



Além dos Rótulos: Uma Taxonomia Quantitativa das Abordagens da Agricultura Sustentável

Uma abordagem quantitativa para revelar a estrutura conceitual comum das principais correntes da agricultura sustentável e apoiar a harmonização de indicadores e políticas públicas.

Por: Luis Eduardo Pacifici Rangel

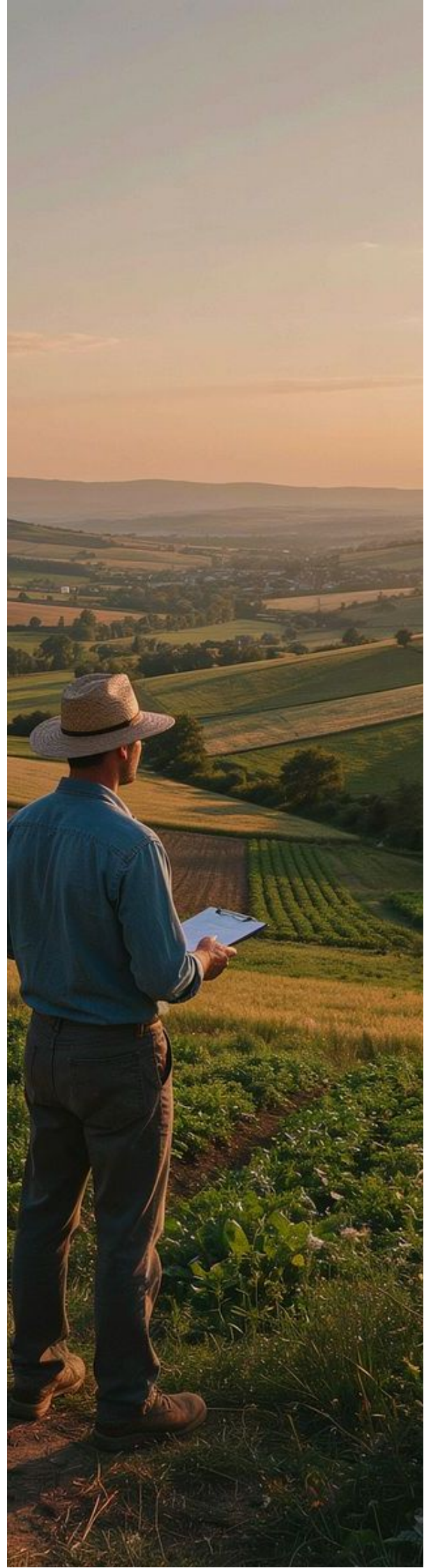
Brasília, Julho de 2026

1. Introdução

Nas últimas décadas, a agropecuária sustentável evoluiu de um conceito único para um conjunto diversificado de abordagens, sistemas produtivos e estratégias de desenvolvimento rural. Conceitos como agroecologia, agricultura regenerativa, agricultura conservacionista, agricultura climaticamente inteligente, agricultura de carbono, agricultura orgânica e intensificação sustentável coexistem na literatura científica e nas políticas públicas, compartilhando objetivos relacionados à sustentabilidade, mas diferindo quanto aos seus fundamentos teóricos e mecanismos de implementação.

Embora revisões e tipologias tenham demonstrado que essas abordagens apresentam princípios comuns relacionados à conservação dos recursos naturais, à eficiência no uso de insumos e à integração das dimensões ambiental, econômica e social da sustentabilidade (Weil, 1990; Velten et al., 2015; Janker; Mann; Rist, 2018; Trigo; Marta-Costa; Fragoso, 2021), essas classificações permanecem predominantemente qualitativas, dificultando a mensuração objetiva das similaridades entre conceitos e a construção de taxonomias reproduzíveis.

Para enfrentar essa lacuna, este estudo propõe um framework metodológico para construir uma taxonomia quantitativa das abordagens da agropecuária sustentável por meio da integração entre processamento de linguagem natural (Natural Language Processing – NLP), representações semânticas por embeddings e análise de agrupamentos. Ao substituir classificações essencialmente qualitativas por uma abordagem baseada em evidências quantitativas, este estudo contribui para a harmonização conceitual das abordagens da agropecuária sustentável e amplia as possibilidades de aplicação da inteligência artificial na análise do conhecimento científico.





