

Article

# Traços Funcionais de Plantas Nativas do Bioma Cerrado: Uma Revisão Sistemática

Leovigildo Aparecido Costa Santos<sup>1</sup>, Carlos de Melo Silva-Neto<sup>2</sup>, Adriana Carla Dias Trevisan<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais do Cerrado, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, Brasil. ORCID: 0000-0002-5768-8606.

E-mail: leovigildo-santos@uergs.edu.br.

<sup>2</sup> Doutor em Agronomia pela Universidade Estadual de Goiás. Tecnólogo no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Cidade de Goiás, Brasil.

ORCID: 0000-0001-8624-3836. E-mail: carloskoa@gmail.com.

<sup>3</sup> Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Professora adjunta na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Santana do

Livramento, Brasil. ORCID: 0000-0002-5192-6431. E-mail: adriana-trevisan@uergs.edu.br

## RESUMO

O bioma Cerrado abriga mais de 12.000 espécies vegetais nativas, distribuídas em 11 fitofisionomias, incluindo áreas campestres, savânicas e florestais. Essa diversidade de ambientes confere às plantas nativas traços funcionais específicos. Para investigar esses traços funcionais, realizou-se uma pesquisa na base de dados Web of Science, o que resultou no total de 1227 publicações, das quais 482 foram retidas para análise após a aplicação de critérios de filtragem. Foram empregados métodos de cienciométrica para a obtenção de métricas de publicação e análise de conteúdo dos artigos. Observou-se que os traços funcionais mais frequentes nas publicações estão relacionados às temáticas como fenologia, fotossíntese, ocorrência de fogo, herbivoria, polinização, área foliar, carbono, capacidade de rebrota, concorrência, adaptações à seca, anatomia vegetal e dispersão de sementes. O número de publicações foi crescente durante o período analisado (1991-2022), principalmente a partir do ano 2011, com ao menos 20 artigos publicados anualmente. Os temas básicos de pesquisa foram Cerrado, mudança climática, ecologia do fogo e déficit hídrico, os temas motores incluíram assuntos relacionados, principalmente, à fotossíntese e mudança climática. Com base nas análises, observa-se que os traços funcionais podem ser classificados em demográficos, fenológicos, fisiológicos, morfológicos, morfofenológicos e morfofisiológicos. Apesar deste estudo ser abrangente, ressalta-se que o número de artigos publicados investigando os traços funcionais de plantas nativas do Cerrado é incipiente, principalmente diante das rápidas alterações de uso e cobertura da terra que ocorrem no bioma e que podem afetar significativamente a flora. São necessários mais estudos para gerar conhecimentos e preencher as lacunas em relação às respostas e adaptações das plantas do bioma às diferentes condições e limitações ambientais, principalmente em um cenário de mudança climática, alterações no uso do solo, fragmentação de habitats, invasão de ambientes naturais por espécies exóticas e contaminação por agroquímicos.

**Palavras-chave:** ecologia; flora; cienciométrica; savana brasileira.

## ABSTRACT

The Cerrado biome is home to more than 12,000 native plant species, distributed across 11 phytophysiognomies, including grassland, savanna and forest areas. This diversity of environments gives native plants specific functional traits. To investigate these functional traits, a search was carried out in the Web of Science database, which resulted in a total of 1227 publications, of which 482 were retained for analysis after applying filtering criteria. Scientometrics methods were used to obtain publication metrics and content analysis of articles. It was observed that the most frequent functional traits in publications are related to themes such as phenology, photosynthesis, fire occurrence, herbivory, pollination, leaf area, carbon, regrowth capacity, competition, adaptations to drought, plant anatomy and seed dispersal. The number of publications increased during the period analyzed (1991-2022), mainly from 2011 onwards, with at least 20 articles published annually. The basic research themes were Cerrado, climate change, fire ecology and water deficit, the driving themes included subjects mainly related to photosynthesis and climate change. Based on the analyses, it is observed that functional traits can be classified into demographic, phenological, physiological, morphological, morphophenological and morphophysiological. Although this study is comprehensive, it is noteworthy that the number of articles published investigating the



Submissão: 17/07/2023



Aceite: 27/05/2024



Publicação: 15/07/2024



functional traits of plants native to the Cerrado is incipient, especially given the rapid changes in land use and cover that occur in the biome and which can significantly affect the flora. More studies are needed to generate knowledge and fill the gaps in relation to the responses and adaptations of plants in the biome to different environmental conditions and limitations, especially in a scenario of climate change, changes in land use, fragmentation of habitats, invasion of natural environments by exotic species and contamination by agrochemicals.

**Keywords:** : ecology; flora; scientometrics; brazilian savanna.

## 1. Introdução

O bioma Cerrado, apesar de ocupar as mesmas faixas latitudinais de outras savanas tropicais na África, Ásia e Oceania, se destaca pela alta riqueza de espécies vegetais (~12.000) e endemismo de plantas (~40%) (Strassburg et al. 2017). Sua alta biodiversidade e endemidade está distribuída em 11 fitofisionomias num gradiente latitudinal e altitudinal disposto em um mosaico de climas e solos, as quais sofrem influência recorrentes de incêndios florestais naturais ou antrópicos (Santos et al. 2020). Para entender os aspectos ecológicos desse bioma, é fundamental considerar os traços funcionais de suas espécies vegetais. Essa abordagem é crítica para entender a resposta do Cerrado às mudanças ambientais, como mudança climática e mudanças no uso da terra (Oliveira et al. 2019).

Os traços funcionais são as características morfológicas, bioquímicas, fisiológicas, estruturais, fenológicas ou comportamentais de organismos, que influenciam seus desempenhos no meio em que se encontram, impactando os três componentes do desempenho individual: o crescimento, a reprodução e a sobrevivência (Violle et al. 2017). Assim, o desempenho individual ao nível de organismo pode, por sua vez, influenciar níveis organizacionais mais altos, como a população, a comunidade e o ecossistema.

As plantas do Cerrado possuem traços funcionais que lhes permitem desenvolver características de tolerância ao fogo e adaptação às mudanças no uso da terra, como casca grossa, capacidade de rebrota e armazenamento de nutrientes (Haridasan 2008, Silva et al. 2016, Miatto & Batalha, 2018). Elas também possuem características florais para atração de diversos polinizadores, como cores vibrantes e formatos distintos (Miatto & Batalha, 2018, Ramos et al. 2018), diferentes mecanismos de dispersão de sementes (Ferraz et al. 2013, Silva et al. 2013, Kuhlmann & Ribeiro, 2016; Gontijo et al. 2020), além de adaptações radiculares e estratégicas para melhor eficiência no uso da água para sobrevivência à longos períodos de estiagem (Furquim et al. 2018, Filho & Borges 2018).

Para além da conservação, todas essas adaptações e traços funcionais da flora nativa do Cerrado conferem à suas plantas importância socioeconômica, tanto ao extrativismo quanto à produção agrícola. A incorporação de espécies nativas aos sistemas produtivos proporciona diversidade funcional e fornece diferentes serviços ecossistêmicos, como a polinização, a produção de alimentos, remédios e combustível, a ciclagem de nutrientes por meio da fixação biológica de nitrogênio, da captura e armazenamento de carbono e no fornecimento de biomassa.

Neste sentido, as informações sobre traços funcionais de plantas nativas também são essenciais no processo de domesticação de novas culturas agrícolas. Os parentes silvestres de cultivos, por exemplo, muitas vezes possuem diversidade genética e características que foram perdidas durante a domesticação e, a reintrodução dessas características pode ser crucial para o desenvolvimento de sistemas agrícolas mais resilientes e sustentáveis, o que é vital no contexto das mudanças climáticas e da crescente demanda por segurança alimentar (Meyer et al. 2012, Ferrero et al. 2019). A FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) destaca a importância dos recursos genéticos de plantas selvagens para a conservação e uso sustentável na agricultura e alimentação, e enfatiza o papel dessas plantas na melhoria da nutrição, aumento da segurança alimentar e promoção do desenvolvimento sustentável em países tropicais (FAO, 2022, 2023).

O conhecimento de características como padrões de crescimento, absorção de nutrientes e resistência a estressores ambientais pode informar as práticas seletivas de reprodução e cultivo de espécies nativas,



umentando a sustentabilidade e a produtividade dos sistemas agrícolas. Além disso, espécies de árvores nativas, por exemplo, podem contribuir para os serviços ecossistêmicos, como o enriquecimento do solo e a conservação da biodiversidade, vitais para a viabilidade a longo prazo das paisagens agrícolas. A integração de novas espécies com base em suas características funcionais pode levar a agroecossistemas mais resilientes e diversos, mais bem equipados para se adaptar às mudanças nas condições ambientais e apoiar a produção agrícola sustentável (Meyer et al. 2012)

Já existem diversos exemplos da incorporação da flora nativa aos agroecossistemas do Cerrado. Santos et al. (2021), por exemplo, identificaram um total de 44 espécies arbóreas nativas que cumpriam diferentes funções em dez sistemas agroflorestais no estado de Goiás, por exemplo a produção de alimentos (*Caryocar brasiliense* Cambess, *Genipa americana* L.), fornecimento de madeira (*Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos e *Swietenia macrophylla* King), de matéria orgânica (*Guazuma ulmifolia* Lam.) ou na fixação biológica de nitrogênio (*Bauhinia forficata* Link e *Inga laurina* (Sw.) Willd.). Em sistemas de integração lavoura pecuária-floresta algumas espécies nativas já têm seu uso consolidado, como ocorre com o baru (*Dipteryx alata* Vogel) (Karvatte Junior 2014) e a guariroba (*Syagrus oleracea* (Mart.) Becc.) (Melo 2003).

