








## INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE NA AGRICULTURA DO CONTINENTE AFRICANO: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

## INNOVATION AND SUSTAINABILITY IN AGRICULTURE ON THE AFRICAN CONTINENT: A BIBLIOMETRIC REVIEW

Silmo Schüler\*  E-mail: [silmo.schuler@hotmail.com](mailto:silmo.schuler@hotmail.com)  
Liane Mahlmann Kipper\*  E-mail: [ljane@unisc.br](mailto:ljane@unisc.br)  
Jorge André Ribas Moraes\*  E-mail: [jorge@unisc.br](mailto:jorge@unisc.br)  
João Marbio Pires Iturbide\*  E-mail: [japa\\_marbio@hotmail.com](mailto:japa_marbio@hotmail.com)  
Eduardo Alcayaga Lobo\*  E-mail: [lobo@unisc.br](mailto:lobo@unisc.br)  
\*Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Santa Cruz do Sul, RS, Brasil.

**RESUMO:** Para uma melhor compreensão da temática da inovação e sustentabilidade na agricultura do continente africano, realizou-se uma análise bibliométrica utilizando os termos de pesquisa “inovação”, “sustentabilidade”, “agricultura” e “África”, na base de dados “Scopus (Elsevier)”, no período entre 1993 e 2022. Foram encontradas 94 publicações, tendo como resultado a formação de três *clusters* em relação aos termos de pesquisa, sendo eles: (i) sustentabilidade; (ii) agricultura; e (iii) inovação. Além disso, a revisão identificou os principais países e instituições de pesquisa que desenvolveram estudos com esta temática. Os dados coletados demonstram vários fatores que dificultam a inovação e o desenvolvimento sustentável da agricultura no continente africano, quais sejam: (i) estratégias e políticas públicas inadequadas; (ii) falta de variedades de culturas mais resistentes à variação climática; (iii) necessidade de identificar as culturas subutilizadas com maior potencial de sucesso, e priorizá-las para pesquisa; (iv) falta de tecnologias digitais adequadas; (v) pouco apoio técnico e financeiro; (vi) desigualdade de gênero; e (vii) falta de mais pesquisas sobre o tema por instituições do próprio continente africano. Esta revisão pretende fornecer subsídios na busca da resolução destes problemas, visando garantir a sustentabilidade da agricultura africana para as futuras gerações. Manter a biodiversidade associada aos sistemas alimentares mais sustentáveis e saudáveis, trará como consequência o aumento da segurança alimentar na África.

**Palavras-chave:** Inovação. Sustentabilidade. Serviços ecossistêmicos. Agricultura. Segurança alimentar. África.

**ABSTRACT:** For a better understanding of the theme of innovation and sustainability in agriculture on the African continent, a bibliometric analysis was carried out using the search terms “innovation”, “sustainability”, “agriculture” and “Africa”, in the database “Scopus (Elsevier)”, in the period between 1993 and 2022. 94 publications were found, resulting in the formation of three clusters in relation to the search terms, namely: (i) sustainability; (ii) agriculture; and (iii) innovation. In addition, the review identified the main countries and research institutions that developed studies with this theme. The collected data demonstrate several factors that hinder the innovation and sustainable development of agriculture in the African continent, namely: (i) inadequate strategies and public policies; (ii) lack of crop varieties more resistant to climate variation; (iii) the need to identify underutilized crops with the greatest potential for success, and prioritize them for research; (iv) lack of adequate digital technologies; (v) little technical and financial support; (vi) gender inequality; and (vii) lack of further research on the subject by institutions on the African continent itself. This review intends to provide subsidies in the search for the resolution of these problems, aiming to guarantee the sustainability of African agriculture for future

generations. Maintaining biodiversity associated with more sustainable and healthy food systems will result in greater food security in Africa.

**Keywords:** Innovation. Sustainability. Ecosystem services. Agriculture. Food safety. Africa.

## 1 INTRODUÇÃO

Até o ano de 2050 a população global atingirá 9 bilhões, sendo que uma das maiores preocupações será atender à necessidade alimentar humana, o que exigirá estratégias de inovação com ênfase no aumento sustentável da qualidade da dieta e na produtividade (Barrett, 2021). Estima-se que em 2067 a população global chegará a 10,4 bilhões, dos quais 81% residirão na África ou na Ásia, sendo que terra cultivável para a produção de alimentos diminuirá para 0,15 ha por pessoa (Britt; Cushman; Dechow; Dobson *et al.*, 2018). Para superar esse desafio, a pesquisa e a inovação são cruciais (Fomunyam, 2020). Neste sentido, a inovação revela-se fundamental na formação de cadeias produtivas baseadas no conhecimento, estimulando o investimento para a criação de uma economia da inovação regional (Espinola; Vilar; De Barros; Da Silva, 2009). Já, a sustentabilidade é o contexto em que as inovações são implementadas por meio de diferentes práticas, ferramentas e tecnologias associadas. Para o sucesso das inovações, os aceleradores de inovações e as sinergias são componentes essenciais (Sehnem; Junges; Martins; Julkovsky *et al.*, 2021).

O continente africano enfrenta um acelerado crescimento populacional, e apresenta imensos desafios no século 21 para alimentar a sua população (Fan, 2020) sendo que a necessidade do continente africano em duplicar a produção de alimentos, acelerou a busca pela agricultura sustentável em escala. Neste sentido, a identificação e adoção de práticas agrícolas e tecnologias sustentáveis e de políticas públicas de apoio à inovação ajudarão na mudança do quadro atual (Kuyah; Sileshi; Nkurunziza; Chirinda *et al.*, 2021). A agricultura africana necessita se adaptar às mudanças climáticas e adaptar técnicas de produção sustentáveis. Na África Subsaariana, as *FinTech* auxiliam os agricultores a enfrentar desafios de produção e comercialização (Mapanje; Karuaihe; Machethe; Amis, 2023). Ainda, a digitalização ganhou espaço no setor agrícola africano, e cada vez mais jovens se engajam no desenvolvimento de tecnologias que envolvem o uso drones e tecnologias de comunicação, visando o compartilhamento de conhecimentos e informações (Ayamga; Lawani; Akaba; Birindwa, 2023).

Por outro lado, a análise bibliométrica é uma metodologia usada para coletar informações sobre uma área específica de pesquisa (Secinaro; Calandra; Petricean; Chmet, 2021). Na qual a subjetividade intrínseca é minimizada e o método é reproduzível (Corsini; Certomà; Dyer; Frey, 2019). A análise bibliométrica permite observar o estado da ciência através da produção científica registrada em uma base de dados, e possibilita classificar um país em relação ao restante do mundo; cientistas em relação à comunidade de pesquisadores e uma instituição em relação a um país (Soares; Carneiro; Calmon; Oliveira, 2016). Ainda, segundo Ugolini *et al.* (2015), estudos bibliométricos são ferramentas usadas para avaliar os aspectos sociais e científicos sobre um determinado assunto, que permite a análise do crescimento, tamanho e distribuição da produção científica na área de pesquisa.