2. Fundamentos conceituais das abordagens da agropecuária sustentável

A agropecuária sustentável consolidou-se como um conceito multidimensional voltado à conciliação entre produtividade agrícola, conservação dos recursos naturais e desenvolvimento socioeconômico. Desde as primeiras definições, a sustentabilidade deixou de ser associada a um conjunto específico de tecnologias para representar a capacidade dos sistemas agrícolas de manter sua produtividade e funcionalidade ao longo do tempo, preservando os recursos necessários às futuras gerações (Keeney, 1990; Weil, 1990). Estudos posteriores reforçaram esse entendimento ao caracterizar a agropecuária sustentável como um conceito dinâmico e dependente do contexto, integrando simultaneamente dimensões ambientais, econômicas e sociais (Velten et al., 2015; Trigo; Marta-Costa; Fragoso, 2021).

Essa evolução favoreceu o surgimento de múltiplas abordagens para operacionalizar a sustentabilidade agrícola, como agroecologia, agricultura regenerativa, agricultura conservacionista, agricultura orgânica, agricultura climaticamente inteligente e intensificação sustentável. Embora apresentem diferentes bases epistemológicas, mecanismos de implementação e níveis de normatização, essas abordagens compartilham princípios relacionados à conservação dos recursos naturais, ao fortalecimento dos processos ecológicos e à eficiência no uso de recursos (Janker; Mann; Rist, 2018; Oberč; Arroyo Schnell, 2020). Dessa forma, a agropecuária sustentável passou a ser reconhecida como um conceito guarda-chuva (umbrella concept), capaz de integrar diferentes estratégias para alcançar objetivos convergentes.

Apesar dos avanços na sistematização dessas abordagens, a literatura permanece predominantemente baseada em análises qualitativas e revisões narrativas, oferecendo poucos instrumentos para mensurar objetivamente a proximidade entre conceitos ou identificar estruturas conceituais subjacentes (Velten et al., 2015; Janker; Mann; Rist, 2018).

3. Materiais e Métodos

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa metodológica de natureza exploratória, baseada em análise documental e processamento computacional de linguagem natural (Natural Language Processing – NLP). O objetivo consistiu em investigar quantitativamente a estrutura conceitual das principais abordagens de agropecuária sustentável descritas na literatura científica por meio da combinação de análise semântica, codificação temática automatizada e análise de agrupamentos.

A metodologia foi desenvolvida em um fluxo sequencial composto por seis etapas: (i) seleção dos conceitos; (ii) padronização das definições; (iii) representação semântica por embeddings; (iv) construção da matriz conceitual híbrida; (v) cálculo das matrizes de similaridade; e (vi) identificação dos agrupamentos conceituais (figura 1).



Nota: NLP = Processamento de Linguagem Natural; MDS = Escalonamento Multidimensional.

Figura 1. Etapas do fluxo de trabalho para classificação e agrupamento das diferentes tipologias de agropecuária sustentável

Os conceitos analisados foram selecionados a partir de revisões sistemáticas sobre agropecuária sustentável (Velten et al., 2015; Janker; Mann; Rist, 2018; Trigo; Marta-Costa; Fragoso, 2021) e da tipologia proposta pela IUCN (Oberč; Arroyo Schnell, 2020), resultando em quinze abordagens consolidadas na literatura internacional. As definições foram harmonizadas a partir das referências originais para garantir consistência terminológica e comparabilidade entre os conceitos, preservando seus elementos essenciais. A descrição completa das definições utilizadas encontra-se no Apêndice A.

Cada definição foi convertida em representações vetoriais (*embeddings*) utilizando modelos Sentence-BERT (Reimers; Gurevych, 2019), sendo a similaridade semântica estimada pela similaridade do cosseno (Manning; Raghavan; Schütze, 2008). Complementarmente, foi construída uma matriz conceitual baseada em atributos teóricos recorrentes na literatura sobre agropecuária sustentável, obtidos por codificação semântica automatizada das definições. As informações semânticas e estruturais foram integradas em uma matriz híbrida de distâncias, utilizando a métrica de Gower (Gower, 1971).

A organização conceitual foi obtida por agrupamento hierárquico aglomerativo utilizando o método de Ward (Ward Jr., 1963). O número ótimo de agrupamentos foi definido pelo índice de *Silhouette* (Rousseeuw, 1987), enquanto a robustez da estrutura foi avaliada por consenso entre diferentes parametrizações da matriz híbrida e pelo coeficiente de correlação cofenética. Os resultados foram representados por dendrogramas, escalonamento multidimensional (Multidimensional Scaling – MDS) (Kruskal, 1964) e mapas de calor da matriz de similaridade.

