

Asparagus in the Amazonian Savanna: cultivation, challenges, and potential for regional agricultural diversification

Aspargo na Savana Amazônica: cultivo, desafios e potencial para a diversificação agrícola regional

Sandra Lima Cruz^{1*}; José Maria Arcanjo Alves²; Rafaela Cordeiro de Souza Moura¹; Joaquim Silva dos Santos Neto³; Yenara Alves Guedes⁴; Bianca Karoline Milanez Tosin¹; José Lucas Queiroz Lucena¹

Abstract: The Amazonian savanna contains edaphoclimatic conditions that are challenging for agricultural production, characterized by high temperatures, hydric seasonality, and highly weathered soils, which require the adoption of adapted crops and management practices. In this context, asparagus (*Asparagus officinalis* L.) emerges as a potential alternative for agricultural diversification in frontier regions, provided it is supported by appropriate technical strategies. The objective of this study was to analyze, through a systematic literature review, the available evidence on asparagus cultivation in tropical savanna environments, with emphasis on agronomic adaptation, management, environmental stresses, plant health, postharvest aspects, and value-adding potential. The review was conducted in accordance with PRISMA guidelines, using a structured search strategy in the scientific databases PubMed, SciELO, Scopus, and Web of Science, complemented by a search on Google Scholar. The included studies were organized according to the PICO framework and synthesized into thematic analytical axes. At the end of the screening and eligibility process, 37 studies comprised the analytical dataset. The results indicate that asparagus performance in tropical savannas is conditioned by the interaction between environment and water management, soil and fertility management, physiological responses to abiotic stresses, the sanitary status of production systems, and postharvest practices. Evidence suggests that planned irrigation can mitigate the absence of thermal winter, while edaphic limitations, particularly related to acidity and phosphorus availability, require specific soil management. Phytosanitary risks in perennial systems and high postharvest sensitivity are also highlighted, as well as the nutritional and functional potential of asparagus and its co-products. It was concluded that asparagus has potential for integration into agricultural systems in tropical savannas, provided its introduction is guided by technical planning, regional validation, and integrated management.

Key words: Agronomic adaptation. *Asparagus officinalis*. Nutritional valorization. Roraima.

Resumo: A savana amazônica apresenta condições edafoclimáticas desafiadoras para a produção agrícola, caracterizadas por temperaturas elevadas, sazonalidade hídrica e solos altamente intemperizados, o que demanda a adoção de culturas e manejos adaptados. Nesse contexto, o aspargo (*Asparagus officinalis* L.) surge como alternativa potencial para a diversificação agrícola em regiões de fronteira, desde que sustentado por estratégias técnicas adequadas. Objetivou-se analisar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, as evidências disponíveis sobre o cultivo do aspargo em ambientes de savana tropical, com ênfase em adaptação agrônoma, manejo, estresses ambientais, sanidade, pós-colheita e potencial de agregação de valor. A revisão foi conduzida conforme as diretrizes PRISMA, utilizando estratégia de busca estruturada nas bases científicas PubMed, SciELO, Scopus e Web of Science, complementada por busca no Google Scholar. Os estudos incluídos foram organizados segundo o modelo PICO e sintetizados em eixos analíticos temáticos. Ao final do processo de triagem e elegibilidade, 37 estudos compuseram a base de análise. Os resultados indicam que o desempenho do aspargo em savanas tropicais está condicionado à interação entre ambiente e manejo hídrico, ao manejo do solo e da fertilidade, às respostas fisiológicas a estresses abióticos, à sanidade dos sistemas produtivos e às práticas de pós-colheita. Evidências apontam que a irrigação planejada pode mitigar a ausência de inverno térmico, enquanto limitações edáficas, especialmente relacionadas à acidez e à disponibilidade de fósforo, exigem manejo específico. Também são destacados riscos fitossanitários em sistemas perenes e elevada sensibilidade pós-colheita, além do potencial nutricional e funcional do aspargo e de seus coprodutos. Conclui-se que o aspargo apresenta potencial para integração em sistemas agrícolas de savana tropical, desde que sua introdução seja orientada por planejamento técnico, validação regional e manejo integrado.

Palavras-chave: Adaptação Agrônoma. *Asparagus officinalis*. Valorização nutricional. Roraima.

*Corresponding author

¹Programa de Pós-Graduação em Agronomia (POSAGRO) da Universidade Federal de Roraima - UFRR. Endereço: BR-174 Km 12, Monte Cristo, 69301-970, Boa Vista-RR, Brazil. E-mails: sandrabvrr@gmail.com, rafacordeirosmoura@gmail.com, tosinagronomia@gmail.com, jl.q2@hotmail.com

²Docente do Curso de Agronomia da Universidade Federal de Roraima - UFRR. E-mail: arcanjo.alves@ufrr.br

³Discente do Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Roraima - UFRR. E-mail: silvajoaquim807@gmail.com

⁴Doutoranda na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ-USP). E-mail: yenara_rr@hotmail.com

INTRODUCTION

Agricultural diversification in tropical savannas is widely recognized as an essential strategy to increase the resilience of production systems, reduce external dependence on food, and enable the cultivation of higher value-added crops (FAO, 2017; IPCC, 2022). In this context, the Amazonian savannas emerge as areas of high productive potential, provided that agricultural expansion is based on the adoption of crops adapted to local edaphoclimatic constraints and supported by appropriate technical management (BARBOSA *et al.*, 2025).

The savannas of Roraima are characterized by a seasonal tropical climate, with high temperatures throughout the year, intense solar radiation, and a well-defined dry season (BARNI *et al.*, 2022; INMET, 2022). From an edaphic perspective, dystrophic Oxisols and Ultisols predominate; these soils are deep, acidic, and have low nutrient availability, posing challenges to agricultural production (MAFFEI-VALERO *et al.*, 2022). These constraints, combined with low local vegetable production and dependence on supplies from other regions of the country, reinforce the need to identify crops adapted to the local environment that can ensure continuous supply, economic viability, and food security.

In this context, asparagus (*Asparagus officinalis* L.) stands out as a perennial vegetable of global economic importance, cultivated under different climatic conditions and capable of sustaining production over several years when properly managed (ROLBIECKI *et al.*, 2021; DROST, 2023). The possibility of successive harvests over an extended production cycle gives the crop high commercial value, making it a promising alternative for agricultural diversification in tropical regions, where water management plays a vital role (ROMERO-VERGEL *et al.*, 2023).

Asparagus productivity is directly related to the accumulation of reserves in the root system, which sustains spear emergence throughout the harvest cycles; this process is conditioned by edaphic factors that regulate root growth and functionality (ROMERO-VERGEL *et al.*, 2023).

INTRODUÇÃO

A diversificação agrícola em savanas tropicais é amplamente reconhecida como estratégia essencial para aumentar a resiliência dos sistemas produtivos, reduzir a dependência externa de alimentos e viabilizar o cultivo de espécies de maior valor agregado (FAO, 2017; IPCC, 2022). Nesse contexto, as savanas amazônicas emergem como áreas de elevado potencial produtivo, desde que a expansão agrícola esteja fundamentada na adoção de culturas adaptadas às restrições edafoclimáticas locais e sustentada por manejo técnico adequado (BARBOSA *et al.*, 2025).

As savanas de Roraima caracterizam-se por clima tropical sazonal, com temperaturas elevadas ao longo do ano, alta radiação solar e estação seca bem definida (BARNI *et al.*, 2022; INMET, 2022). Do ponto de vista edáfico, predominam Latossolos e Argissolos distróficos, profundos, ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes, o que impõe desafios à produção agrícola (MAFFEI-VALERO *et al.*, 2022). Essas restrições, associadas à baixa produção local de hortaliças e à dependência do abastecimento proveniente de outras regiões do país, reforçam a necessidade de identificar culturas adaptadas ao ambiente local, capazes de garantir oferta contínua, viabilidade econômica e segurança alimentar.

Nesse contexto, o aspargo (*Asparagus officinalis* L.) destaca-se como uma hortaliça perene, de importância econômica global, cultivada sob diferentes condições climáticas e capaz de manter produção sustentável ao longo de vários anos quando submetida a manejo adequado (ROLBIECKI *et al.*, 2021; DROST, 2023). A possibilidade de colheitas sucessivas durante um ciclo produtivo prolongado confere elevado valor comercial à cultura, tornando-a alternativa promissora para a diversificação agrícola em regiões tropicais de fronteira, nas quais o manejo hídrico assume papel determinante (ROMERO-VERGEL *et al.*, 2023).

A produtividade do aspargo está diretamente relacionada ao acúmulo de reservas no sistema radicular, que sustenta as brotações ao longo dos ciclos de colheita, sendo esse processo condicionado pelas condições edáficas que regulam o crescimento e a funcionalidade das raízes (ROMERO-VERGEL *et al.*, 2023).

In temperate regions, winter acts as a natural regulator of dormancy and sprouting; however, in tropical climates, this control depends primarily on agronomic management, especially irrigation, spear management, and soil conservation practices (ROLBIECKI *et al.*, 2021). In addition, genetic differences influence root system depth and the ability to respond to environmental stresses such as water deficit and high temperatures, highlighting the importance of selecting materials adapted to local cultivation conditions (CHEN *et al.*, 2020; ZHANG *et al.*, 2024).

The combination of high temperatures and seasonal water restriction constitutes the main challenge to asparagus cultivation, directly influencing vegetative growth, spear emergence, and crop productivity (BARNI *et al.*, 2022). Studies indicate that *Asparagus officinalis* exhibits physiological and molecular mechanisms associated with tolerance to water deficit and heat stress, including metabolic adjustments and activation of antioxidant systems, indicating adaptive potential in seasonally dry tropical environments (ZHANG *et al.*, 2024). However, the expression of this productive potential depends on the interaction between genetics, soil, and climate, since adverse edaphic conditions combined with seasonal water limitation require integrated management to ensure satisfactory agronomic performance (ROLBIECKI *et al.*, 2021; MATOS *et al.*, 2023).