Neste contexto, utilizando uma análise bibliométrica, a pesquisa teve como objetivo entender e responder aos questionamentos do atual estado da arte em inovação e sustentabilidade da agricultura na África, considerando os últimos trinta anos.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

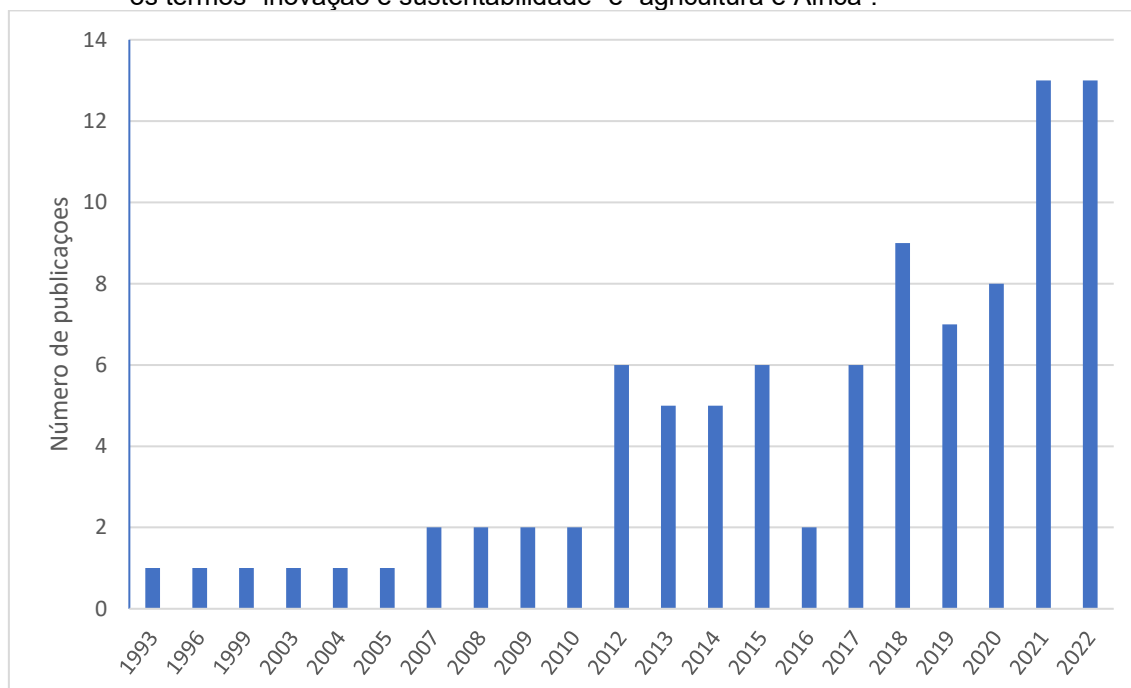
Para a aplicação da análise bibliométrica, os termos “inovação e sustentabilidade” e “agricultura e África” foram escolhidos, por serem abrangentes, representarem o tema inovação e sustentabilidade e manutenção da biodiversidade associada no continente africano. As publicações científicas foram selecionadas da base de dados “Scopus (Elsevier)”, no período de janeiro 1993 a dezembro de 2022. Os dados obtidos foram analisados com o *software* “VOSviewer” versão 1.6.13. O mapeamento bibliométrico foi utilizado para verificar os principais temas citados na literatura e pesquisar as relações entre as palavras mais citadas, bem como identificar os principais países dedicados a este campo de pesquisa.

O *software* “VOSviewer” auxiliou a visualizar os cenários científicos, e foi configurado para utilizar a coocorrência de termos, através de contagem binária, com o mínimo de 15 ocorrências para o mesmo termo, ou seja, os termos foram repetidos ao menos 15 vezes nas bibliografias revisadas. Utilizou-se um mínimo de 60% de relevância dos termos (Souza; Hoeltz; Brittes Benitez; Machado *et al.*, 2019). Foram descritas as principais instituições de pesquisa e o número de publicações no período, categorizadas nas diferentes áreas de conhecimento abrangente.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O levantamento realizado na base de dados Scopus, com os termos “inovação e sustentabilidade” e “agricultura e África”, identificou 94 publicações, entre os anos de 1993 e 2022, o que representa o crescente interesse da comunidade científica por este assunto, sendo esta constatação observada pelo aumento do número de publicações (Figura 1). Contudo, apesar do aumento no número de publicações, nota-se uma baixa representatividade e interesse por pesquisas científicas nesta área do conhecimento. O ano de 2012 apresentou um crescimento exponencial de publicações, uma situação semelhante à observada nos anos de 2021 e 2022.

**Figura 1** - Volume de publicações entre 1993 e 2022, disponíveis na base de dados “Scopus”, utilizando os termos “inovação e sustentabilidade” e “agricultura e África”.



**Fonte:** Elaborada pelos autores a partir da base de dados “Scopus (Elsevier)”.

#### 3.1 Principais países e instituições envolvidas

As 94 publicações identificadas na análise dos dados, possibilitaram o reconhecimento das principais áreas do conhecimento abordadas utilizando os termos “inovação e sustentabilidade” e “agricultura e África”, bem como a identificação das principais comunidades científicas e grupos de pesquisa consolidadas (Tabela 1).

Vários grupos de pesquisa se destacaram quanto ao volume de produção científica no período de 1993 a 2022. As duas áreas do conhecimento com maior

número de trabalhos são “ciências ambientais” e “ciências biológicas e agrícolas”. Ciências ambientais refere-se aos estudos relacionados ao mundo e ao seu meio ambiente em todas as suas formas e interações, nesta área destacaram-se: *Wageningen University & Research* da Holanda; *Agricultural Research Centre for International Development* (CIRAD) da França; *University of KwaZulu-Natal* da África do Sul; e *Universität Hohenheim* da Alemanha.

Já na área “Ciências Biológicas e Agrícolas”, que além da biologia é a área da agricultura que estuda a ciência, tecnologia e os negócios da produção de plantas, destacaram-se, novamente, a *Wageningen University & Research* da Holanda e a *Agricultural Research Centre for International Development* (CIRAD) da França, e também a *Natural Resources Institute* e a *University of Leeds* ambas do Reino Unido. A área do conhecimento “Ciências Sociais” aparece na terceira posição, destacando-se os grupos de pesquisa da *University of Pretoria* e *Agricultural Research Council*, ambas da África do Sul. Na quarta posição aparece a área “Energia”, com destaque para os grupos de pesquisa do *International Institute of Tropical Agriculture da Tanzânia* e *African Centre for a Green Economy* da África do Sul, destacando que no contexto do planeta sem fronteiras, a inovação tecnológica e a eficiência energética são fatores que determinam a competitividade e a sustentabilidade (Pessoa; Oliveira, 2010).

**Tabela 1** - Principais áreas de investigação relacionadas aos termos “inovação e sustentabilidade” e “agricultura e África”, volume de publicações por área de investigação, principais grupos de investigação e número total de publicações, no período de 1993 e 2022, na análise bibliométrica realizada na base de dados “Scopus” (Nº PUB: Número de publicações).