4. Resultados

A análise hierárquica híbrida revelou que as quinze abordagens de agropecuária sustentável apresentam elevada proximidade conceitual, porém organizam-se em grupos relativamente distintos de acordo com seus atributos semânticos e estruturais. A solução inicial indicou dois grandes macrogrupos (índice de Silhouette = 0,195), representando duas grandes perspectivas da sustentabilidade agrícola: um conjunto orientado predominantemente por princípios ecológicos, sociais e de conservação da biodiversidade e outro mais associado à eficiência produtiva, intensificação sustentável, mitigação climática e manejo dos recursos naturais.

Embora a solução com dois grupos tenha apresentado o melhor desempenho segundo o critério multicritério, a análise de consenso evidenciou que essa divisão ainda ocultava diferenças relevantes entre abordagens internamente semelhantes. A aplicação do agrupamento por consenso resultou em cinco clusters estáveis, todos contendo pelo menos dois conceitos, com coeficiente de Silhouette de 0,924 e elevada correlação cofenética (0,984), indicando excelente preservação da estrutura das dissimilaridades originais. Em contraste, a solução híbrida inicial apresentou correlação cofenética de 0,684, reforçando que o consenso proporcionou uma representação mais robusta da organização conceitual.

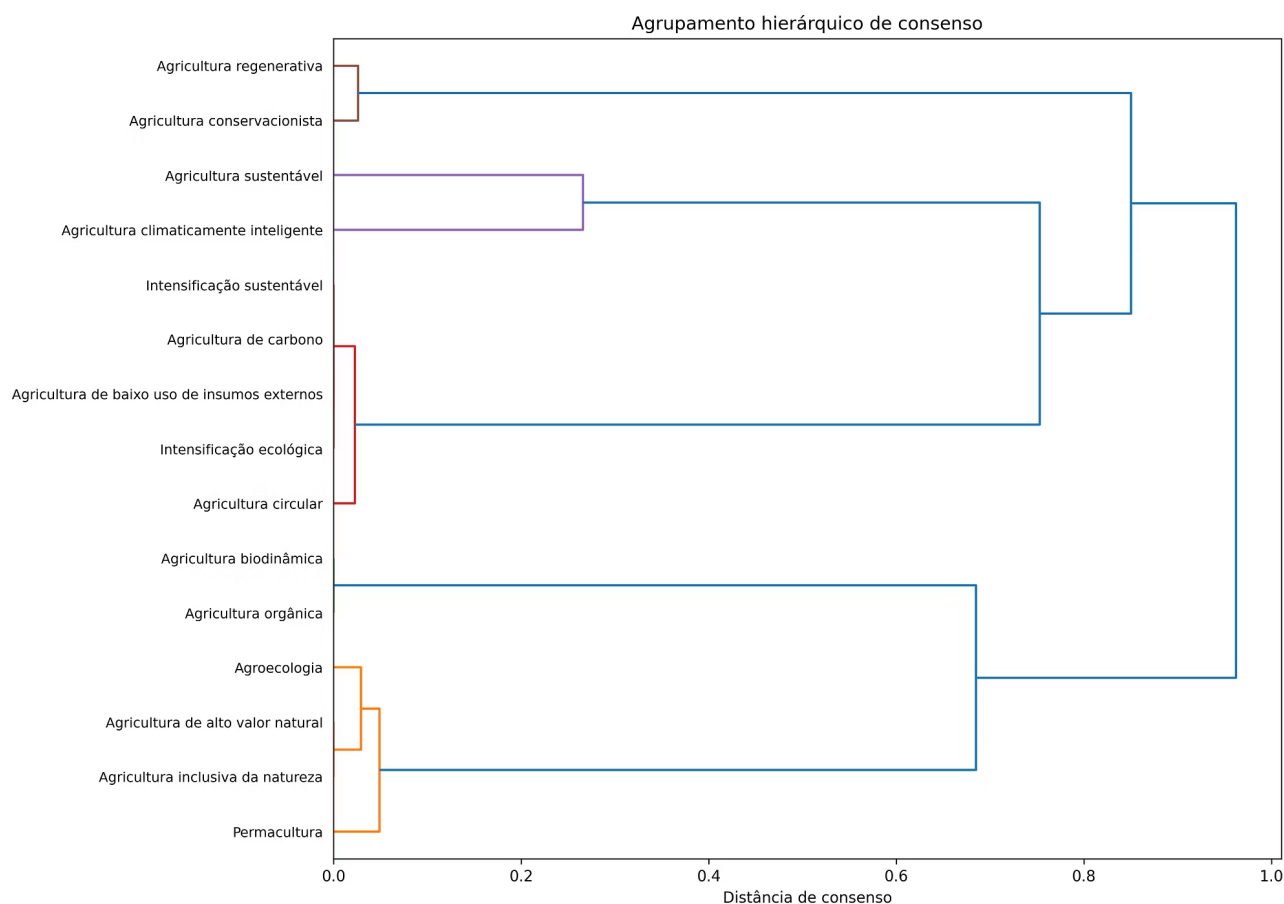


Figura 2. Agrupamento hierárquico de consenso para tipologias da agropecuária sustentável

O índice de Rand Ajustado entre a solução híbrida e a solução de consenso foi igual a 0,363, indicando concordância moderada entre ambas. Esse resultado sugere que, embora a divisão em dois grandes grupos capture a principal estrutura do espaço conceitual, a solução consensual identifica níveis adicionais de especialização que enriquecem a interpretação das relações entre as abordagens.

Agrupamentos conceituais identificados

A análise de consenso identificou cinco agrupamentos conceitualmente coerentes (tabela 1). O Cluster 1 reuniu Agroecologia, Agricultura Inclusiva da Natureza, Permacultura e Agricultura de Alto Valor Natural, caracterizando abordagens orientadas pela biodiversidade, pelos serviços ecossistêmicos e pela integração entre produção e conservação. O Cluster 2, composto por Agricultura Orgânica e Agricultura Biodinâmica, representa sistemas fortemente institucionalizados, fundamentados em certificação e normas específicas de produção.

Cluster	Caracterização do grupo	Abordagens incluídas	Principais dimensões predominantes