Diante disso, conhecer a diversidade de traços funcionais de plantas nativas do Cerrado é importante, tanto para garantir a sobrevivência das espécies diante da mudança climática e das pressões humanas sobre o bioma e, quanto para a incorporação de espécies de uso múltiplos em sistemas diversificados de produção. Assim, quantificar a produção científica sobre traços funcionais de plantas do Cerrado possibilita mensurar o interesse de pesquisadores sobre esse campo científico.

Devido à grande diversidade de plantas úteis do bioma Cerrado, uma revisão da produção científica sobre traços funcionais pode fornecer informações importantes de plantas com potencial domesticação e/ou incorporação em sistemas agrícolas, como os sistemas agroflorestais e sistemas agroecológicos. Diante disso, o objetivo desse estudo é, a partir de uma revisão sistemática sobre traços funcionais de plantas nativas do bioma Cerrado, destacar as principais temáticas estudadas e propor uma categorização dos traços funcionais visando instrumentalizar pesquisas futuras com base numa visão ampliada das lacunas existentes no tema.

## 2. Materiais e métodos

### 2.1. Estratégia de pesquisa

As publicações analisadas na presente revisão sistemática foram obtidas da coleção principal da base de dados Web of Science (WoS). A estratégia empregada segue a proposição de Chadegani et al. (2013) e Santos (2020) para a realização de pesquisas científicas. Assim, as palavras incluídas como termos de busca foram definidas com base em leituras exploratórias de artigos científicos relacionados a traços funcionais, combinados por operadores booleanos com palavras referentes ao Cerrado. Na sequência foram definidos os algoritmos de busca e selecionados os artigos científicos que continham a combinação de palavras de interesse nos títulos, palavras-chave ou resumos (Quadro 1). O filtro temporal aplicado foi de 31 anos (1991 a 2022), gerado automaticamente com base nos anos da primeira e da última publicação disponíveis até o momento da realização da pesquisa na base de dados utilizada.



Quadro 1. Algoritmos e campos de busca utilizados na base de dados Web of Science para obtenção dos artigos.

Traços funcionais	<i>("plant traits" OR "plant functional traits" OR "functional traits" OR "functional ecolog*" OR "biochemical efficien*" OR crown OR "nutrient* absorptio*" OR "growth rate" OR Root OR "Leaf size" OR "Leaf shap*" OR "Leaf thickne*" OR "Leaf texture" OR "Leaf surface area" OR "Leaf area" OR "Leaf arrangement" OR "Leaf orientation" OR "Leaf venation" OR "Leaf color" OR "Leaf pubescence" OR "Chlorophyll content" OR "Photosynthetic" OR "Light saturation" OR "Rubisco content" OR Rubisco OR "Electron transport" OR "CO2 fixation" OR "carbon fixation" OR "carbon capture" OR "CO2 capture" OR "co2 capture" OR "co2 fixation" OR "carbon stock" OR "co2 stock" OR "co2 stock" OR "carbon storage" OR "co2 storage" OR "co2 storage" OR "Chloroplast density" OR "Chloroplast*" OR Stomatal OR "Functional traits" OR "Plant ecology" OR "Ecological strategies" OR "Leaf traits" OR "Biomass allocation" OR "Photosynthesis" OR "Carbon assimilation" OR "Water-use efficiency" OR "Nitrogen-use efficiency" OR "Root traits" OR "Seed traits" OR "Reproductive traits" OR "Phenology" OR "Growth rate" OR "Plant architecture" OR "Plant-animal interactions" OR "Ecosystem functioning")</i>
Operador booleano para combinação	AND
Termos para combinação	(Plant* AND ("Brazilian savan*" OR "Cerrado biome" OR Cerrado))
Campos pesquisados	Títulos, Palavras-chave e Resumos
Filtro temporal	1991-2022
Data de realização da pesquisa na base de dados	03/01/2023

Fonte: Autores.

## 2.2. Filtragem dos resultados

Para a realização da busca na WoS a partir dos dados do Quadro 1, os artigos relacionados às temáticas pesquisadas foram compilados em um arquivo de formato bibtext. Empregando-se o pacote Bibliometrix (Aria & Cuccurullo 2017) no software RStudio, o arquivo contendo os resultados foi analisado para a identificação de artigos duplicados.

Após a retirada dos artigos duplicados, os dados sobre autores, títulos, palavras-chave e resumo foram exportados em uma única planilha no Excel<sup>®</sup>. A segunda etapa da filtragem dos dados consistiu na seleção dos artigos que comporiam o banco de dados para a análise. Para isso, foi processada a identificação do tipo de publicação e, na leitura de títulos e resumos para exclusão de estudos que não se enquadravam nos critérios de seleção. Os seguintes critérios de inclusão foram utilizados: a) tipo de publicação selecionado - somente os documentos incluídos na categoria "Artigo" da WOS foram selecionados para análise, o que inclui somente



publicações de periódicos revisados por pares; b) origem das plantas pesquisadas - foram selecionados somente artigos que apresentavam informações e dados sobre traços funcionais de plantas nativas do Bioma Cerrado. Desta forma, foram excluídos da análise todos os artigos referentes a plantas exóticas ao bioma e aqueles que não apresentaram dados sobre traços funcionais de plantas do Cerrado.

### 2.3. Análises

Os dados inicialmente foram analisados em uma nuvem de palavras juntamente com um gráfico de tópicos de tendências que expressam a frequência dos 100 termos mais citados entre os pesquisadores bem como uma relação temporal das pesquisas realizadas, respectivamente, a partir do suporte do RStudio. Os temas mais recorrentes nas publicações foram analisados com a técnica de análise de redes de co-ocorrência de palavra-chave (Aria & Cuccurullo 2017). De acordo com Tripathi et al. (2018) as palavras-chave em publicações científicas indicam áreas importantes de pesquisa e evidenciam a interligação entre diferentes campos científicos, além disso, ainda indicam áreas centrais que os pesquisadores buscam e estudam para gerar novos dados.

Com a delimitação dos temas mais recorrentes, foi gerado um mapa temático das publicações, onde, com base na classificação de densidade e centralidade de Callon (Callon et al. 1991, Cobo et al. 2012, Yin et al. 2022). A densidade e a centralidade de Callon são medidas de interações em redes utilizadas na análise de temas isolados e grupos de temas de pesquisa. A centralidade representa a força das interações de um grupo temático com outros, enquanto a densidade representa a interação entre temas dentro de um mesmo grupo temático (Cobo et al. 2012). Os resultados dessa análise são representados em um diagrama bidimensional, chamado de mapa temático. De acordo com Aria e Cuccurullo (2017) o mapa temático é um gráfico intuitivo para se analisar os temas com base na densidade e na centralidade de Callon, com base no quadrante em que determinados temas estão localizados: (1) quadrante superior direito: temas motores; (2) quadrante inferior direito: temas básicos; (3) quadrante inferior esquerdo: temas emergentes ou desaparecidos; (4) quadrante superior esquerdo: temas muito especializados, de nicho.

Por fim, com base na leitura de títulos e resumos dos artigos selecionados, os traços funcionais descritos foram quantificados em diferentes 5 categorias: a) interação planta-ambiente; b) interação planta-animal; c) interação microrganismos-planta; d) interação planta-planta; e) interação humanos-planta. Para os agrupamentos destas 5 classes propostas, levou-se em consideração os seguintes parâmetros conceituais:

- Interação planta-ambiente: Muitos traços funcionais são moldados por fatores ambientais, permitindo que as plantas se adaptem e sobrevivam em diferentes condições. A luz, temperatura, água, fertilidade do solo, são exemplos desses fatores e podem resultar em diferentes respostas das plantas (Fritz et al. 2018).
- Interação planta-animal: A interação com diferentes tipos de animais influencia na expressão de traços funcionais por plantas, como herbívoros, polinizadores e dispersores de sementes. A defesa contra herbívoros inclui traços físicos (espinhos, acúleos, folhas cuticulosas), químicos (produção de compostos tóxicos ou desagradáveis) e até mesmo com plasticidade fenotípica (Herrera et al. 2002, Vieira & Lomônaco 2014).
- Interação microrganismos-planta: Os traços funcionais das plantas são fortemente influenciados pela interação com microrganismos, que podem afetar tanto a saúde da planta quanto a sua capacidade de se adaptar a diferentes condições ambientais. Os microrganismos como as bactérias fixadoras de nitrogênio e os fungos micorrízicos, podem formar associações simbióticas com as plantas, melhorando a sua nutrição e respostas aos estresses bem como as plantas podem produzir e secretar compostos que atraíam ou inibam certos microrganismos (Cassel et al. 2022).