In addition to field performance, postharvest quality represents a critical point in asparagus cultivation. The spears, harvested at a young stage, have a high respiration rate and rapid water loss, making preservation highly dependent on proper harvesting practices, pre-cooling, and maintenance of the cold chain. During refrigerated storage and shelf life, there is a significant reduction in quality, with loss of fresh mass and texture changes that accelerate deterioration (ANASTASIADI *et al.*, 2020; TOSCANO *et al.*, 2021; AROUCHA *et al.*, 2024).

Additionally, asparagus decline syndromes have been reported, associated with the interaction between biotic and abiotic factors, compromising crop longevity and productivity, especially when soil pathogens interact with adverse edaphoclimatic conditions such as high temperatures and water deficit (BRIZUELA *et al.*, 2020; RAMEGOWDA; PANDEY, 2024; LÓPEZ-MORENO *et al.*, 2025).

Em regiões temperadas, o inverno atua como regulador natural da dormência e da brotação; entretanto, em clima tropical, esse controle depende fundamentalmente do manejo agrônomo, especialmente da irrigação, do manejo das hastes e da conservação do solo (ROLBIECKI *et al.*, 2021). Além disso, diferenças genéticas influenciam a profundidade do sistema radicular e a capacidade de resposta a estresses ambientais, como déficit hídrico e altas temperaturas, evidenciando a importância da seleção de materiais adaptados às condições locais de cultivo (CHEN *et al.*, 2020; ZHANG *et al.*, 2024).

A combinação entre temperaturas elevadas e restrição hídrica sazonal constitui o principal desafio ao cultivo do aspargo, influenciando diretamente o crescimento vegetativo, a brotação e a produtividade da cultura (BARNI *et al.*, 2022). Estudos indicam que *Asparagus officinalis* apresenta mecanismos fisiológicos e moleculares associados à tolerância ao déficit hídrico e ao estresse térmico, incluindo ajustes metabólicos e ativação de sistemas antioxidantes, indicando potencial adaptativo em ambientes tropicais sazonalmente secos (ZHANG *et al.*, 2024). Contudo, a expressão desse potencial produtivo depende da interação entre genética, solo e clima, uma vez que condições edáficas adversas, aliadas à sazonalidade hídrica, demandam manejo integrado para assegurar desempenho agrônomo satisfatório (ROLBIECKI *et al.*, 2021; MATOS *et al.*, 2023).

Além do desempenho em campo, a qualidade pós-colheita constitui ponto crítico no cultivo do aspargo. Os turios, colhidos ainda jovens, apresentam elevada taxa respiratória e rápida perda de água, tornando a conservação altamente dependente de práticas adequadas de colheita, pré-resfriamento e manutenção da cadeia de frio. Durante o armazenamento refrigerado e a vida de prateleira, ocorre redução significativa da qualidade, com perda de massa fresca e alterações de textura que aceleram a deterioração (ANASTASIADI *et al.*, 2020; TOSCANO *et al.*, 2021; AROUCHA *et al.*, 2024).

Adicionalmente, têm sido relatadas síndromes de declínio do aspargo associadas à interação entre fatores bióticos e abióticos, comprometendo a longevidade e a produtividade dos cultivos, especialmente quando patógenos do solo interagem com condições edafoclimáticas adversas, como temperaturas elevadas e déficit hídrico (BRIZUELA *et al.*, 2020; RAMEGOWDA; PANDEY, 2024; LÓPEZ-MORENO *et al.*, 2025).

Despite the potential of asparagus as a high-value perennial crop for agricultural diversification in tropical environments, integrative studies evaluating its agronomic, productive, and management feasibility under the edaphoclimatic conditions of the Amazonian savannas - particularly in the state of Roraima - are still scarce.

Therefore, the present study consists of a systematic literature review aimed at critically analyzing the available evidence on asparagus cultivation in savanna environments, integrating information on agronomic adaptation, management, environmental stresses, and postharvest quality, in order to support the assessment of its potential as a productive and nutritional alternative for the state of Roraima.

MATERIALS AND METHODS

The present study consists of a systematic literature review conducted in accordance with the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) guidelines, with the objective of ensuring transparency, traceability, and methodological rigor at all stages of the process of identification, selection, eligibility, and inclusion of studies. The application of this approach is justified by the need to technically and critically analyze the agronomic feasibility of asparagus cultivation in Amazonian savanna environments, with emphasis on the State of Roraima, considering aspects related to edaphoclimatic adaptation, productivity, potential, and sustainability of the cultivation system. The systematic review was conducted in accordance with the PRISMA 2020 guidelines (PAGE *et al.*, 2021), as recommended for literature synthesis studies.

The methodological design was previously defined and guided by a research question structured according to the PICO model, which directed the search strategy, eligibility criteria, data extraction, and synthesis of results. The guiding research question of the review was formulated as follows: what scientific evidence is available regarding the agronomic adaptation, management practices, productive performance, and nutritional attributes of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) in tropical savanna environments, especially under conditions of thermal and water stress?

Apesar do potencial do aspargo como cultura perene de alto valor para a diversificação agrícola em ambientes tropicais, ainda são escassos estudos integrativos que avaliem sua viabilidade agrônômica, produtiva e de manejo sob as condições edafoclimáticas das savanas amazônicas, particularmente no estado de Roraima.

Diante desse contexto, o presente estudo consiste em uma revisão sistemática da literatura, que visa analisar criticamente as evidências disponíveis sobre o cultivo do aspargo em ambiente de savana, integrando informações sobre adaptação agrônômica, manejo, estresses ambientais e qualidade pós-colheita, de modo a subsidiar a avaliação de seu potencial como alternativa produtiva e nutricional para o estado de Roraima.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo consiste em uma revisão sistemática da literatura, conduzida de acordo com as diretrizes do PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), com o objetivo de assegurar transparência, rastreabilidade e rigor metodológico em todas as etapas do processo de identificação, seleção, elegibilidade e inclusão dos estudos. A aplicação desta abordagem justifica-se pela necessidade de analisar, de forma técnica e criteriosa, a viabilidade agrônômica do cultivo do aspargo em ambientes de savanas amazônicas, com ênfase no estado de Roraima, considerando aspectos relacionados à adaptação edafoclimática, à produtividade, ao potencial e à sustentabilidade do sistema de cultivo. A revisão sistemática foi conduzida de acordo com as diretrizes do PRISMA 2020 (PAGE *et al.*, 2021), conforme recomendado para estudos de síntese da literatura.

O delineamento metodológico foi previamente definido e orientado por uma questão de pesquisa estruturada segundo o modelo PICO, que norteou a estratégia de busca, os critérios de elegibilidade, a extração de dados e a síntese dos resultados. A pergunta norteadora da revisão foi formulada da seguinte forma: quais são as evidências científicas disponíveis sobre a adaptação agrônômica, o manejo, o desempenho produtivo e os atributos nutricionais do aspargo (*Asparagus officinalis* L.) em ambientes de savana tropical, especialmente sob condições de estresse térmico e hídrico?

In this context, the population of interest (P) comprised *Asparagus officinalis* crops established in tropical, subtropical, or savanna environments; the interventions (I) involved agronomic management practices, including water management, soil management, and selection of genetic materials; the comparisons (C), when present, considered different environmental conditions, management regimes, or production systems; and the outcomes (O) encompassed agronomic adaptation, productivity, physiological responses to abiotic stresses, postharvest quality, nutritional value, presence of bioactive compounds, and occurrence of crop decline syndromes.

The bibliographic search included studies published between January 1992 and April 2026, using the databases PubMed, SciELO, Scopus, and Web of Science, complemented by searches in Google Scholar in order to broaden the retrieval of relevant studies and reduce indexing bias. The completion of search fields followed the “Title, Abstract, Key words” standard in the Scopus and Web of Science databases, while in SciELO the “subject” field was used. In Google Scholar, the search was conducted in “any part of the article,” considering the breadth of this search engine.

Free terms in English and Portuguese were employed, combined using the Boolean operators AND and OR, including: “*Asparagus officinalis*” OR “asparagus” AND “savanna” OR “tropical agriculture” AND “water stress” OR “heat stress” AND “irrigation management” OR “soil fertility” AND “postharvest quality” OR “nutritional value” OR “valor nutritional” OR “bioactive compounds” OR “compostos bioativos” AND “crop decline.” The combinations of descriptors were adjusted according to the specific characteristics of each database in order to maximize search sensitivity and retrieval of potentially eligible studies.

Language filters (portuguese and english), the previously defined time frame, and document types were applied, restricting the search to scientific articles and review articles published in peer-reviewed journals. Theses, dissertations, conference abstracts, and documents without peer review were not considered.

Nesse contexto, a população de interesse (P) compreendeu cultivos de *Asparagus officinalis* estabelecidos em ambientes tropicais, subtropicais ou de savana; as intervenções (I) envolveram práticas de manejo agrônomo, incluindo manejo hídrico, manejo do solo e seleção de materiais genéticos; as comparações (C), quando presentes, consideraram diferentes condições ambientais, regimes de manejo ou sistemas produtivos; e os desfechos (O) abrangeram adaptação agrônoma, produtividade, respostas fisiológicas a estresses abióticos, qualidade pós-colheita, valor nutricional, presença de compostos bioativos e ocorrência de síndromes de declínio da cultura.

A busca bibliográfica envolve pesquisas publicadas entre janeiro 1992 até abril de 2026, utilizando as bases de dados PubMed, SciELO, Scopus e Web of Science, complementada por buscas no Google Scholar, com o objetivo de ampliar a recuperação de estudos relevantes e reduzir vieses de indexação. O preenchimento dos campos de busca seguiu o padrão “título, resumo e palavras-chave” (Title, Abstract, Key words) nas bases Scopus e Web of Science, enquanto na SciELO foi utilizado o campo “assunto”. No Google Scholar, a busca foi realizada em “qualquer parte do artigo”, considerando a abrangência desse mecanismo.