Sistemas ecológicos e biodiversidade	Abordagens que integram produção, biodiversidade e processos ecológicos em uma perspectiva sistêmica, valorizando serviços ecossistêmicos e aspectos sociais da sustentabilidade.	Agroecologia; Agricultura Inclusiva da Natureza; Permacultura; Agricultura de Alto Valor Natural	Biodiversidade; Serviços ecossistêmicos; Dimensão social; Conhecimento tradicional; Escala territorial
Sistemas certificados	Sistemas de produção definidos por normas técnicas, regulamentação e mecanismos formais de certificação, com forte orientação para práticas padronizadas.	Agricultura Orgânica; Agricultura Biodinâmica	Certificação e regulamentação; Orientação por práticas; Integração produtiva
Intensificação sustentável e eficiência de recursos	Estratégias voltadas ao aumento da produtividade e da eficiência ambiental por meio da redução de insumos externos, circularidade e otimização dos processos produtivos.	Agricultura de Carbono; Agricultura Circular; Agricultura de Baixo Uso de Insumos Externos; Intensificação Ecológica; Intensificação Sustentável	Eficiência de recursos; Intensificação produtiva; Redução de insumos externos; Circularidade; Mitigação de carbono
Estruturas conceituais integradoras	Conceitos abrangentes utilizados como referenciais para formulação de políticas públicas e planejamento territorial, integrando múltiplas dimensões da sustentabilidade.	Agricultura Sustentável; Agricultura Climaticamente Inteligente	Abrangência sistêmica; Adaptação e resiliência; Orientação por resultados
Conservação e regeneração dos agroecossistemas	Abordagens centradas na conservação do solo e na restauração das funções ecológicas dos agroecossistemas como base da sustentabilidade agrícola.	Agricultura Conservacionista; Agricultura Regenerativa	Conservação do solo; Restauração ecológica; Eficiência de recursos; Resiliência

O Cluster 3 agrupou Agricultura de Carbono, Agricultura Circular, Agricultura de Baixo Uso de Insumos Externos, Intensificação Ecológica e Intensificação Sustentável, destacando abordagens voltadas à eficiência no uso dos recursos, à intensificação produtiva e à redução da dependência de insumos externos. O Cluster 4, formado por Agricultura Sustentável e Agricultura Climaticamente Inteligente, reúne conceitos abrangentes que integram múltiplas dimensões da sustentabilidade sem prescrever práticas específicas. Por sua vez, o Cluster 5, composto por Agricultura Conservacionista e Agricultura Regenerativa, concentra abordagens focadas na conservação do solo, na restauração ecológica e no fortalecimento da resiliência dos agroecossistemas.

