivos.

Linha do Tempo da Taxonomia



Figura 1 Linha temporal da história da classificação botânica: desde Theophrastus (372-287 a.C.) até ao APG IV (2016).

A história da classificação botânica é uma história de mudança de paradigmas: da utilidade à morfologia, da morfologia à filogenia. É uma história de observação, erro, descoberta e revolução.

Antiguidade: Theophrastus e a Fundação do Pensamento Botânico

O ponto de partida incontornável é Theophrastus de Ereso (c. 372–287 a.C.), discípulo de Aristóteles e autor de *Historia Plantarum* (História das Plantas) e *De Causis Plantarum* (Sobre as Causas das Plantas). Theophrastus foi o primeiro a tentar uma classificação sistemática das plantas com base em caracteres morfológicos. Ele distinguiu árvores, arbustos, subarbustos e ervas; plantas com flores e sem flores; decíduas e perenes; aquáticas e terrestres. Embora rudimentar, esta classificação foi o primeiro passo para uma botânica como ciência, não como mera coletânea de usos.

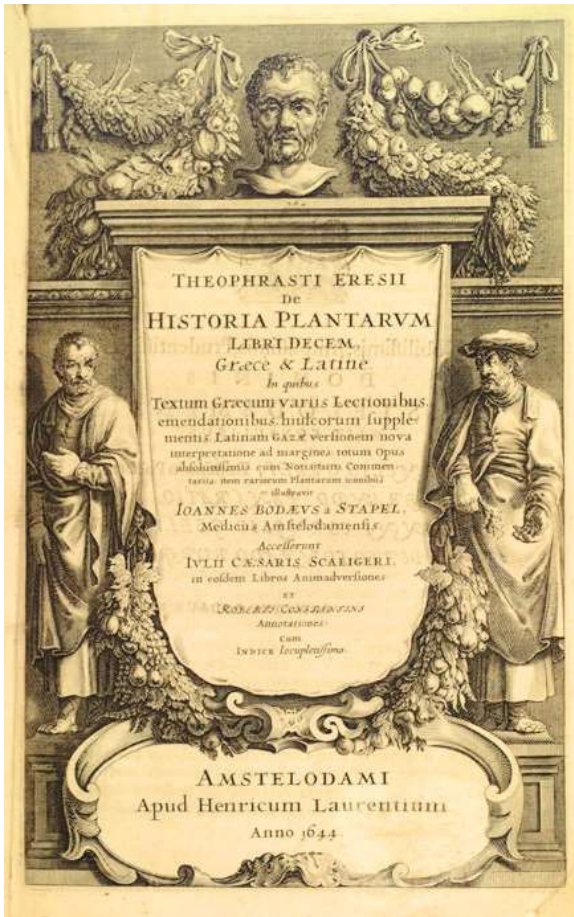


Figura 2 Página da "*Historia Plantarum*" de Theophrastus (cópia medieval), mostrando o texto grego original e ilustrações botânicas antigas.

O seu trabalho foi a base de toda a botânica antiga, mas também o seu limite. Durante séculos, o conhecimento sobre plantas foi transmitido, copiado e muitas vezes corrompido, sem observação direta.

Idade Média: A Estagnação e os Herbários de Plínio e Dioscórides

Com o declínio do mundo clássico, a observação direta das plantas desapareceu. O conhecimento botânico foi reduzido a textos copiados e recopiados, principalmente *Historia Naturalis* de Plínio, o Velho (23–79 d.C.) e *De Materia Medica* de Dioscórides (século I d.C.).

Dioscórides, médico e botânico grego, descreveu cerca de 600 plantas, agrupando-as por propriedades medicinais. Seu trabalho foi o manual de referência por mais de 1500 anos.

Mas, como não estava ligado à observação direta na Europa, os "herbalistas" medievais tinham dificuldade em



Figura 3. Comparação entre uma ilustração botânica do "*De Materia Medica*" de Dioscórides (manuscrito bizantino do século VI) e a mesma planta numa ilustração renascentista. A cópia sucessiva de manuscritos levou à estilização e perda de precisão científica, com plantas irreconhecíveis devido à interpretação artística

identificar as plantas descritas no Mediterrâneo com as que encontravam na França ou na Inglaterra. Resultado: confusão, mitos e erros.

A figura de Pedanius Dioscórides é central. O seu *De Materia Medica* não era apenas um catálogo de plantas, mas um tratado sobre as suas propriedades terapêuticas, com indicações precisas de colheita, preparação e uso. Ele foi um dos primeiros a descrever plantas com base em observação direta, embora limitado ao mundo mediterrânico.

Plínio, o Velho, embora menos rigoroso, compilou em *Historia Naturalis* um vasto conhecimento sobre plantas, animais e minerais. Sua abordagem era enciclopédica, mas muitas vezes baseada em autoridade, não em observação. A sua obra foi uma das mais copiadas da Idade Média, perpetuando erros e lendas, como a existência de árvores que davam carne ou frutos que eram seres vivos.

Renascimento: A Revolução da Observação

O renascimento da botânica começou no século XVI, com a redescoberta de textos antigos, mas, mais importante, com o retorno à observação direta. Os herbários ilustrados tornaram-se ferramentas centrais.



Figura 4. Página do "*De Historia Stirpium*" de Leonhart Fuchs (1542), mostrando duas ilustrações botânicas renascentistas de alta qualidade feita a partir de observação direta. O retorno à precisão científica.

Otto Brunfels (1488–1534) e Leonhart Fuchs (1501–1566) foram pioneiros. O *De Historia Stirpium* de Fuchs (1542) é um marco: ilustrações detalhadas, feitas a partir de plantas vivas, com descrições precisas. Fuchs não copiou imagens; mandou desenhar plantas que ele mesmo observou. Isso foi uma revolução: a imagem como evidência científica.

Ao mesmo tempo, Andrea Cesalpino (1519–1603), italiano, foi o primeiro a propor uma classificação natural, baseada na estrutura reprodutiva das plantas. Em *De Plantis Libri XVI* (1583), organizou 1500 plantas em 15 classes, com base em frutos, sementes e flores. Foi o primeiro a tentar uma sistemática baseada em homologia, não em uso.

Mais do que um simples ilustrador, Gaspard Bauhin (1560–1624) deu um passo fundamental na nomenclatura. Em *Pinax Theatri Botanici* (1623), listou mais de 6000 plantas, organizando-as em géneros e tentando unificar os nomes. Foi ele quem introduziu o conceito de binómio antes de Linnaeus, usando pares de palavras para designar espécies. Embora não tenha sistematizado o método, sua obra foi uma ponte entre a classificação antiga e a moderna.

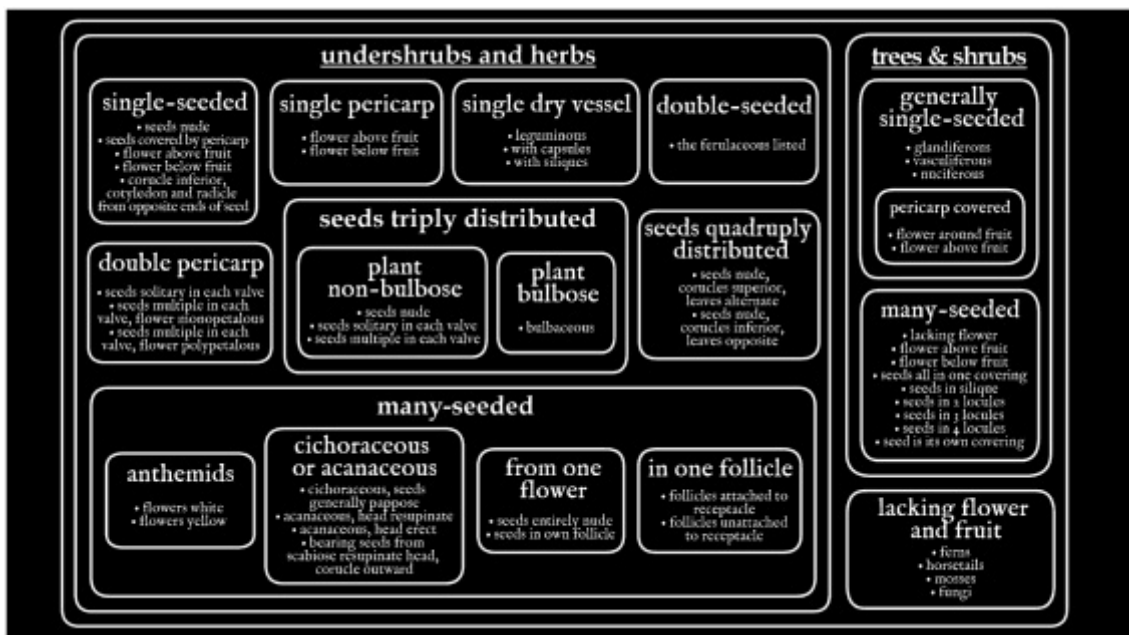


Figura 5. Diagrama das 15 classes de plantas de Andrea Cesalpino, mostrando como ele organizou as plantas com base na estrutura de frutos e sementes. Este foi o primeiro sistema baseado em caracteres morfológicos homogêneos, antecipando conceitos modernos.



Figura 6. Retrato de John Ray e página da sua "Historia Plantarum" onde se escreveu a primeira definição científica de espécie. Ray antecipou conceitos evolutivos dois séculos antes de Darwin.

Século XVII: John Ray e a Definição de Espécie

No século XVII, John Ray (1627–1705) deu um salto fundamental. Em *Historia Plantarum* (1686–1704), ele definiu espécie como um grupo de organismos que descendem de um mesmo ancestral e se reproduzem entre si — uma definição que antecede Darwin em dois séculos. Ray classificou plantas com base em caracteres

combinados, não isolados, e reconheceu a importância de estruturas como o fruto e a flor.

Paralelamente, Joseph Pitton de Tournefort (1656–1708) introduziu o conceito de género, como unidade básica da classificação. Seus géneros foram a base do sistema de Linnaeus.

A obra de Ray foi um divisor de águas. Ele rejeitou a ideia de que as plantas foram criadas em número fixo e imutável, sugerindo que novas espécies podiam surgir por hibridação. Foi o primeiro a tentar uma classificação natural, baseada em semelhanças reais, não artificiais.

Século XVIII: Linnaeus e a Revolução Sistemática

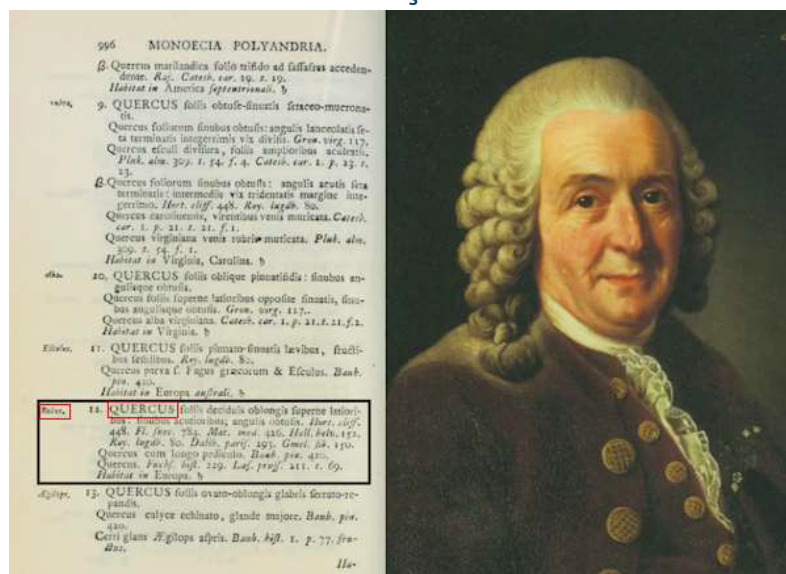
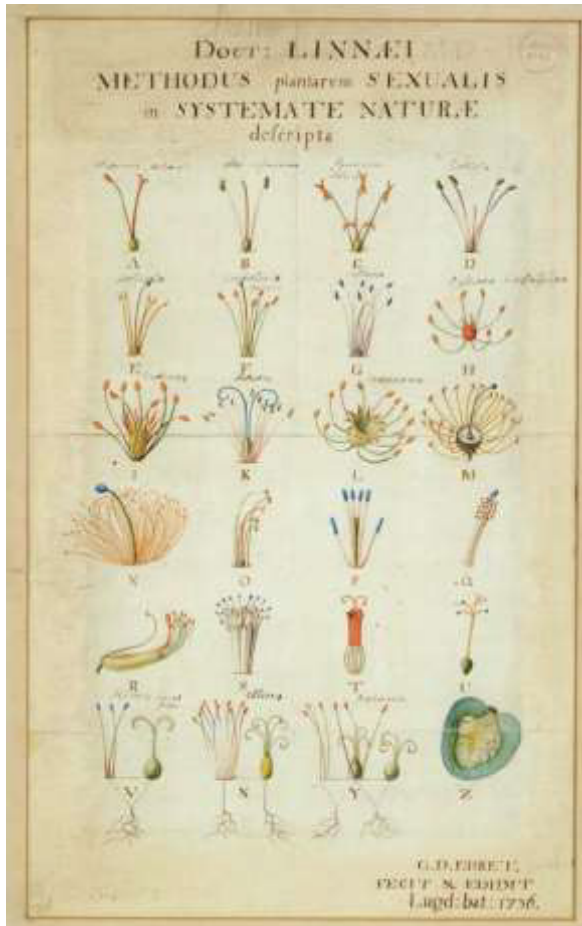


Figura 7. Página original do "Species Plantarum" (1753) de Linnaeus, mostrando a primeira aplicação sistemática da nomenclatura binomial. Estrutura da página com diagnoses concisas em latim como *Quercus robur*

Carolus Linnaeus (1707–1778) sintetizou o conhecimento acumulado. Criou o sistema binomial (Género + epíteto específico), que unificou a nomenclatura. Em *Species Plantarum* (1753), nomeou cerca de 6000 espécies com este sistema.

Mas o sistema de Linnaeus era artificial. Baseava-se no número de estames, não em relações evolutivas. Ainda assim, trouxe ordem, universalidade e comunicabilidade. O nome *Pinus sylvestris* L. é compreensível em qualquer língua.

O verdadeiro feito de Linnaeus foi a universalidade. Ele criou um sistema que podia ser usado por qualquer botânico, em qualquer país, em qualquer língua.



Antes dele, a nomenclatura era caótica: a mesma planta tinha dezenas de nomes vernáculos e científicos. Depois dele, houve um nome único, com autor e data.

No entanto, o sistema sexual de classificação foi criticado ainda em seu tempo. Antoine Laurent de Jussieu (1748–1836) foi um dos primeiros a propor uma classificação natural, em *Genera Plantarum* (1789), baseada em múltiplos caracteres, especialmente na estrutura da flor. Jussieu introduziu a noção de família, como grupo natural de géneros, e rejeitou a artificialidade do sistema de Linnaeus.