- Interação planta-planta: As plantas interagem entre si de várias maneiras, e essas interações podem resultar em traços funcionais específicos. A competição por recursos pode levar a adaptações como a alocação de biomassa para as raízes para acessar nutrientes e água, ou para a folhagem para acessar a luz solar. Algumas plantas podem exibir comportamentos de facilitação, onde uma planta ajuda outra a sobreviver ou prosperar, por meio da proteção contra herbívoros, melhoria da disponibilidade de nutrientes ou modificação do microclima local. Um exemplo específico de interação planta-planta é a alelopatia, onde uma planta libera substâncias químicas no ambiente para inibir o crescimento e desenvolvimento de plantas vizinhas (Garcia et al. 2022).
- Interação humanos-planta: Os seres humanos interagem de diversas formas com as plantas, podendo influenciar de maneira positiva ou negativa no desenvolvimento e sobrevivência vegetal. A contaminação do solo por metais pesados, por exemplo, pode afetar a absorção de nutrientes e resultar em diferentes respostas das plantas (Magna et al. 2013, Schouteden et al. 2015). A coleta excessiva de partes de plantas, como casca, folhas e frutos pode afetar as estratégias de sobrevivência e forçar a expressão de traços funcionais específicos (Neto et al. 2019). A seleção artificial de plantas, o manejo do solo e da água e a adubação levam a mudanças na expressão de traços funcionais de plantas.

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1. Publicações

Foram identificados 1227 artigos na WoS, deste total 25 foram identificados como duplicados e, após aplicação dos critérios de inclusão/exclusão, 482 artigos fizeram parte desta revisão sistemática. Dentro deste universo de análise, os resultados mostram que ao longo do período analisado houve um aumento no interesse de pesquisadores por temáticas relacionadas aos traços funcionais de plantas do bioma Cerrado. Entre o ano de 1991, ano da primeira publicação, até o ano 2022 o número de publicações anuais saltou de 2 para 57 artigos, sendo que o maior número de publicações registradas foi em 2021 (n=70). O aumento no número de publicações com o passar dos anos indica que é uma área de pesquisa de interesse contínuo entre pesquisadores (Cebrino & La Cruz 2020), fato especialmente mais evidente a partir do ano 2011 e período subsequente, com mais de 20 publicações anuais.

O incremento anual na quantidade de publicações sobre determinado tema é esperado, visto que, com o tempo aumenta também a popularidade de tal tema na comunidade científica, principalmente se o campo científico for abrangente e interdisciplinar e agregador, como ocorre com os fatores relacionados aos traços funcionais de plantas. Esses fatores envolvem áreas do conhecimento já consolidadas como ecologia funcional (Díaz et al. 2016), mudanças climáticas (Funk et al. 2017), conservação e restauração de ecossistemas (Violle et al. 2012), agronomia e produção vegetal (Reynolds et al. 2016), botânica, biologia da conservação e biologia evolutiva (Lavorel et al. 2013), o que possibilita o aumento do interesse de pesquisadores por esse campo de pesquisa e, conseqüentemente, o aumento anual no número de publicações.

#### 3.2. Análises temáticas

Na análise dos temas, excluindo-se os termos derivados do Bioma Cerrado (cerrado, *savanna*, *brazilian savanna*, *neotropical savana* etc.), que na pesquisa serviram somente para limitação geográfica dos estudos, as palavras-chave relacionadas a traços funcionais utilizadas com mais frequência foram fenologia, fogo, fotossíntese, floração, sazonalidade, frutificação, traços funcionais, herbivoria, fluorescência da clorofila, polinização, área foliar específica, carbono, troca gasosa, fenologia foliar, rebrota, mudanças climáticas, concorrência, seca, anatomia vegetal e dispersão de sementes.



Na análise de frequência das palavras citadas, o número de vezes que uma palavra-chave ocorre é igual ao número de artigos publicados que incluem a mesma temática. O termo fenologia, por exemplo, obteve frequência igual a 41, o que significa que ao menos 41 artigos foram publicados sobre esse tema. Esse entendimento é importante, pois as palavras-chave em publicações científicas indicam áreas importantes de pesquisa, evidenciam a interligação entre diferentes campos científicos e indicam áreas centrais que pesquisadores buscam e estudam para gerar novos dados (Tripathi et al. 2018) (Figura 1).



Figura 1. As cem principais palavras-chave que ocorrem nos artigos analisados. Na figura, o tamanho das palavras tem por base a frequência dos termos no campo "Palavras-chave" dos artigos analisados. Os termos são apresentados em inglês, idioma original dos títulos, palavras-chave e resumos disponibilizados pela Web of Science. Fonte: Autores.

A dinâmica temporal dos principais temas de pesquisa, representados pelas palavras-chave, pode ser observada por meio do gráfico de tópicos de tendências. Os estudos relacionados à polinização (*pollination*), por exemplo, foram frequentes por um período de 17 anos (2001 a 2018), com maior ocorrência desse tema entre as palavras-chave no ano 2015. O termo fluorescência da clorofila (*chlorophyll fluorescence*) foi um termo presente nas palavras-chave principalmente entre os anos 2003 e 2017. A fenologia (*phenology*) foi recorrente nas palavras-chave entre os anos 2013 e 2021, com mais expressividade no ano 2017. Outras temáticas foram tendências em artigos nos últimos anos, como diversidade funcional (*functional diversity*), rebrotamento (*resprouting*), brotamento (*sprouting*), semente (*seed*), traços funcionais (*functional traits*) e sazonalidade (*seasonality*), sendo que, essas duas últimas foram mais expressivas, ocorrendo 16 e 17 vezes entre os anos 2017 e 2018.

Basicamente, essas tendências em temas de pesquisa evidenciam o esforço despendido por cientistas sobre diferentes questões em determinadas épocas da existência de um campo científico. No entanto, o desuso de algumas palavras-chave com o passar do tempo pode não significar que os temas se tornaram menos importantes, mas que alguns deles se tornaram conceituais e se consolidaram no meio científico, passando a ser temas básicos e não mais temas motores de novas descobertas (Figura 2).

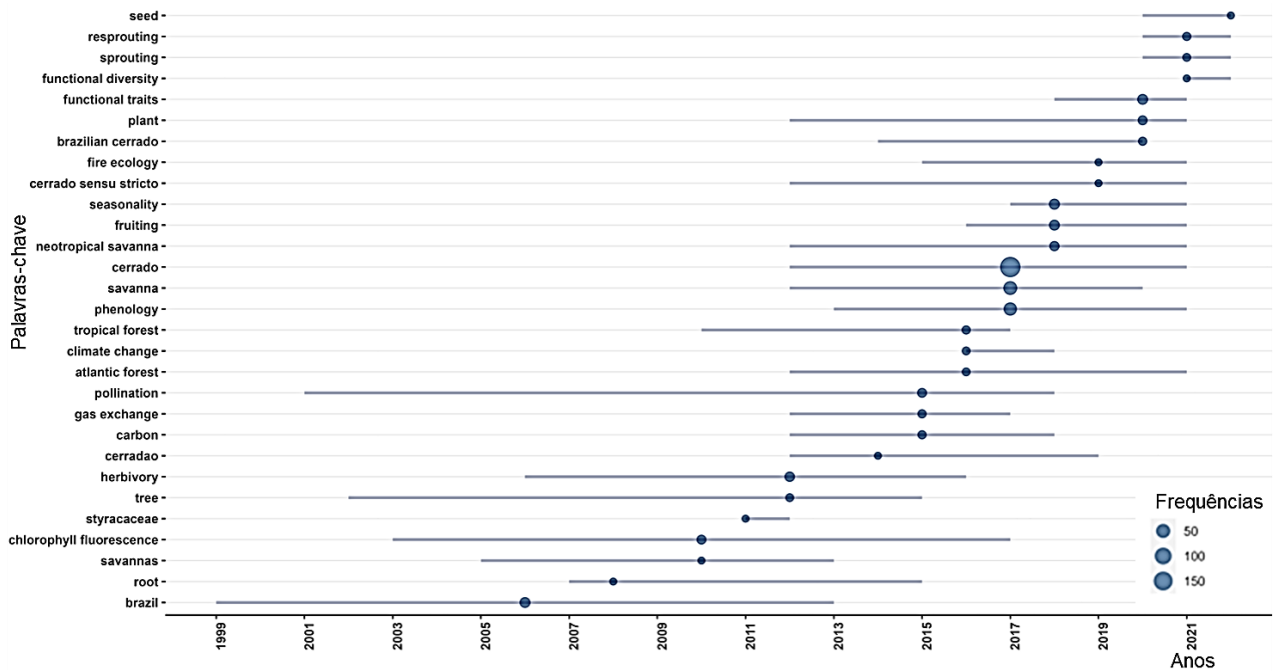


Figura 2. Tópicos de tendência das palavras-chave entre 1998 e 2022. Os termos são apresentados em inglês, idioma original dos títulos, palavras-chave e resumos disponibilizados pela Web of Science. Fonte: Autores.