Foram empregados termos livres em inglês e português, combinados por operadores booleanos AND e OR, incluindo: “*Asparagus officinalis*” OR “asparagus” AND “savanna” OR “tropical agriculture” AND “water stress” OR “heat stress” AND “irrigation management” OR “soil fertility” AND “postharvest quality” OR “nutritional value” OR “valor nutricional” OR “bioactive compounds” OR “compostos bioativos” AND “crop decline”. As combinações dos descritores foram ajustadas conforme as especificidades de cada base de dados, visando maximizar a sensibilidade da busca e a recuperação de estudos potencialmente elegíveis.

Foram aplicados filtros de idioma (português e inglês), recorte temporal previamente definido e tipos de documento, restringindo-se a artigos científicos e artigos de revisão publicados em periódicos revisados por pares. Não foram considerados teses, dissertações, resumos de congressos ou documentos sem avaliação por pares.

Eligibility criteria were established a priori. Studies addressing asparagus cultivation under tropical, subtropical, or savanna conditions were included, encompassing aspects related to agronomic adaptation, water and soil management, physiological responses to abiotic stresses, productivity, postharvest quality, nutritional value, presence of bioactive compounds, and occurrence of decline syndromes. Studies focused exclusively on ornamental purposes, those not directly related to agricultural asparagus production, duplicate publications, articles without full-text access, studies with insufficient data or lacking adequate methodological description, as well as those predominantly focused on non-agricultural, industrial or technological aspects, were excluded.

The study selection process occurred in successive stages, beginning with identification of records in the databases, followed by removal of duplicates, screening through title and abstract reading, and subsequent eligibility assessment through full-text review. Studies that *met all* inclusion criteria were incorporated into the final qualitative synthesis. Information extracted from the included studies comprised location of the study, edaphoclimatic conditions, evaluated genetic materials, management practices adopted, physiological responses to environmental stresses, productive parameters, postharvest quality indicators, nutritional composition, reported bioactive compounds, and records of crop decline syndromes.

The process of identification, screening, eligibility, and inclusion of studies was conducted in accordance with PRISMA guidelines. Initially, 662 records were identified in electronic databases: 122 in PubMed, 58 in SciELO, 358 in Google Scholar, 62 in Scopus, and 94 in Web of Science. Additionally, 27 records were obtained through manual searches of reference lists. After the removal of duplicates, 470 unique records remained for the screening stage. During the screening phase, the 468 records were assessed by reading titles and abstracts, resulting in the exclusion of 379 studies for not meeting the previously established eligibility criteria. Thus, 91 articles were selected for full-text evaluation.

Os critérios de elegibilidade foram estabelecidos previamente. Foram incluídos estudos que abordassem o cultivo do aspargo sob condições tropicais, subtropicais ou de savana, contemplando aspectos relacionados à adaptação agrônômica, ao manejo hídrico e do solo, às respostas fisiológicas a estresses abióticos, à produtividade, à qualidade pós-colheita, ao valor nutricional, à presença de compostos bioativos e à ocorrência de síndromes de declínio. Foram excluídos trabalhos com enfoque exclusivamente ornamental, estudos sem relação direta com a produção agrícola do aspargo, publicações duplicadas, artigos sem acesso ao texto completo, estudos com dados insuficientes ou ausência de descrição metodológica adequada, bem como aqueles com foco predominantemente industrial ou tecnológico não agrícola.

O processo de seleção dos estudos ocorreu em etapas sucessivas, iniciando-se pela identificação dos registros nas bases de dados, seguida da remoção de duplicatas, triagem por leitura de títulos e resumos e, posteriormente, avaliação da elegibilidade por meio da leitura integral dos textos. Os estudos que atenderam a todos os critérios de inclusão foram incorporados à síntese qualitativa final. As informações extraídas dos estudos incluídos abrangeram local de condução, condições edafoclimáticas, materiais genéticos avaliados, práticas de manejo adotadas, respostas fisiológicas a estresses ambientais, parâmetros produtivos, indicadores de qualidade pós-colheita, composição nutricional, compostos bioativos relatados e registros de síndromes de declínio.

O processo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos foi conduzido de acordo com as diretrizes do PRISMA. Inicialmente, foram identificados 662 registros nas bases de dados eletrônicas, sendo 122 na PubMed, 58 na SciELO, 358 no Google Acadêmico, 62 na Scopus e 94 na Web of Science. Adicionalmente, 27 registros foram obtidos por meio de busca manual em listas de referências. Após a remoção de duplicatas, 470 registros únicos permaneceram para a etapa de triagem. Na fase de triagem, os 468 registros foram avaliados por meio da leitura de títulos e resumos, resultando na exclusão de 379 estudos por não atenderem aos critérios de elegibilidade previamente estabelecidos. Dessa forma, 91 artigos foram selecionados para avaliação na íntegra.

At the eligibility stage, the 91 full-text articles were carefully analyzed, and 54 studies were excluded for the following reasons: lack of adequate methodological description (12 studies), insufficient data for analysis (13 studies), lack of relevance to asparagus cultivation in a savanna environment (9 studies), and predominantly industrial focus (8 studies). At the end of the process, 37 studies met all inclusion criteria and were incorporated into the qualitative synthesis of the systematic review.

The general characterization of the included studies, considering publication period, study regions, evaluated environments, and types of methodological design, is presented in Table 1.

Na etapa de elegibilidade, os 91 artigos avaliados em texto completo foram analisados de forma criteriosa, sendo 54 estudos excluídos pelos seguintes motivos: ausência de descrição metodológica adequada (12 estudos), dados insuficientes para análise (13 estudos), não pertinência ao cultivo do aspargo em ambiente de savana (9 estudos) e enfoque predominantemente industrial (8 estudos). Ao final do processo, 37 estudos atenderam a todos os critérios de inclusão e foram incorporados à síntese qualitativa da revisão sistemática.

A caracterização geral dos estudos incluídos, considerando período de publicação, regiões de estudo, ambientes avaliados e tipos de delineamento metodológico, encontra-se apresentada na Tabela 1.

Table 1 - General characterization of the studies included in the systematic review (n = 37)

Tabela 1 - Caracterização geral dos estudos incluídos na revisão sistemática (n = 37)

Characteristics	General description
Total number of studies	37
Publication period	1992–2026
Languages	English and Portuguese
Study regions	"South America (mainly Brazil), Europe, Africa, Asia, Oceania, and North America."
Environments evaluated	Humid tropical, tropical savanna, semi-arid regions, temperate climate and controlled environments, and transition regions."
Type of study	Experimental field and laboratory studies, agronomic trials, observational studies, and technical/literature reviews.
Scale of analysis	Plant, soil, production system, plant physiology, and post-harvest.
Main thematic focuses	Climatic conditions, soil, abiotic and biotic stresses, genetics, irrigation, bioactive compounds, quality, and post-harvest preservation.
Methodological strategies	Agronomic, physiological, biochemical, metabolomic evaluations, soil analyses, and literature review (bibliographic synthesis).
Applied synthesis	Systematic review with qualitative synthesis

All eligible studies were organized in a spreadsheet containing: title, authors/year, source database, access link, keywords, and extracted categories. To support the comparative synthesis, each publication received standardized scores on a scale from 1 to 5, assigned according to previously defined criteria (thematic relevance, methodological rigor, clarity of results, and regional applicability). The final score for each study was obtained by calculating the arithmetic mean of the criteria. These scores were used to support the narrative synthesis (not as a meta-analysis), contributing to transparency in the evaluation and traceability of decisions.

Todos os estudos elegíveis foram organizados em planilha contendo: título, autores/ano, base de origem, link de acesso, palavras-chave e categorias extraídas. Para apoiar a síntese comparativa, cada publicação recebeu pontuações padronizadas em escala de 1 a 5, atribuídas a critérios previamente definidos (relevância temática, rigor metodológico, clareza dos resultados e aplicabilidade regional). A pontuação final de cada estudo foi obtida pela média aritmética dos critérios. Essas pontuações foram utilizadas como apoio à síntese narrativa (não como meta-análise), contribuindo para a transparência da avaliação e a rastreabilidade das decisões.

The synthesis of results was conducted through systematic qualitative analysis, considering the methodological heterogeneity of the included studies, which made quantitative meta-analysis unfeasible. The findings were interpreted critically, seeking to identify patterns, convergences, divergences, and gaps in scientific knowledge, with special attention to the applicability of evidence to the conditions of the Amazonian savannas, particularly in the state of Roraima.

A síntese dos resultados foi conduzida por meio de análise qualitativa sistemática, considerando a heterogeneidade metodológica dos estudos incluídos, o que inviabilizou a realização de meta-análise quantitativa. Os achados foram interpretados de forma crítica, buscando identificar padrões, convergências, divergências e lacunas no conhecimento científico, com especial atenção à aplicabilidade das evidências às condições das savanas amazônicas, particularmente no estado de Roraima.

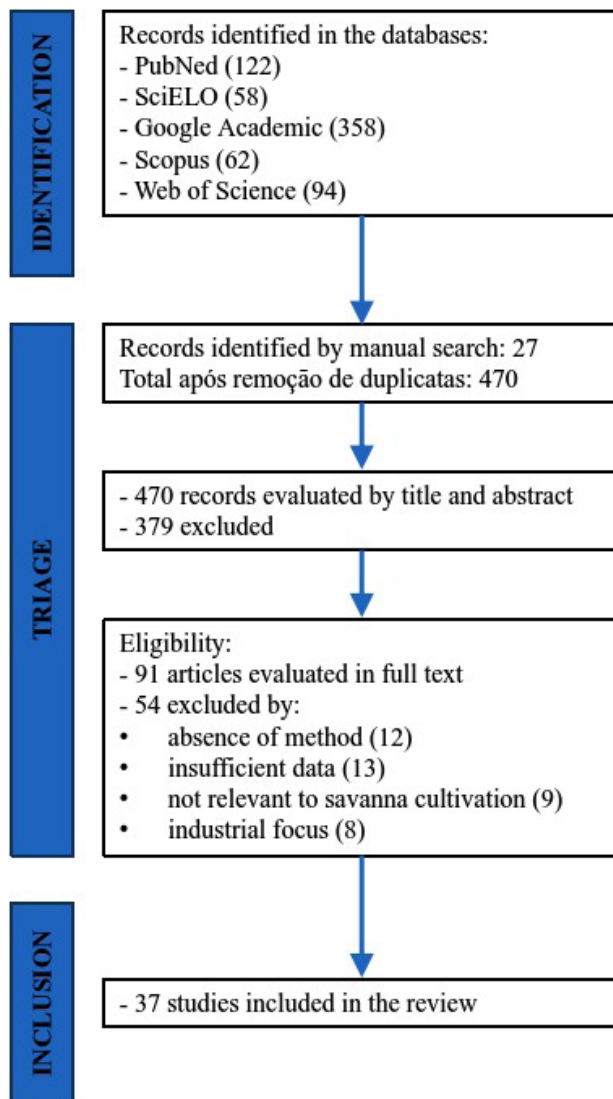


Figure 1 - Flowchart of the process of identification, screening, eligibility, and inclusion of studies, adapted from the PRISMA 2020 guidelines.