Século XIX: Darwin e a Revolução Evolutiva

A verdadeira transformação veio com Charles Darwin (1809–1882). Em *A Origem das Espécies* (1859), o resultado de descendência com

os estudos modernos que a árvore da vida é

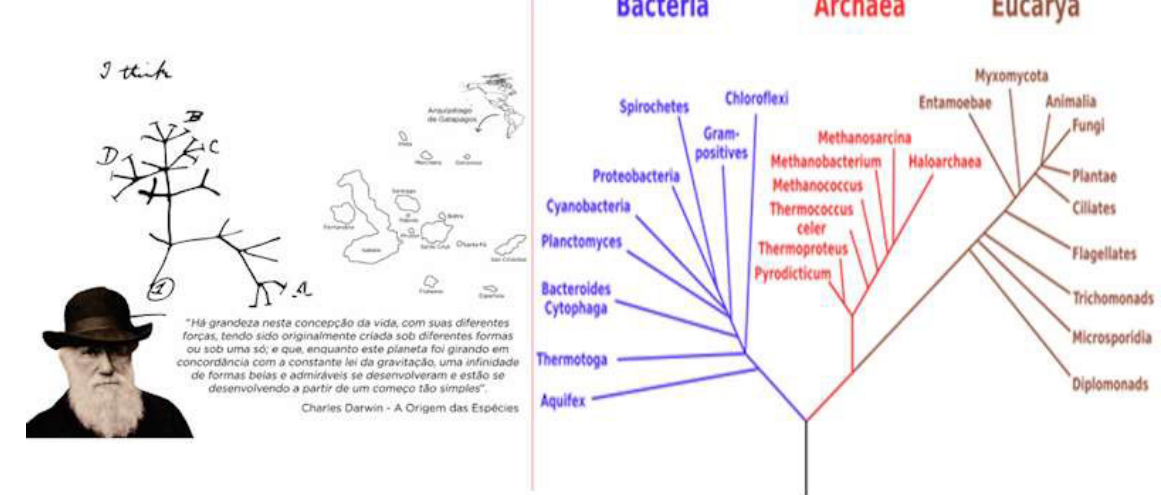


Figura 9. O famoso diagrama em árvore de Darwin do "*The Origin of Species*" (1859) (à esquerda), contrastado com uma árvore filogenética moderna (à direita), mostra como o conceito de "árvore da vida" evoluiu desde o esboço simples de Darwin até às complexas filogenias moleculares atuais

modificação. A classificação deixou de ser uma convenção e tornou-se um reflexo da árvore da vida.

A sistemática passou a ter um objetivo: reconstruir a filogenia. Agrupar organismos não por semelhanças superficiais, mas por ancestralidade comum.

Um dos marcos foi o trabalho de Augustin Pyramus de Candolle (1778– 1841), que cunhou o termo taxonomia e estabeleceu princípios fundamentais de classificação. Em *Théorie Élémentaire de la Botanique* (1813), defendeu que a classificação deve basear-se na semelhança geral dos organismos, não em caracteres isolados. De Candolle foi um dos primeiros a reconhecer a importância da geografia botânica e da evolução — antes mesmo de Darwin.

Século XX: Hennig e a Cladística

Em 1966, Willi Hennig publicou *Phylogenetic Systematics*, estabelecendo as bases da cladística. O método cladístico exige que os grupos sejam monofiléticos — incluindo um ancestral comum e todos os seus descendentes. A cladística introduziu rigor lógico na sistemática, baseado em apomorfias (caracteres derivados partilhados).

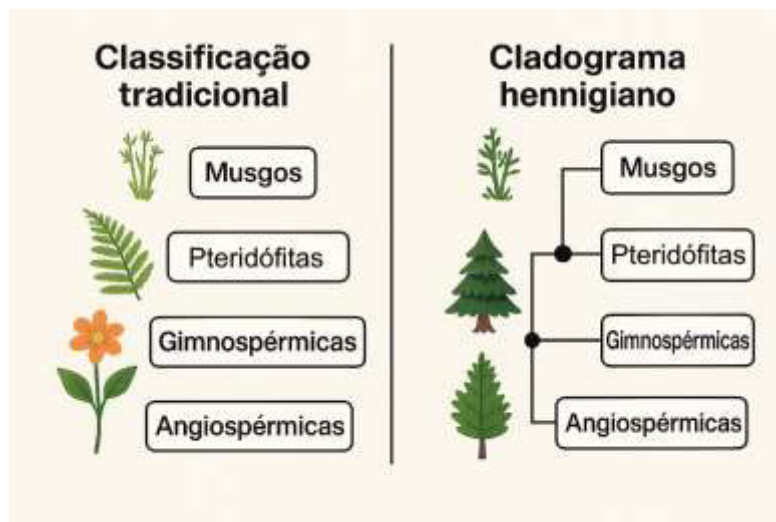


Figura 10. Comparação entre uma classificação tradicional (baseada em semelhança geral) e um cladograma hennigiano (baseado em apomorfias).

Hennig não foi bem recebido no início. O seu método, baseado em lógica formal, parecia frio, matemático, distante da botânica tradicional. Mas com o tempo, provou-se superior: permitia testar hipóteses, comparar árvores, refutar agrupamentos. A cladística transformou a sistemática numa ciência hipotético-dedutiva.

Século XXI: O APG e a Integração de Dados

A revolução molecular acelerou a mudança. O Angiosperm Phylogeny Group (APG), desde 1998, tem aplicado dados moleculares para reconstruir a filogenia das angiospérmicas. O APG IV (2016) é a versão mais recente, baseada em

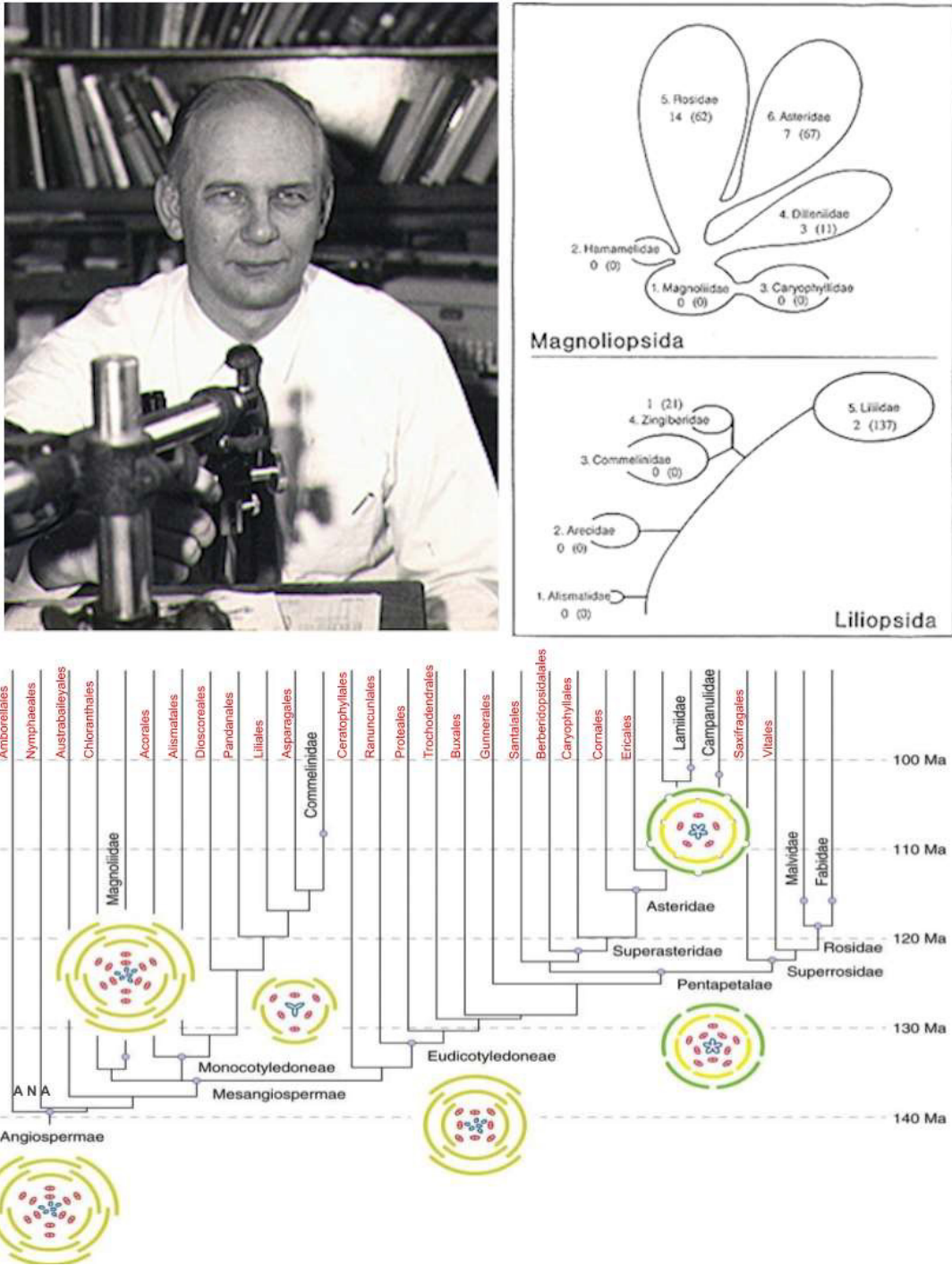


Figura 11. Evolução das classificações das angiospérmicas: sistema de Arthur Cronquist (1981) baseado em morfologia-fenética (em cima) vs. APG IV (2016) baseado em dados moleculares (em baixo). Os grupos tradicionais foram reorganizados e novas relações foram descobertas através da genética molecular.

múltiplos genes, e reflete uma classificação robusta, resolvendo questões que persistiam há séculos.

Hoje, a sistemática é integrativa: combina morfologia, anatomia, ecologia, paleontologia e genética. A classificação moderna não é uma lista — é uma hipótese filogenética testável.



Figura 12. Laboratório moderno de sistemática molecular, mostrando equipamento de sequenciação de DNA e computadores para análise filogenética

Referências

- Hennig, W. (1966). *Phylogenetic Systematics*. University of Illinois Press.
- Stevens, P.F. (2001 onwards). *Angiosperm Phylogeny Website*.
<http://www.mobot.org/MOBOT/Research/APweb/>
- Raven, P.H., Evert, R.F., & Eichhorn, S.E. (2023). *Biology of Plants* (9.^a ed.). W.H. Freeman.
- Lawrence, G.H.M. (1951). *Taxonomy of Vascular Plants*. Macmillan.
- Podani, J. (2018). *Gentle Introduction to the Basics of Tree Thinking*. Springer.

Capítulo 2: Nomenclatura — A Estabilidade no Nome

A nomenclatura botânica não é um conjunto de regras burocráticas. É o sistema que torna a taxonomia uma ciência empírica. É o que garante que, ao dizer *Quercus ×capeloana* Vila-Viçosa *et al.*, não se esteja a evocar uma ideia vaga, uma descrição poética ou uma tradição local, mas a referir-se a um espécime físico, depositado no Herbário da Universidade do Porto (Po), com o número de registo PO V-70068!, uma coleta, uma data (28 October 2021), um local (Estremadura, Caldas da Rainha: Paúl da Tornada) — um ponto de referência inequívoco no espaço e no tempo. É isso que separa a sistemática de uma mera coleção de nomes: a materialização do conceito.



Figura 13. Folha de herbário do holótipo de *Quercus ×capeloana* Vila-Viçosa, P. Alves, P. Lemos, R. Almeida & F.M. Vázquez *nothosp.nov.* *Q. pseudococcifera* × *Q. suber*. Holotype: PO V-70068! (Figure 7) - Portugal. Estremadura, Caldas da Rainha: Paúl da Tornada; Rua dos Bernardinos, 32 m, 39.444674 -9.145928, 28 October 2021, Paulo Lemos s.n. Isotypes: HSS, 079482; LISE- 96336.

Este sistema assenta no Código Internacional de Nomenclatura para Algas, Fungos e Plantas (ICNafp), cuja versão mais recente, o Madrid Code (2024), é a autoridade suprema. O código não é uma sugestão, nem um manual de estilo. É um conjunto de princípios obrigatórios que asseguram estabilidade, unicidade e tipificação. A prioridade estabelece que o nome correto é o mais antigo validamente publicado. A unicidade garante que cada táxon tem um único nome aceite. Mas é a tipificação que dá ao sistema a sua força: cada nome está permanentemente vinculado a um tipo nomenclatural, um espécime ou ilustração que serve como referência objetiva.

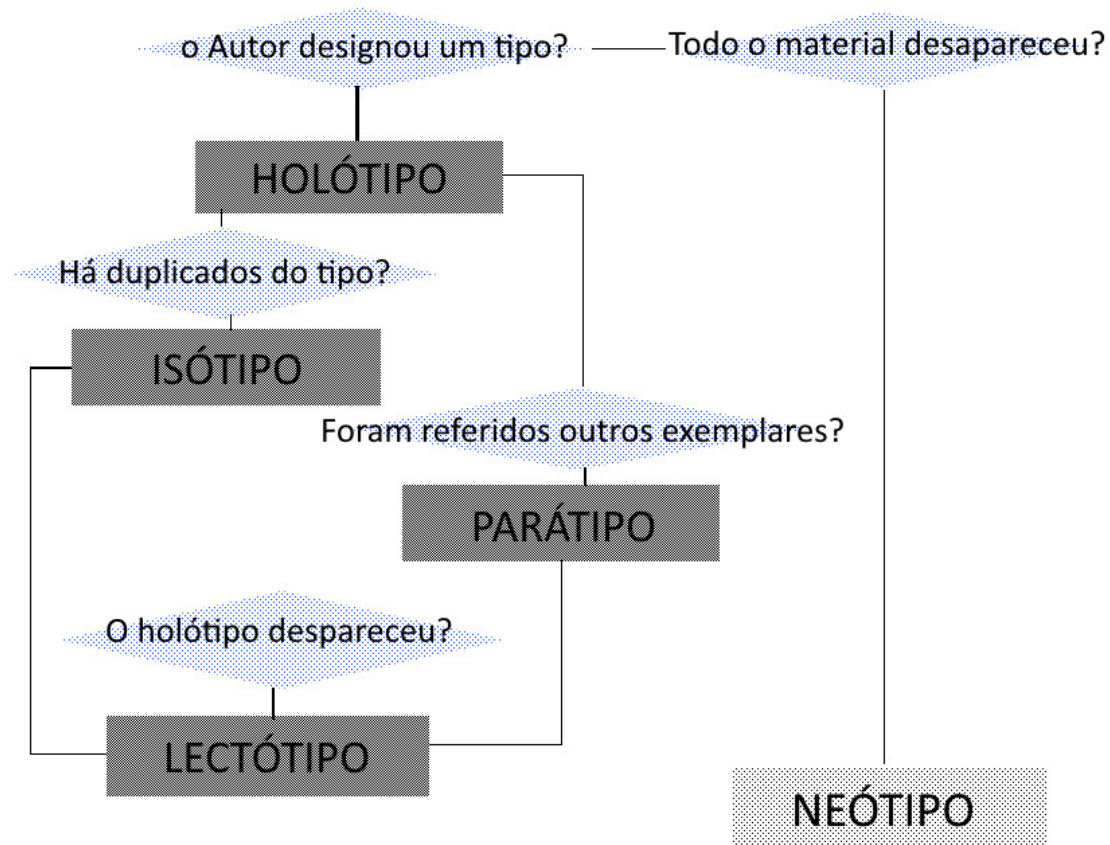


Figura 14. Diagrama esquemático mostrando a hierarquia dos tipos nomenclaturais: holótipo (espécime único designado pelo autor), isótipos (duplicados da mesma coleta), parátipos (outros espécimes citados na publicação original), lectótipo (escolhido posteriormente quando não há holótipo designado) e neótipo (designado quando todos os tipos originais se perderam).