A análise de redes de co-ocorrência de palavras-chave (Figura 3) mostrou quais os temas são mais associados nas pesquisas, ou seja, quais os temas que mais ocorrem juntos nos artigos. Nessa análise, as palavras mais associadas formaram sete grupos específicos, dominados pelo termo de maior frequência que fez mais associações. No gráfico, as palavras que mais se associam a outras são representadas por círculos maiores, os níveis de associação são representados pelas cores de cada grupo e das linhas que os conectam.

Nesta análise, sete grupos de associações foram formados, o primeiro tem como principal representante a palavra-chave "Cerrado", que foi associada aos temas relacionados à traços fisiológicos e morfológicos, como "fotossíntese", "área específica da folha", "fluorescência da clorofila", "troca gasosa", "Fabaceae", "folha", "fotoinibição", "partição de biomassa" e "mudança climática". O segundo grupo tem como principal tema "Savana neotropical", associado principalmente a traços de adaptação à ocorrência de incêndios florestais "brotação", "fenologia foliar", "rebrotar", "temperatura", "ecologia do fogo", "diversidade funcional", "germinação" e "fenótipo". O terceiro grupo é representado pelo tema "savana", também em muita associação com "fogo", além de "traços funcionais", "floresta", "árvore", "carbono", "seca" e "solo". O quarto grupo apresentou mais associações entre os temas "herbivoria" e "polinização", evidenciando que nele estão incluídos estudos sobre traços funcionais de interações entre plantas e animais. O quinto grupo contém as palavras-chave "Brasil", associado às características que podem ser traços fenológicos ou morfológicos, como as adaptações relacionadas ao tema "dispersão de sementes" e dois tipos distintos de vegetação: "campo rupestre" e "floresta atlântica". O sexto grupo inclui temas relacionados à fase reprodutiva das plantas, como floração e frutificação, associados às fitofisionomias "cerrado sensu stricto" e "cerradão". No sétimo grupo as associações observadas foram relacionadas a traços fenológicos, como fenologia e sazonalidade, associados à família "Malpighiaceae" (Figura 3).



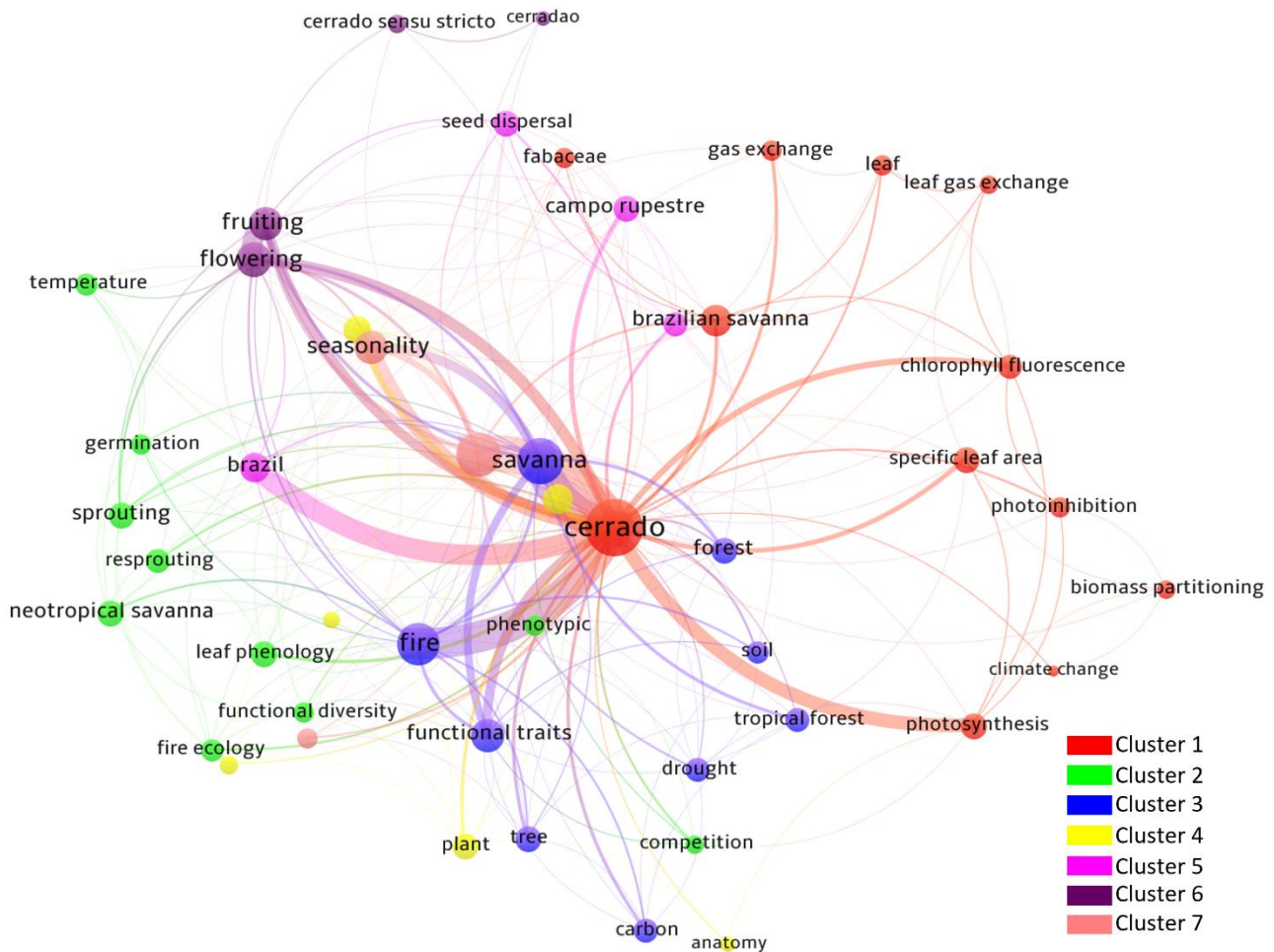


Figura 3. Rede de co-ocorrência de palavras-chave. Os termos são apresentados em inglês, idioma original dos títulos, palavras-chave e resumos disponibilizados pela Web of Science. Fonte: Autores.

O mapa temático (Figura 4) classificou o campo científico em estudo em quatro diferentes quadrantes, sendo eles: temas de nicho (especializados), temas motores (amplamente desenvolvidos), temas básicos (base conceitual dos estudos) e temas emergentes ou em declínio (ainda pouco explorados ou perda de importância ao longo dos anos). Nesse mapeamento foram formados nove grupos com base na co-ocorrência de palavras-chave. Cada grupo contém palavras-chave vinculadas entre si, com diferentes graus de relacionamentos entre elas.

Os agrupamentos finais apresentados no diagrama foram aqueles que demonstraram um maior grau relativo de densidade e centralidade quando comparado com outros. A centralidade representa a interação relativa de um grupo com outros, enquanto a densidade representa a interação entre palavras-chave dentro de um mesmo grupo. De acordo com Castañeda et al. (2022), enquanto a centralidade (eixo x) representa a medida de importância de um grupo para o desenvolvimento do conjunto total de dados analisados, a densidade (eixo y) é o nível de desenvolvimento de cada grupo, assim, uma grandeza é importante para todo o campo científico e a outra somente para temas específicos (Figura 4).