Figura 1 - Fluxograma do processo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos, adaptado das diretrizes PRISMA 2020.

The selected studies were analyzed and organized into thematic categories, covering aspects of edaphoclimatic adaptation, agronomic requirements, crop management, productive potential, and economic feasibility of asparagus cultivation in the Amazonian savanna, in order to meet the objectives proposed in this study.

RESULTS

The systematic review resulted in the inclusion of 37 studies, which addressed different dimensions related to asparagus cultivation (*Asparagus officinalis* L.) in tropical, subtropical, and savanna environments, as well as under controlled experimental conditions relevant to understanding crop adaptation to environmental stresses, as presented in Table 1.

The analyzed studies indicate that, in tropical and subtropical environments, the combination of high solar radiation, elevated temperatures, and a well-defined dry season directly influences spear emergence dynamics and asparagus productivity. Evidence obtained in tropical and semi-arid regions demonstrates that spear production may be favored when these environmental conditions are associated with properly managed irrigation systems, particularly localized drip irrigation (D'OLIVEIRA *et al.*, 1999; HEIJ *et al.*, 2020).

However, the results also indicate that persistent high temperatures tend to intensify respiration and the consumption of root reserves, with potential negative implications for vigor and the longevity of asparagus fields. In regions without a well-defined winter, this effect reinforces the need for planning harvest windows and ensuring adequate vegetative recovery periods to replenish reserves (TAKAHASHI; KOBAYASHI, 1992; HEIJ *et al.*, 2020). In the context of Amazonian savannas, regional environmental analyses emphasize that the interaction between seasonal climate and water availability constitutes a critical factor for the sustainability of production systems, requiring water management technically adjusted to local conditions (BARNI *et al.*, 2022; BARBOSA *et al.*, 2025).

Os estudos selecionados foram analisados e organizados em categorias temáticas, contemplando aspectos de adaptação edafoclimática, exigências agronômicas, manejo cultural, potencial produtivo e viabilidade econômica do cultivo do aspargo na savana amazônica, de modo a atender aos objetivos propostos neste estudo.

RESULTADOS

A revisão sistemática resultou na inclusão de 37 estudos, os quais abordaram diferentes dimensões relacionadas ao cultivo do aspargo (*Asparagus officinalis* L.) em ambientes tropicais, subtropicais e de savana, bem como em condições experimentais controladas relevantes para a compreensão da adaptação da cultura a estresses ambientais, conforme apresentados na Tabela 1.

Os estudos analisados convergem ao indicar que, em ambientes tropicais e subtropicais, a combinação entre alta radiação solar, temperaturas elevadas e estação seca bem definida exerce influência direta sobre a dinâmica de brotação e a produtividade do aspargo. Evidências obtidas em regiões de clima tropical e semiárido demonstram que a emissão de turbiões pode ser favorecida quando essas condições ambientais são associadas a sistemas de irrigação adequadamente manejados, com destaque para a irrigação localizada por gotejamento (D'OLIVEIRA *et al.*, 1999; HEIJ *et al.*, 2020).

Entretanto, os resultados também indicam que temperaturas persistentemente elevadas tendem a intensificar a respiração e o consumo das reservas radiculares, com potenciais implicações negativas para o vigor e a longevidade do espargueiral. Em regiões sem inverno bem definido, esse efeito reforça a necessidade de planejamento das janelas de colheita e de períodos adequados de recuperação vegetativa para recomposição das reservas (TAKAHASHI; KOBAYASHI, 1992; HEIJ *et al.*, 2020). No contexto das savanas amazônicas, análises ambientais regionais ressaltam que a interação entre clima sazonal e disponibilidade hídrica constitui fator crítico para a sustentabilidade dos sistemas produtivos, exigindo manejo hídrico tecnicamente ajustado às condições locais (BARNI *et al.*, 2022; BARBOSA *et al.*, 2025).

Within the axis related to genetics, physiology, and responses to abiotic stresses, the results indicate that *Asparagus officinalis* exhibits significant physiological plasticity under tropical conditions, as evidenced by the direct influence of seed physiological quality on initial establishment, with commercial seeds showing greater emergence and vigor compared to local seeds, as well as by the importance of substrate composition for early seedling growth, particularly when a balance between mineral and organic fractions is achieved (TAVARES *et al.*, 2023; GUEDES *et al.*, 2026). These findings, together with recent evidence regarding the activation of physiological and molecular stress-tolerance mechanisms, such as metabolic adjustments and maintenance of growth under adverse conditions (HE *et al.*, 2024; ZHANG *et al.*, 2024), reinforce that asparagus performance in hot and seasonally dry environments depends on the interaction among genotype, environment, and management. Therefore, the selection of high-vigor seeds and the proper management of the cultivation system are critical determinants of productive stability in savanna regions (YE *et al.*, 2024).

These findings support that asparagus performance in hot and seasonally dry environments depends not only on environmental conditions but also on the selection of adapted genetic materials and physiological crop management, such as controlling harvest windows and vegetative recovery periods (YE *et al.*, 2024). Overall, the results indicate that genotype - environment interaction is a determining component for productive stability of asparagus in savanna regions.

Concerning soil management and fertility, the included studies indicate that Amazonian savannas present relevant edaphic limitations to asparagus cultivation, associated with high acidity, low base saturation, and reduced phosphorus availability - typical characteristics of highly weathered soils. Pedological surveys and environmental analyses demonstrate that variability in soil chemical and mineralogical attributes directly influences agricultural productive potential, conditioning the performance of perennial crops (MAFFEI-VALERO *et al.*, 2022). In this sense, the studies indicate that soil correction practices and adequate fertilization are decisive for successful cultivation.

No eixo relacionado à genética, fisiologia e respostas a estresses abióticos, os resultados indicam que *Asparagus officinalis* apresenta relevante plasticidade fisiológica em condições tropicais, evidenciada pela influência direta da qualidade fisiológica das sementes no estabelecimento inicial, com sementes comerciais apresentando maior emergência e vigor em relação às locais, bem como pela importância do substrato no crescimento inicial das plântulas, especialmente quando há equilíbrio entre frações mineral e orgânica (TAVARES *et al.*, 2023; GUEDES *et al.*, 2026). Esses achados, aliados a evidências recentes sobre a ativação de mecanismos fisiológicos e moleculares de tolerância ao estresse, como ajustes metabólicos e manutenção do crescimento sob condições adversas (HE *et al.*, 2024; ZHANG *et al.*, 2024), reforçam que o desempenho do aspargo em ambientes quentes e sazonalmente secos depende da interação entre genótipo, ambiente e manejo, sendo a seleção de sementes de alto vigor e o manejo adequado do sistema de cultivo determinantes para a estabilidade produtiva em regiões de savana (YE *et al.*, 2024).

Esses achados sustentam que o desempenho do aspargo em ambientes quentes e sazonalmente secos depende não apenas das condições ambientais, mas também da seleção de materiais genéticos adaptados e do manejo fisiológico da cultura, como o controle das janelas de colheita e dos períodos de recuperação vegetativa (YE *et al.*, 2024). De forma integrada, os resultados indicam que a interação entre genótipo e ambiente constitui componente determinante para a estabilidade produtiva do aspargo em regiões de savana.

No eixo referente ao manejo de solo e fertilidade, os estudos incluídos indicam que as savanas amazônicas apresentam limitações edáficas relevantes ao cultivo do aspargo, associadas à elevada acidez, à baixa saturação por bases e à reduzida disponibilidade de fósforo, características típicas de solos altamente intemperizados. Levantamentos pedológicos e análises ambientais demonstram que a variabilidade dos atributos químicos e mineralógicos do solo influencia diretamente o potencial produtivo agrícola, condicionando o desempenho de culturas perenes (MAFFEI-VALERO *et al.*, 2022). Nesse sentido, os estudos indicam que práticas de correção do solo e adubação adequada são determinantes para o sucesso do cultivo.

Regional results indicate that phosphorus dynamics in acidic Amazonian soils constitute one of the main limiting factors to productivity due to the strong adsorption of this nutrient, which requires specific correction and fertility management practices to enable sustainable production systems (MATOS *et al.*, 2023). Furthermore, environmental studies highlight that the interaction between edaphic constraints and climatic seasonality imposes additional challenges to agricultural production in northern Amazonian savannas (BARNI *et al.*, 2022).

In the context of agricultural expansion in savanna regions, regional evidence emphasizes that crop adoption should be based on compatibility with local edaphoclimatic constraints and technically appropriate management systems, otherwise productivity and sustainability may be compromised in the medium and long term (BARBOSA *et al.*, 2025).

The results indicate that soil-borne diseases, nematodes, and pathogens associated with perennial systems constitute relevant limiting factors for the longevity of asparagus fields. Evidence suggests that the interaction between abiotic stresses and biotic agents may intensify crop decline processes, reducing productivity and plantation lifespan (ELMER, 2018; BRIZUELA *et al.*, 2020; LÓPEZ-MORENO *et al.*, 2025). Recent studies highlight the emergence of these problems in different production contexts, reinforcing the need for continuous phytosanitary monitoring and integrated management strategies, especially in agricultural frontier regions and tropical environments where production systems are still consolidating (RAMEGOWDA; PANDEY, 2024; LÓPEZ-MORENO *et al.*, 2025).