O tipo nomenclatural não é uma invenção moderna. Surgiu no século XIX como resposta à instabilidade da nomenclatura, onde nomes eram aplicados de forma arbitrária, sem referência a um espécime concreto. A exigência de vincular cada nome a um espécime transformou a taxonomia numa ciência objetiva, onde as hipóteses podem ser testadas e verificadas. O tipo é a âncora do nome, o ponto de referência físico que define, para sempre, o que o nome significa. Mesmo que a classificação mude, que o género seja revisto ou que o conceito de espécie seja ampliado, o nome permanece ligado ao seu tipo. Esta regra evita ambiguidades e disputas intermináveis sobre a identidade de uma planta.

Como se Escolhe um Holótipo? Critérios e Prática na Descrição de uma Nova Espécie

O holótipo é o espécime único, designado pelo autor na publicação original, como o suporte do nome. É ele que define o conceito taxonómico. Quando um investigador descreve uma nova espécie, deve indicar claramente qual espécime é o holótipo, onde está depositado e, se possível, fornecer uma imagem.

O holótipo deve ser um espécime completo, bem conservado, com todos os órgãos necessários para a identificação — idealmente com flores e frutos. Deve ser depositado num herbário público, acessível à comunidade científica, como o LISU (Lisboa), BM (Londres) ou K (Kew). A sua escolha é um ato de responsabilidade científica, pois será a referência permanente para o nome.

A escolha do holótipo não é arbitrária. O investigador deve selecionar um espécime que seja completo, bem conservado e representativo da população. Um espécime com flores e frutos é preferível a um apenas com folhas. Um espécime sem danos físicos é preferível a um esmagado. E, sempre que possível, deve ser um espécime que reflita o "padrão central" da variação observada no local de coleta, evitando indivíduos extremos ou atípicos.



Figura 15. Fotografia de um armário de herbário aberto, mostrando várias folhas de herbário organizadas por espécie. A organização sistemática e as condições de conservação (temperatura, humidade controladas) garantem a preservação a longo prazo dos tipos nomenclaturais e demais espécimes.

Quando um investigador descobre uma planta que acredita ser nova para a ciência, o seu trabalho não termina com a coleta do espécime. Pelo contrário, começa uma fase metódica de documentação, análise e decisão. Um dos passos mais importantes — e irrevogáveis — é a designação do holótipo.

Em primeiro lugar, o espécime escolhido deve ser o mais completo possível. Idealmente, deve incluir todos os órgãos necessários para a identificação: folhas, flores, frutos, caule e, se possível, raiz. A presença de flores e frutos é especialmente importante, pois são os caracteres mais informativos para a classificação das angiospérmicas.

Em segundo lugar, o espécime deve estar em bom estado de conservação. Deve ter sido coletado com cuidado, prensado uniformemente, seco rapidamente para evitar o bolor, e montado de forma clara e duradoura numa folha de herbário.



Figura 16. A digitalização, com ferramentas de zoom e medição, cor, etc., demonstra como a tecnologia moderna permite o acesso global aos tipos nomenclaturais, eliminando a necessidade de visitas físicas aos herbários para muitas consultas taxonômicas, prevenindo assim danos materiais.

Em terceiro lugar, o espécime deve ser representativo da variabilidade observada no local de coleta. A espécie pode ter variações naturais — na forma das folhas, no tamanho das flores, na cor dos frutos. O investigador não deve escolher um espécime extremo, mas sim um que encarne o "padrão central" da população.

Os isótipos são duplicados do holótipo, coletados no mesmo local, na mesma ocasião e pelo mesmo coletor. São espécimes originais, mas não são o holótipo. Têm valor como backup, caso o holótipo se perca ou seja destruído. Os parátipos são outros espécimes citados no protólogo (a publicação original) que não pertencem à coleta-tipo. São importantes para mostrar a variabilidade da espécie, mas não têm estatuto de tipo.

Quando a publicação original não designa um holótipo, mas menciona vários espécimes, todos são considerados sítipos. Nesta situação, um investigador posterior pode escolher um deles como lectótipo, fixando assim o nome com base num espécime específico. A designação de lectótipo é obrigatória para estabilizar nomes em risco de ambiguidade, especialmente em taxonomia histórica.

O neótipo é um novo espécime designado quando todos os originais foram perdidos, destruídos ou são insuficientes para definir o conceito taxonómico. A sua designação é um ato de último recurso, usado para resolver problemas de nomenclatura que poderiam levar à confusão.

O epítipo é um tipo de apoio, designado quando o holótipo ou lectótipo é insuficiente para esclarecer a identidade do táxon — por exemplo, quando é apenas uma folha seca ou uma ilustração pouco detalhada. Um epítipo pode ser um espécime com flores, uma cultura viva ou uma sequência de DNA.

A importância dos tipos nomenclaturais não pode ser subestimada. Eles são a base da objetividade na taxonomia. Sem eles, a nomenclatura seria subjetiva, dependente da interpretação de cada investigador. Com eles, o nome de uma planta torna-se uma hipótese testável: qualquer botânico pode examinar o tipo, compará-lo com um espécime de campo e decidir se pertencem ao mesmo taxon.

O Madrid Code (2024) reconhece a evolução da prática científica. Permite a designação de tipos com base em imagens de alta resolução ou dados moleculares, desde que bem documentados. Também facilita a publicação de nomes em meios digitais, desde que cumpram critérios de acessibilidade e permanência.

A nomenclatura não é um luxo. É uma necessidade. Como afirmou Raven (2023), "sem um sistema de nomes estáveis, a botânica seria impossível". Cada nova espécie descrita, cada nome corrigido, cada tipo examinado, é um passo para compreender e proteger a diversidade vegetal do planeta.

Referências

- IAPT (International Association for Plant Taxonomy). (2025). International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Madrid Code). Regnum Vegetabile No. XXX. <https://www.iaptglobal.org/icn>
- Raven, P.H., Evert, R.F., & Eichhorn, S.E. (2023). Biology of Plants (9.^a ed.). W.H. Freeman / Macmillan Learning.
- Turland, N.J., Wiersema, J.H., Barrie, F.R., et al. (2018). International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Shenzhen Code). Regnum Vegetabile No. 159.
- Stevens, P.F. (2001 onwards). Angiosperm Phylogeny Website. <http://www.mobot.org/MOBOT/Research/APweb/>
- Cronquist, A. (1988). The Evolution and Classification of Flowering Plants. New York Botanical Garden.

Capítulo 3: O Conceito de Espécie em Botânica

O conceito de espécie é um dos pilares da biologia, mas também um dos seus maiores desafios. Em teoria, uma espécie é um grupo de organismos que se reproduzem entre si e estão isolados reprodutivamente de outros grupos. Este é o chamado conceito biológico de espécie, proposto por Ernst Mayr. No entanto, quando aplicado às plantas, este conceito revela-se frequentemente inadequado, por causa de fenómenos como a hibridação, a poliploidia e a apomixia, que são comuns e desafiam a definição clássica.

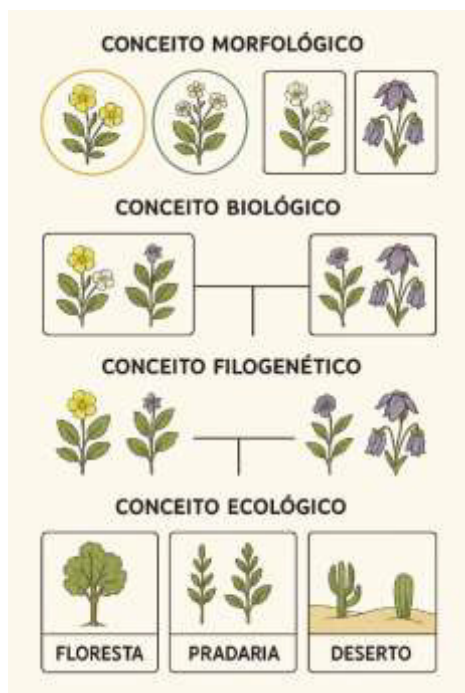


Figura 17. Conceito Morfológico (topo): Agrupa por características físicas visíveis - Flores amarelas juntas, flores brancas juntas, etc.; **Conceito Biológico** (segundo): Agrupa por capacidade de reprodução - Duas caixas: plantas que podem cruzar entre si; **Conceito Filogenético** (terceiro): Mostra relações evolutivas com árvore genealógica - Plantas mais aparentadas ficam próximas; **Conceito Ecológico** (fundo): Agrupa por habitat com legendas claras: FLORESTA (árvore), PRADARIA (ervas), DESERTO (cactos)

3.1 A Hibridação: Rompendo Barreiras Reprodutivas

A hibridação é um dos principais fatores que complicam a definição de espécie em plantas. Ao contrário do que se observa em muitos animais, onde as barreiras reprodutivas são fortes, as plantas frequentemente hibridam entre espécies, géneros e até famílias. Os híbridos podem ser férteis, estabelecer-se em novos habitats e até originar novas linhagens evolutivas.

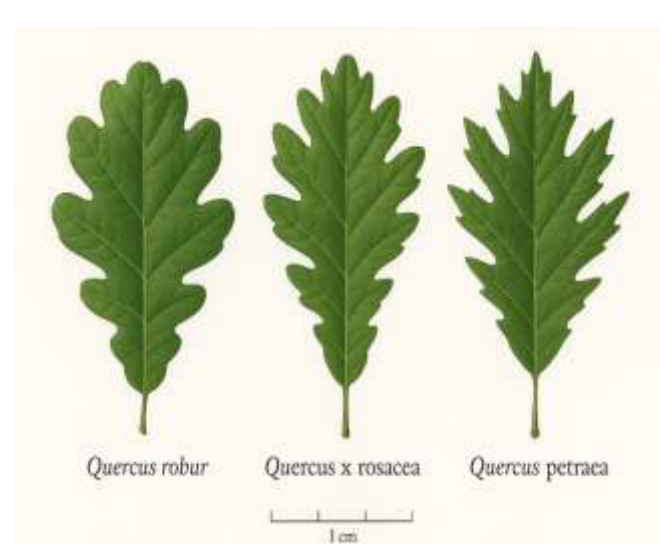


Figura 18. Especiação por poliploidia *Quercus robur* (esquerda): Pecíolo muito curto, base cordiforme, lobos arredondados; *Quercus x rosacea* (centro): Características intermédias claramente visíveis; *Quercus petraea* (direita): Pecíolo longo, base cuneiforme, lobos mais pontiagudos.

Um exemplo claro é o género *Cenchrus*, que, segundo Morrone (2010), foi redefinido com base em dados moleculares, resultando na transferência de várias espécies de *Pennisetum* para *Cenchrus*. A hibridação entre estas espécies,

combinada com poliploidia, levou à formação de linhagens complexas que desafiam a classificação tradicional.

A hibridação pode ser natural ou induzida, e ocorre em ambientes onde as espécies parentais coexistem. Em alguns casos, os híbridos são estéreis, como o mulo em animais, mas em plantas é comum que se tornem férteis, especialmente se ocorrer duplicação cromossômica (poliploidia).

3.2 A Poliploidia: Duplicação do Genoma

A poliploidia, ou a presença de mais de dois conjuntos completos de cromossomas, é um fenómeno extremamente comum em plantas. Muitas espécies de plantas são tetraplóides (4n), hexaplóides (6n) ou até octoplóides (8n). A poliploidia pode surgir por erros na meiose ou mitose, resultando em células com genomas duplicados.

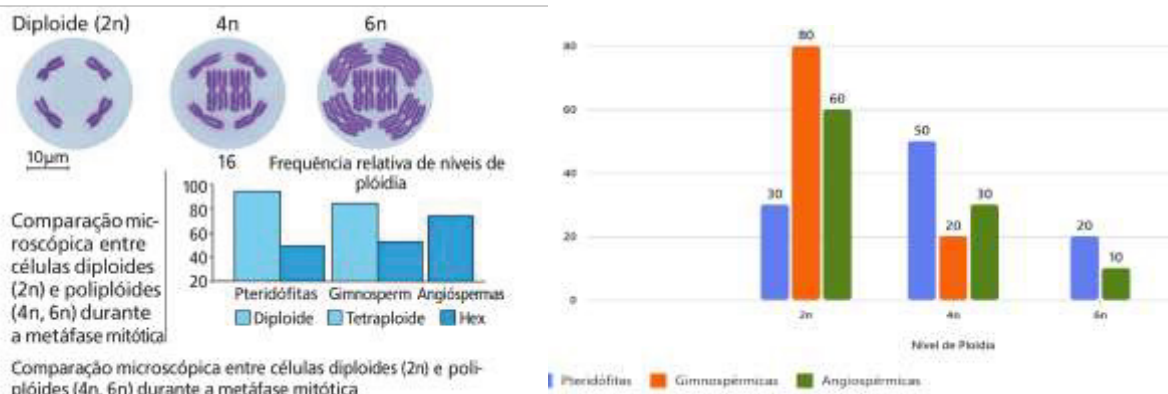


Figura 19. Comparação microscópica entre células diplóides (2n) e poliplóides (4n, 6n) durante a metáfase mitótica, mostrando o número diferente de cromossomas. O gráfico de barras mostra a frequência relativa de diferentes níveis de ploidia em grandes grupos de plantas (pteridófitas, gimnospérmicas, angiospérmicas). **Pteridófitas:** maior frequência de poliploidia (4n e 6n), **Gimnospérmicas:** dominância de diploidia (2n) e **Angiospérmicas:** distribuição mais equilibrada entre 2n, 4n e 6n.

A poliploidia tem um papel crucial na especiação em plantas. Um indivíduo poliploide pode ser reprodutivamente isolado dos seus parentais diploides, mesmo que viva no mesmo habitat, porque a diferença no número de cromossomas impede a formação de gametas viáveis. Este isolamento reprodutivo instantâneo pode levar à formação de uma nova espécie em uma única geração, um processo conhecido como especiação saltacional (saltacionismo).