Relações par a par e taxonomia quantitativa

Os resultados indicam que as abordagens da agricultura sustentável se organizam principalmente em função dos mecanismos de promoção da sustentabilidade e dos atributos que priorizam, e não de sua origem conceitual. A análise das relações par a par revelou elevada convergência entre abordagens frequentemente tratadas como independentes, destacando-se Intensificação Ecológica e Intensificação Sustentável (0,666), Agricultura Inclusiva da Natureza e Agricultura de Alto Valor Natural (0,660), Agricultura Biodinâmica e Agricultura Orgânica (0,643), Agricultura de Baixo Uso de Insumos Externos e Intensificação Ecológica (0,615) e Agricultura de Carbono e Intensificação Sustentável (0,557).

Essas relações evidenciam que muitas abordagens compartilham fundamentos teóricos comuns, diferenciando-se sobretudo pela ênfase conferida a determinados processos ecológicos, instrumentos institucionais ou objetivos específicos. Com base nessas similaridades, a análise de consenso consolidou uma taxonomia quantitativa composta por cinco famílias conceituais, distinguindo abordagens orientadas à biodiversidade, sistemas certificados, estratégias de intensificação sustentável, conceitos integradores e sistemas voltados à conservação e regeneração dos agroecossistemas. A elevada estabilidade dos agrupamentos reforça a robustez da taxonomia e indica que os padrões identificados representam relações conceituais consistentes, e não artefatos do método de agrupamento.

O escalonamento multidimensional (figura 3) permitiu representar graficamente a estrutura conceitual das abordagens de agropecuária sustentável, preservando as relações de similaridade identificadas na matriz híbrida. Embora a redução para duas dimensões implique perda parcial de informação, observa-se uma clara separação entre os cinco agrupamentos identificados pela análise de consenso, evidenciando a coerência da taxonomia proposta.