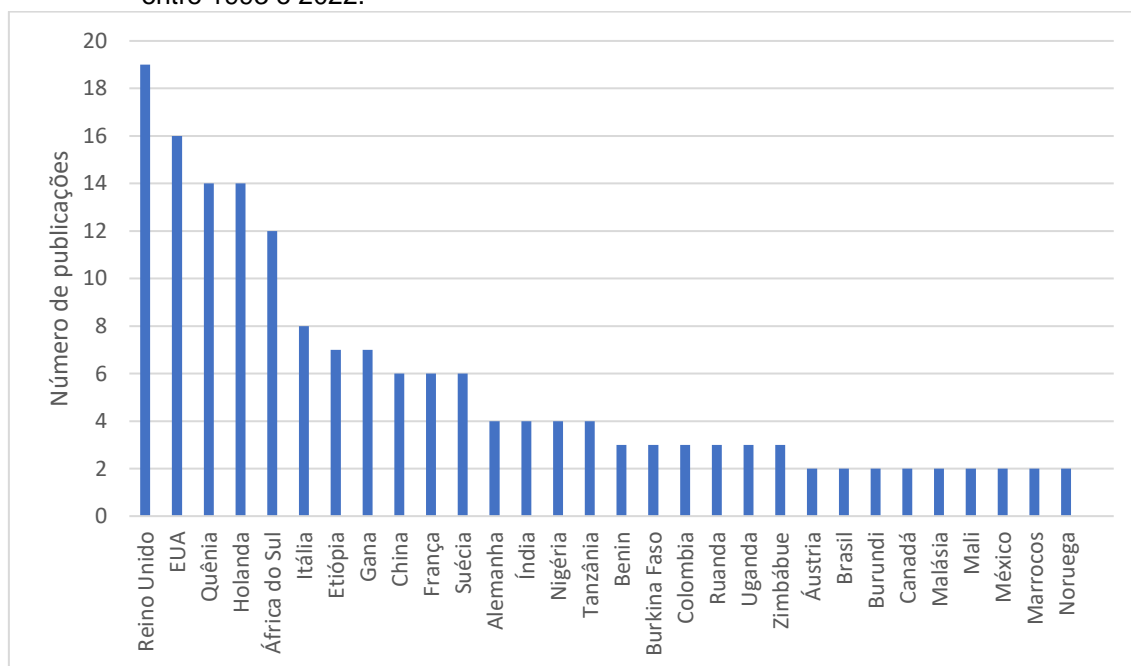
Ano / Área de pesquisa	93	96	99	03	04	05	07	08	09	10	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	Total	Principais organizações envolvidas	Nº PUB
Ciências Ambientais	-	-	1	1	-	-	2	-	1	-	3	1	2	1	1	3	1	2	4	8	7	38	Wageningen University & Research - Holanda CIRAD – França Univ. of KwaZulu-Natal – África do Sul Universität Hohenheim - Alemanha	5 3 2 2
Ciências Biológicas e Agrícolas	-	-	1	1	1	-	-	-	-	1	2	4	3	3	-	3	4	3	2	3	7	38	Wageningen University & Research CIRAD - França Natural Resources Instit. – Reino Unido University of Leeds – Reino Unido	5 5 2 2
Ciências Sociais	-	1	-	1	1	-	-	1	1	-	3	2	1	2	1	2	3	5	2	5	1	32	University of Pretoria – África do Sul Agricultural Research Council, Pretoria Natural Resources Institute Wageningen University & Research	3 2 2 2
Energia	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	1	2	-	-	2	5	2	14	International Institute of Tropical Agriculture - Tanzânia African Centre for a Green Economy – África do Sul Sustainable Development Research Institute - Palestina International Institute of Tropical Agriculture IITA - Nigéria	1 1 1 1
Engenharia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	1	-	5	3	3	14	Institute of Crop Sciences and Resource Conservation INRES-Horticultural Science - Alemanha Cinzana Connect Villages Association – Reino Unido AICRP on Farm Implements and Machinery ICAR - Índia African Centre for a Green Economy – África do Sul	1 1 1 1
Economia, Econometria e Finanças	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	2	-	1	1	1	1	1	-	-	2	-	10	Wageningen University & Research Millennium Institute - EUA Cambodian Agricultural Research and Development Institute - Camboja Youth Network for Sustainable Development - Etiópia	2 1 1 1

Fonte: Elaborada pelos autores a partir da base de dados “Scopus (Elsevier)”.

Em relação aos países com maior volume de produção científica, os grupos de pesquisa com destaque são do Reino Unido com 19 publicações, no período de 30 anos, destacando-se o *Natural Resources Institute*, conforme Figura 2. Os Estados Unidos da América se destacam como segundo país, com 16 publicações científicas, e apresenta um importante centro de estudo, o *Millennium Institute*.

Com relação aos continentes, o europeu aparece em primeiro lugar com 67 publicações científicas, seguido pelo africano com 63, americano com 27, asiático com 24 e Oceania com 2. Dentre os 20 países com maior número de publicações, destacam-se no continente africano 10 países, seguido pelo europeu com 6, asiático com 2 e americano com 2.

**Figura 2** - Países que mais se destacam em publicações utilizando os termos “inovação e sustentabilidade” e “agricultura e África”, com base em pesquisa bibliométrica no “Scopus” entre 1993 e 2022.



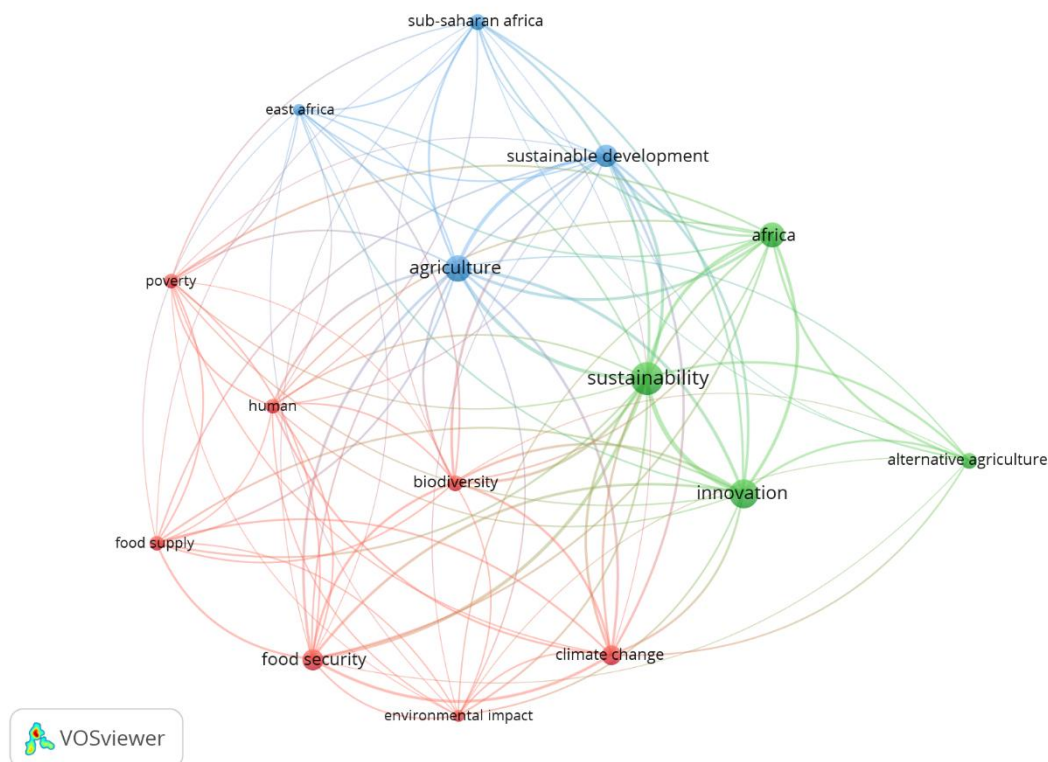
Fonte: Elaborada pelos autores a partir da base de dados “Scopus (Elsevier)”.