A poliploidia é especialmente comum em cultivos como o trigo (*Triticum aestivum*, hexaplóide) e a batata (*Solanum tuberosum*, tetraplóide), mas também ocorre em espécies selvagens. Em alguns géneros, como *Senecio* ou *Cardamine*, a diversidade de níveis de ploidia contribui para a complexidade taxonómica.

3.3 A Apomixia: Reprodução Sem Fecundação

A apomixia é um modo de reprodução assexuada em que as sementes se formam sem fecundação. Este fenómeno é particularmente comum em certos grupos de plantas, como as **Asteraceae**, **Poaceae** e **Rosaceae**. A apomixia permite a propagação de genótipos bem-adaptados sem a variação genética introduzida pela reprodução sexuada.

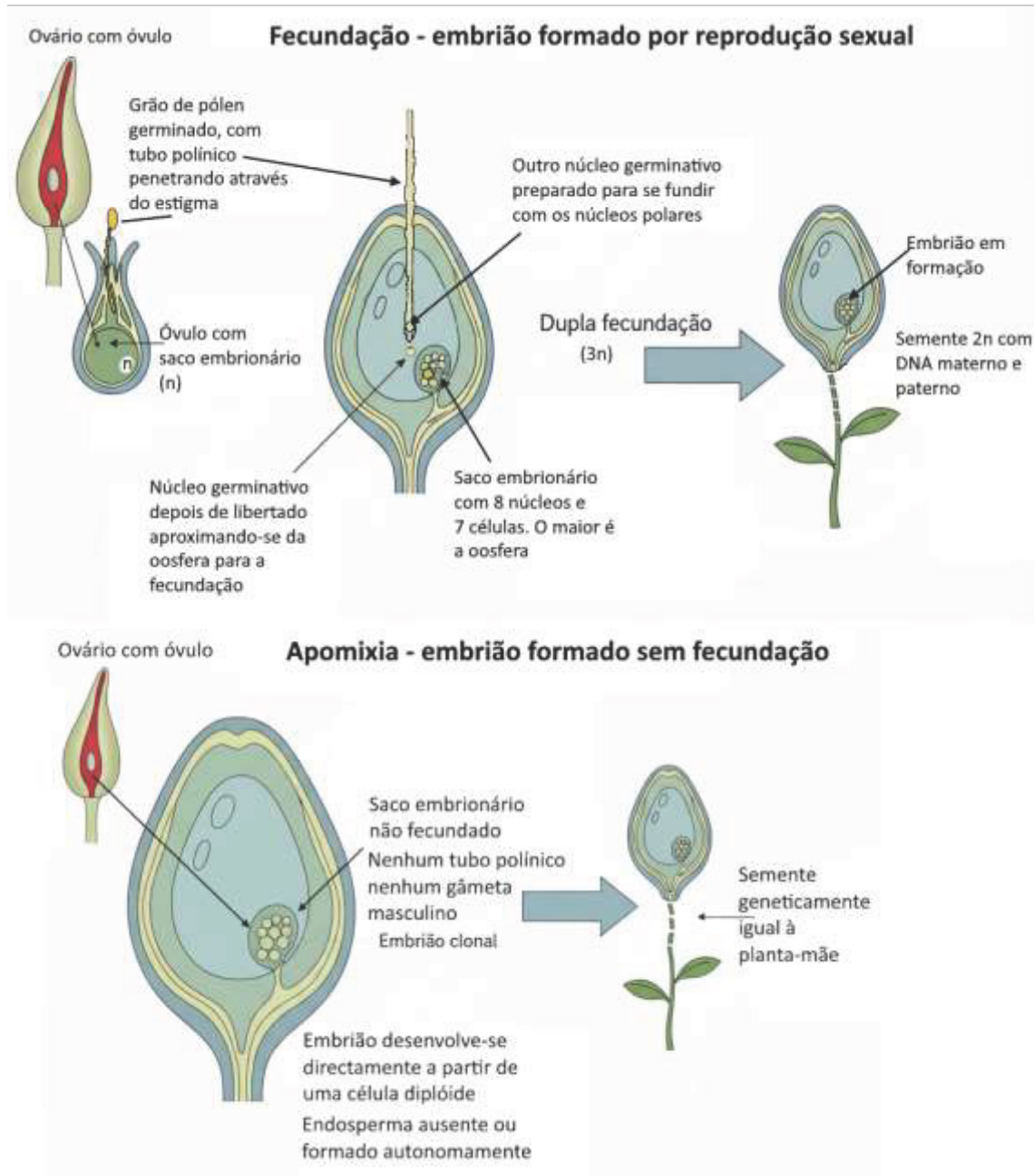


Figura 20. Comparação entre desenvolvimento de sementes por reprodução sexual (à esquerda) e por apomixia (à direita): mostra-se a formação do saco embrionário, a fecundação (ou ausência dela), e o desenvolvimento do embrião. Destaca-se que na apomixia o embrião se desenvolve diretamente do tecido materno sem contribuição genética paterna.



Figura 21. População de dentes-de-leão (*Taraxacum officinale*), exemplo clássico de apomixia. A uniformidade entre diferentes clones é evidente.

A apomixia desafia o conceito de espécie porque os indivíduos apomíticos podem ser geneticamente idênticos, formando linhagens clonais que persistem por longos períodos. Estas linhagens podem ser morfologicamente distintas, mas não se reproduzem entre si no sentido tradicional, dificultando a aplicação do conceito biológico de espécie.

3.4 Implicações para a Sistemática

Estes fenómenos — hibridação, poliploidia e apomixia — tornam o conceito de espécie em botânica mais flexível e contextual do que em zoologia. Em muitos casos, os taxonomistas adotam uma abordagem pragmática, reconhecendo "espécies" com base numa combinação de critérios morfológicos, ecológicos, geográficos e moleculares.

O conceito morfológico de espécie, baseado na semelhança estrutural, continua a ser amplamente usado, especialmente quando combinado com dados moleculares. O conceito filogenético, que define espécies como linhagens evolutivas distintas, oferece uma alternativa robusta, mas requer dados moleculares extensivos.

Em última análise, o conceito de espécie em botânica é uma ferramenta de trabalho, não uma verdade absoluta. Como afirmou o taxonomista Peter Stevens, "as espécies são hipóteses sobre a organização da diversidade biológica". O

importante é que essas hipóteses sejam testáveis, úteis e baseadas em evidências sólidas.

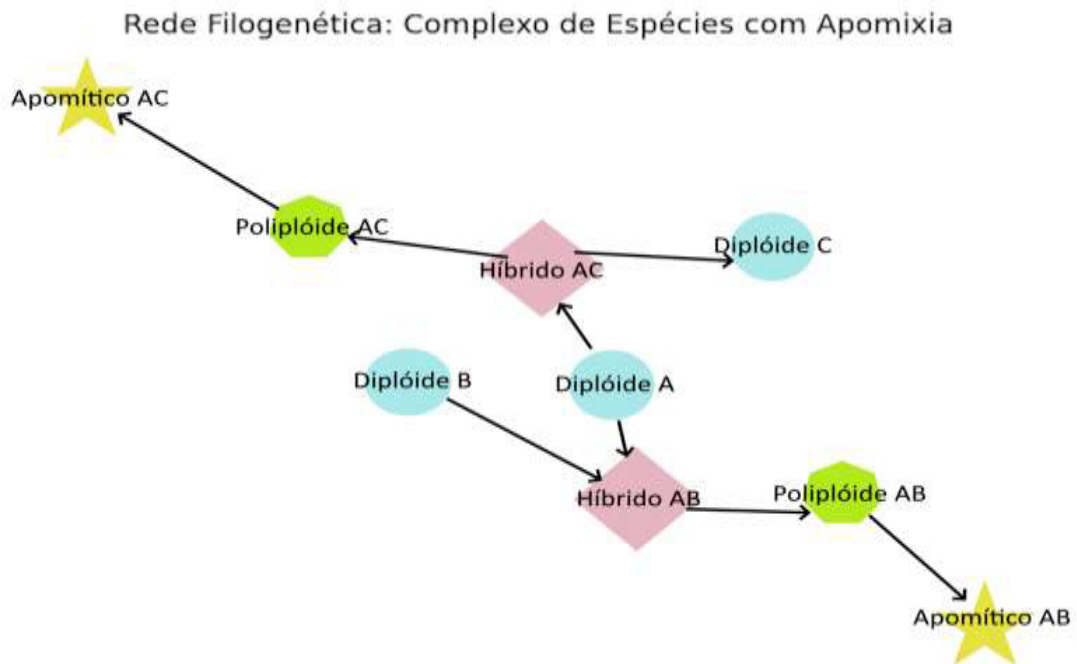


Figura 22. Árvore filogenética simplificada mostrando um "complexo de espécies" onde hibridação, poliploidia e apomixia criaram uma rede de relações em vez de uma árvore simples. **Diploides** (● azul): espécies parentais de base. **Híbridos** (◆ rosa): resultam da hibridação entre diploides. **Poliplóides** (○ verde): resultam da duplicação gênica somática dos híbridos. **Apomíticos** (★ amarelo): descendem dos poliplóides por reprodução assexuada (apomixia), mantendo o genoma materno. ➡ **Fluxo evolutivo:** 1. **A + B → H1** (híbrido AB); 2. **H1 → P1** (poliplóide AB); 3. **P1 → AP1** (apomítico AB)

Referências

- Grant, V. (1981). Plant Speciation (2nd ed.). Columbia University Press.
- Mayr, E. (1942). Systematics and the Origin of Species. Columbia University Press.
- Morrone, O. (2010). Phylogenetic studies in Paniceae: A review. In O. Morrone & F. Zuloaga (Eds.), Systematics of Paniceae (pp. 1-22). Missouri Botanical Garden Press.
- Rieseberg, L.H., & Willis, J.H. (2007). Plant speciation. Science, 317(5840), 910-914.

Capítulo 4: Filogenia e Classificação Moderna

A filogenia é o estudo das relações evolutivas entre organismos. Na botânica moderna, a classificação baseia-se cada vez mais em dados filogenéticos, que revelam a história evolutiva das plantas e permitem construir sistemas de classificação que refletem parentesco real, não apenas semelhança superficial.

4.1 Princípios da Análise Filogenética

A análise filogenética moderna baseia-se no princípio da parcimônia: a árvore evolutiva mais provável é aquela que requer o menor número de mudanças evolutivas para explicar os dados observados. Este princípio, combinado com métodos estatísticos sofisticados como a Máxima Verosimilhança e a Inferência Bayesiana, permite reconstruir a história evolutiva das plantas com crescente precisão.

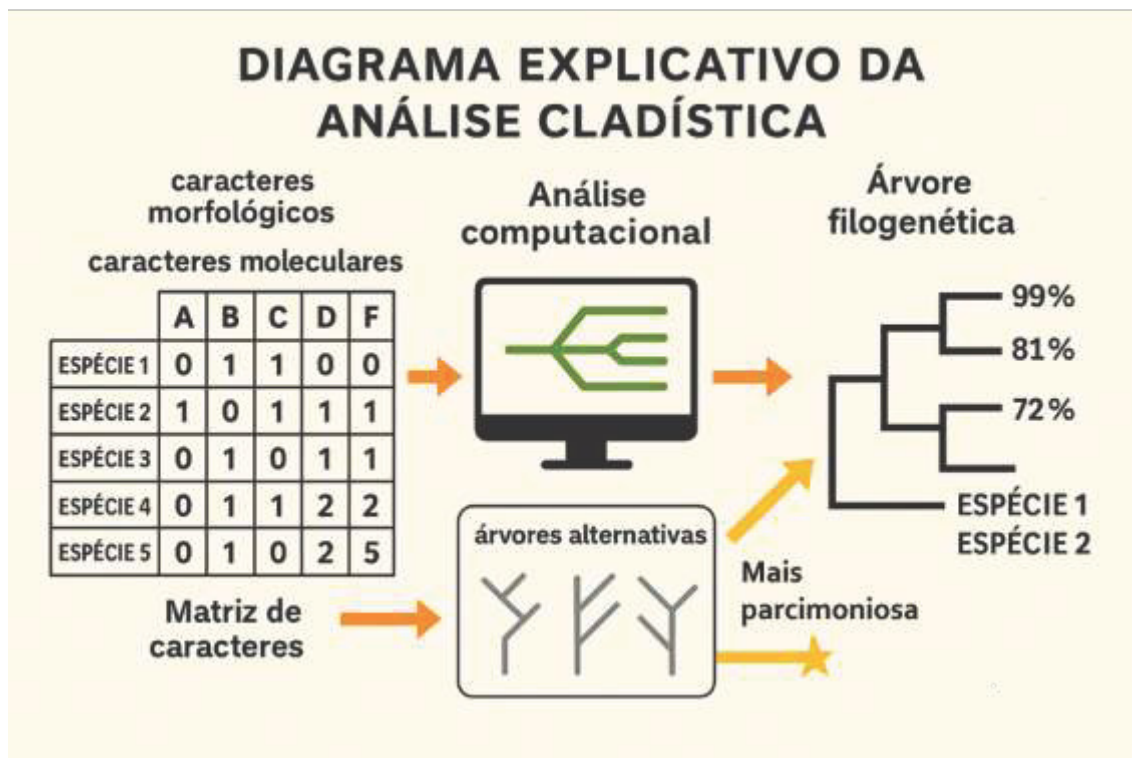


Figura 23. A análise cladística baseia-se numa matriz de caracteres morfológicos e moleculares, onde os estados dos caracteres são codificados como 0 (estado ancestral), 1, 2, etc. (estados derivados). O software analisa esta matriz e gera múltiplas árvores filogenéticas possíveis. A árvore mais parcimoniosa (com o menor número de mudanças evolutivas) é selecionada, e os ramos são acompanhados de valores de suporte estatístico (ex.: bootstrap).

Os dados moleculares revolucionaram a sistemática vegetal. Sequências de DNA de genes como *rbcL* (cloroplasto), *matK* (cloroplasto), e ITS (nuclear) fornecem caracteres independentes da morfologia, revelando relações que não são óbvias pela aparência externa. Por exemplo, as análises moleculares mostraram que as plantas carnívoras evoluíram independentemente múltiplas

vezes, e que grupos morfológicamente similares podem ser evolutivamente distantes.

4.2 O Sistema APG: Uma Revolução na Classificação

O Angiosperm Phylogeny Group (APG) representa uma colaboração internacional de botânicos que desenvolveu um sistema de classificação baseado inteiramente em dados filogenéticos. O sistema APG IV (2016), a versão mais recente, reorganizou completamente a classificação das plantas com flor, eliminando grupos parafiléticos e criando uma classificação que reflete verdadeiras relações evolutivas.