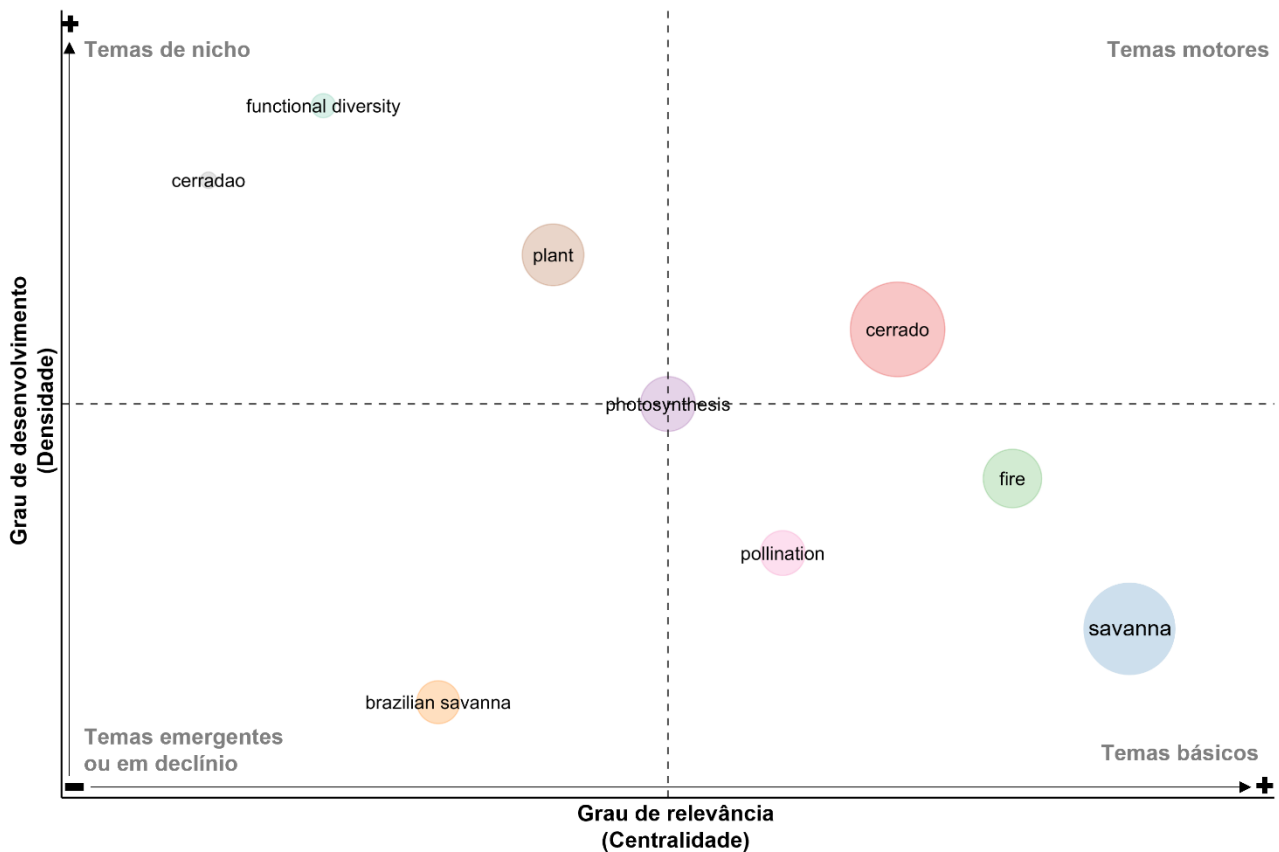


Figura 4. Mapa de evolução temática dos artigos analisados no campo científico de traços funcionais de plantas do Cerrado. Quanto maior a centralidade, mais importantes ao campo científico são os temas, uma densidade alta e baixa centralidade indica desenvolvimento interna de cada tema em seu respectivo grupo. Os termos são apresentados em inglês, idioma original dos títulos, palavras-chave e resumos disponibilizados pela Web of Science.

Fonte: Autores.

O quadrante dos temas de nicho foi formado pelos grupos de maiores densidades e menores centralidades de Callon. Nesse quadrante estão os grupos diversidade funcional (*functional diversity*) com densidade mais elevada (31), seguido por cerradão (27,667) e planta (*plant*) (27,096). As principais palavras-chave incluídas no grupo diversidade funcional (*functional diversity*) foram fenotípica (*phenotypic*), plasticidade (*plasticity*) e bioma Cerrado (*Cerrado biome*); no grupo cerradão foram incluídas cerrado sensu stricto e traços (*traits*); o grupo planta (*plant*) foi o maior, com 16 palavras-chave incluídas, sendo as principais: fenologia foliar (*leaf phenology*), crescimento (*growth*), troca gasosa (*gas exchange*), água (*water*) e rebrotamento (*resprouting*). Todas as palavras-chave podem ser entendidas como temáticas muito especializadas e que contribuem principalmente para o desenvolvimento de seus respectivos grupos, mas ainda considerados de importância secundária para o campo de pesquisa como um todo.

O grupo savana brasileira (*brazilian savanna*) integra o quadrante dos temas emergentes ou em declínio, ou seja, aqueles com baixas densidades e centralidades de Callon, 17,07 e 0,23, respectivamente. Esse quadrante é composto por temas que podem ainda terem sido pouco explorados, como terem perdido a importância com o avanço das pesquisas no campo estudado. Estão incluídas as palavras-chave fitotoxicidade (*phytotoxicity*), anatomia vegetal (*plant anatomy*), Myrtaceae e Fabaceae, além daquela que dá nome ao grupo (*brazilian savanna*).

Os grupos polinização (*pollination*), fogo (*fire*) e savana (*savanna*) integram o quadrante dos temas básicos e transversais. Os temas desse quadrante são importantes ao desenvolvimento do campo científico, englobando palavras-chave de elevadas centralidades de Callon, que são fortemente relacionadas aos temas que integram os demais quadrantes, por isso são transversais. As principais palavras-chave incluídas nos grupos desse quadrante



são fenologia (*phenology*), sazonalidade (*seasonality*), frutificação (*fruiting*), traços funcionais (*functional traits*), seca (*drought*), savana neotropical (*neotropical savana*), carbono (*carbon*), germinação (*germination*), raiz (*root*), fenologia reprodutiva (*reproductive phenology*), campo rupestre, floresta atlântica (*atlantic forest*) e comunidade (*community*).

No quadrante de temas motores foram formados os grupos Cerrado e fotossíntese (*photosynthesis*). Os temas motores apresentam valores elevados de centralidade e densidade; ou seja, têm alta importância e desenvolvimento no campo de pesquisa e se caracterizam por ter uma relação estreita com conceitos que se aplicam a outros grupos. Portanto, esses temas têm grande capacidade tanto de desenvolvimento quanto de permanência no tempo (Castañeda et al. 2022). Neste quadrante as palavras-chave mais relevantes foram Brasil (*Brazil*), herbivoria (*herbivory*), particionamento de biomassa (*biomass partitioning*), folha (*leaf*), área específica da folha (*specific leaf area*), fluorescência da clorofila (*chlorophyll fluorescence*), plasticidade fenotípica (*phenotypic plasticity*), mudança climática (*climate change*), ecologia do fogo (*fire ecology*), disponibilidade de recursos (*resource availability*), *Copaifera langsdorffii*, trocas gasosas foliares (*leaf gas exchange*), frugivoria (*frugivory*), déficit hídrico (*water deficit*), mutualismo (*mutualismo*), perturbação (*disturbance*) e fluxo de seiva (*sap flow*).

### 3.3. Categorização dos traços funcionais

A importância de se criar categorias para enquadrar os traços funcionais de plantas tem sido amplamente discutida na literatura científica. De acordo com Lavorel et al. (2017), a categorização é uma abordagem útil para entender as respostas das plantas às mudanças ambientais e para avaliar a efetividade das estratégias de conservação e restauração da biodiversidade. Trata-se de uma ferramenta essencial para a modelagem ecológica e a previsão dos efeitos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade, permitindo que os pesquisadores desenvolvam hipóteses sobre as adaptações das plantas ao ambiente e testem essas hipóteses em diferentes escalas e níveis de organização biológica (Violle et al. 2007).

De modo a facilitar a compreensão das principais temáticas incluídas no conjunto de dados analisado, o presente estudo obteve a classificação em seis categorias dos traços funcionais do Cerrado (Quadro 2).

Com base no que foi proposto, dos 482 artigos presentes no conjunto de dados analisado, os traços funcionais categorizados como fisiológicos foram os mais explorados, ao todo 137 artigos abordaram essa categoria. Os traços categorizados como fenológicos foram frequentes em 110 publicações, os morfológicos em 98 publicações, os morfofisiológicos em 100, os morfofenológicos em 28 artigos e, por fim, os traços funcionais categorizados como demográficos somaram somente 09 publicações.

Os estudos também foram classificados em relação às diferentes interações que ocorrem entre as plantas e outros fatores bióticos e abióticos dos ambientes onde estão inseridas, como fatores ambientais (temperatura, solo, fogo etc.), competição, herbivoria, polinização, de modo a facilitar a compreensão das condições em que as espécies da flora nativa do bioma desenvolveram os traços funcionais. Assim, 372 artigos abordaram traços resultantes da interação planta-ambiente; 62 artigos estudaram traços resultantes da interação planta-animal; 19 estudos abordaram a influência humana nas plantas que resultaram em alterações de algum traço funcional (ex.: herbicidas, coleta de frutos, extração de cascas e raízes etc.) expresso na interação humano-planta; 14 abordaram traços funcionais resultantes da interação microrganismos-planta, como micorrizas e fixação biológica de nitrogênio; 15 abordaram traços resultantes da interação planta-planta, como alelopatia e parasitismo, e, 4 estudos com traços morfológicos não especificaram nenhum dos tipos de interação descritos anteriormente (Tabela 1).