### 3.2 Termos de pesquisa

Aplicando os termos “inovação e sustentabilidade” e “agricultura e África”, na base de dados “Scopus”, na análise bibliométrica, entre 1993 e 2022, identificou-se a formação de três clusters, conforme a Figura 3. O primeiro cluster, em verde, destaca quatro termos relevantes em ordem decrescente de ocorrência, que são: “sustentabilidade”, “inovação”, “África” e “agricultura alternativa”. Inovação e

sustentabilidade estão associadas, pois a inovação é a capacidade de colocar em prática ações sustentáveis. Por sua vez, o termo “agricultura alternativa” está diretamente relacionada à sustentabilidade, em contraponto à agricultura tradicional, que possui pouca capacidade de fornecer serviços ecossistêmicos e manutenção da biodiversidade local (Agnoletti; Santoro, 2022).

**Figura 3** - Principais termos encontrados pela pesquisa bibliométrica na base de dados “Scopus”, entre 1993 e 2022. Visão geral do mapa



**Fonte:** Elaborada pelos autores a partir da base de dados “Scopus (Elsevier)”.

O segundo cluster, em azul, também com quatro termos relevantes em ordem decrescente de ocorrência, que são: “agricultura”, “desenvolvimento sustentável”, “África Subsaariana” e “Leste da África”. A agricultura está diretamente ligada ao desenvolvimento sustentável e à manutenção da biodiversidade do ecossistema, demonstrando a importância da componente agricultura na conservação da biodiversidade na África.

O terceiro cluster, em vermelho, tem sete termos relevantes em ordem decrescente de ocorrência, que são: “segurança alimentar”; “mudança climática”; “biodiversidade”; “suprimento alimentar”; “humano”; “pobreza”; e “impactos ambientais”. O termo mais expressivo é “segurança alimentar”, demonstrando a

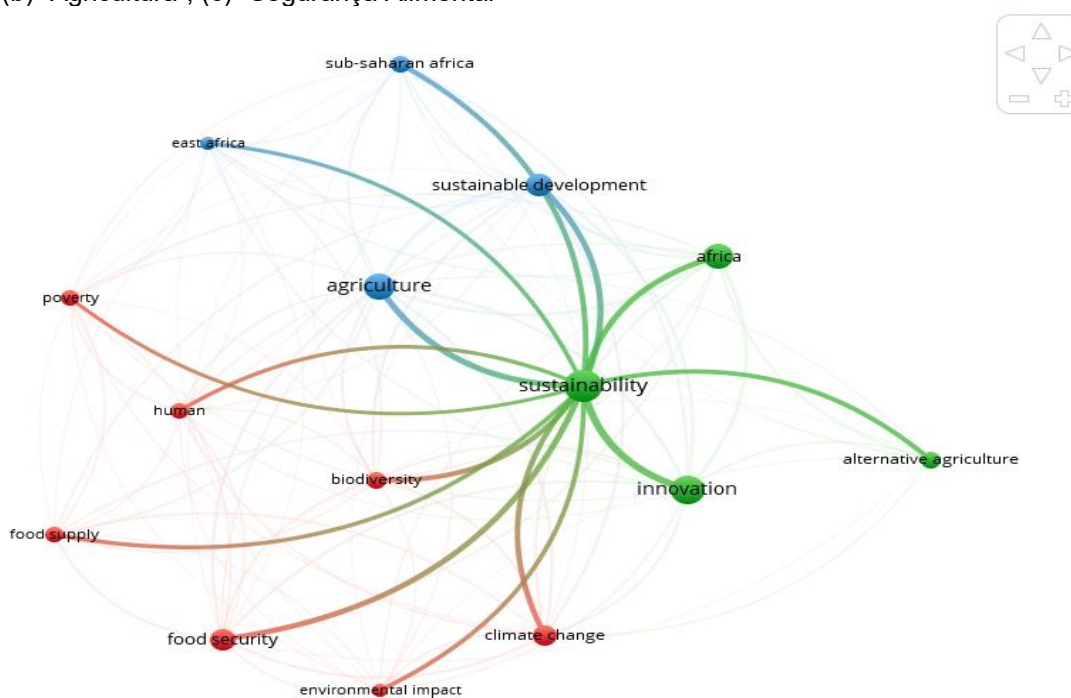
Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 23 n. 2, e-4910, 2023.



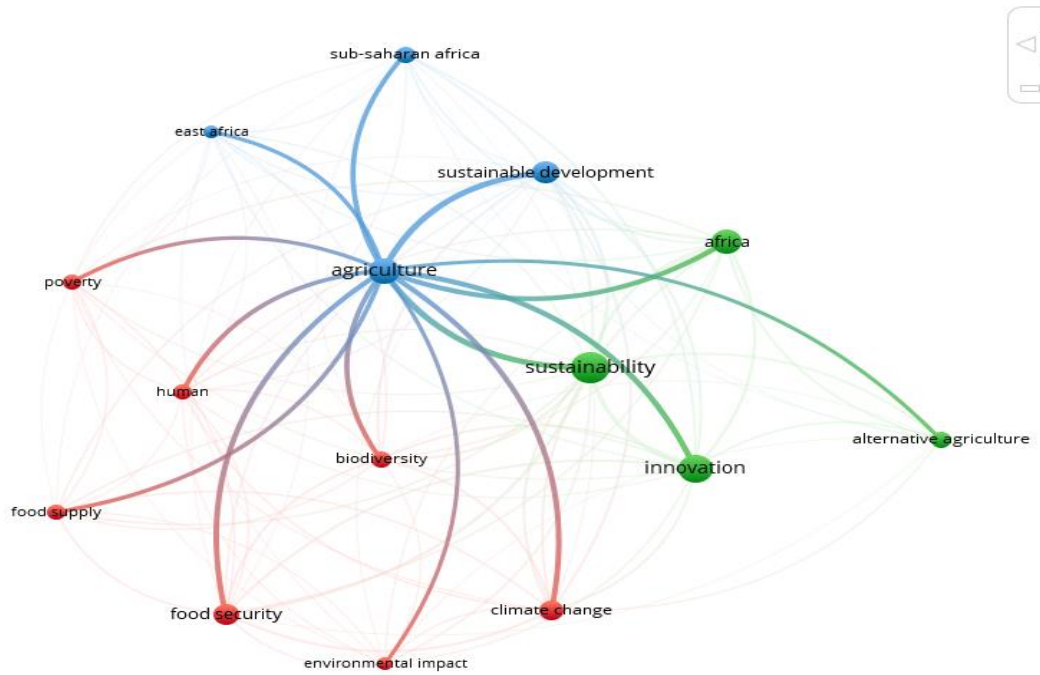
relação da segurança alimentar dos seres humanos com a manutenção da biodiversidade na prestação de serviços ecossistêmicos, e contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais e das alterações climáticas. Deste modo, a manutenção e equilíbrio do ecossistema depende diretamente da biodiversidade, enquanto a biodiversidade depende de outros fatores, como a composição das espécies (Wiesel; Dresch; Santana; Lobo, 2021).