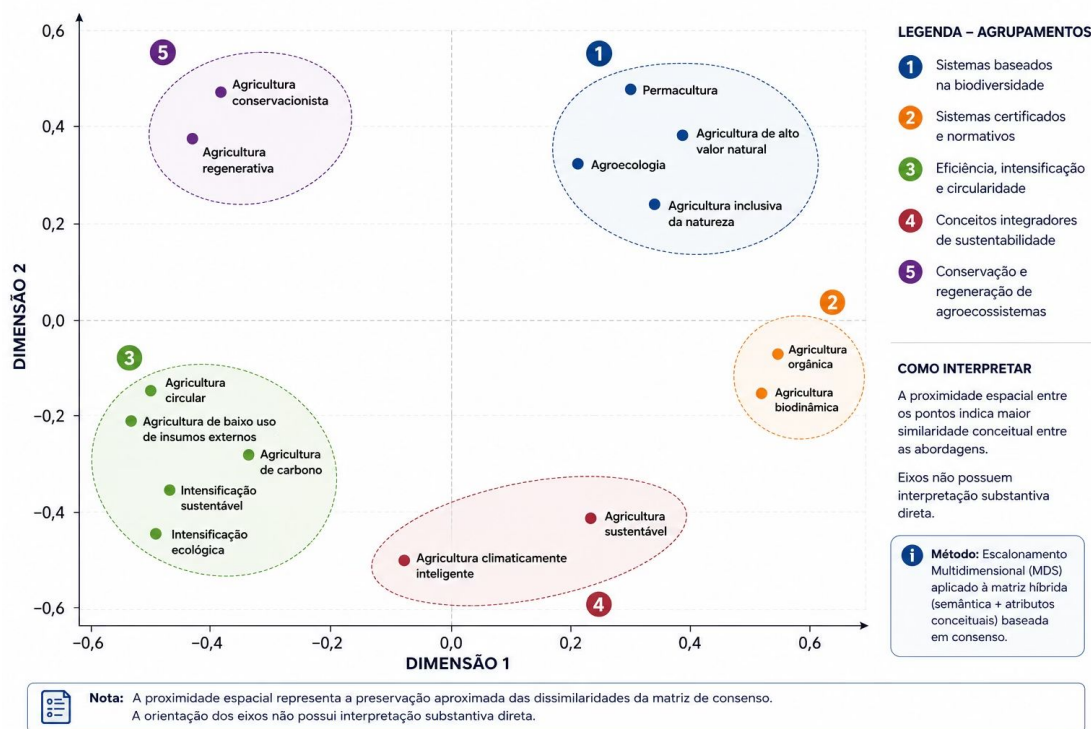


Figura 3. Proximidade conceitual das abordagens de agropecuária sustentável

As abordagens orientadas à biodiversidade e aos serviços ecossistêmicos formam um agrupamento bem definido, enquanto Agricultura Orgânica e Agricultura Biodinâmica constituem um núcleo próprio associado à certificação e à normatização da produção. As abordagens voltadas à eficiência no uso dos recursos e à intensificação sustentável ocupam uma região comum do espaço conceitual, ao passo que Agricultura Conservacionista e Agricultura Regenerativa se destacam pela proximidade decorrente da ênfase na conservação do solo e na restauração dos agroecossistemas. Por sua vez, Agricultura Sustentável e Agricultura Climaticamente Inteligente aparecem como conceitos integradores, refletindo sua maior abrangência temática.

A distribuição espacial dos agrupamentos reforça que a diversidade terminológica observada na literatura é maior do que a diversidade conceitual efetivamente identificada. Em vez de representar correntes independentes, muitas dessas abordagens compartilham fundamentos e mecanismos de implementação, diferenciando-se principalmente pelos atributos priorizados. Assim, a taxonomia proposta fornece uma base quantitativa para harmonizar conceitos, reduzir ambiguidades terminológicas e apoiar o desenvolvimento de indicadores, avaliações comparativas e políticas públicas voltadas à transição para sistemas agroalimentares mais sustentáveis.

5. Conclusões

Os resultados demonstram que a diversidade terminológica observada na literatura é maior do que a diversidade conceitual efetivamente existente, uma vez que muitas abordagens compartilham princípios e mecanismos de implementação semelhantes, diferenciando-se principalmente pela ênfase atribuída a determinados atributos. Os agrupamentos identificados evidenciam que estratégias voltadas à biodiversidade, à conservação do solo, à eficiência produtiva, à certificação e à adaptação climática representam dimensões complementares da sustentabilidade, e não modelos concorrentes.

Essa perspectiva é particularmente relevante no contexto do Plano ABC+, que se consolida como uma das mais abrangentes políticas públicas de desenvolvimento sustentável para a agropecuária. Ao integrar práticas e tecnologias voltadas à conservação do solo, recuperação de pastagens, integração de sistemas produtivos, florestas plantadas, bioinsumos, manejo de resíduos, adaptação às mudanças climáticas e mitigação das emissões de gases de efeito estufa, o Plano ABC+ materializa, em uma estratégia nacional, os principais eixos conceituais identificados neste estudo. Dessa forma, demonstra que as diferentes abordagens da agricultura sustentável são, em grande medida, complementares e podem ser articuladas em uma política pública ampla, inclusiva e orientada à promoção simultânea da produtividade, da competitividade, da resiliência climática e da conservação dos recursos naturais.