Quadro 2. Categorias utilizadas para classificação de estudos sobre traços funcionais no Cerrado.

<b>Categorias de traços funcionais</b>	<b>Definição</b>	<b>Exemplos</b>	<b>Referências</b>
Demográficos	Características demográficas das plantas, como sua distribuição espacial e temporal, tamanho populacional e densidade	Taxa de crescimento populacional, tamanho do indivíduo, distribuição espacial	Martínez-Vilalta et al. (2010), Yang et al. (2020)
Fenológicos	Relacionados ao ciclo de vida das plantas, como período de germinação, floração e frutificação, bem como sua resposta aos fatores ambientais	Data de floração, duração do ciclo reprodutivo, resposta a fatores climáticos	Fajardo & Siefert (2016), Caruso et al. (2020), Sporbert et al. (2022)
Fisiológicos	Relacionados aos processos fisiológicos das plantas, como trocas gasosas, assimilação de nutrientes e regulação de água	Eficiência fotossintética, taxa de respiração, tolerância à seca	Caruso et al. (2020), Yan et al. (2016), Nunes et al. (2022)
Morfológicos	Características físicas externas das plantas, como tamanho e forma de folhas e raízes	Altura, área foliar, distribuição de raízes	Maglianesi et al. (2014), Caruso et al. (2020)
Morfofenológicos	Que combinam características morfológicas e fenológicas, como tamanho e forma das folhas durante diferentes fases do ciclo de vida	Sincronização da brotação com o acúmulo de recursos, relação entre o tamanho da planta e a época de floração	Martínez-Castillo et al. (2004), Konan et al. (2021)
Morfofisiológicos	Que combinam características morfológicas e fisiológicas, como eficiência fotossintética em relação à área foliar	Eficiência fotossintética por unidade de massa foliar, relação raiz-parte aérea, conteúdo de carbono foliar	Kumari & Kaur (2020), Wang et al. (2017)

Fonte: Autores.

Como exemplos de traços funcionais demográficos tem-se as taxas de recrutamento e mortalidade avaliadas por Cordeiro et al. (2021), ou em Gardner (2006) que investiga as consequências demográficas da instabilidade ambiental na coexistência entre árvores e gramíneas, com foco principal na reprodução e estabelecimento de mudas, onde a variação na frequência de ocorrência do fogo é identificada como um fator primordial no comportamento populacional das plantas. Exemplos de traços funcionais fenológicos, resultantes da interação planta-animal, são evidenciados em De Faria et al. (2022), como as adaptações que facilitam a polinização da espécie endêmica *Microstachys serrulata* (Mart.) F.Dietr por formigas, ou em Ballarin et al. (2012) mostrando que a dinâmica temporal de disponibilidade de néctar em uma espécie florestal (*Inga vera Willd.*) facilita a polinização por *Apis mellifera* L. em detrimento das abelhas nativas, também em (Ávila et al. 2022) que analisam os traços funcionais do padrão fenológico de *Mauritiella armata* (Mart.) Burret influenciados pela temperatura regional. As atividades humanas também influenciam nos traços funcionais fenológicos, como apresentado por Baldauf et al. (2014) a partir de estudos realizados com a espécie *Himatantbus drasticus* (Mart.) Plumel, onde a atividade contínua de colheita da casca de exemplares dessa espécie fez com que as plantas passassem a produzir mais estruturas reprodutivas (flores e frutos), do que aquelas em que não houve colheita.



Tabela 1. Categorias de traços funcionais presentes no conjunto de dados analisado e as classes de interação citadas nos estudos. Os números representam a quantidade de artigos.

Classes de interação	Categorias						Total
	Demográfico	Fenológico	Fisiológico	Morfofenológico	Morfofisiológico	Morfológico	
Planta- Ambiente	8	79	105	17	76	87	372
Planta- Animal		26	6	8	15	7	62
Humano-planta	1	2	7	1	6	2	19
Microrganismo-planta			11		2	1	14
Planta-planta		2	8	2	1	1	15
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>110</b>	<b>137</b>	<b>28</b>	<b>100</b>	<b>98</b>	<b>482</b>

Fonte: Autores.

Em relação aos traços fisiológicos, Jesus et al. (2021), por exemplo, mostra que a inoculação de plantas de *Dipteryx alata* Vogel com fungos micorrízicos influenciou positivamente nos traços funcionais de área foliar, índice de clorofila, capacidade de carboxilação de rubisco e resistência ao déficit hídrico, o que interfere no metabolismo fotossintético e bom desenvolvimento da planta. Exemplos de traços fenológicos resultantes da interação entre seres humanos e plantas podem ser vistos em Oliveira et al. (2021) em que os autores evidenciam que a espécie *Lonchocarpus cultratus* (Vell.) A.M.G.Azevedo & H.C.Lima apresenta alta tolerância à contaminação do solo por chumbo e possui mecanismos de acumulação desse metal nas raízes, fazendo com que tenha pouca mobilidade na planta.

De Souza et al. (2022) compararam traços funcionais morfológicos de anatomia foliar da espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi em três ambientes (Manguezal, Restinga e Cerrado), concluindo que a espécie tem elevada plasticidade fenotípica e responde diferentemente às condições de estresse impostas pelo meio ambiente. Outro estudo mostra que traços funcionais foliares de diferentes grupos de plantas do Cerrado estão fortemente relacionados com a inflamabilidade em eventos de incêndios florestais (Zanzarini et al. 2022). Pizo et al. (2022) constataram que traços morfológicos de frutos (tamanho do fruto e relação de massa da polpa para sementes) também são importantes para a interação entre aves frugívoras e plantas, além da importância das abundâncias de aves e plantas.

Como exemplos de traços morfofenológicos, em Sato et al. (2018), foi constatado que a altura da copa das árvores associada ao período de frutificação são fatores que influenciam na capacidade de proteção das sementes em eventos de incêndios florestais. Já Rech et al. (2018) mostram que traços funcionais relacionados à morfologia do sistema de acoplamento de polinizadores, em flores de *Curatella americana* L., variam de acordo com o cenário ecológico em que as plantas ocorrem, assim, a variação espacial no sistema de acoplamento, morfologia da flor e polinização descritas anteriormente para ervas também se aplica a árvores tropicais de vida longa.

Oliveira et al. (2021) constataram que em situações de competição entre espécies arbóreas nativas do Cerrado e gramíneas exóticas, embora as espécies invasoras, de metabolismo C4, sejam inicialmente melhores na colonização das áreas, as espécies de metabolismo C3 nativas do Cerrado podem ajustar as características



morfofisiológicas ao crescimento em altas concentrações de CO<sub>2</sub> e desenvolver estratégias que permitam competir mais eficientemente por recursos. Já Carlos e Rossatto (2017) verificaram que duas espécies encontradas tanto em ambiente savânico como florestal, respondem diferentemente aos fatores ecológicos desses locais, com os traços funcionais de taxa fotossintética, condutância estomática, eficiência no uso da água e concentração de carbono superiores quando ocorrem em savana. Já a concentração foliar de nitrogênio e a área específica das folhas são superiores para as mesmas espécies quando ocorrem em ambientes florestais.

#### 4. Considerações finais

Com base na análise temática, os traços funcionais mais frequentes nas publicações estão relacionados à fenologia, fotossíntese, ocorrência de fogo, herbivoria, polinização, área foliar, carbono, capacidade de rebrota, concorrência, adaptações à seca, anatomia vegetal e dispersão de sementes. Alguns temas foram menos explorados nos últimos anos, como estudos relacionados ao recrutamento de plantas, outros foram mais importantes no mesmo período como traços funcionais relacionados à transpiração, adaptações ambientais e restauração ecológica.

Temas como fenologia foliar, cerradão, herbivoria e anatomia se comportam como temas de nicho nas pesquisas analisadas. Já fitotoxicidade é um tema emergente, com publicações iniciadas em 2012. Os temas básicos de pesquisa, com importância transversal para diversos outros temas, são representados principalmente por Cerrado, mudanças climáticas, ecologia do fogo e déficit hídrico.

A diversidade de plantas nativas do Cerrado é de aproximadamente 12.000 espécies e ocorrência de endemismo em cerca de 40% (4.800 espécies), o que faz o bioma ser considerado um ambiente megadiverso. No entanto, mesmo com milhares de espécies, adaptadas a diferentes ambientes campestres, savânicos ou florestais, a quantidade de pesquisas direcionadas à compreensão das características funcionais das plantas nativas às diferentes pressões ambientais e antrópicas ainda é incipiente.