Postharvest studies indicate high sensitivity of spears to water loss and temperature fluctuations, supporting the need for rapid precooling and maintenance of the cold chain to preserve color, texture, and shelf life (MAHAJAN *et al.*, 2014; YU; FAN, 2021). Metabolomic evidence reinforces that environmental fluctuations may affect compound profiles, increasing the importance of consistent conservation practices (ALAN *et al.*, 2022; PEGIOU *et al.*, 2023).

The results indicate that, beyond spears, cladodes and roots concentrate bioactive compounds with functional potential, including fructans and phenolics (WITZEL; MATROS, 2020; REDONDO-CUENCA *et al.*, 2023). Trials and analyses suggest prebiotic and antioxidant potential in asparagus fractions and their by-products (HAMDI *et al.*, 2023; GOÑI *et al.*, 2024).

Resultados regionais indicam que a dinâmica do fósforo em solos ácidos amazônicos constitui um dos principais fatores limitantes à produtividade, em razão da forte adsorção desse nutriente, o que demanda práticas específicas de correção e manejo da fertilidade para viabilizar sistemas produtivos sustentáveis (MATOS *et al.*, 2023). Além disso, estudos ambientais destacam que a interação entre restrições edáficas e sazonalidade climática impõe desafios adicionais à produção agrícola em savanas do norte da Amazônia (BARNI *et al.*, 2022).

No contexto da expansão agrícola em regiões de savana, evidências regionais ressaltam que a adoção de culturas deve estar fundamentada na compatibilidade com as restrições edafoclimáticas locais e em sistemas de manejo tecnicamente adequados, sob risco de comprometimento da produtividade e da sustentabilidade a médio e longo prazo (BARBOSA *et al.*, 2025).

Os resultados indicam que doenças de solo, nematoides e patógenos associados a sistemas perenes constituem fatores limitantes relevantes para a longevidade do espargueiral. Evidências apontam que a interação entre estresses abióticos e agentes bióticos pode intensificar processos de declínio da cultura, reduzindo produtividade e vida útil dos plantios (ELMER, 2018; BRIZUELA *et al.*, 2020; LÓPEZ-MORENO *et al.*, 2025). Estudos recentes destacam a emergência desses problemas em diferentes contextos produtivos, reforçando a necessidade de monitoramento fitossanitário contínuo e de estratégias de manejo integrado, especialmente em regiões de fronteira agrícola e ambientes tropicais, onde os sistemas produtivos ainda estão em consolidação (RAMEGOWDA; PANDEY, 2024; LÓPEZ-MORENO *et al.*, 2025).

Estudos de pós-colheita indicam elevada sensibilidade dos turriões à perda de água e às oscilações de temperatura, sustentando a necessidade de pré-resfriamento rápido e manutenção de cadeia de frio para preservar cor, textura e vida útil (MAHAJAN *et al.*, 2014; YU; FAN, 2021). Evidências metabolômicas reforçam que oscilações ambientais podem afetar perfil de compostos, o que aumenta a importância de práticas consistentes de conservação (ALAN *et al.*, 2022; PEGIOU *et al.*, 2023).

Os resultados indicam que, além dos turriões, cladódios e raízes concentram compostos bioativos com potencial funcional, incluindo frutanos e fenólicos (WITZEL; MATROS, 2020; REDONDO-CUENCA *et al.*, 2023). Ensaio e análises sugerem potencial prebiótico e antioxidante em frações do aspargo e seus subprodutos (HAMDI *et al.*, 2023; GOÑI *et al.*, 2024).

Metabolomics (mapping of small chemical compounds - metabolites) demonstrates variation in chemical profiles according to environment, management, and phenological stage (ISAH, 2019; PEGIOU *et al.*, 2023; KIM *et al.*, 2024), reinforcing the relevance of regional validation to maximize quality and added value. The potential for industrial and technological use of co-products and residues from asparagus fields is highlighted as a strategic component for sustainability and profitability (VIERA-ALCAIDE *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2023). An integrative synthesis of the main findings identified in each analytical axis is presented in Table 2.

A metabolômica (mapeamento de pequenos composto químicos-metabólitos), demonstra variação do perfil químico conforme ambiente, manejo e estágio fenológico (ISAH, 2019; PEGIOU *et al.*, 2023; KIM *et al.*, 2024), reforçando a relevância de validação regional para maximizar qualidade e valor agregado. O potencial de aproveitamento industrial e tecnológico de coprodutos e resíduos do espargueiral é destacado como componente estratégico para sustentabilidade e rentabilidade (VIERA-ALCAIDE *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2023). Uma síntese integradora dos principais achados identificados em cada eixo analítico é apresentada na Tabela 2.

Table 2 - Main findings by analytical axis and reference studies included in the systematic review

Tabela 2 - Principais achados por eixo analítico e estudos de referência incluídos na revisão sistemática

Analytical Axis	Main Synthesized Findings	Reference Authors
Climate and Environmental Adaptation	Asparagus cultivation in tropical, savanna, and transitional regions is strongly influenced by high temperatures, irregular water regimes, and climatic seasonality, directly impacting productivity, plant physiology, and plantation longevity.	D'Oliveira <i>et al.</i> (1999); Heij <i>et al.</i> (2020); Barni <i>et al.</i> (2022); Brizuela <i>et al.</i> (2020); Toscano <i>et al.</i> (2021).
Soil and Fertility	Soils with low natural fertility, common in tropical and savanna environments, require chemical correction, acidity management, and increased organic matter to ensure sustainable production systems and reduce nutritional limitations.	Benedetti <i>et al.</i> (2011); Matos <i>et al.</i> (2023); Silva <i>et al.</i> (2023); Barbosa <i>et al.</i> (2025).
Genetics and Plant Physiology	The genotype × environment × management interaction is decisive for asparagus performance, highlighting the lack of cultivars adapted to thermal, water, and edaphic stresses in tropical and savanna environments.	Heij <i>et al.</i> (2020); Tavares <i>et al.</i> (2023); Ye <i>et al.</i> (2024); Zhang <i>et al.</i> (2024); He <i>et al.</i> (2024); Guedes <i>et al.</i> (2026).
Irrigation Management and Water Stress	Irrigation, particularly drip irrigation, stands out as a fundamental strategy to mitigate water stress, improve water use efficiency, and sustain productivity in environments with high climatic variability.	D'Oliveira <i>et al.</i> (1999); Heij <i>et al.</i> (2020); Rolbiecki <i>et al.</i> (2021); Toscano <i>et al.</i> (2021); Brizuela <i>et al.</i> (2020).
Plant Health	Soil-borne diseases, root pathogens, and biotic stresses associated with monoculture and soil degradation pose significant risks to the sustainability of production systems, requiring integrated management strategies.	Elmer (2018); Isah (2019); López-Moreno <i>et al.</i> (2025).
Postharvest and Storage	The high perishability of asparagus is intensified in tropical and warm-climate regions due to the lack of adequate infrastructure; therefore, temperature, humidity, and atmosphere control are essential to maintain quality and shelf life.	Mahajan <i>et al.</i> (2014); Pegiou <i>et al.</i> (2023); Aroucha <i>et al.</i> (2024).
Nutritional Value and Bioactive Compounds	Asparagus presents high nutritional and functional potential, with significant variations in the composition of bioactive compounds influenced by environmental conditions, cultivation systems, and management practices, indicating opportunities for value addition.	Ku <i>et al.</i> (2018); Motoki <i>et al.</i> (2019); Kim <i>et al.</i> (2024); Goñi <i>et al.</i> (2024); Hamdi <i>et al.</i> (2023).

DISCUSSION

The integrated analysis of the evidence gathered in this systematic review indicates that the cultivation of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) in tropical and savanna environments is shaped by a complex interaction among environmental, edaphic, physiological, and management factors. A systemic understanding of these interactions is essential for achieving productive sustainability in agricultural frontier regions.

Regarding environment and water management, the analyzed studies indicate that the combination of high solar radiation, elevated temperatures, and a well-defined dry season may favor spear emergence when associated with properly managed irrigation systems, particularly localized drip irrigation (D'OLIVEIRA *et al.*, 1999; HEIJ *et al.*, 2020).

However, persistently high temperatures tend to intensify respiration and the depletion of root carbohydrate reserves, with direct implications for plant vigor and plantation longevity. In regions without a well-defined winter, this effect reinforces the need for careful planning of harvest windows and vegetative recovery periods, as described in classical and technical studies (TAKAHASHI; KOBAYASHI, 1992; HEIJ *et al.*, 2020). In the context of Amazonian savannas, regional analyses emphasize that the interaction between seasonal climate and water availability constitutes a critical factor for the sustainability of production systems, requiring water management strategies adapted to local edaphoclimatic constraints (BARNI *et al.*, 2022; BARBOSA *et al.*, 2025).

The discussion on soil management and fertility highlights that the edaphic limitations typical of Amazonian savannas represent one of the main constraints to the sustainable expansion of asparagus cultivation. Highly weathered soils, characterized by high acidity, low base saturation, and limited phosphorus availability, restrict root development and the accumulation of reserves in the crown, which are fundamental for crop longevity and productive capacity (BENEDETTI *et al.*, 2011; MAFFEI-VALERO *et al.*, 2022). In this context, phosphorus dynamics in acidic Amazonian soils require specific correction and fertility management strategies to enable sustainable production systems (MATOS *et al.*, 2023).

DISCUSSÃO

A análise integrada das evidências reunidas nesta revisão sistemática indica que o cultivo do aspargo (*Asparagus officinalis* L.) em ambientes tropicais e de savana é condicionado por uma interação complexa entre fatores ambientais, edáficos, fisiológicos e de manejo, cuja compreensão sistêmica é fundamental para a sustentabilidade produtiva em regiões de fronteira agrícola.