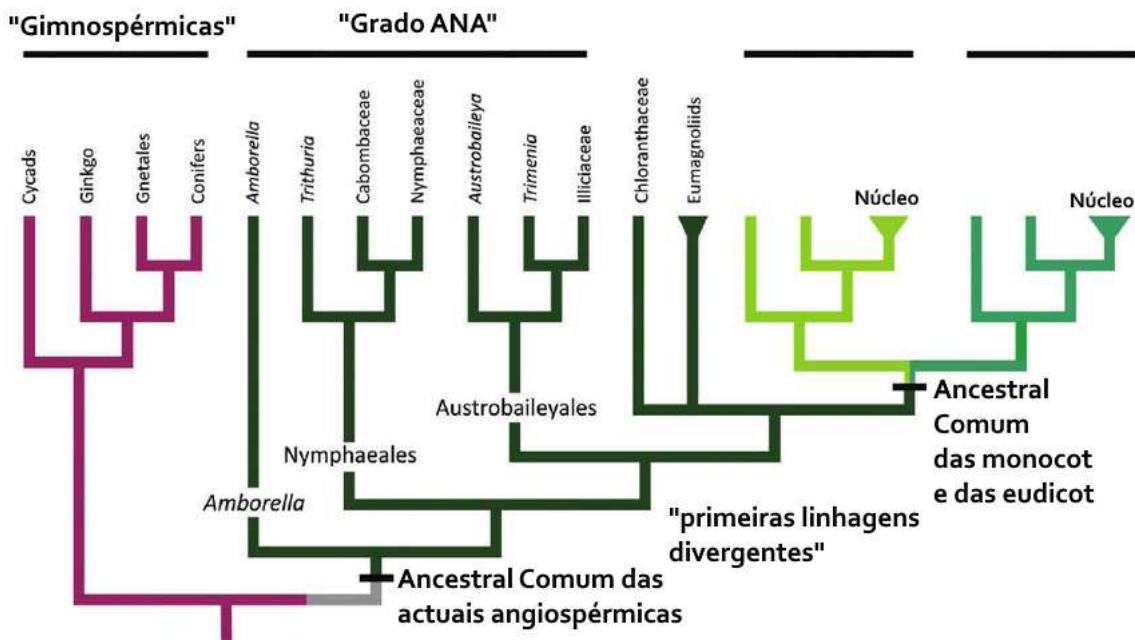


Figura 24. Relações filogenéticas das plantas com sementes actuais. Para facilitar a discussão, grupos artificiais específicos são nomeados e codificados por cores (ramo cinzento indica linhagem caulinar das angiospérmicas). "Gimnospermas" denota plantas com sementes não floríferas, um grupo que pode ou não ser monofilético (Mathews et al. 2010). A "classificação ANA" inclui três linhagens, enquanto "linhagens divergentes iniciais" indica estas, para além das **Chloranthaceae** e dos eumagnoliídeos. Muitas destas linhagens antigas estão representadas nos registos fósseis mais antigos de angiospérmicas, e os taxa existentes exibem uma série de aspectos estruturais plesiomórficos da reprodução das angiospérmicas (Friis et al. 2006, 2010). Filogenia baseada em Jansen et al. (2007), Moore et al. (2007) e Angiosperm Phylogeny Group (2009).

Uma das principais inovações do sistema APG foi o abandono das categorias taxonómicas intermédias tradicionais (como subclasses) em favor de uma hierarquia mais flexível baseada em clados bem suportados. Por exemplo, as antigas "Dicotiledóneas" foram divididas em vários grupos não relacionados, enquanto as "Monocotiledóneas" foram confirmadas como um grupo natural.

4.3 Marcadores Moleculares na Sistemática Vegetal

Os marcadores moleculares mais utilizados na sistemática vegetal incluem:

- *rbcL*: Gene cloroplástico que codifica a enzima RuBisCO, útil para relações entre famílias e ordens
- *matK*: Gene cloroplástico com evolução mais rápida, adequado para relações entre géneros e espécies
- ITS: Região do espaçador nuclear, muito variável, usada para estudos ao nível de espécie
- *trnL-F*: Região intergénica cloroplastidial, útil para estudos populacionais

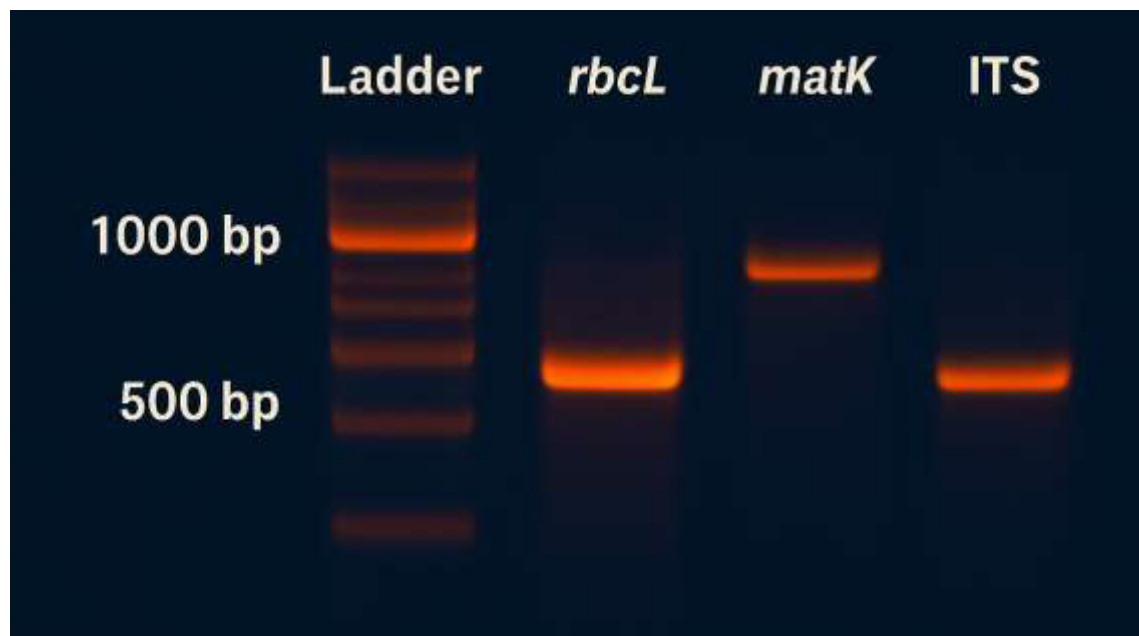


Figura 25. Gel de eletroforese mostrando produtos de PCR de diferentes marcadores moleculares (*rbcL*, *matK*, *ITS*) amplificados a partir de DNA extraído de folhas secas de herbário

4.4 Filogenómica: O Futuro da Sistemática

A filogenómica, que utiliza genomas completos ou grandes conjuntos de genes, está a revolucionar novamente a sistemática vegetal. Projetos como o "1000

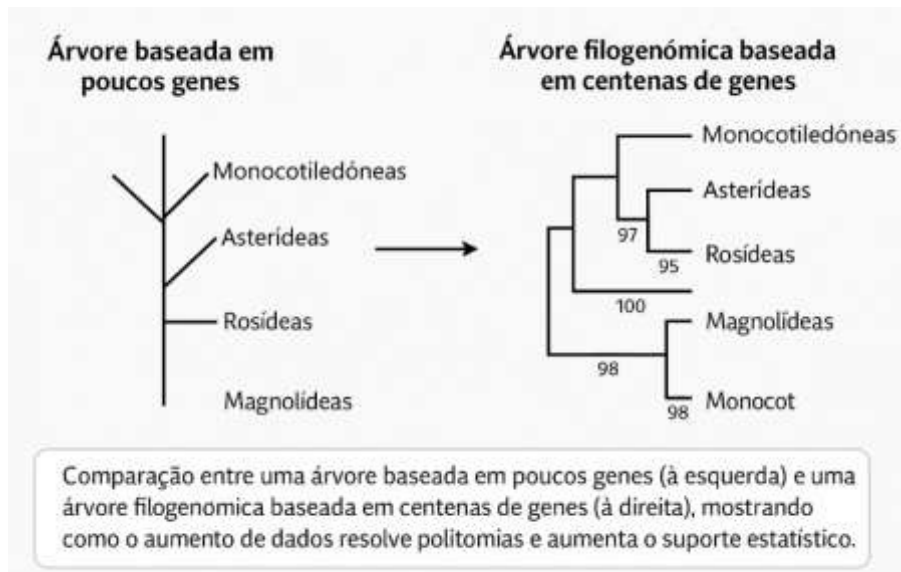


Figura 26. Comparação entre uma árvore baseada em poucos genes (à esquerda) e uma árvore filogenómica baseada em centenas de genes (à direita), mostrando como o aumento de dados resolve politomias e aumenta o suporte estatístico

Plant Transcriptomes Initiative" e o "*Plant Tree of Life*" estão a gerar dados sem precedentes sobre as relações evolutivas das plantas.

Estes dados estão a revelar a complexidade da evolução vegetal, incluindo eventos de hibridação antiga, transferência horizontal de genes, e duplicações genómicas que moldaram a diversidade atual. A filogenómica também está a permitir datar com maior precisão os eventos evolutivos, correlacionando-os com mudanças climáticas e geológicas do passado.

4.5 Implicações para a Conservação

A filogenia tem implicações diretas para a conservação da biodiversidade. A diversidade filogenética — a quantidade de história evolutiva representada num conjunto de espécies — é agora reconhecida como uma métrica importante para priorizar esforços de conservação. Preservar espécies que representam linhagens evolutivas únicas é crucial para manter a diversidade genética e funcional dos ecossistemas.

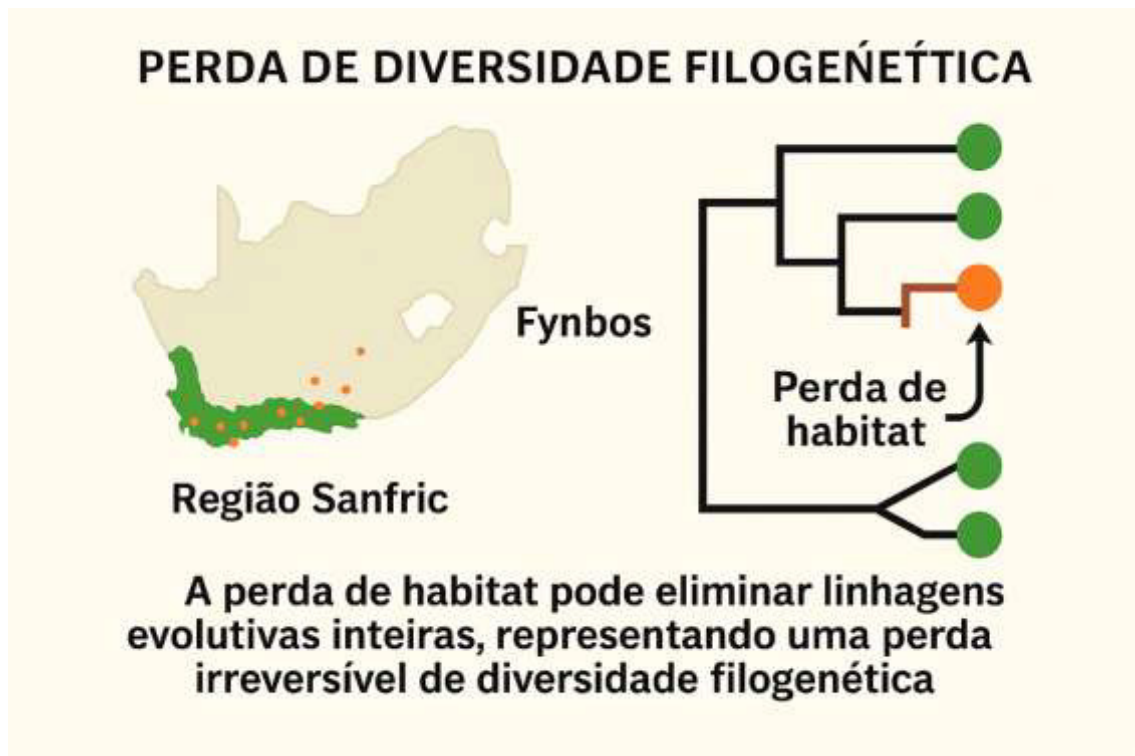


Figura 27. A imagem representa a **região florística do Cabo**, com destaque para o **bioma Fynbos**, uma das áreas com maior **diversidade filogenética vegetal** do planeta. A distribuição geográfica das **espécies endêmicas** é indicada por pontos coloridos no mapa, cada cor representando uma linhagem distinta. À direita, uma **árvore filogenética simplificada** mostra as relações evolutivas entre essas espécies. Os ramos mais antigos (basais) estão na base da árvore, enquanto os mais recentes (derivados) estão nas extremidades. Cada folha da árvore corresponde a uma espécie endêmica presente no mapa. As áreas sombreadas em vermelho no mapa indicam **zonas de perda de habitat** devido à urbanização, agricultura intensiva e espécies invasoras. As linhas tracejadas que ligam essas zonas a ramos da árvore filogenética ilustram como a **destruição localizada pode eliminar linhagens evolutivas inteiras**, muitas das quais não têm representantes fora da região. Esta perda representa uma **erosão irreversível da diversidade filogenética**, comprometendo não apenas a biodiversidade atual, mas também o potencial evolutivo futuro do bioma.

Referências

- APG IV. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. Botanical Journal of the Linnean Society, 181(1), 1-20.
- Chase, M.W., et al. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. Botanical Journal of the Linnean Society, 181(1), 1-20.
- Soltis, D.E., & Soltis, P.S. (2019). The role of hybridization in plant speciation. Annual Review of Plant Biology, 54, 501-524.
- Stevens, P.F. (2001 onwards). Angiosperm Phylogeny Website.
<http://www.mobot.org/MOBOT/Research/APweb/>

Capítulo 5: Identificação de Plantas

A identificação de plantas é uma das competências fundamentais em botânica. Consiste em determinar a identidade taxonómica de um espécime desconhecido, comparando-o com descrições, ilustrações ou espécimes de referência. Este processo requer conhecimento morfológico, acesso a recursos adequados e, cada vez mais, o uso de tecnologias digitais.

5.1 Chaves de Identificação

As chaves dicotómicas são a ferramenta tradicional para identificação de plantas. Consistem numa série de escolhas binárias baseadas em caracteres morfológicos observáveis. Cada escolha leva a uma nova pergunta ou à identificação final.

Chave de identificação de géneros de Pinaceae

1. Folhas dimórficas: escamiformes em macroblastos; aciculares em fascículos sobre braquiblastos	→ <i>Pinus</i>
1'. Folhas sem dimorfismo acentuado, lineares ou aciculares, solitárias.....	→ 2
2. Folhas caducas	→ 3
3. Estróbilos masculinos solitários; escama ovulífera fina e persistente	→ <i>Larix</i>
3'. Estróbilos masculinos em grupos; escama grossa e lenhosa→	<i>Pseudolarix</i>
2'. Folhas perenes	→ 4
4. Estróbilos bianuais/trianuais; folhas quadrangulares em secção	→ <i>Cedrus</i>
4'. Estróbilos anuais; folhas achatadas	→ 5
5. Estróbilos pequenos (2–6 cm)	→ 6
6. Folhas sésseis	→ 7
7. Bases foliares persistentes; estróbilos pendentes	→ <i>Picea</i>
7'. Cicatrizes foliares; estróbilos erectos	→ <i>Abies</i>
6'. Folhas pecioladas	→ 8
8. Bráctea não excerta (não saliente)	→ <i>Tsuga</i>
8'. Bráctea excerta	→ <i>Nothotsuga</i>
5'. Estróbilos grandes (>6 cm); pendentes; semente menor que a escama	→ <i>Pseudotsuga</i>

Figura 28. Exemplo de chave dicotómica ilustrada para identificação de famílias de árvores comuns.