A figura 4, por sua vez, representa os clusters separados de cada um dos termos “Sustentabilidade”; “Agricultura” e “Segurança Alimentar” e como ocorreram as relações e conectividades.

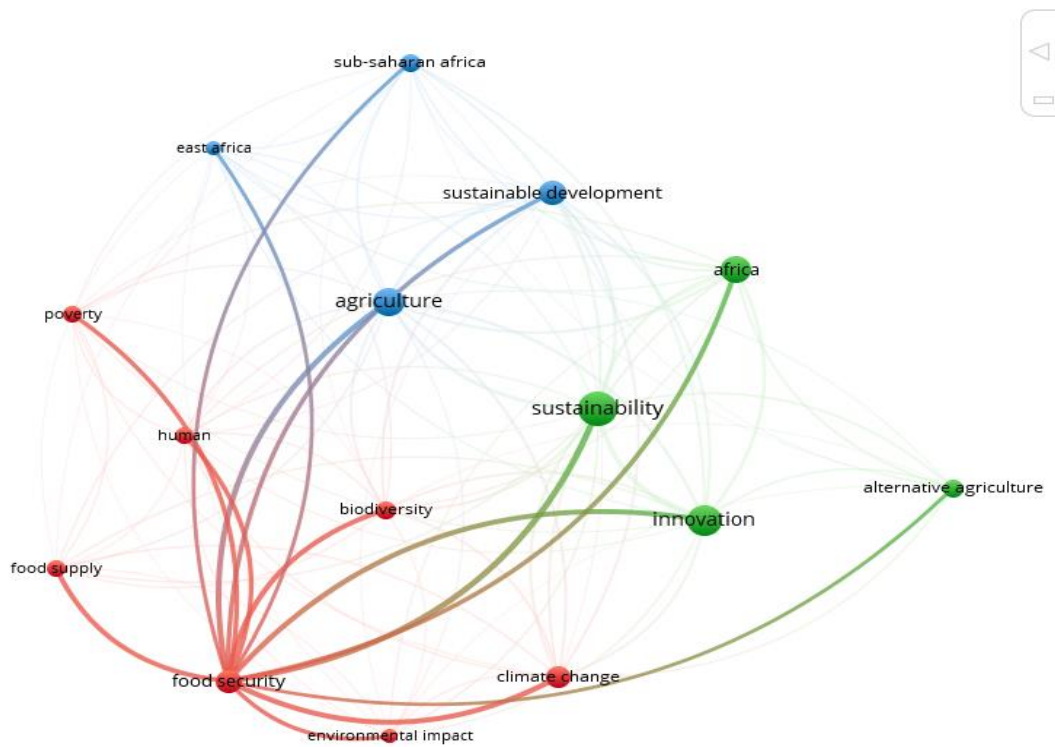
**Figura 4** - Destaques para os termos obtidos com base na análise bibliométrica: (a) “Sustentabilidade”; (b) “Agricultura”; (c) “Segurança Alimentar”



(a) Sustentabilidade



(b) Agricultura



(c) Segurança alimentar

Fonte: Elaborada pelos autores a partir da base de dados “Scopus (Elsevier)”.

### 3.3 Sustentabilidade

“Sustentabilidade” foi o termo mais encontrado em nossa análise. Este termo está associado diretamente aos termos “inovação”, “África”, e “agricultura Alternativa”. Neste sentido, a promoção de inovações e de sustentabilidade dos meios de subsistência dos pequenos agricultores na África, tem gerado aumento de renda para os agricultores ao longo da cadeia de valor, levando a uma rápida redução da pobreza (Adekunle; Fatunbi, 2013). Já, o desenvolvimento sustentável promove a qualidade de vida das comunidades, preservando o capital natural, humano e social, focando nos desafios da sustentabilidade, e protegendo os recursos naturais e o meio ambiente para uso a longo prazo (Salem; Pudza; Yihdego, 2022).

Inovação e sustentabilidade estão estreitamente relacionadas com políticas públicas. Os princípios que impedem a inovação agroalimentar no Norte da África estão associados com ambiente político, de investigação científica, e de um ambiente institucional e de recursos humanos (Ben Hassen; El Bilali, 2021). Destacando que a principal barreira para o desenvolvimento e inovação no agro-processamento, no Leste da África, são as restrições estruturais e políticas (Virgin; Komakech; Kyambadde; Njau *et al.*, 2017). Já, o aumento da riqueza na África, para poucos, sempre vem acompanhada do aumento da desigualdade. Os tópicos abordados relacionam deficiência, corrupção, fuga de capitais e sustentabilidade (Kayizzi-Mugerwa; Shimeles; Lusigi; Abidjan, 2016). Também sistemas mais transparentes de alocação de recursos poderiam ser aplicados na cadeia agrícola, gerando sustentabilidade (Sumo; Ji; Cai, 2022). Ainda, conforme Upton (1993), para promover o crescimento da oferta de alimentos é necessário financiamento público da pesquisa agrícola, principalmente em inovações que reduzam o risco, como por exemplo, variedades de culturas mais resistentes ao estresse, a doenças e a variações climáticas.

Os desafios e perspectivas da cooperação birregional de pesquisa e inovação entre a África e a União Europeia, com foco na agricultura, possui normativas e estrutura de governança frágeis (Ouma-Mugabe; Chaminuka; Melo, 2018). Itens de inovação, como monitoramento e vigilância, instrumentos de diagnóstico e tomada de decisão, com foco em soluções digitais para a agricultura, podem melhorar a qualidade e a velocidade de respostas às demandas necessárias daquela população, e assim atingir metas de sustentabilidade no controle fitossanitário (Hasanaliyeva; Si

Ammour; Yaseen; Rossi *et al.*, 2022). Bem como a inovação tecnológica no desenvolvimento de variedades tolerantes à seca na África, visando a segurança alimentar, redução da pobreza e preservação da natureza (Igbatayo, 2022).

Na promoção do desenvolvimento da agricultura em áreas rurais, os sistemas avançados de inovação digital são a metodologia mais adequada (Shabaltina; Shchukina; Surkova; Smetanina, 2022). Diversas tecnologias digitais como sensores, drones, satélites e a técnica *blockchain*, podem alavancar a sustentabilidade social na cadeia de suprimentos, em conformidade com a construção de indicadores sociais e/ou econômicos que possam mensurar e avaliar as demandas relacionadas ao bem-estar ecológico e social, utilizando o Barômetro da Sustentabilidade (Barros; Barden, 2019). Essas tecnologias auxiliarão pequenos produtores agrícolas e suas cadeias de abastecimento (Quayson; Bai; Sarkis, 2021). Já, estudos sobre a internet das coisas e aprendizado de máquina, na produção agrícola na África, estão concentrados na agricultura de precisão, manejo de pragas, previsão do tempo e monitoramento ambiental (Nyasulu; Diattara; Traore; Ba, 2021). Já, o desenvolvimento sustentável é um elemento chave da inovação em várias áreas, e a produção de biomassa e biocombustíveis na África é uma alternativa viável que pode causar danos ou benefícios à região (Landeweerd; Pierce; Kinderlerer; Osseweijer, 2012). Porém, ferramentas de desempenho econômico, social e ambiental, como Indicadores de Energia para o Desenvolvimento Sustentável (EISD) e de Indicadores de Sustentabilidade da Associação Global para a Bioenergia (GBEP) devem apresentar valores positivos (Rollano; De Oliveira Fontes; Barbosa, 2015).