No eixo relacionado ao ambiente e manejo hídrico, os estudos analisados indicam que a combinação entre alta radiação solar, temperaturas elevadas e estação seca definida pode favorecer a emissão de turfeiras quando associada a sistemas de irrigação adequadamente manejados, especialmente a irrigação localizada por gotejamento (D'OLIVEIRA *et al.*, 1999; HEIJ *et al.*, 2020).

Entretanto, temperaturas persistentemente elevadas tendem a intensificar a respiração e o consumo das reservas radiculares, com implicações diretas para o vigor e a longevidade do espargueiral. Em regiões sem inverno bem definido, esse efeito reforça a necessidade de planejamento criterioso das janelas de colheita e dos períodos de recuperação vegetativa, conforme descrito em estudos clássicos e técnicos (TAKAHASHI; KOBAYASHI, 1992; HEIJ *et al.*, 2020). No contexto das savanas amazônicas, análises regionais ressaltam que a interação entre clima sazonal e disponibilidade hídrica constitui fator crítico para a sustentabilidade dos sistemas produtivos, demandando manejo hídrico ajustado às restrições edafoclimáticas locais (BARNI *et al.*, 2022; BARBOSA *et al.*, 2025).

A discussão sobre manejo de solo e fertilidade evidencia que as limitações edáficas típicas das savanas amazônicas constituem um dos principais entraves à expansão sustentável do cultivo do aspargo. Solos altamente intemperizados, com elevada acidez, baixa saturação por bases e reduzida disponibilidade de fósforo condicionam o desenvolvimento radicular e o acúmulo de reservas na coroa, fundamentais para a longevidade da cultura e sua capacidade produtiva (BENEDETTI *et al.*, 2011; MAFFEI-VALERO *et al.*, 2022). Nesse contexto, a dinâmica do fósforo em solos ácidos amazônicos exige estratégias específicas de correção e manejo da fertilidade para viabilizar sistemas produtivos sustentáveis (MATOS *et al.*, 2023).

With respect to genetics, physiology, and responses to abiotic stresses, the evidence indicates that *Asparagus officinalis* exhibits significant physiological plasticity under conditions of heat and water deficit, mediated by mechanisms of metabolic adjustment, hormonal regulation, and molecular responses associated with stress tolerance (HE *et al.*, 2024; ZHANG *et al.*, 2024). The results obtained in this study corroborate this perspective by demonstrating that seed physiological quality directly influences the initial establishment of the crop, with greater emergence and vigor observed in commercial seeds, indicating higher efficiency in early metabolic processes (GUEDES *et al.*, 2026). In addition, the differential response of seedlings as a function of substrate composition reinforces that, after emergence, physiological performance becomes dependent on cultivation environment conditions, particularly the balance among water availability, aeration, and nutrient supply (TAVARES *et al.*, 2023). In this context, the adaptive mechanisms of asparagus help explain its performance in hot and seasonally dry environments; however, they also demonstrate that the expression of this potential depends on the interaction among genotype, environment, and management, a key aspect for productive stability under savanna conditions. These mechanisms not only help explain the crop's performance in hot and seasonally dry environments but also demonstrate that the expression of this adaptive potential depends on the interaction between genotype and management, a central aspect of the integrative model.

In terms of plant health, the evidence indicates that soil-borne diseases, nematodes, and asparagus decline syndrome (*Fusarium*) represent significant risks for perennial production systems. The literature shows that the interaction between soil pathogens and abiotic stresses, such as water deficit and high temperatures, may compromise productivity and plantation longevity, particularly in tropical environments (ELMER, 2018; BRIZUELA *et al.*, 2020; RAMEGOWDA; PANDEY, 2024; LÓPEZ-MORENO *et al.*, 2025). This reinforces the need for continuous phytosanitary monitoring and integrated management strategies, especially in agricultural frontier regions.

No que se refere à genética, fisiologia e respostas a estresses abióticos, as evidências indicam que *Asparagus officinalis* apresenta relevante plasticidade fisiológica frente a condições de calor e déficit hídrico, mediada por mecanismos de ajuste metabólico, regulação hormonal e respostas moleculares associadas à tolerância ao estresse (HE *et al.*, 2024; ZHANG *et al.*, 2024). Os resultados obtidos neste estudo corroboram essa perspectiva, ao demonstrar que a qualidade fisiológica das sementes influencia diretamente o estabelecimento inicial da cultura, com maior emergência e vigor observados em sementes comerciais, evidenciando maior eficiência nos processos metabólicos iniciais (GUEDES *et al.*, 2026). Além disso, a resposta diferencial das plântulas em função da composição do substrato reforça que, após a emergência, o desempenho fisiológico passa a depender das condições do ambiente de cultivo, especialmente do equilíbrio entre disponibilidade hídrica, aeração e nutriente (TAVARES *et al.*, 2023). Nesse contexto, os mecanismos adaptativos do aspargo ajudam a explicar seu desempenho em ambientes quentes e sazonalmente secos, porém evidenciam que a expressão desse potencial depende da interação entre genótipo, ambiente e manejo, aspecto central para a estabilidade produtiva em condições de savana. Esses mecanismos ajudam a explicar o desempenho da cultura em ambientes quentes e sazonalmente secos, mas também evidenciam que a expressão desse potencial adaptativo depende da interação entre genótipo e manejo, aspecto central do modelo integrativo.

No eixo da sanidade, as evidências indicam que doenças de solo, nematóides e a síndrome de declínio do aspargo (*Fusarium*) representam riscos relevantes para sistemas produtivos perenes. A literatura demonstra que a interação entre patógenos do solo e estresses abióticos, como déficit hídrico e temperaturas elevadas, pode comprometer a produtividade e a longevidade dos plantios, especialmente em ambientes tropicais (ELMER, 2018; BRIZUELA *et al.*, 2020; RAMEGOWDA; PANDEY, 2024; LÓPEZ-MORENO *et al.*, 2025). Reforçando a necessidade de monitoramento fitossanitário contínuo e de estratégias de manejo integrado, particularmente em regiões de fronteira agrícola.

Postharvest management emerges as another critical component for the viability of asparagus cultivation in tropical environments. The high perishability of spears, associated with rapid water loss and sensitivity to temperature fluctuations, requires the adoption of rigorous pre-cooling practices and maintenance of the cold chain to preserve quality attributes and product shelf life (MAHAJAN *et al.*, 2014; YU; FAN, 2021). Metabolomic evidence suggests that environmental and management variations may influence the chemical profile of asparagus during storage, further emphasizing the importance of consistent conservation systems (PEGIOU *et al.*, 2023).

Finally, the discussion on nutritional value, bioactive compounds, and co-products broadens the analysis beyond agricultural productivity. Studies indicate that, in addition to spears, cladodes and roots also concentrate metabolites with functional potential, including fructans, fibers, and phenolic compounds (MOTOKI *et al.*, 2019; HAMDI *et al.*, 2023; GOÑI *et al.*, 2024). Metabolomic analyses demonstrate that the chemical profile of asparagus varies according to environment, management, and phenological stage, reinforcing the need for regional validation to maximize quality and added value (KU *et al.*, 2018; PEGIOU *et al.*, 2023). The use of co-products and asparagus field residues emerges as a promising strategy to add value and enhance the economic sustainability of production systems (VIERA-ALCAIDE *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2023), as represented in the graphical scheme of the study (Figure 2).

In an integrated perspective, Figure 2 reinforces that the expansion of asparagus cultivation in tropical savannas cannot rely on the simple transposition of temperate production models but must be guided by technical strategies adapted to local edaphoclimatic conditions. The gaps identified in the literature, particularly the scarcity of studies conducted directly in Amazonian savannas, indicate the need for regional research integrating agronomic, physiological, phytosanitary, and economic aspects to support more reliable technical decision-making.

A pós-colheita emerge como outro componente crítico para a viabilidade do cultivo do aspargo em ambientes tropicais. A elevada perecibilidade dos turriões, associada à rápida perda de água e à sensibilidade às oscilações de temperatura, impõe a adoção de práticas rigorosas de pré-resfriamento e manutenção da cadeia de frio para preservar atributos de qualidade e vida útil do produto (MAHAJAN *et al.*, 2014; YU; FAN, 2021). Evidências metabolômicas sugerem que variações ambientais e de manejo podem influenciar o perfil químico do aspargo durante o armazenamento, ampliando a importância de sistemas consistentes de conservação (PEGIOU *et al.*, 2023).

Por fim, a discussão sobre valor nutricional, compostos bioativos e coprodutos amplia a análise para além da produtividade agrícola. Os estudos indicam que, além dos turriões, cladódios e raízes, outros componentes do aspargo concentram metabólitos com potencial funcional, incluindo frutanos, fibras e compostos fenólicos (MOTOKI *et al.*, 2019; HAMDI *et al.*, 2023; GOÑI *et al.*, 2024). Análises metabolômicas demonstram que o perfil químico do aspargo varia conforme ambiente, manejo e estágio fenológico, reforçando a necessidade de validação regional para maximizar qualidade e valor agregado (KU *et al.*, 2018; PEGIOU *et al.*, 2023). O aproveitamento de coprodutos e resíduos do espargueiral surge como estratégia promissora para agregar valor e aumentar a sustentabilidade econômica dos sistemas produtivos (VIERA-ALCAIDE *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2023), conforme representado no esquema gráfico do estudo (Figura 2).

De forma integrada, a Figura 2 reforça que a expansão do cultivo do aspargo em savanas tropicais não pode se apoiar na simples transposição de modelos temperados, devendo ser orientada por estratégias técnicas adaptadas às condições edafoclimáticas locais. As lacunas identificadas na literatura, especialmente quanto à escassez de estudos conduzidos diretamente em savanas amazônicas, indicam a necessidade de pesquisas regionais que integrem aspectos agrônômicos, fisiológicos, sanitários e econômicos para subsidiar decisões técnicas mais seguras.