O esforço desempenhado na presente pesquisa em localizar e analisar publicações com dados sobre traços funcionais das plantas nativas confirma a necessidade de mais estudos para gerar conhecimentos e melhorar a compreensão em relação às respostas e adaptações das plantas do Cerrado a diferentes condições e limitações ambientais, principalmente em um cenário de mudanças climáticas, alterações no uso do solo, fragmentação de habitats, invasão de ambientes naturais por espécies exóticas e contaminação por produtos químicos derivados das atividades agropecuárias.

Em mais de 1.200 artigos obtidos da Web of Science, mais de 700 estudos apresentavam informações de traços funcionais de espécies exóticas cultivadas no bioma e somente 482 atendiam aos critérios desse estudo, sendo que vários deles não eram explicitamente sobre avaliação de traços funcionais de plantas nativas, mas abrangiam outras temáticas que necessariamente incluíam o entendimento dessas características. Isso evidencia que as pesquisas, apesar de incluírem avaliação desses traços, não têm como objetivo explícito investigá-los, ou seja, essa abordagem funcional parece ter importância secundária para os pesquisadores.

Apesar de abrangente, o presente estudo ainda é limitado por conta do idioma das publicações e por ter utilizado somente um banco de dados para análise, o que é normal em estudos de revisão, já que a Web of Science é empregada em revisões de diversos campos científicos e áreas do conhecimento. Um dos fatores limitantes deste banco de dados é que a maioria dos periódicos abrangidos são de língua inglesa, fazendo com que as revisões se limitem à análise de estudos publicados nesse idioma, prejudicando assim as revisões em publicações de abrangência regional de outros idiomas, como o português. Outro fator limitante desse banco de dados é a não inclusão de vários periódicos de importância regional, o que pode enviesar a pesquisa para artigos publicados em periódicos de maior impacto. Diante disso, recomenda-se que para revisões futuras sejam empregados também outros bancos de dados, como Scopus, PubMed, Scielo, Redalyc, dentre outros, de modo



a abranger mais estudos publicados em periódicos de menor impacto e de diferentes idiomas, principalmente o português.

Destaca-se que é salutar para futuras pesquisas e geração de conhecimentos robustos que existam bancos de dados específicos com informações sobre traços funcionais de espécies nativas do Cerrado, como já ocorre em outras regiões como o BROT: *plant trait database for Mediterranean Basin species*, o *Woodiv* (banco de diversidade taxonômica, filogenética, funcional e paleoecológica de árvores do Mediterrâneo europeu), o FunAndes - *A functional trait database of Andean plants* e o BiolFlor (banco de dados sobre características biológico-ecológicas da flora alemã). Como alternativa à criação de um banco de dados próprio, pesquisadores e instituições que atuam no Cerrado podem incrementar com informações as bases de dados já existentes, como exemplo o TRY - *Plant Traits Database*, o BAAD (*Biomass And Allometry Database*) ou o GRoot (*Global Root Trait Database*).

## Referências

- Aria M, Cuccurullo C 2017. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959-975.
- Ávila MA de, Azevedo IFP de, Antunes JR, Souza CR de, Santos RM dos, Fonseca RS 2022. Temperature as the main factor affecting the reproductive phenology of the dioecious palm *Mauritiella armata* (Arecaceae). *Acta Botanica Brasílica* 36: e2021abb0111.
- Balduf C, Dias AS, Corrêa CE, Santos FAM 2021. Bark harvesting by human population shapes tree allometry in an economically important species of the Brazilian savanna. *Forest Ecology And Management* 496: 119465.
- Ballarin CS, Hachuy-Filho L, Doria MJW, Giffu MM, Polizello DS, Oliveira PH, Lacerda-Barbosa PA and Amorim FW 2022. Intra-seasonal and daily variations in nectar availability affect bee assemblage in a monodominant afforested Brazilian Cerrado. *Austral Ecology*, 47(6): 1315-1328.
- Wensheng B, Jihong H, Han X, Runguo Z, Yi D, Yide L, Mingxian L, Jinsong W, Cancan Z 2019. Plant Functional Traits Are the Mediators in Regulating Effects of Abiotic Site Conditions on Aboveground Carbon Stock-Evidence From a 30 ha Tropical Forest Plot. *Frontiers in Plant Science* 9
- Callon M, Courtial JP, Laville F 1991. Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological Research: the case of polymer chemistry. *Scientometrics* 22:155–205.
- Carlos NA, Rossatto DR 2017. Leaf traits combinations may explain the occurrence of savanna herbaceous species along a gradient of tree encroachment. *Theoretical And Experimental Plant Physiology* 29(3): 155-163.
- Cassel JB, Rother JM, Pimenta BD, Ludwig RL, Santos DB 2022. Auxina: Ação Do Hormônio Indutor De Crescimento Em Soja, *Coletânea Internacional De Pesquisa Em Ciências Agrárias E Biológicas* 1: 31-44.
- Castañeda K et al. 2022. Highway Planning Trends: a bibliometric analysis. *Sustainability* 14(9): 5544.
- Cebrino J, Lacruz SP De 2020. A worldwide bibliometric analysis of published literature on workplace violence in healthcare personnel. *Plos One* 15(11): 0242781.



- AA, Salehi H, Yunus MMd, Farhadi H, Fooladi M, Farhadi M, Ebrahim AA 2013. A comparison between two main academic literature collections: Web of Science and Scopus databases. *Asian Social Science* 9(5): 18-26.
- Cobo MJ, López-Herrera AG, Herrera-Viedma E, Herrera F 2012. Scimat: a New Science Mapping Analysis Software Tool. *Journal of the Association for Information Science and Technology* 8(63): 1609-1630.
- Cordeiro NG et al. 2021. The role of environmental filters in Brazilian savanna vegetation dynamics. *Forest Ecology And Management* 500: 119645.
- Díaz S, Kattge J, Cornelissen JHC, Wright IJ, Lavorel S, Dray S, Reu B, Kleyer M, Wirth C, Prentice IC 2015. The global spectrum of plant form and function. *Nature* 529(7585): 167-171.
- Dormezil S, Khoshgoftaar T, Robinson-Bryant F 2019. *Differentiating between educational data mining and learning analytics: A bibliometric approach*. Montreal, 6 p.
- Fajardo A, Siefert, A 2016. Phenological variation of leaf functional traits within species. *Oecologia* 180: 951–959.
- Faria IA et al. 2022. Ant pollination, phenology, and breeding system of *Microstachys serrulata* (Mart. & Zucc.) Müll. Arg. (Euphorbiaceae) in the Brazilian savanna. *Plant Ecology* 223(10): 1247-1260.
- Faria LRR, Lopes AV, Pacheco RC 2015. Resource availability and the organization of stingless bee communities (Hymenoptera: Meliponini) in a tropical forest reserve in Bahia, Brazil. *Sociobiology* 62(3): 356-364.
- Ferraz KMPMB, Ferreira FA, Marques JJGS et al. 2013. The role of non-volant mammals in the seed dispersal of woody plants in a tropical forest of Brazil. *Biotropica* 45(6): 705-712.
- Ferrero V et al. 2019. Complex Patterns In Tolerance and Resistance To Pests And Diseases Underpin The Domestication Of Tomato. *New Phytologist* 1(226): 254-266.
- Filho JBS, Borges JD 2018. Ocorrência de raízes gemíferas em *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith (Bignoniaceae, Lamiales). *Ciência Florestal* 4(28): 1789-1797.
- Fritz Ma, Rosa S, Sicard A 2018. Mechanisms Underlying the Environmentally Induced Plasticity of Leaf Morphology. *Frontiers In Genetics* 9: 1-25.
- Funk JL et al. 2017. Revisiting the Holy Grail: using plant functional traits to understand ecological processes. *Biological Reviews* 92(2): 1156-1173.
- Furquim LC et al. 2018. Relação entre plantas nativas do Cerrado e água. *Científic@ - Multidisciplinary Journal* 2(5): 146-156.
- Garcia, L. M., Pastorini, L. H., Souza, L. A. d. (2022). Efeito Alelopático De *Tecoma Stans*, Na Germinação e Crescimento Inicial de *Lactuca Sativa* e de Três Espécies Nativas da Bacia do Rio Pirapó- Pr. *J. Biotechnol. Biodivers.*, 3(10), 194-205.
- Gardner TA 2006. Tree-grass coexistence in the Brazilian cerrado: demographic consequences of environmental instability. *Journal Of Biogeography* 33(3): 448-463.