6. Referências

- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária com vistas ao Desenvolvimento Sustentável (Plano ABC+ 2020–2030). Brasília: MAPA, 2021.
- BRODT, Sonja; SIX, Johan; FEENSTRA, Gail; INGELS, Chuck; CAMPBELL, Doug. Sustainable agriculture. *Nature Education Knowledge*, v. 3, n. 10, p. 1-8, 2011.
- DEVLIN, Jacob; CHANG, Ming-Wei; LEE, Kenton; TOUTANOVA, Kristina. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. In: PROCEEDINGS OF THE 2019 CONFERENCE OF THE NORTH AMERICAN CHAPTER OF THE ASSOCIATION FOR COMPUTATIONAL LINGUISTICS (NAACL-HLT). Minneapolis: Association for Computational Linguistics, 2019. p. 4171-4186.
- GOWER, J. C. A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics*, Washington, v. 27, n. 4, p. 857-871, 1971.
- JANKER, Julia; MANN, Stefan; RIST, Stephan. Social sustainability in agriculture—A system-based framework. *Journal of Rural Studies*, v. 65, p. 32-42, 2018.
- KEENEY, Dennis R. Sustainable agriculture: definitions and concepts. In: FRANCIS, C. A.; FLORA, C. B.; KING, L. D. (eds.). *Sustainable Agriculture in Temperate Zones*. New York: John Wiley & Sons, 1990. p. 13-24.
- KRUSKAL, Joseph B. Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis. *Psychometrika*, New York, v. 29, n. 1, p. 1-27, 1964.
- MANNING, Christopher D.; RAGHAVAN, Prabhakar; SCHÜTZE, Hinrich. *Introduction to Information Retrieval*. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
- OBERČ, Boštjan P.; ARROYO SCHNELL, Alejandro (eds.). *Approaches to Sustainable Agriculture: Exploring the Pathways Towards the Future of Farming*. Gland, Switzerland: IUCN, 2020.
- REIMERS, Nils; GUREVYCH, Iryna. Sentence-BERT: Sentence embeddings using Siamese BERT-networks. In: PROCEEDINGS OF THE 2019 CONFERENCE ON EMPIRICAL METHODS IN NATURAL LANGUAGE PROCESSING AND THE 9TH INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON NATURAL LANGUAGE PROCESSING (EMNLP-IJCNLP). Hong Kong: Association for Computational Linguistics, 2019. p. 3982-3992.
- ROUSSEEUW, Peter J. Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Amsterdam, v. 20, p. 53-65, 1987.
- TRIGO, António; MARTA-COSTA, Ana A.; FRAGOSO, Rui. Sustainable agriculture: Definitions, dimensions and frameworks—A literature review. *Agriculture*, v. 11, n. 7, art. 629, 2021.
- VELTEN, Sarah; LEVENTON, Julia; JAGER, Nicolas; NEWIG, Jens. What is sustainable agriculture? A systematic review. *Sustainability*, Basel, v. 7, n. 6, p. 7833-7865, 2015.
- WARD JR., Joe H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, Alexandria, v. 58, n. 301, p. 236-244, 1963.
- WEIL, Raymond R. Defining and using the concept of sustainable agriculture. *Journal of Agronomic Education*, Madison, v. 19, p. 126-130, 1990.