Considerando a atual conjuntura do desenvolvimento agrícola na África, a pesquisa inter e transdisciplinar deve estar associada à plataformas de inovação (Struik; Klerkx; Van Huis; Röling, 2014). A adoção de novas tecnologias requer a demonstração da viabilidade técnica, econômica, social e ecológica das inovações (Birhanu; Bruno; Alemayehu; Esatu *et al.*, 2022). Dentre as ações propostas está a Agenda 2063, que envolve a mitigação da pobreza, igualdade de gênero, prosperidade compartilhada e empreendedorismo através da inovação (Mrabet; Moussadek, 2022).

O conhecimento sobre o dimensionamento das inovações em sistemas de agricultura familiar, e no contexto dos países em desenvolvimento permanece escasso. Entender os processos de escala é essencial para o desenho de uma

estratégia de escala sustentável (Kirina; Groot; Shilomboleni; Ludwig *et al.*, 2022). Além da importância de formar e capacitar os agricultores como tomadores de decisão, para interpretar informações meteorológicas e climáticas, incluindo na visão de futuro a garantia da sustentabilidade e aumento de escala, bem como a manutenção da qualidade (Clarkson; Dorward; Poskitt; Stern *et al.*, 2022).

### 3.4 Agricultura

“Agricultura” foi o segundo termo de maior destaque encontrado na análise, sendo que este termo apresenta uma forte correlação com os termos “desenvolvimento sustentável” “África Subsaariana” e “Leste da África”. A agricultura provoca efeitos diretos e indiretos no meio ambiente. O abandono de práticas agrícolas tradicionais e sustentáveis tem levado a sistemas agrícolas insustentáveis. Entretanto, a agricultura sustentável é hoje crucial para a preservação do meio ambiente (Agnoletti; Santoro, 2022). Contudo, baseado na Revolução Verde, criou-se uma narrativa na África Austral que coloca as inovações agrícolas como condição indispensável para a subsistência rural sustentável, e que deve ser replicado na África. Porém, necessita de contextualização adequada das condições ambientais e socioeconômicas existentes, para a compreensão da dinâmica das inovações agrícolas (Mutsvangwa-Sammie; Manzungu, 2021).

Referente às políticas públicas para a área agrícola, há a necessidade de reavaliação de possíveis estratégias, políticas e necessidades institucionais para promover a agricultura inteligente para o clima, e com sustentabilidade entre os pequenos agricultores na África (Makate, 2019). Já, as parcerias público-privadas no agronegócio e no crescimento agroindustrial na África, requerem um aporte significativo de capital fixo e de giro do setor privado, em função da dificuldade do setor público (Obayelu, 2018). Também há a necessidade de repensar as políticas e as práticas agrícolas, e especialmente a função que a ciência e a inovação poderão exercer no enfrentamento aos desafios do desenvolvimento e da sustentabilidade (Webersik; Wilson, 2009).

Algumas experiências em agricultura e desenvolvimento sustentável como, por exemplo, o projeto InnovAfrica realizado entre 2017 e 2021, que teve como objetivo testar e aprimorar as práticas de Intensificação Agrícola Sustentável (IAS) na Etiópia, Quênia, Malawi, Ruanda, África do Sul e Tanzânia (Myeni; Moeletsi; Nyagumbo;

Modiselle *et al.*, 2021). Já no Malawi, o sistema de inovação da agricultura de conservação, através da intervenção do governo e de ONGs, possui apoio técnico e financeiro limitado para promover o aprendizado social e a sustentabilidade (Chinseu; Dougill; Stringer, 2022). Enquanto no Zimbabwe mudanças baseadas na inovação criaram oportunidades de emprego para jovens na agricultura (Machingo; Sayeed, 2019). Outra experiência que aborda o tema vegetação urbana, políticas de uso da terra, segurança alimentar e redução da pobreza, conclui que a pesquisa em agricultura urbana predomina na África quando comparada com outros continentes (Valente De Macedo; Barda Picavet; Puppim De Oliveira; Shih, 2021). Com relação às tecnologias, os secadores solares mostram-se eficientes, econômicos, sustentáveis e renováveis para conservar a produção agrícola na África Subsaariana. Os efeitos positivos no seu uso refletem-se na qualidade dos produtos, impactos socioeconômicos e ambientais (Udomkun; Romuli; Schock; Mahayothee *et al.*, 2020).

### **3.5 Segurança alimentar**

“Segurança alimentar” foi o terceiro termo de maior significância na análise realizada, sendo que o termo está associado diretamente às “mudanças climáticas”, “biodiversidade”, “suprimentos alimentares”, “humano” “pobreza” e “impactos ambientais”. Na África, os desafios e limitações encontrados para a segurança alimentar e sustentabilidade são enormes, e passam pelas perspectivas de gênero para a inversão do cenário atual (Odey; Adegbite; Denkyira; Alhaj *et al.*, 2022).

Já na África Subsaariana, a agricultura confronta-se com sustentabilidade e viabilidade, principalmente na produção e produtividade em declínio, enfoques antagônicos de pesquisa e desenvolvimento e insegurança alimentar e nutricional (Mukute, 2015). No entanto para construir a resiliência da agricultura africana a níveis viáveis e em mudança, e melhorar a contribuição dos serviços climáticos para a agricultura, os esforços devem ser direcionados no contexto de gerir as compensações entre eficácia, escalabilidade e sustentabilidade (Hansen; Born; Dossou-Yovo; Mwongera *et al.*, 2022). Com relação ao uso da terra, sistemas de gestão e inovação na África consideram os usos multifuncionais da terra que possam mitigar a insegurança alimentar e a pobreza (Simelton; Ostwald, 2019).

As alterações climáticas na África requerem mudanças na gestão de recursos hídricos e terrestres para a sustentabilidade e a segurança alimentar (Vushe, 2021).

Também, são necessárias contribuições nas inovações focadas na bioeconomia circular para resultados socioeconômicos e ambientais, na mitigação dos recursos naturais, nos sistemas agrícolas esgotados, na fome e pobreza na África Subsaariana (Feleke; Cole; Sekabira; Djouaka *et al.*, 2021).

A tecnologia da agrossilvicultura possui um grande potencial para a segurança alimentar nas regiões secas e degradadas da África Subsaariana (Dagar; Sileshi; Akinnifesi, 2020). Já, o estudo de caso utilizando feijão comum, comprovou o seu potencial de escala geográfica para a segurança alimentar e a biodiversidade na África Subsaariana, e como solução agroecológica, inovadora e sustentável (Peter; Messina; Lin; Snapp, 2020). Também, as culturas subutilizadas representam um elemento importante da agrobiodiversidade, podendo contribuir para a segurança alimentar. Entretanto há a necessidade de se identificar as culturas subutilizadas com maior potencial de sucesso e priorizá-las para pesquisa, desenvolvimento e inovação (Mabhaudhi; Chimonyo; Modi, 2017).