Uma chave bem construída deve:

- Usar caracteres facilmente observáveis
- Evitar caracteres sazonais (como flores ou frutos) quando possível
- Incluir ilustrações ou fotografias dos caracteres
- Fornecer medidas precisas quando relevante
- Incluir sinónimos e nomes vernáculos

con las especies descritas hasta el momento. En este sentido, la forma de la inflorescencia (ocasionalmente acortada o en racimo) y la relación "ancho del escapo"/"longitud máxima de las hojas", así como la anchura de esas, son los caracteres morfológicos que sirven para diagnosticar mejor esta especie que, en la Península Ibérica y el NW de la costa africana, muestra una importante y continua variabilidad morfológica. Ejemplos de esta variabilidad son los táxones *S. meana*, distribuida por el centro-SW de la zona cantábrica, y *S. pusa*, endemismo canario. En ambos casos, la variabilidad morfológica observada no ha permitido delimitar claramente de estas especies a otros individuos con las características de *S. verna* subsp. *ramburi* o de *S. verna* subsp. *verna*, respectivamente.

Por otro lado, se ha usado por sinónimos el taxón *S. meana* [cf. R.M. Almeida de Sá & al. in *Árbol. Bot. Madrid* 30: 235-240 (1992)], debido a su extrema similitud morfológica con la subsp. *ramburi*: el aspecto más huerano, con hojas más grandes, además de unos sépalos igualmente más desarrollados y un bulbo doble (aunque solo uno de estos bulbos desarrolla según otros), es inabarcable si tenemos en cuenta la profundidad, rigidez y humedad de los suelos en los que prosperan sus poblaciones.

1. Inflorescencia hasta de 5,5 cm, corimbiforme; hojas más cortas que el tallo y que raramente alcanzan el punto medio de la inflorescencia, de 0,2-0,5(1,5) cm de anchura **a. subsp. *verna***
 - Inflorescencia 4-20(33) cm, en racimo; hojas que al menos alcanzan el punto medio de la inflorescencia, de 0,3(0,6)-1,8 cm de anchura **b. subsp. *ramburi***

a. subsp. *verna*

S. meana S. Ortiz & al. in *Nordk. J. Bot.* 13: 139, fig. 1, fig. 2a (1991)
S. meana, Fl. Ib. Franco 10, pl. 378 fig. 250 (1929); *lin.* 27 a-g

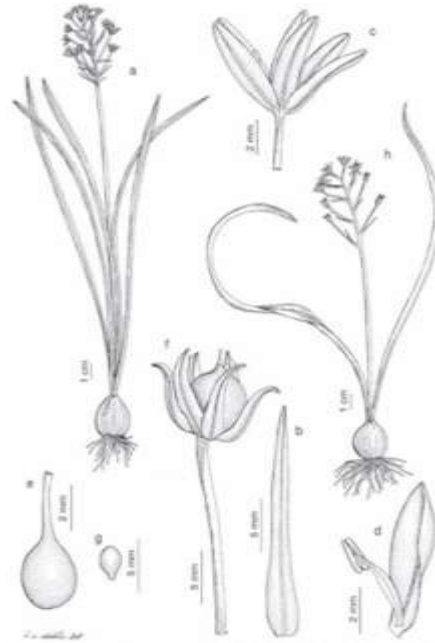
Bulbo de (0,7)1-2,1(3) cm de diámetro; tunicas externas pardas o rojizas. Tallo 5-15(27) cm. Hojas (1)2-8 -en ocasiones 10 o más-, de (3)6-19(30) × 0,2-0,5(1,5) cm, más cortas que el tallo y que raramente alcanzan el punto medio de la inflorescencia, de lineares a lineo-lanceoladas. Inflorescencia hasta de 5,5 cm, corimbiforme, con 2-4(25) flores; brácteas de las flores inferiores (3)6-20(21) mm, de longitud parecida a la de los pedicelos, excepcionalmente un poco más largas; pedicelos de las flores inferiores 5-25(30) mm, poco acroscentes. Tépalos 5,5-7,5(9) mm, elípticos, subaguados, azules o violetas. $2n = 20, 22$.

Padres, gajos, macerados hipúricos o subulados bitónicos, a veces en sitios arenosos del litoral. 0-2500(200) m. (E)E-VI. Europa atlántica -zona continental e ibero-báltica- de Noruega a la Península Ibérica. Principalmente en la mitad W de la Península. Esp.: (A) Ar (B) Ba (C) Ca (D) Ce (E) La (G) G (I) M (N) O (Q) P (R) S (T) U (V) Z (A) Pa. Port.: Ag (A) B (D) E (G) TM.

b. subsp. *ramburi* (Beiss.) K. Richt., Pl. Eur. 1: 220 (1890) [*Ramburia*]

S. ramburi Beiss., *Hortich. Pl. Nov.* 80 (1838) ["*ramburi*"] (*basin.*)
S. ramburi Link in *J. Bot. (Schrad.)* 7: 992 (1800)
S. pusa Lacour in *Carandilla* 1: 13 (1928)
S. meana (Guimp. in *Bot. Soc. Stock.* ser. 2, 7: 125 (1831))
S. ramburi subsp. *meana* (Guimp.) Franco & Rada *Albano in Franco*, *Nova Fl. Portugal* 3(1): 68 (1994)
Ind. bot. -"Wegener" C) *Rambur* *zink* *Antiquaria*
S.: Václav, *Talavera & Galano* (eds.), *Fl. Andalucía Occid.* 1: 441 (1987), *lin.* 27 b

Bulbo de (0,8)1,5-2,6(3,2) cm de diámetro; tunicas externas pardas. Tallo



Lin. 27 -*Silla verna* subsp. *verna*, a, c-e) La Hazienda, Trazo Val de San Pedro, Segovia (MA 74 428), b, c) San Román, Cantabria (MA 62253) d) *habitus*, 3) *bráctea*, 4) *flor*, vista lateral, e) *sepalos* y *estipulas*; f) *gineceo*; g) *sigilla* con restos de periancio; h) *análisis*; i) *verna* subsp. *ramburi*; Canal de Madrid, Madrid, Vigo, Pontevedra (SALA 124889); k) *habitus*.

Figura 29. Página de uma flora regional ((Flora Iberica) mostrando uma chave dicotômica tradicional com ilustrações botânicas detalhadas. É de destacar a qualidade das ilustrações científicas, mostrando detalhes morfológicos essenciais como venação foliar, tipos de inflorescência, e estrutura floral em corte longitudinal.

5.2 Caracteres Morfológicos Importantes

A identificação baseia-se na observação sistemática de caracteres morfológicos. Os mais importantes incluem:

- Folhas: Forma, margem, venação, disposição no caule, presença de estípulas
- Flores: Simetria, número de peças, fusão de pétalas, posição do ovário

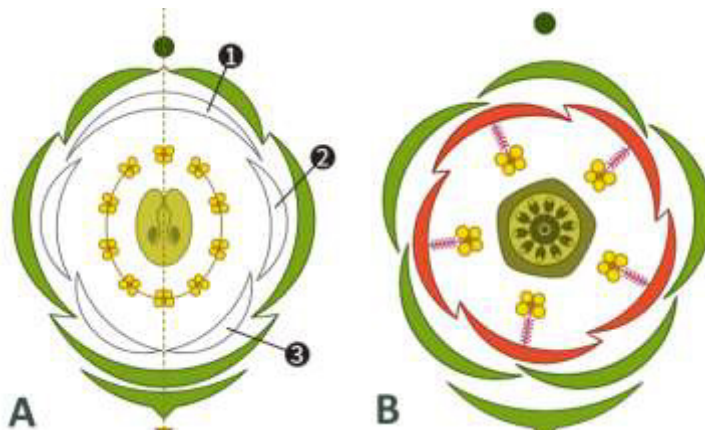
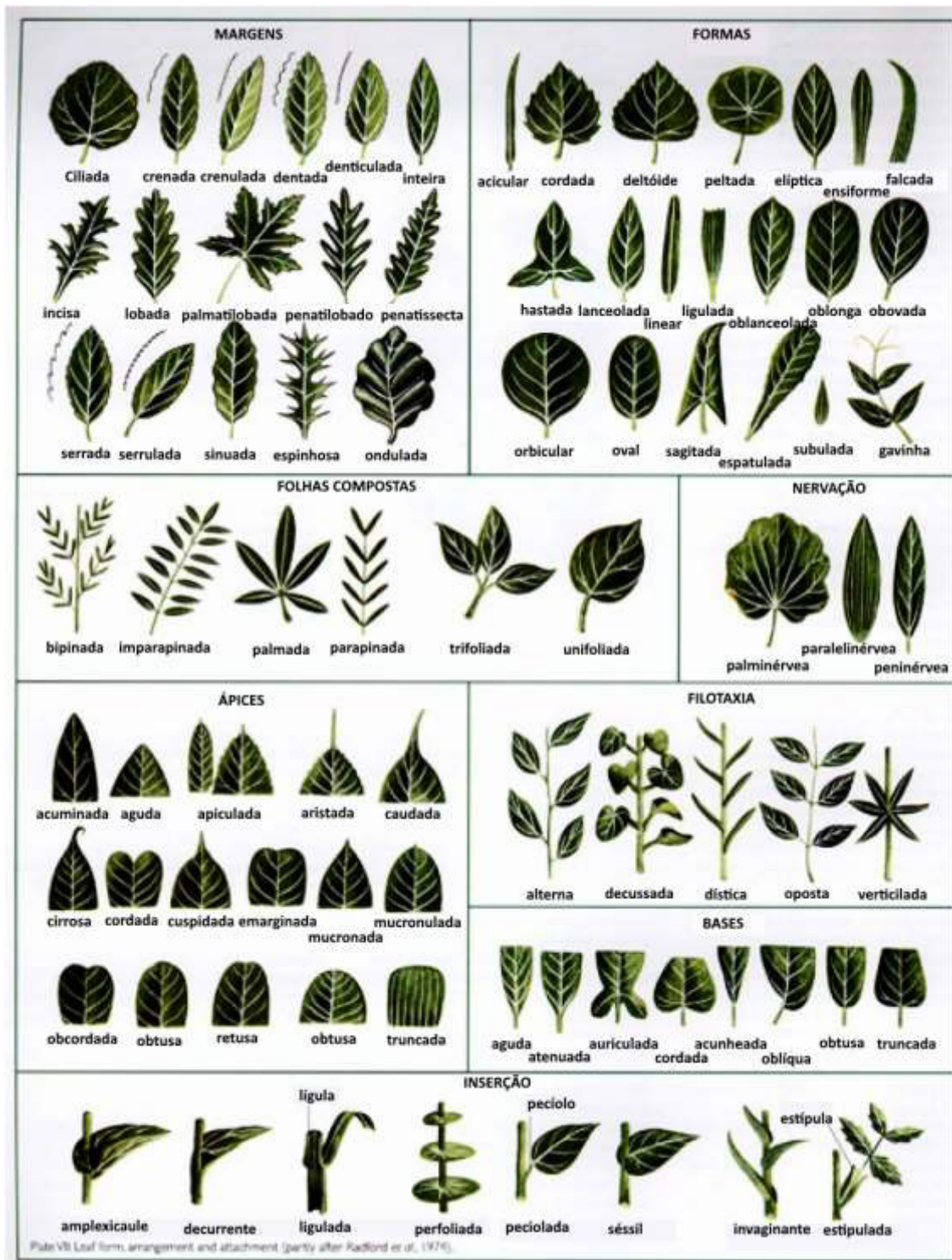


Figura 30. Diagrama floral comparativo mostrando diferentes tipos de simetria (zigomórfica vs. actinomórfica.), posição do ovário (súpero, ínfero), e fusão de pétalas (dialipétala vs. simpétala). Usar cortes longitudinais esquemáticos com legendas claras.

Frutos: Tipo (cápsula, baga, drupa), deiscência, número de sementes
 Caule: Tipo (herbáceo, lenhoso), ramificação, presença de espinhos.



5.3 Tecnologias Digitais na Identificação

As tecnologias digitais estão a revolucionar a identificação de plantas. Aplicações como iNaturalist, PlantNet, e Seek utilizam inteligência artificial para



Figura 31. Screenshot de uma aplicação de identificação de plantas (iNaturalist) mostrando o processo: de identificação

identificar plantas a partir de fotografias. Estas ferramentas são especialmente úteis para principiantes e para identificação rápida no campo.

No entanto, é importante reconhecer as limitações destas tecnologias:

- Dependem da qualidade da fotografia
- Podem confundir espécies morfológicamente similares
- Têm melhor desempenho com espécies comuns
- Requerem verificação por especialistas para confirmação

5.4 Recursos para Identificação

Os recursos modernos para identificação incluem:

Floras regionais: Obras especializadas que cobrem a flora de uma região específica
Bases de dados online: Como Flora Iberica, Flora Europaea, e Floras



Figura 32. Na identificação de plantas por profissionais as lupas binoculares, as floras e guias de identificação e os recursos digitais, são ferramentas de uso diário.