- Gontijo BAC, Carvalho LOD, Loyola RD et al. 2020. Seed dispersal by ants in Brazilian ecosystems: a review. *Acta Amazonica* 50(3): 193-206.
- Grime JP 1979. *Plant Strategies and Vegetation Processes*. John Wiley & Sons, Ltda, New York, 222 pp.
- Haridasan M 2008. Nutritional Adaptations Of Native Plants Of the Cerrado Biome In Acid Soils. *Brazil Journal of Plant Physiology* 3(20): 183-195.
- Herrera CM, Medrano M, Rey PJ, Sánchez-Lafuente AM, García MB, Guitián J, Manzaneda AJ 2002. *Interaction of pollinators and herbivores on plant fitness suggests a pathway for correlated evolution of mutualism- and antagonism-related traits*. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences* 99(26): 16823-16828.
- Jesus MV et al. 2022. Arbuscular mycorrhizae alleviate water deficit in *Dipteryx alata* Vogel: seedling quality and resilience. *Canadian Journal Of Forest Research* 52(3): 320-327.
- Karvatte JN 2014. *Microclima em sistemas de integração e características quanti-qualitativas da sombra de espécies arbóreas nativas e cultivada, no cerrado*. 2014. 81 f. Dissertação de Mestrado. Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 81 pp.
- Klink CA, Machado RB 2005. Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology* 19(3): 707-713.
- Kuhlmann M, Ribeiro JF 2016. Evolution of seed dispersal in the Cerrado biome: ecological and phylogenetic considerations. *Acta Botanica Brasilica* 30(2): 271–282.
- Kumari A & Kaur R 2020. A review on morpho-physiological traits of plants under phthalates stress and insights into their uptake and translocation. *Plant Growth Regulation* 91(3): 327–347.
- Lavorel S et al. 2013. A novel framework for linking functional diversity of plants with other trophic levels for the quantification of ecosystem services. *Journal Of Vegetation Science* 24(5): 942-948.
- Lima AL, Silva CI, Alves RS 2016. Reproductive phenology and pollination of *Tabebuia roseoalba* (Bignoniaceae) in the Brazilian Cerrado. *Revista de Biología Tropical* 64(4): 1491-1502.
- Maglianesi MA et al. 2014. Morphological traits determine specialization and resource use in plant–hummingbird networks in the neotropics. *Ecology*, 95: 3325-3334.
- Magna GAM, Machado SA, Portella RB, Carvalho MF 2013. Chumbo E Cádmiio Detectados em Alimentos Vegetais e Gramíneas no Município de Santo Amaro-Bahia, *Quím. Nova* 36(7): 989-997.
- Martínez-Vilalta J et al. 2010. Interspecific Variation In Functional Traits, Not Climatic Differences Among Species Ranges, Determines Demographic Rates Across 44 Temperate and Mediterranean Tree Species. *Journal of Ecology* 6(98): 1462-1475.
- Meilhac J, Deschamps L, Maire V 2020. Both selection and plasticity drive niche differentiation in experimental grasslands. *Nature Plants* 6(28): s41477.
- Melo JT 2003. *Cultivo de Guariroba (Syagrus oleracea Becc.) em sistema consorciado com espécies florestais no Cerrado*. Comunicado Técnico 97, Embrapa Cerrados, Planaltina, 2 pp.



- Meyer RS, DuVal A, Jensen HH 2012. Patterns and processes in crop domestication: an historical review and quantitative analysis of 203 global food crops. *New Phytologist* 1(196): 29-48.
- Miatto RC, Batalha MA 2018. Are the cerrado and the seasonal forest woody floras assembled by different processes despite their spatial proximity? *Journal of Plant Ecology* 11(5): 740–750.
- Morais VA et al. 2020. Spatial distribution of soil carbon stocks in the Cerrado biome of Minas Gerais, Brazil. *Catena* 185: 104285.
- Neto GMC, Ramos ABB, Oliveira Júnior GG 2019. *Etnobotânica: o estudo das plantas medicinais da Caatinga no Ensino Médio*. in: Congresso internacional das licenciaturas, Recife. Anais [...]. Recife: Instituto Internacional Despertando Vocações, 2019. p. 1-19.
- Oliveira ACG et al. 2021. Growth and competition between a native leguminous forb and an alien grass from the Cerrado under elevated CO<sub>2</sub>. *Austral Ecology* 46(5): 750-761.
- Oliveira DG et al. 2021. *Lonchocarpus cultratus*, a Brazilian savanna tree, endures high soil Pb levels. *Environmental Science And Pollution Research* 28(36): 50931-50940.
- Pérez-Harguindeguy N et al. Corrigendum to: new handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal Of Botany* 64(8): 715.
- Pizo MA et al. 2022. Abundance predominates over niche factors as determinant of the frequency of interactions between frugivorous birds and plants. *Biotropica* 54(3): 627-634.
- Ramos FN, Farias FR, Souza FC 2018. Diversity and temporal variation of bees in a Cerrado fragment in southeastern Brazil. *Neotropical Entomology* 47(4): 504-514.
- Rech AR et al. 2018. Pollinator availability, mating system and variation in flower morphology in a tropical savanna tree. *Acta Botanica Brasilica* 32(3): 462-472.
- Reynolds MP et al. 2016. An integrated approach to maintaining cereal productivity under climate change. *Global Food Security* 8: 9-18.
- Santos LAC 2020. Agroecologia e conhecimento tradicional: uma análise bibliométrica. *Tecnia* 5(1): 153-179.
- Santos LAC et al. 2021. Indicadores socioambientais em sistemas agroflorestais no Cerrado goiano. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* 12(1): 54-65.
- Santos LAC, MIRANDA SC, SILVA NETO CM 2020. Fitofisionomias do Cerrado: definições e tendências. *Élisée - Revista de Geografia da UEG* 9(2): e922022.
- Sato MN et al. 2018. Fire-induced damage to *Qualea multiflora* Mart. seeds depends on fruit protection and the position in the tree crown. *Plant Biology* 20(6): 1036-1041.
- Schouteden C, Serwas D, Pálffy M, Dammermann a 2015. The Ciliary Transition Zone Functions In Cell Adhesion But Is Dispensable For Axoneme Assembly In *C. Elegans*, *Journal of Cell Biology* 210(1): 35-44.



- Silva IA et al. 2011. Plant functional types in Brazilian savannas: the niche partitioning between herbaceous and woody species. *Perspectives In Plant Ecology, Evolution And Systematics* 13(3): 201-206.
- Silva WR, Leite FA, Tabarelli M 2013. Seed dispersal and defaunation of economically important plants in human-modified landscapes of northeastern Brazil. *Ecological Applications* 23(6): 1533-1545.
- Siqueira MF, Coelho FM, Boschini FG 2017. Aromatic plants from Brazilian Cerrado and their honey pollen spectrum. *Grasas y Aceites* 68(2): e247.
- Souza EV et al. 2022. Structural plasticity in leaves of *Schinus terebinthifolius* (Anacardiaceae) populations from three contrasting tropical ecosystems1. *The Journal Of The Torrey Botanical Society* 149(3): 187-193.
- Sporbert M et al. 2022. Functional traits influence patterns in vegetative and reproductive plant phenology – a multi-botanical garden study. *New Phytologist* 235: 2199-2210.
- Strassburg BB et al 2017. Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology & Evolution* 1(4): 1-3.
- Ting MT, Ni J, Guo-Hong W 2017. Plant functional traits, environments and ecosystem functioning. *Chinese Journal of Plant Ecology* 31: 150-165.
- Tranzillo, Naron Silva 2021. *Interações planta-planta em campo rupestre arbustivo dominado por Vellozia Pyrantha: Espécie e fitofisionomias prioritárias para conservação*, SEMIC, 23.
- Tripathi M, Kumar S, Sonker SK, Babbar P 2018. Occurrence of author Keywords and keywords plus in social sciences and humanities research : A preliminary study. *COLLNET Journal of Scientometrics and Information Management* 12(2): 215-232.
- Vieira AO, Lomônaco C 2014. Respostas De Plantas Jovens *Hymenaea courbaril* L. (Fabaceae) à simulação de Danos por herbívoros. *Bioscience Journal* 30(4): 1222-1230.
- Violle C. et al. 2007. Let the concept of trait be functional! *Oikos* 116(5): 882-892.
- Violle C. et al. 2012. The return of the variance: intraspecific variability in community ecology. *Trends In Ecology & Evolution* 27(4): 244-252.
- Wang, JY 2017. Effects of Drought Stress on Morphophysiological Traits, Biochemical Characteristics, Yield, and Yield Components in Different Ploidy Wheat. *Advances in Agronomy*: 139–173.
- Wigley BJ et al. 2021. Corrigendum to: a handbook for the standardised sampling of plant functional traits in disturbance-prone ecosystems, with a focus on open ecosystems. *Australian Journal Of Botany* 69(2): 110.
- Yang J et al. 2020. Intraspecific Variation In Tree Growth Responses To Neighbourhood Composition and Seasonal Drought In A Tropical Forest. *Journal of Ecology* 1(109): 26-37.
- Yin H et al. 2022. Trends Of Calcium Silicate Biomaterials In Medical Research and Applications: A Bibliometric Analysis From 1990 To 2020. *Frontiers in Pharmacology* (13):1-14.



Zanzarini V et al. 2022. Flammability in tropical savannas: variation among growth forms and seasons in cerrado. *Biotropica* 54(4): 979-987.