Referente à agricultura familiar na África Subsaariana, destacaram-se quatro temas: (i) centralização do mercado e liberalização dos preços dos produtos agrícolas; (ii) mudar as normas de pesquisa e o financiamento das inovações; (iii) mudanças climáticas e degradação ambiental; (iv) e disponibilidade limitada de terras (Whitfield, 2017).

Na agricultura camponesa angolana, um pouco antes do período das chuvas, ocorre a limpeza do terreno das lavras, a remoção dos resíduos vegetais, ocorrem as queimadas e iniciam-se as aberturas das valas para a semeadura. Práticas estas que diminuem a biodiversidade, o teor de matéria orgânica e a fertilidade do solo e suprimentos alimentares. Aumentando a insegurança alimentar e a pobreza (Schüler; Melo; Lobo, 2022).

Em relação à cooperação internacional, o continente africano tem muitos parceiros, dentre esses a Índia que é aliada para o crescimento do setor agrícola, e possuem um objetivo em comum: a segurança alimentar. Ressalta-se que os governos dos países localizados no continente Africano devem definir políticas e normas para a mecanização agrícola, que sejam promotoras para uma maior produção de alimentos, e ao mesmo tempo que se eleve a produtividade por área plantada, com responsabilidade econômica, social e ambiental (Singh, 2018).

## 4 CONCLUSÕES

Esta revisão mostrou a capacidade da pesquisa bibliográfica em revelar conhecimento tradicional sobre “inovação e sustentabilidade” e “agricultura no continente Africano”, a partir de dados primários dispersos. A população do continente Africano está crescendo, e o desafio para alcançar a segurança alimentar exigirá estratégias de inovação com ênfase no aumento sustentável da qualidade da dieta alimentar e na produtividade agrícola.

Conclui-se que os dados coletados na presente revisão, demonstram vários problemas que dificultam a inovação e o desenvolvimento sustentável da agricultura no continente Africano, quais sejam: (i) estratégias e políticas públicas inadequadas; (ii) falta de variedades de culturas mais resistentes à variação climática; (iii) necessidade de identificar as culturas subutilizadas com maior potencial de sucesso e priorizá-las para pesquisa; (iv) falta de tecnologias digitais adequadas; (v) pouco apoio técnico e financeiro; (vi) desigualdade de gênero; e (vii) falta de mais pesquisa sobre o tema por instituições do próprio continente africano.

Esta revisão procurou fornecer subsídios na busca da resolução dos problemas levantados, visando garantir a sustentabilidade da agricultura africana para as futuras gerações. Manter a biodiversidade associada aos sistemas alimentares mais sustentáveis e saudáveis, trará como consequência o aumento da segurança alimentar na África.

## AGRADECIMENTOS

Este estudo foi parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) — Código 001 e pelo CNPq, bolsa produtividade, protocolo 310204/2022-4.

## REFERÊNCIAS

ADEKUNLE, A. A.; FATUNBI, A. O. The concept of innovation funds for Agricultural Transformation (IFAT). **World Applied Sciences Journal**, 22, n. 6, p. 787-795, 2013.

AGNOLETTI, M.; SANTORO, A. Agricultural heritage systems and agrobiodiversity. **Biodiversity and Conservation**, 31, n. 10, p. 2231-2241, 2022.



AYAMGA, M.; LAWANI, A.; AKABA, S.; BIRINDWA, A. Developing Institutions and Inter-Organizational Synergies through Digitalization and Youth Engagement in African Agriculture: The Case of “Africa Goes Digital”. **Land**, 12, n. 1, 2023.

BARROS, C. S.; BARDEN, J. E. Aplicação do barômetro da sustentabilidade no brasil: um estudo bibliométrico. **Revista Produção Online**, 19, n. 1, p. 129-151, 2019.

BARRETT, C. B. Overcoming Global Food Security Challenges through Science and Solidarity. **American Journal of Agricultural Economics**, 103, n. 2, p. 422-447, 2021.

BEN HASSEN, T.; EL BILALI, H. Innovation in north african agriculture and food. **New Medit**, 20, n. 3, p. 159-174, 2021.

BIRHANU, M. Y.; BRUNO, J. E.; ALEMAYEHU, T.; ESATU, W. *et al.* Beyond diffusion to sustained adoption of innovation: A case of smallholder poultry development in sub-Saharan Africa. **International Journal of Agricultural Sustainability**, 20, n. 6, p. 1028-1046, 2022.

BRITT, J. H.; CUSHMAN, R. A.; DECHOW, C. D.; DOBSON, H. *et al.* Invited review: Learning from the future—A vision for dairy farms and cows in 2067. **Journal of Dairy Science**, 101, n. 5, p. 3722-3741, 2018.

CHINSEU, E. L.; DOUGILL, A. J.; STRINGER, L. C. Strengthening Conservation Agriculture innovation systems in sub-Saharan Africa: lessons from a stakeholder analysis. **International Journal of Agricultural Sustainability**, 20, n. 1, p. 17-30, 2022.

CLARKSON, G.; DORWARD, P.; POSKITT, S.; STERN, R. D. *et al.* Stimulating small-scale farmer innovation and adaptation with Participatory Integrated Climate Services for Agriculture (PICSA): Lessons from successful implementation in Africa, Latin America, the Caribbean and South Asia. **Climate Services**, 26, 2022.

CORSINI, F.; CERTOMÀ, C.; DYER, M.; FREY, M. **Participatory energy**: Research, imaginaries and practices on people contribute to energy systems in the smart city. *Technological Forecasting and Social Change*. 322-332 p. 2019.

DAGAR, J. C.; SILESHI, G. W.; AKINNIFESI, F. K. Agroforestry to Enhance Livelihood Security in Africa: Research Trends and Emerging Challenges. *In: Agroforestry for Degraded Landscapes: Recent Advances and Emerging Challenges-Vol.1*: Springer Singapore, 2020. p. 71-134.

ESPINOLA, M. J. C.; VILAR, R. M.; DE BARROS, M. A.; DA SILVA, L. B. Um indicador do potencial de retorno de investimentos em inovação voltado para regiões do território brasileiro. **Revista Produção Online**, v. 9, n. 3, 2009.

FAN, S. Sustainable intensification of agriculture is key to feeding Africa in the 21st century. **Frontiers of Agricultural Science and Engineering**, v. 7, n. 4, p. 366-370, 2020.

FELEKE, S.; COLE, S. M.; SEKABIRA, H.; DJOUAKA, R. *et al.* Circular bioeconomy research for development in sub-saharan africa: Innovations, gaps, and actions. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 4, p. 1-20, 2021.

FOMUNYAM, K. G. Research and innovation in agricultural engineering in a University in KwaZulu-Natal. **International Journal of Engineering Research and Technology**, 13, n. 7, p. 1497-1503, 2020.

HANSEN, J. W.; BORN, L.; DOSSOU-YOVO, E. R.; MWONGERA, C. *et al.* Country-specific challenges to improving effectiveness, scalability and sustainability of agricultural climate services in Africa. **Frontiers in Climate**, v. 4, 2022.