Herbários digitais: Coleções de espécimes digitalizados com dados de localização

Redes sociais científicas: Plataformas onde especialistas ajudam na identificação

5.5 Boas Práticas na Identificação

Para uma identificação eficaz:

1. Observe sistematicamente: Examine todos os órgãos disponíveis
2. Documente com fotografias: Registre diferentes ângulos e detalhes
3. Use múltiplas fontes: Compare resultados de diferentes chaves ou aplicações
4. Procure confirmação: Consulte especialistas quando em dúvida
5. Mantenha registos: Documente o processo e as fontes utilizadas

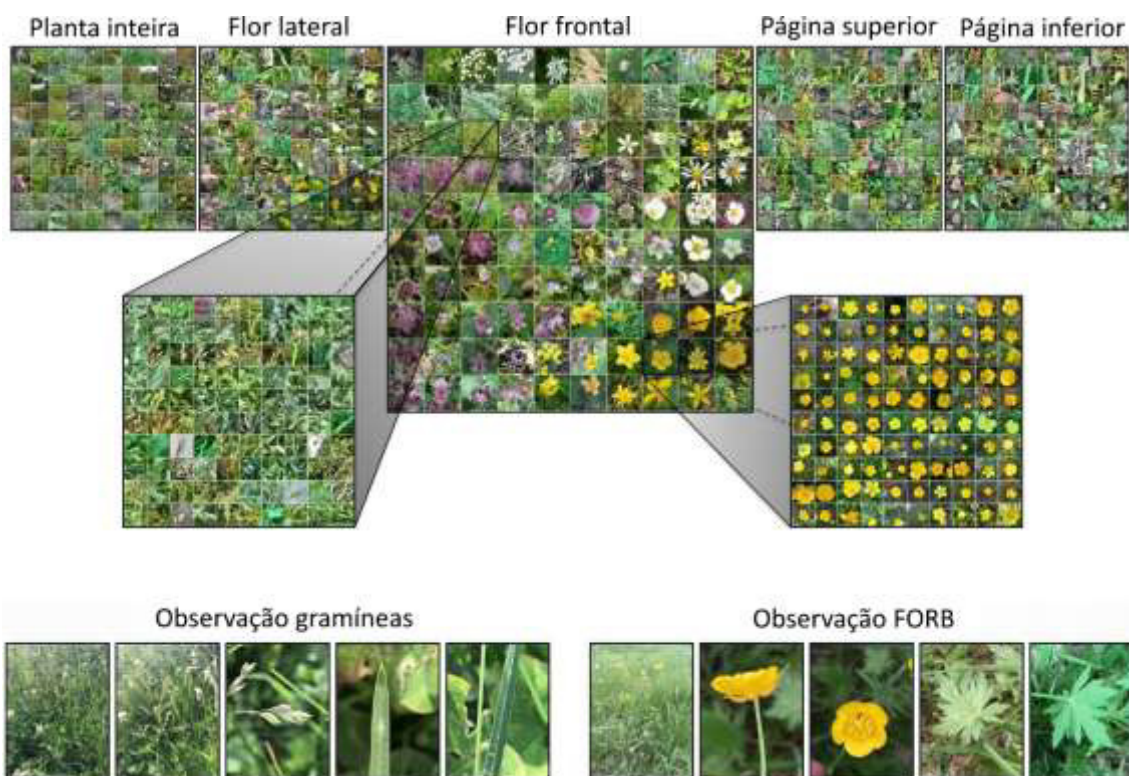


Figura 33. documentação adequada de uma planta para identificação: planta inteira no habitat, close-up das folhas (face superior e inferior), flores em detalhe, frutos, e casca (se árvore). Incluir régua ou objeto para escala em cada fotografia.

A identificação correta é fundamental para qualquer trabalho botânico subsequente. Uma identificação errada pode invalidar estudos ecológicos, comprometer programas de conservação, ou levar a conclusões científicas incorretas. Por isso, a identificação deve ser sempre encarada com seriedade e rigor científico.

Referências

- Castroviejo, S. (coord.). (1986-2019). Flora Iberica. Real Jardín Botánico, CSIC.
- Govaerts, R. (2001). How many species of seed plants are there? *Taxon*, 50(4), 1085-1090.
- Joppa, L.N., et al. (2011). How many species of flowering plants are there? *Proceedings of the Royal Society B*, 278(1705), 554-559.
- Tutin, T.G., et al. (1964-1980). *Flora Europaea*. Cambridge University Press.

Capítulo 6: Trabalho de Campo e Coleta de Espécimes

O trabalho de campo é o coração da botânica. É no terreno que se descobrem novas espécies, se estudam populações naturais, e se coletam os espécimes que alimentam herbários e investigações. Uma coleta bem executada pode fornecer dados valiosos durante décadas; uma coleta mal feita pode ser inútil ou até enganadora.

6.1 Planeamento da Expedição

O sucesso de uma expedição botânica começa com um planeamento cuidadoso. É necessário:

- Definir objetivos claros: Que espécies ou habitats se pretende estudar?
- Escolher a época adequada: Quando as plantas estão em flor ou fruto?
- Obter autorizações: Licenças de coleta, autorizações de acesso
- Preparar equipamento: Prensa, papel, etiquetas, GPS, câmara
- Estudar a área: Mapas, literatura, contactos locais

6.2 Equipamento Essencial

O equipamento básico para trabalho de campo inclui:

Para coleta:

- Prensa botânica com papel absorvente
- Sacos de plástico para transporte temporário
- Podão e canivete para cortar espécimes
- Lupa de campo (10x) para observação de detalhes
- Régua ou fita métrica para medições

Para documentação:

- Caderno de campo resistente à água
- Etiquetas pré-impressas
- Lápis (não caneta, que pode desbotar)
- GPS para coordenadas precisas
- Câmara fotográfica com macro



Figura 34. Fotografia de equipamento de campo. Além da prensa botânica, papel absorvente, sacos de coleta, GPS, lupa, caderno de campo, etiquetas, e ferramentas de corte e para cavar, são absolutamente imprescindíveis.

6.3 Técnicas de Coleta

A coleta de um espécime deve seguir princípios rigorosos:

Seleção do espécime: Escolher indivíduos representativos, evitando plantas doentes ou atípicas. Coletar preferencialmente espécimes com flores e frutos.

Quantidade adequada: Coletar material suficiente para preparar 2-3 folhas de herbário, mas sem comprometer a população.

Documentação imediata: Registrar no caderno de campo todos os dados relevantes antes que sejam esquecidos.

6.4 Dados de Campo Essenciais

Cada coleta deve ser acompanhada de uma etiqueta com informações completas:

Localização geográfica:

- País, distrito, concelho, freguesia
- Localidade específica com pontos de referência
- Coordenadas GPS (datum WGS84)
- Altitude

Dados ecológicos:

- Habitat (floresta, prado, rocha, etc.)
- Tipo de solo (se conhecido)
- Exposição (norte, sul, etc.)
- Espécies associadas

Dados da planta:

- Hábito (árvore, arbusto, erva)
- Altura aproximada
- Abundância local (rara, comum, abundante)
- Estado fenológico (botão, flor, fruto)

Dados da coleta:

- Data completa (dia/mês/ano)

HERBARIUM UNIVERSITATIS COIMBRIGENSIS (COD)
FLORA LUSITANICA EXSICCATA

Rhus immiter var. *uskelensis* R. Fern. & A. Fern.

Det.: Fernandes, R. 25-iv-1963

Loc.: Southern Africa, Nyasaland, Lilongwe

Descr.: Small tree to about 15' high, bark rough and scabrid. Leaflets bluntly serrated. Only now coming into flower, as compared with other local spp. which flower at the start of the hot season.

Hab. & Ecol.: In *Brachystegia* woodland at about 3,000' in Likabala valley, & at about 2,300' at Palombe Mission.

Coll.: Chapman, J. D.

Data.: 25 iv 1963 Alt.: 3000.0 m N° 548

Figura 35. Exemplo de etiqueta de herbário preenchida corretamente, mostrando todos os campos essenciais (Univ. Coimbra).

- Nome do(s) coletor(es)
- Número de coleta
- Observações

6.5 Preparação de Espécimes

A preparação adequada dos espécimes é crucial para a sua preservação:

Prensagem imediata: Os espécimes devem ser prensados o mais rapidamente possível após a coleta. Folhas grandes podem ser dobradas em

"N" ou "M".

Arranjo cuidadoso: Dispor o material de forma a mostrar características importantes (face superior e inferior das folhas, estrutura das flores).

Secagem rápida: Trocar o papel absorvente diariamente nos primeiros dias, depois com menor frequência.



Figura 36. Demonstração da técnica de prensagem: espécime sendo arranjado numa folha de papel, mostrando como dobrar folhas para melhor visualização (Univ. Coimbra)

6.6 Ética e Legislação

A coleta de plantas está sujeita a regulamentação legal e princípios éticos:

Legislação nacional: Muitos países têm leis que protegem espécies raras ou regulamentam a coleta em áreas protegidas.

Convenções internacionais: CITES regula o comércio de espécies ameaçadas; Protocolo de Nagoya regula o acesso a recursos genéticos.

Ética da coleta: Não coletar espécies raras sem justificação científica; respeitar propriedade privada; minimizar impacto nas populações.

Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas

Divisão de Aplicação de Normativos
Departamento de Conservação da Natureza e da Biodiversidade
Av. Dr. Alfredo Magalhães Ramalho 1
1495-165 ALGÉS, PORTUGAL
email: cites@icnf.pt

PEDIDO DE LICENÇA PARA COLHEITA OU DETENÇÃO DE ESPÉCIMENS DE PLANTAS SELVAGENS

POR FAVOR, LEIA ATENTAMENTE AS NOTAS QUE SE SEGUEM ANTES DE PREENCHER O FORMULÁRIO

Este formulário destina-se aos interessados em obter licenças para trabalhos que tenham objetivos científicos, educacionais ou conservacionistas. Os pedidos de licença serão analisados ao abrigo do Decreto-Lei nº 140/99, de 24 de Abril e do Decreto-Lei nº 38/2021, de 31 de maio.

- Todas as secções do formulário relacionadas com o tipo de licença solicitado devem ser obrigatoriamente preenchidas.
- Por espécimen de planta entende-se a planta por inteiro ou qualquer parte da mesma.
- O prazo para autorização dos atos e atividades acima referidos é de 45 dias úteis, considerando-se indeferido o

Figura 37. Pedido de Licença para Colheita de material vegetal para fins científicos. Em Portugal não se podem colher plantas em qualquer local, sendo estritamente proibido danificar ou colher plantas em espaços verdes públicos e privados de uso público, e para colher plantas na propriedade de outros é necessário o consentimento do proprietário. Para fins científicos e comerciais existem modelos na página do ICNF.

6.7 Tecnologias Modernas no Campo

As tecnologias modernas estão a transformar o trabalho de campo:

- GPS de alta precisão: Permite localização exata dos espécimes
- Aplicações móveis: Para identificação preliminar e registo de dados
- Fotografia digital: Documentação detalhada de características
- Bases de dados portáteis: Acesso a informação taxonómica no campo



Figura 38. Uso de tecnologia moderna: tablet com aplicação de identificação

O trabalho de campo bem executado é um investimento no futuro da botânica. Cada espécime coletado com rigor pode contribuir para descobertas científicas, programas de conservação, ou educação durante décadas. Como afirmou o explorador botânico Richard Spruce, "um espécime bem coletado vale mais que mil mal coletados".

Referências

- Alexiades, M.N. (1996). Collecting ethnobotanical data: An introduction to basic concepts and techniques. In M.N. Alexiades (Ed.), *Selected Guidelines for Ethnobotanical Research* (pp. 53-94). New York Botanical Garden.
- Bridson, D., & Forman, L. (1998). *The Herbarium Handbook* (3rd ed.). Royal Botanic Gardens, Kew.
- Funk, V.A. (2003). 100 uses for an herbarium (well at least 72). *ASPT Newsletter*, 17(2), 17-19.

- Thiers, B. (2019). Index Herbariorum: A global directory of public herbaria and associated staff. New York Botanical Garden's Virtual Herbarium.
<http://sweetgum.nybg.org/science/ih/>

Capítulo 7: O Futuro da Taxonomia Vegetal

A taxonomia vegetal está numa fase de transformação acelerada. Novas tecnologias, desde a sequenciação de genomas completos até à inteligência artificial, estão a revolucionar a forma como descobrimos, descrevemos e classificamos a diversidade vegetal. Ao mesmo tempo, a crise da biodiversidade torna urgente a necessidade de acelerar o conhecimento taxonómico antes que muitas espécies se extingam sem sequer terem sido descobertas.

7.1 A Revolução Genómica

A sequenciação de DNA tornou-se mais rápida, barata e acessível. Projetos como o "Earth BioGenome Project" pretendem sequenciar os genomas de todas as espécies eucariotas conhecidas, incluindo todas as plantas. Esta informação genómica está a revelar:

- Relações evolutivas ocultas: Espécies morfologicamente similares que são evolutivamente distantes
- Especiação críptica: Múltiplas espécies escondidas sob um único nome
- Hibridação antiga: Eventos de hibridação que moldaram a evolução das plantas
- Duplicações genómicas: Eventos de poliploidização que impulsionaram a diversificação

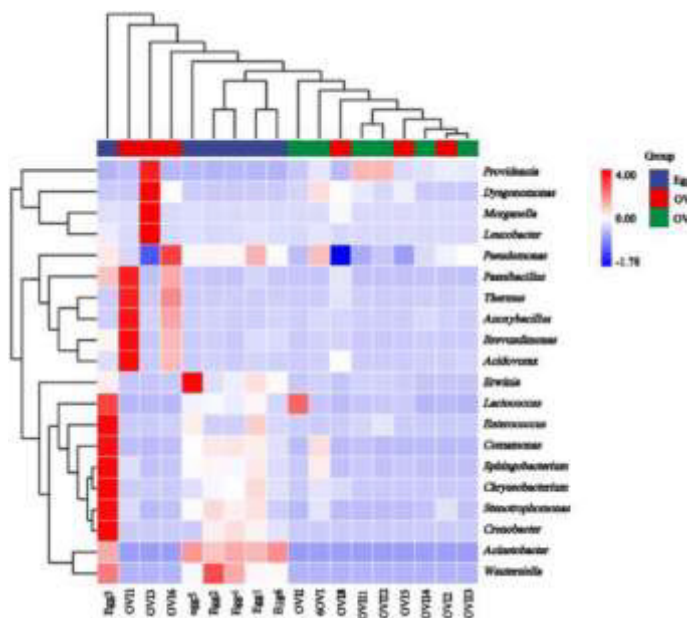


Figura 39. Heat map of species compositions. Heat map with high abundances at the genus level (sorted by abundance).

7.2 Inteligência Artificial e Aprendizagem Automática

A inteligência artificial está a transformar múltiplos aspetos da taxonomia:

Identificação automática: Algoritmos de visão computacional podem identificar plantas a partir de fotografias com precisão crescente.

- Descoberta de padrões: Machine learning pode detectar padrões morfológicos subtis que escapam ao olho humano.
- Análise de “big data”: IA pode processar enormes conjuntos de dados genómicos, morfológicos e ecológicos simultaneamente.