Apêndice

Conceito	Tipologia	Definição operacional para a análise	Referências principais
Agricultura sustentável	Conceito guarda-chuva	Organização da produção agropecuária capaz de atender às necessidades humanas presentes e futuras, mantendo a base de recursos naturais, a viabilidade econômica e a qualidade de vida. É orientada pelos resultados ambientais, econômicos e sociais, e não por um conjunto fixo de tecnologias.	Weil (1990); Keeney (1990); Velten et al. (2015); Janker, Mann e Rist (2018); Trigo, Marta-Costa e Fragoso (2021).
Agroecologia	Ciência, conjunto de práticas e movimento sociopolítico	Aplicação de princípios ecológicos ao desenho e à gestão de agroecossistemas e sistemas alimentares, com ênfase em diversidade, processos biológicos, redução de insumos externos, participação social, conhecimentos tradicionais e transformação das relações agroalimentares.	Brodt et al. (2011); Velten et al. (2015); Oberč e Arroyo Schnell (2020).
Agricultura inclusiva da natureza	Abordagem de integração entre produção e biodiversidade	Incorporação deliberada da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos ao funcionamento da produção agrícola, conciliando produtividade, conservação de habitats, paisagem e manutenção do capital natural.	Oberč e Arroyo Schnell (2020).
Permacultura	Sistema de desenho ecológico e socioproductivo	Planejamento de propriedades, assentamentos e sistemas produtivos inspirado em ecossistemas naturais, buscando integração, diversidade, autossuficiência relativa, aproveitamento de resíduos e organização conjunta de água, energia, nutrientes, plantas, animais e atividades humanas.	Oberč e Arroyo Schnell (2020); Trigo, Marta-Costa e Fragoso (2021).
Agricultura biodinâmica	Sistema ecológico de produção com fundamentos filosófico-espirituais	Sistema que compreende a propriedade como organismo vivo e integrado, priorizando reciclagem interna de nutrientes, integração agricultura-pecuária, compostagem, biodiversidade, restrição a insumos sintéticos e uso de preparações biodinâmicas específicas.	Oberč e Arroyo Schnell (2020); Trigo, Marta-Costa e Fragoso (2021).
Agricultura orgânica	Sistema de produção regulamentado e certificável	Sistema produtivo baseado em processos biológicos, rotação de culturas, adubação orgânica, diversificação e restrição ao uso de fertilizantes altamente solúveis, agrotóxicos sintéticos e organismos geneticamente modificados, submetido a normas e certificação.	Weil (1990); Oberč e Arroyo Schnell (2020); Trigo, Marta-Costa e Fragoso (2021).
Agricultura conservacionista	Sistema de manejo produtivo baseado na conservação do solo	Abordagem baseada no mínimo revolvimento do solo, cobertura permanente e diversificação de espécies, com o objetivo de reduzir erosão e evaporação e melhorar estrutura, matéria orgânica, atividade biológica e infiltração de água.	Keeney (1990); Brodt et al. (2011); Oberč e Arroyo Schnell (2020).
Agricultura regenerativa	Abordagem orientada à restauração das funções ecológicas	Estratégia voltada à recuperação e ampliação da capacidade funcional dos agroecossistemas, com foco em saúde do solo, matéria orgânica, carbono, biodiversidade, água, ciclagem de nutrientes e resiliência, devendo ser avaliada por resultados regenerativos mensuráveis.	Weil (1990); Oberč e Arroyo Schnell (2020); Trigo, Marta-Costa e Fragoso (2021).
Agricultura de carbono	Abordagem climática orientada por resultados de carbono	Conjunto de sistemas de manejo destinados a aumentar o sequestro de carbono e reduzir emissões de gases de efeito estufa, utilizando o balanço de carbono como objetivo explícito de gestão e, frequentemente, como base para incentivos ou pagamentos por resultados.	Oberč e Arroyo Schnell (2020); Trigo, Marta-Costa e Fragoso (2021).
Agricultura climaticamente inteligente	Abordagem integrada de produtividade, adaptação e mitigação	Estrutura de planejamento que busca aumentar sustentavelmente a produtividade e a renda, fortalecer adaptação e resiliência climática e reduzir ou remover emissões, administrando sinergias e trade-offs conforme o contexto territorial.	Janker, Mann e Rist (2018); Oberč e Arroyo Schnell (2020); Trigo, Marta-Costa e Fragoso (2021).
Agricultura de alto valor natural	Abordagem territorial de conservação associada à agricultura extensiva	Sistemas agrícolas de baixa intensidade cuja permanência está associada à conservação da biodiversidade, habitats e paisagens rurais tradicionais, especialmente por meio de pastoreio extensivo, pastoralismo, mosaicos produtivos e baixo uso de insumos.	Oberč e Arroyo Schnell (2020).
Agricultura de baixo uso de insumos externos	Estratégia de redução da dependência externa	Estratégia que reduz a dependência de fertilizantes, agrotóxicos, energia, sementes, rações e outros recursos adquiridos, mobilizando ciclagem de nutrientes, fixação biológica, resíduos orgânicos, controle biológico, integração produtiva e conhecimento local.	Weil (1990); Keeney (1990); Oberč e Arroyo Schnell (2020).
Agricultura circular	Abordagem baseada no fechamento de fluxos de materiais e energia	Aplicação dos princípios da economia circular à produção agroalimentar, buscando reduzir perdas e manter nutrientes, biomassa, água e energia em circulação por meio da reutilização, reciclagem e valorização de resíduos e subprodutos.	Oberč e Arroyo Schnell (2020); Trigo, Marta-Costa e Fragoso (2021).
Intensificação ecológica	Estratégia de intensificação fundamentada em processos ecológicos	Aumento ou estabilização da produção por meio do fortalecimento de serviços ecossistêmicos, diversidade funcional, controle biológico, polinização, ciclagem de nutrientes, fixação biológica e redesenho do agroecossistema.	Brodt et al. (2011); Oberč e Arroyo Schnell (2020).
Intensificação sustentável	Abordagem de eficiência produtiva e ambiental	Aumento da produção ou do desempenho em áreas agrícolas existentes sem expansão proporcional do uso da terra, acompanhado de redução dos impactos ambientais e avaliação conjunta de produtividade, emissões, biodiversidade, solo, água, eficiência dos recursos e efeitos sociais.	Velten et al. (2015); Janker, Mann e Rist (2018); Oberč e Arroyo Schnell (2020).

Nota metodológica do apêndice: As definições operacionais foram harmonizadas para manter extensão, estrutura e nível de detalhamento comparáveis entre os conceitos. Essa padronização foi necessária porque os textos foram utilizados como unidades independentes na análise semântica e na construção da matriz conceito-dimensão. As definições não pretendem substituir a diversidade de interpretações existente na literatura, mas fornecer uma base transparente, consistente e reproduzível para a comparação quantitativa das abordagens.