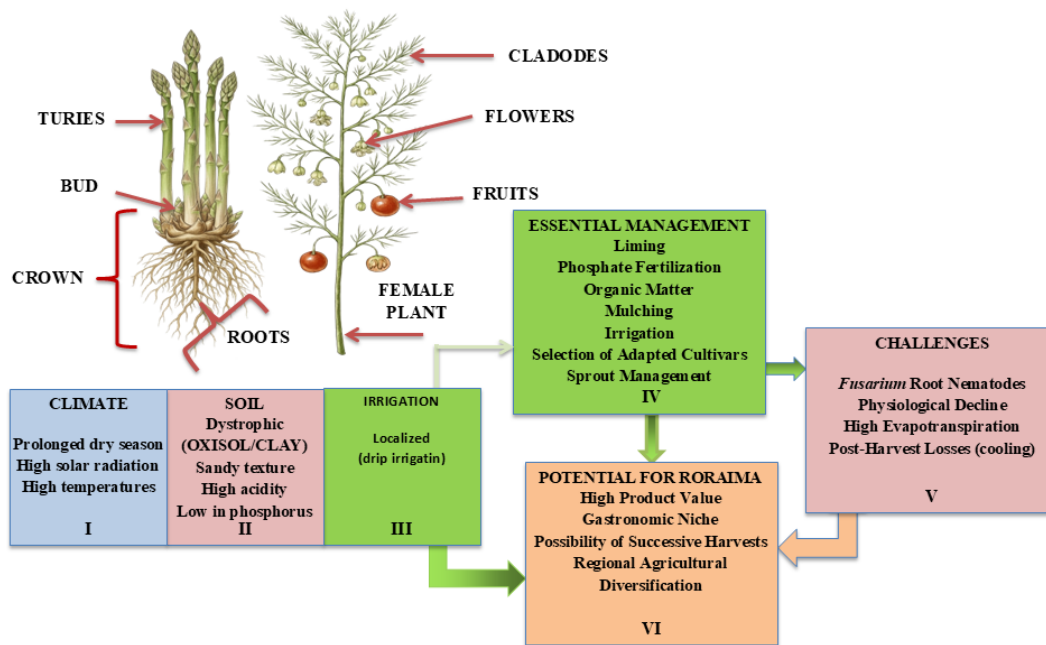


Figure 2 - Integrative conceptual model of the main axes that condition and influence asparagus cultivation (*Asparagus officinalis* L.) in the Amazonian savannas of Roraima, highlighting the interactions between environment and water management, genetics and physiology under abiotic stresses, soil management and fertility, plant health, post-harvest and nutritional value/bioactive compounds, and their effects on productivity, longevity of the asparagus field, and product quality.

Figura 2 - Modelo conceitual integrativo dos principais eixos que condicionam e influenciam o cultivo do aspargo (*Asparagus officinalis* L.) nas savanas amazônicas de Roraima, destacando as interações entre ambiente e manejo hídrico, genética e fisiologia sob estresses abióticos, manejo de solo e fertilidade, sanidade, pós-colheita e valor nutricional/compostos bioativos, e seus efeitos sobre produtividade, longevidade do espargueiral e qualidade do produto.

CONCLUSION

The integrated analysis of the evidence gathered in this systematic review indicates that the cultivation of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) in tropical savanna environments presents agronomic and economic potential provided it is based on technical strategies adapted to local edaphoclimatic conditions. In regions such as the Amazonian savannas, the sustainability of the production system depends on the integration of efficient water management, appropriate soil and fertility management, selection of adapted plant materials, and careful planning of the production cycle.

CONCLUSÃO

A análise integrada das evidências reunidas nesta revisão sistemática indica que o cultivo do aspargo (*Asparagus officinalis* L.) em ambientes de savana tropical apresenta potencial agrônomo e econômico, desde que fundamentado em estratégias técnicas adaptadas às condições edafoclimáticas locais. Em regiões como as savanas amazônicas, a sustentabilidade do sistema produtivo depende da articulação entre manejo hídrico eficiente, manejo adequado do solo e da fertilidade, seleção de materiais adaptados e planejamento criterioso do ciclo produtivo.

The synthesized results suggest that climatic seasonality, especially the presence of a well-defined dry season, should not be interpreted solely as a limitation, but rather as a factor that can be technically managed, provided it is associated with planned irrigation, control of harvest windows, and restoration of root reserves. This approach makes it possible to compensate for the absence of a thermal winter and to contribute to production stability and crop longevity.

Phytosanitary risks, particularly those associated with soil-borne diseases and asparagus decline syndrome, emerge as significant challenges in perennial systems, especially in agricultural frontier regions. These risks reinforce the need for continuous monitoring and the adoption of integrated management strategies capable of mitigating impacts on productivity and plantation durability.

Beyond productive aspects, the reviewed literature shows that asparagus and its by-products possess relevant nutritional and functional attributes, expanding opportunities for value addition and contributing to the economic and environmental sustainability of production systems. The use of co-products emerges as a strategic component for increasing resource-use efficiency and crop profitability.

From a methodological standpoint, this systematic review made it possible to integrate evidence dispersed throughout the literature and to identify important knowledge gaps, particularly regarding the scarcity of studies conducted directly in Amazonian savannas. In this regard, there is need for long-term regional research that evaluates, in an integrated manner, agronomic, physiological, phytosanitary, and economic aspects of asparagus cultivation in order to support more reliable technical recommendations.

In summary, the gathered evidence indicates that asparagus can become a promising alternative for agricultural diversification in tropical savannas, provided that its introduction is guided by technical planning, regional validation, and integration among production, post-harvest, and market components, thereby contributing to the strengthening of sustainable production systems in savanna environments.

Os resultados sintetizados sugerem que a sazonalidade climática, especialmente a presença de uma estação seca bem definida, não deve ser interpretada exclusivamente como limitação, mas como elemento passível de manejo técnico, desde que associada à irrigação planejada, ao controle das janelas de colheita e à recuperação das reservas radiculares. Essa abordagem permite compensar a ausência de inverno térmico e contribuir para a estabilidade produtiva e a longevidade da cultura.

Os riscos fitossanitários, particularmente aqueles associados a doenças de solo e à síndrome de declínio do aspargo, emergem como desafios relevantes em sistemas perenes, sobretudo em regiões de fronteira agrícola. Esses riscos reforçam a necessidade de monitoramento contínuo e da adoção de estratégias integradas de manejo, capazes de mitigar impactos sobre produtividade e durabilidade dos plantios.

Além dos aspectos produtivos, a literatura analisada evidencia que o aspargo e seus subprodutos apresentam atributos nutricionais e funcionais relevantes, ampliando as possibilidades de agregação de valor e contribuindo para a sustentabilidade econômica e ambiental dos sistemas produtivos. O aproveitamento de coprodutos surge como componente estratégico para aumentar a eficiência do uso dos recursos e a rentabilidade do cultivo.

Do ponto de vista metodológico, esta revisão sistemática permitiu integrar evidências dispersas na literatura e identificar lacunas relevantes de conhecimento, especialmente quanto à escassez de estudos conduzidos diretamente em savanas amazônicas. Nesse sentido, destaca-se a necessidade de pesquisas regionais de longo prazo que avaliem, de forma integrada, aspectos agrônômicos, fisiológicos, sanitários e econômicos do cultivo do aspargo, de modo a subsidiar recomendações técnicas mais seguras.

Em síntese, as evidências reunidas indicam que o aspargo pode se consolidar como alternativa promissora para a diversificação agrícola em savanas tropicais, desde que sua introdução seja orientada por planejamento técnico, validação regional e integração entre produção, pós-colheita e mercado, contribuindo para o fortalecimento de sistemas produtivos sustentáveis em ambientes de savana.

CITED SCIENTIFIC LITERATURE

- ALAN, Ö.; TURK, B.; SEN, F. A. Comparative study on the quality attributes, phenolic content and antioxidant activity of cultivated and wild asparagus as influenced by seasonal variations. **The Journal of Agricultural Science**, v. 160, n. 6, p. 483-492, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859622000569>.
- ANASTASIADI, M.; COLLINGS, E. R.; SHIVEMBE, A.; QIAN, B.; TERRY, L. A. Seasonal and temporal changes during storage affect quality attributes of green asparagus. **Postharvest biology and technology**, v. 159, p. 111017, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111017>.
- AROUCHA, E.; ANASTASIADI, M.; COLLINGS, E.; ARAUJO, N.; TERRY, L. Shelf-life of green asparagus using cassava and chitosan blend coating. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 27, p. e2022138, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.13822>.
- BARBOSA, R. I.; IMBROZIO, R.; VIDAL, B. S. (orgs.). *Lavrado de Roraima: caracterização, biodiversidade, populações humanas e conservação na maior savana do norte da Amazônia brasileira*. Manaus: Editora INPA, 2025. (Organização com pesquisadores do INPA e foco atual sobre ecossistemas do lavrado). https://www.researchgate.net/publication/394095242_Lavrado_de_Roraima_Caracterizacao_Biodiversidade_Populacoes_Humanas_e_Conservacao_na_Maior_Savana_do_Norte_da_Amazonia_Brasileira.
- BARNI, P. E.; MORAIS, W. W. C.; BARBOSA, R. I. Lavrado de Roraima: paradigmas ambientais no contraponto da compensação e reposição florestal. **Revista Cerrados**, v. 20, n. 2, p. 356-377, 2022. DOI: <https://doi.org/10.46551/rc24482692202231>.
- BENEDETTI, U. G.; VALE JÚNIOR, J. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MELO, V. F.; UCHÔA, S. C. P. Gênese, química e mineralogia de solos derivados de sedimentos plioleustocênicos e de rochas vulcânicas básicas em Roraima, Norte Amazônico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 299-312, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200002>.
- BRIZUELA, A. M.; LA LASTRA, E.; MARÍN-GUIRAO, J. I.; GÁLVEZ, L.; CARA-GARCÍA, M.; CAPOTE, N.; PALMERO, D. Fusarium Consortium Populations Associated with Asparagus Crop in Spain and Their Role on Field Decline Syndrome. **J. Fungi**, v. 6, p. 336, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof6040336>.
- CHEN, H.; LU, Z.; WANG, J.; CHEN, T.; GAO, J.; ZHENG, J.; ZHANG, S.; XI, J.; HUANG, X.; GUO, A.; YI, K. Induction of new tetraploid genotypes and heat tolerance assessment in *Asparagus officinalis* L. **Scientia Horticulturae**, v. 264, p. 109168, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109168>.
- D'OLIVEIRA, L. O. B.; RESENDE, G. M.; FLORI, J. E. Produtividade do aspargo sob irrigação na região do Submédio São Francisco. **Horticultura Brasileira**, v. 17, n. 1, 1999. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/131867/1/HorticulturaBrasileirav.17n.1p.41441999.pdf>.
- DROST, D. Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) root distribution varies with cultivar during early establishment years. **Horticulturae**, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020125>.
- ELMER, W. Asparagus decline and replant problem: a look back and a look forward at strategies for mitigating losses. **Acta Horticulturae**, n. 1223, 2018. https://www.ishs.org/ishs-article/1223_27.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *The future of food and agriculture: trends and challenges*. Rome: **FAO**, 2017. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2e90c833-8e84-46f2-a675-ea2d7afa4e24/content>.
- GUEDES, Y. A.; ALVES, J. M. A.; CRUZ, S. L.; BARDALES-LOSANO, R. M.; MONTEIRO NETO, J. L. L.; DIONISIO, L. F. S.; MOURA, R. C. de S. Seed origin and substrate composition affect emergence and early growth of asparagus seedlings. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 20, e8900, 2026. DOI: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v20i00.8900>