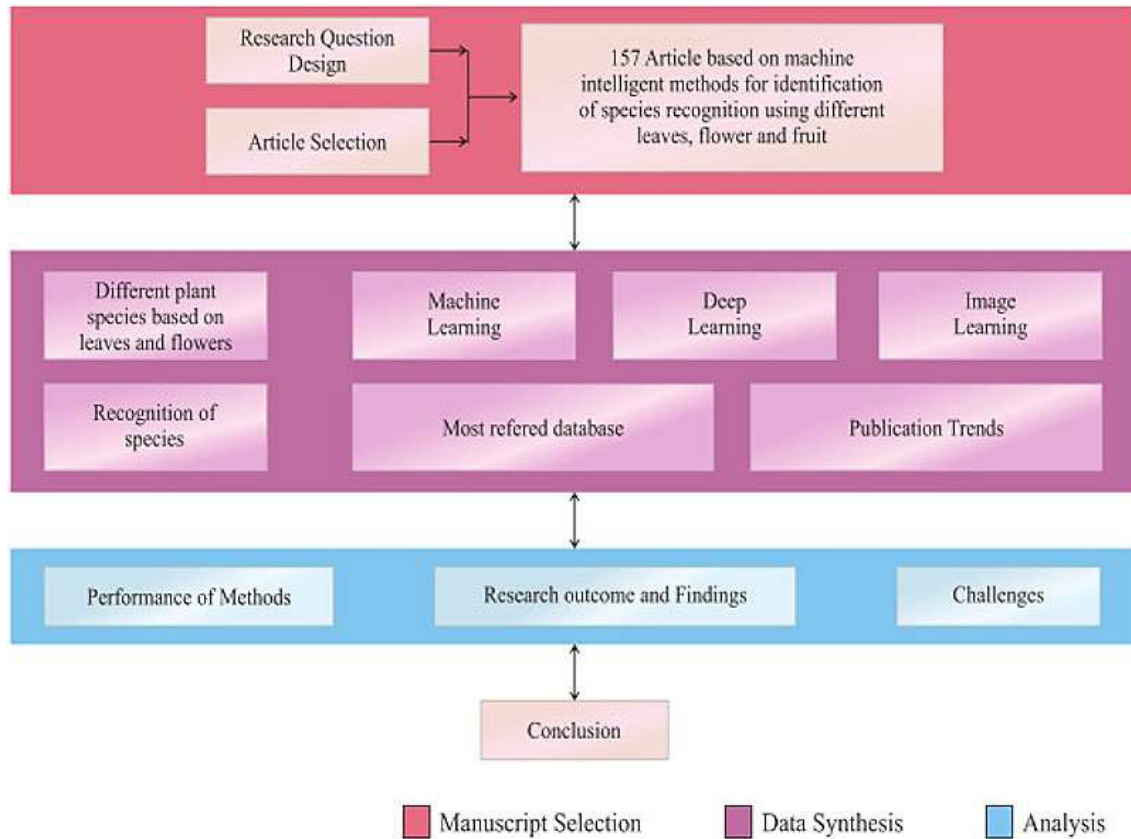


Figura 40. Interface de um sistema de IA para taxonomia: mostrar como algoritmos analisam simultaneamente imagens, dados genómicos, e informação ecológica para sugerir classificações (Barhate et al., 2024).

7.3 Ciência Cidadã e Democratização do Conhecimento

A participação do público na investigação científica está a expandir dramaticamente a capacidade de recolha de dados:

Plataformas colaborativas: iNaturalist, eBird, e outras plataformas permitem que milhões de pessoas contribuam com observações.

Qualidade dos dados: Sistemas de validação por especialistas garantem a qualidade das identificações.

Cobertura geográfica: Cidadãos cientistas acedem a locais remotos ou pouco estudados.

[Figura 7.3] Mapa mundial mostrando a densidade de observações de plantas no iNaturalist, destacando tanto áreas bem amostradas (Europa, América do Norte) como lacunas de conhecimento (África Central, Amazónia). Incluir gráfico temporal mostrando o crescimento exponencial das contribuições de ciência cidadã.

7.4 Desafios da Taxonomia Integrativa

A taxonomia moderna integra múltiplas fontes de evidência:

- Dados morfológicos: Características tradicionais observáveis
- Dados moleculares: Sequências de DNA e RNA
- Dados ecológicos: Habitat, distribuição, interações
- Dados químicos: Metabólitos secundários, compostos bioativos
- Dados comportamentais: Polinizadores, dispersores, fenologia

Diagrama conceitual da taxonomia integrativa

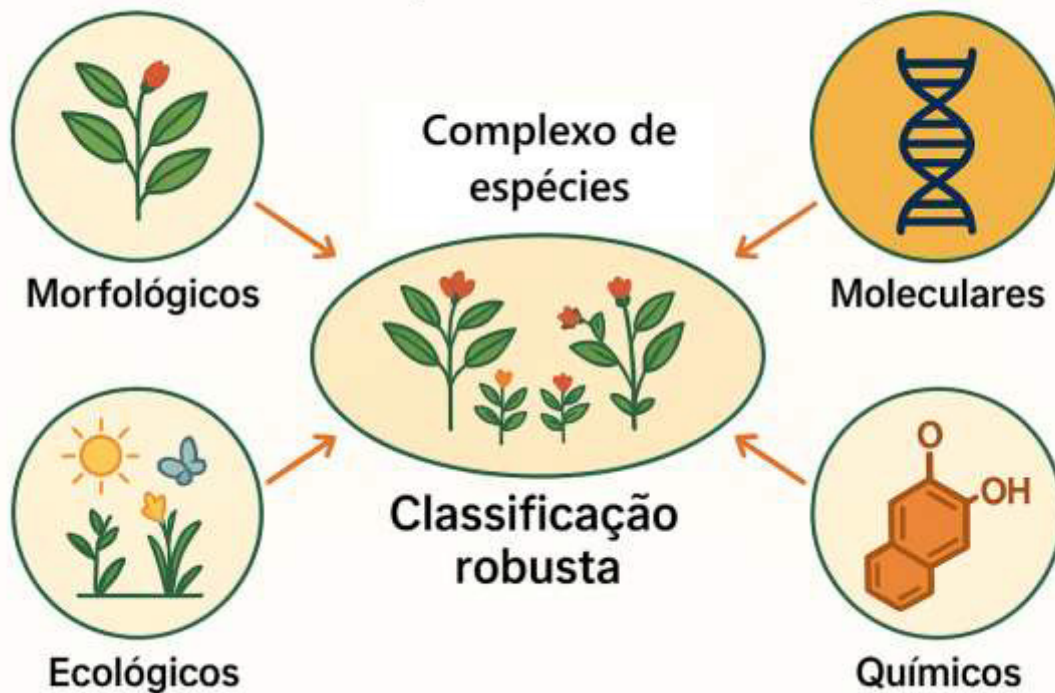


Figura 41. A taxonomia integrativa: mostra como diferentes tipos de dados (morfológicos, moleculares, ecológicos, químicos) convergem para uma classificação robusta.

Esta abordagem integrativa permite:

- Delimitação mais precisa de espécies
- Descoberta de diversidade críptica
- Compreensão dos processos evolutivos
- Classificações mais estáveis e preditivas

7.5 Herbários Digitais e Acesso Global

A digitalização de herbários está a democratizar o acesso aos espécimes-tipo e a criar possibilidades de investigação:

- Acesso universal: Qualquer investigador pode examinar tipos nomenclaturais sem viajar

- Análise de big data: Milhões de espécimes podem ser analisados simultaneamente
- Preservação digital: Backup permanente contra perda ou destruição
- Novas métricas: Análise de formas, cores, e padrões em grande escala



Figura 42. Comparação temporal: herbário tradicional com investigador examinando espécimes físicos (à esquerda) vs. investigador moderno analisando milhares de espécimes digitalizados simultaneamente num ecrã (à direita).

7.6 Desafios Éticos e Legais

O avanço da taxonomia levanta questões éticas importantes:



Figura 43 Infográfico mostrando o fluxo desde a descoberta de uma planta medicinal numa comunidade tradicional até ao desenvolvimento de um fármaco, destacando pontos onde benefícios devem ser partilhados equitativamente segundo o Protocolo de Nagoya.

- Biopirataria: Uso comercial de recursos genéticos sem benefício para países de origem
- Protocolo de Nagoya: Regulamentação internacional do acesso a recursos genéticos
- Propriedade intelectual: Quem possui os direitos sobre sequências genómicas?
- Justiça epistémica: Como incluir conhecimento tradicional na taxonomia formal?

7.7 A Corrida Contra a Extinção

Estima-se que existam entre 350.000 e 400.000 espécies de plantas vasculares, mas apenas cerca de 300.000 foram formalmente descritas. Simultaneamente, a taxa de extinção está a acelerar devido a:

- Destruição de habitats
- Mudanças climáticas
- Espécies invasoras
- Poluição
- Sobreexploração

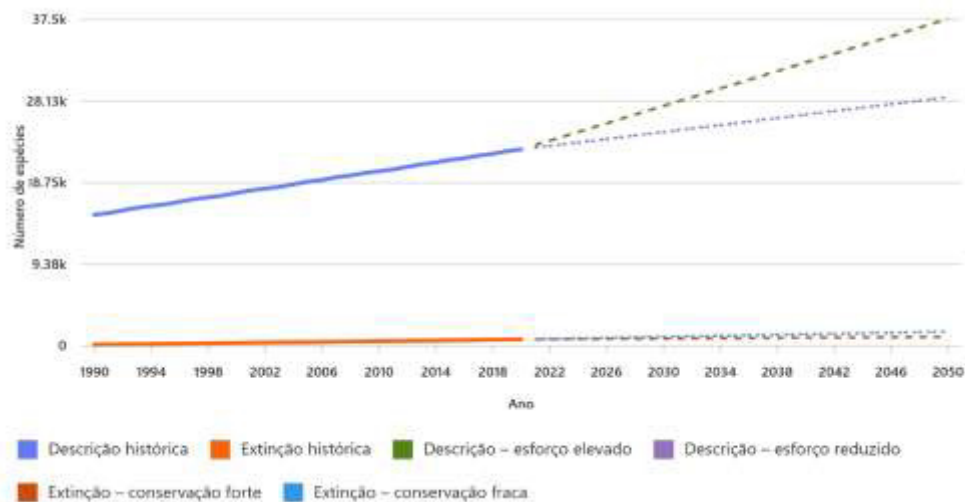


Figura 44. Gráfico da **corrida taxonómica** gerado com base em **dados reais** (IUCN, GBIF e SiBBr), incluindo **projeções futuras** com cenários de esforço taxonómico e conservação.

Esta situação cria uma urgência sem precedentes para acelerar a descoberta e descrição de espécies. Iniciativas como o "Global Strategy for Plant Conservation" estabelecem metas ambiciosas para completar o inventário da flora mundial.

7.8 Novas Fronteiras

As fronteiras da taxonomia vegetal estão a expandir-se:

- Taxonomia funcional: Classificação baseada em função ecológica, não apenas parentesco
- Taxonomia química: Uso de metabolómica para delimitar espécies
- Taxonomia espacial: Integração de dados de distribuição e modelação de nicho
- Taxonomia temporal: Incorporação de dados paleobotânicos e filogenéticos datados



Figura 45. Visualização futurista da taxonomia: interface holográfica mostrando uma árvore filogenética tridimensional interativa, com dados genômicos, ecológicos, e químicos integrados em tempo real

7.9 O Papel dos Taxonomistas do Futuro

O taxonomista do século XXI deve ser:

- Tecnicamente fluente: Capaz de usar ferramentas bioinformáticas e de IA
- Colaborativo: Trabalhando em equipas multidisciplinares globais
- Comunicativo: Capaz de traduzir conhecimento técnico para o público
- Eticamente consciente: Sensível a questões de justiça e equidade
- Conservacionista: Comprometido com a proteção da biodiversidade

A taxonomia vegetal está numa encruzilhada histórica. As ferramentas disponíveis são mais poderosas que nunca, mas os desafios também são maiores.

O sucesso dependerá da capacidade de integrar novas tecnologias com rigor científico tradicional, de colaborar globalmente, e de comunicar eficazmente a importância da diversidade vegetal para a sociedade.

Como afirmou Peter Raven, "estamos a viver a idade de ouro da sistemática, mas também a sua hora mais crítica". O futuro da taxonomia vegetal será determinado pelas escolhas que fazemos hoje.

Referências

- Bakker, F.T. (2017). Herbarium genomics: Plastome sequence assembly from a range of herbarium specimens using an Iterative Organelle Genome Assembly pipeline. *Biological Journal of the Linnean Society*, 117(1), 33-43.
- Barhate, D., Pathak, S., Kumar, B., Kumar Singh, Jain, A. & Kumar Dubey, A. 2024. A systematic review of machine learning and deep learning approaches in plant species detection, *Smart Agricultural Technology*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100605>
- Bebbler, D.P., et al. (2010). Herbaria are a major frontier for species discovery. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(51), 22169-22171.
- Costello, M.J., et al. (2013). Can we name Earth's species before they go extinct? *Science*, 339(6118), 413-416.
- Raven, P.H. (2019). Taxonomy: Where are we now? *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 374(1763), 20180127.
- Wheeler, Q.D. (2018). Taxonomic shock and awe. In Q.D. Wheeler (Ed.), *The New Taxonomy* (pp. 211-226). CRC Press.

8. Conclusão

A botânica sistemática é uma ciência em constante evolução, que combina tradição secular com inovação tecnológica de ponta. Desde os primeiros herbários renascentistas até às modernas bases de dados genômicas, o objetivo permanece o mesmo: compreender, organizar e preservar a diversidade vegetal do nosso planeta.



Figura 46. Montagem temporal mostrando a evolução da botânica sistemática.

Este trabalho procurou fornecer uma introdução aos fundamentos da taxonomia vegetal, desde os princípios da nomenclatura até às fronteiras da investigação contemporânea. Cada capítulo representa um pilar do conhecimento botânico, mas todos estão interligados numa rede complexa de conceitos e práticas.

A nomenclatura fornece a linguagem universal que permite a comunicação científica precisa. O conceito de espécie, embora desafiante em plantas, continua a ser a unidade fundamental da diversidade biológica. A filogenia revela as relações evolutivas que estruturam a classificação moderna. A identificação conecta o conhecimento teórico com a realidade do terreno. O trabalho de campo alimenta os herbários que preservam a evidência física da diversidade. E o futuro promete ferramentas ainda mais poderosas para desvendar os segredos da evolução vegetal.

Para o estudante que inicia esta jornada, lembre-se de que a botânica sistemática é simultaneamente uma ciência rigorosa e uma arte subtil. Requer precisão técnica, mas também intuição e experiência. É uma disciplina que se aprende tanto nos livros como no campo, tanto no laboratório como no herbário.

Para o público interessado na natureza, esperamos ter demonstrado que a taxonomia não é um exercício académico abstrato, mas uma ferramenta essencial

para compreender e proteger a biodiversidade. Cada nome científico conta uma história evolutiva, cada classificação reflete milhões de anos de história natural, cada espécime de herbário é um testemunho da riqueza da vida vegetal.

A diversidade vegetal enfrenta ameaças sem precedentes, mas também beneficia de ferramentas de estudo mais poderosas que nunca. O futuro da botânica sistemática dependerá da nossa capacidade de usar essas ferramentas com sabedoria, de formar novos taxonomistas, e de comunicar a importância desta ciência à sociedade.

Como escreveu o grande botânico português Gonçalo Sampaio, "**o estudo das plantas é uma fonte inesgotável de prazer intelectual e de utilidade prática**". Que este "apanhado" inspire novos estudantes a descobrir esse prazer e a contribuir para o conhecimento da flora que nos rodeia.

A botânica sistemática continua a ser, como disse Peter Raven, "a ciência mais fundamental de todas", porque sem ela não podemos sequer nomear o mundo natural que procuramos compreender e proteger. Que as próximas gerações de botânicos continuem esta nobre tradição, adaptando-a aos desafios do século XXI, mas preservando sempre o rigor, a curiosidade e o respeito pela natureza que caracterizam os melhores taxonomistas.