GOÑI, I.; GARCÍA-ALONSO, A.; ALBA, C.; RODRÍGUEZ, J. M.; SÁNCHEZ-MATA, M. C.; GUILLÉN-BEJARANO, R.; REDONDO-CUENCA, A. Composition and functional properties of the edible spear and by-products of asparagus (*Asparagus officinalis* L.). **Foods**, v. 13, n. 8, p. 1154, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13081154>.

HAMDI, A.; VIERA-ALCAIDE, I.; GUILLÉN-BEJARANO, R.; RODRÍGUEZ-ARCOS, R.; MUÑOZ, M. J.; MORENO, J. M. M.; JIMÉNEZ-ARAUJO, A. Asparagus fructans as emerging prebiotics. **Foods**, v. 12, p. 81, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12010081>.

HE, M.; CHEN, P.; LI, M.; LEI, F.; LU, W.; JIANG, C.; LIU, J.; LI, Y.; XIAO, J.; ZHENG, Y. Physiological and transcriptome analysis of changes in endogenous hormone and sugar content during the formation of tender asparagus stems. **BMC Plant Biology**, v. 24, art. 581, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05277-0>.

HEIJ, A.; DE WIT, J.; KÖRNER, O.; HEUVELINK, E. Year-round asparagus production: physiological and management insights. In: NICHOLS, M. A. (ed.). Proceedings of the XV International Asparagus Symposium. Leuven: International Society for Horticultural Science, 2020. **Acta Horticulturae**, v. 1376. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1376.22>.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Normais climatológicas do Brasil: período 1991–2020. Brasília: INMET, 2022. <https://portal.inmet.gov.br/normais>.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>.

ISAH, T. Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. **Biological Research**, v. 52, n. 39, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40659-019-0246-3>.

KIM, T.; PARK, Y. J.; YI, T. G.; SEO, W. D.; PARK, N. I.; KIM, J. K. A comprehensive metabolite profile of green and white asparagus (*Asparagus officinalis* L.) and their antioxidant properties in differing cultivation conditions. **Natural Product**

Communications, 2024. DOI: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1934578X241238922>.

KU, Y. G.; KANG, D. H.; LEE, C. K.; LEE, S. Y.; RYU, C. S.; KIM, D. E.; POLOVKA, M.; NAMIEŚNIK, J.; GORINSTEIN, S. Influence of different cultivation systems on bioactivity of Asparagus. **Food Chemistry**, v. 244, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.044>.

LÓPEZ-MORENO, F. J.; NAVARRO-LEÓN, E.; ATERO-CALVO, S.; LASTRA, E.; RUIZ, J. M.; SORIANO, T. Evaluation of the effects of asparagus decline syndrome on yield and quality parameters over three years in Western Europe. **Horticulturae**, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae11020159>.

MAFFEI-VALERO, M. A.; ARAÚJO, W. F.; MELO, V. F.; AUGUSTI, M. L.; FILHO, E. I. F. Land-use and land-cover mapping using a combination of radar and optical sensors in Roraima-Brazil. **Engenharia Agrícola**, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v42n2e20210142/2022>.

MAHAJAN, P. V.; CALEB, O. J.; SINGH, Z.; WATKINS, C. B.; GEYER, M. Postharvest treatments of fresh produce. **Philos Trans A Math Phys Eng Sci**, v. 372, p. 20130309, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0309>.

MATOS, C. H. L.; MELO, V. F.; UCHÔA, S. C. P.; PEREIRA, R. A.; NASCIMENTO, P. P. R. R. Phosphorus extractants for soils in the humid tropical region of Roraima state. **Revista de Ciências Agrárias**, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20230042>.

MOTOKI, S.; TANG, T.; TAGUCHI, T.; KATO, A.; IKEURA, H.; MAEDA, T. Distribution of rutin and protodioscin in different tissue parts of asparagus (*Asparagus officinalis* L.). **HortScience**, v. 54, n. 11, p. 1921-1924, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14131-19>.

PAGE, M. J.; MCKENZIE, J. E.; BOSSUYT, P. M.; BOUTRON, I.; HOFFMANN, T. C.; MULROW, C. D.; SHAMSEER, L.; TETZLAFF, J. M.; AKL, E. A.; BRENNAN, S. E.; CHOU, R.; GLANVILLE, J.; GRIMSHAW, J. M.; HRÓBJARTSSON, A.; LALU, M. M.; LI, T.; LODER, E. W.; MAYO-WILSON, E.; MCDONALD, S.; MCGUINNESS, L. A.; STEWART, L. A.; THOMAS, J.; TRICCO,

A. C.; WELCH, V. A.; WHITING, P.; MOHER, D.. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, v. 372, n. 71, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.

PEGIOU, E.; ENGEL, J.; MUMM, R.; HALL, R. D. Unravelling the seasonal dynamics of the metabolome of white asparagus spears using untargeted metabolomics. **Metabolomics**, v. 19, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11306-023-01993-0>.

RAMEGOWDA, V.; PANDEY, P. Stress combinations and their interactions in crop plants. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 43, p. 1-15, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40502-024-00785-5>.

REDONDO-CUENCA, A; GARCÍA-ALONSO A.; RODRÍGUEZ-ARCOS, R.; CASTRO, I.; ALBA, C.; RODRÍGUEZ, J. M.; GOÑI, I. Nutritional composition of green asparagus (*Asparagus officinalis* L.), edible part and by-products, and assessment of their effect on the growth of human gut-associated bacteria. **Journal of Functional Foods**, v. 163, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112284>.

ROLBIECKI, R.; ROLBIECKI, S.; FIGAS, A.; JAGOSZ, B.; PRUS, P.; STACHOWSKI, P.; KAZULA, MJ; SZCZEPANEK, M.; PTACH, W.; PAL-FAM, F.; SADAN, HA; LIBERACKI, D. "Response of Chosen American *Asparagus officinalis* L. Cultivars to Drip Irrigation on the Sandy Soil in Central Europe: Growth, Yield, and Water Productivity". **Agronomy**, v. 11, n. 5, p. 864, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11050864>.

ROMERO-VERGEL, A.; TURION, P. A physiological crop model for yield prediction of asparagus using sentinel-1 data. **European Journal of Agronomy**, v. 143, p. 126690, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126690>.

SILVA, D. C. O.; NASCIMENTO, E. N.; SILVA, A. O.; UCHÔA, S. C. P.; BARRETO, G. F. Effect of biofertilization with cattle urine on the chemical properties of an Oxisol from the Amazon savanna. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 53, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-40632023v5375568>.

TAKAHASHI, R.; KOBAYASHI, K. Asparagus production in the tropics: physiological constraints and management opportunities. In: Proceedings

of the International Asparagus Symposium. Leuven: International Society for Horticultural Science, 1992. **Acta Horticulturae**, v. 292. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1992.292.19>.

TAVARES, I. N.; ALVES, J. M. A.; UCHÔA, S. C. P.; IUIT, C. E. C.; GUEDES, Y. A.; SILVA, D. C. O. Characterization of substrates and their influence on germination and growth of asparagus seedlings. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 10, n. 1, e7254, jan./mar.2022. DOI: <https://doi.org/10.32404/rean.v10i1.7254>.

TOSCANO, S.; RIZZO, V.; LICCIARDELLO, F.; ROMANO, D.; MURATORE, G. Packaging Solutions to Extend the Shelf Life of Green Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) 'Vegalim'. **Foods**, v. 10, p. 478, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10020478>.

VIERA-ALCAIDE, I.; HAMDI, A.; GUILLÉN-BEJARANO, R.; JIMÉNEZ-ARAUJO, A.; RODRÍGUEZ-ARCOS, R. Sustainable valorization of co-products from asparagus cultivation by obtaining bioactive compounds. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1199436>.

WITZEL, K.; MATROS, A. Fructans Are Differentially Distributed in Root Tissues of Asparagus. **Cells**, v. 9, n. 9, p. 1943, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/cells9091943>.

YE, Y.; WEN, S.; YING, J.; CAI, Y.; QIAN, R. Screening and preliminary identification of *Asparagus officinalis* varieties under low-temperature stress. **Genes**, v. 15, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/genes15040486>.

YU, Q.; FAN, L. Improving the bioactive ingredients and functions of asparagus from efficient to emerging processing technologies: A review. **Food Chemistry**, v. 358, art. 129903, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129903>.

ZHANG, X.; HAN, C.; WANG, Y.; LIU, T.; LIANG, Y.; CAO, Y. Integrated analysis of transcriptomics and metabolomics of garden asparagus (*Asparagus officinalis* L.) under drought stress. **BMC Plant Biology**, v. 24, art. 563, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05286-z>.