HASANALIYEVA, G.; SI AMMOUR, M.; YASEEN, T.; ROSSI, V. *et al.* Innovations in Disease Detection and Forecasting: A Digital Roadmap for Sustainable Management of Fruit and Foliar Disease. **Agronomy**, v. 12, n. 7, 2022. Review.

IGBATAYO, S. A. **Drought Tolerant Maize in Africa: A Novel Technology Fostering Regional Food Security in Sub-Saharan Africa**. World Sustainability Series. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH: 215-229 p. 2022.

KAYIZZI-MUGERWA, S.; SHIMELES, A.; LUSIGI, A.; ABIDJAN, A. M. **Inclusive growth in Africa: Policies, practice, and lessons learnt**. Taylor and Francis, 2016. 1-242 p.

KIRINA, T.; GROOT, A.; SHILOMBOLENI, H.; LUDWIG, F. *et al.* Scaling Climate Smart Agriculture in East Africa: Experiences and Lessons. **Agronomy**, v. 12, n. 4, 2022.

KUYAH, S.; SILESHI, G. W.; NKURUNZIZA, L.; CHIRINDA, N. *et al.* Innovative agronomic practices for sustainable intensification in sub-Saharan Africa. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 41, n. 2, 2021. Review.

LANDEWEERD, L.; PIERCE, R.; KINDERLERER, J.; OSSEWEIJER, P. Bioenergy: A potential for developing countries? **CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, v. 7, p. 1-6, 2012. Review.

MABHAUDHI, T.; CHIMONYO, V. G. P.; MODI, A. T. Status of underutilised crops in South Africa: Opportunities for developing research capacity. **Sustainability (Switzerland)**, v. 9, n. 9, 2017. Review.

MACHINGO, H. P.; SAYEED, C. M. Innovation and structural change: A paradigm shift in addressing youth unemployment in Zimbabwe as a way to meet its 2030 Agenda. **Journal of African Union Studies**, v. 8, n. 2, p. 201-217, 2019.

MAKATE, C. Effective scaling of climate smart agriculture innovations in African smallholder agriculture: A review of approaches, policy and institutional strategy needs. **Environmental Science and Policy**, 96, p. 37-51, 2019.

MAPANJE, O.; KARUAIHE, S.; MACHETHE, C.; AMIS, M. Financing Sustainable Agriculture in Sub-Saharan Africa: A Review of the Role of Financial Technologies. **Sustainability (Switzerland)**, v. 15, n. 5, 2023. Review.

MRABET, R.; MOUSSADEK, R. Development of Climate Smart Agriculture in Africa. *In: Conservation Agriculture in Africa: Climate Smart Agricultural Development*: CABI International, 2022. p. 17-65.

MUKUTE, M. **Developmental work research: A tool for enabling collective agricultural innovation**. Wageningen Academic Publishers, 2015. 1-164 p.

MUTSVANGWA-SAMMIE, E. P.; MANZUNGU, E. Unpacking the narrative of agricultural innovations as the sine qua non of sustainable rural livelihoods in Southern Africa. **Journal of Rural Studies**, v. 86, p. 181-188, 2021. Review.

MYENI, L.; MOELETSI, M. E.; NYAGUMBO, I.; MODISELLE, S. *et al.* Improving the food and nutritional security of smallholder farmers in south africa: Evidence from the innovafrica project. **Sustainability**, v. 13, n. 17, 2021.

NYASULU, C.; DIATTARA, A.; TRAORE, A.; BA, C. **Enhancing Farmers Productivity Through IoT and Machine Learning: A State-of-the-Art Review of Recent Trends in Africa**. FAYE, Y.; GUEYE, A., *et al.* Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. 400 LNICST: 113-124 p. 2021.

OBAYELU, A. E. Public-private partnerships for inclusive agribusiness sustainability in Africa. **Agriculturae Conspectus Scientificus**, v. 83, n. 3, p. 251-261, 2018.

ODEY, G. O.; ADEGBITE, M. A.; DENKYIRA, S. A.; ALHAJ, S. M. *et al.* Women and food security in Africa: The double burden in addressing gender equality and environmental sustainability. *In: COHEN, M. J. e GLOBAL PARTNERSHIPS AND IMPACT DIVISION, O. A. W. D. C. (Ed.). Advances in Food Security and Sustainability*: Elsevier Ltd, 2022. v. 7, p. 35-59.

OUMA-MUGABE, J.; CHAMINUKA, P.; MELO, A. M. P. Characterising partnership for research and innovation in sub-saharan Africa: Lessons from the case of the Africa–EU printens Africa initiative. **South African Journal of International Affairs**, v. 25, n. 4, p. 531-545, 2018.

PESSOA, V. M. D. N.; DE OLIVEIRA, R. F. A. Uma Discussão Sob a Ótica da Inovação Tecnológica-Barreiras e Desafios na busca da Eficiência Energética. **Revista Produção Online**, v. 2, n. 1, 2010.

PETER, B. G.; MESSINA, J. P.; LIN, Z.; SNAPP, S. S. Crop climate suitability mapping on the cloud: a geovisualization application for sustainable agriculture. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, 2020.

QUAYSON, M.; BAI, C.; SARKIS, J. Technology for Social Good Foundations: A Perspective from the Smallholder Farmer in Sustainable Supply Chains. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 68, n. 3, p. 894-898, 2021.

ROLLANO, C. R. L.; DE OLIVEIRA FONTES, C. H.; BARBOSA, A. S. Análise da evolução do desenvolvimento sustentável nas indústrias produtoras de biocombustíveis no Brasil. **Revista Produção Online**, v. 15, n. 2, p. 696-733, 2015.

SALEM, H. S.; PUDZA, M. Y.; YIHDEGO, Y. Water strategies and water–food Nexus: challenges and opportunities towards sustainable development in various regions of the World. **Sustainable Water Resources Management**, v. 8, n. 4, 2022.

SCHÜLER, S.; DE MELO, N.; LOBO, E. **Alimentos do Ambiente Rural de Angola: Produção e Preparo**. São Paulo: Dialética, 2022. 978-65-252-6911-5.

SECINARO, S.; CALANDRA, D.; PETRICEAN, D.; CHMET, F. Social finance and banking research as a driver for sustainable development: a bibliometric analysis. **Sustainability**, v. 13, 1-19 p. 2021.

SEHNEM, S.; JUNGES, I.; MARTINS, C.; JULKOVSKY, D. J. *et al.* Arcabouço teórico dos estudos de inovação: tendências e oportunidades. **Revista Produção Online**, v. 21, n. 2, p. 456-487, 2021.

SHABALTINA, L. V.; SHCHUKINA, N. V.; SURKOVA, O. A.; SMETANINA, A. I. **A Framework for Reconstructive Digital Farming for Areas with Unfavourable Climatic Conditions for Agricultural Entrepreneurship**. Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes. Springer: 215-222 p. 2022.

SIMELTON, E.; OSTWALD, M. **Multifunctional Land Uses in Africa: Sustainable Food Security Solutions**. Taylor and Francis, 2019. 1-176 p. (Multifunctional Land Uses in Africa: Sustainable Food Security Solutions, Book. 9781000439168 (ISBN); 9780367246440 (ISBN).

SINGH, S. Strategy, current activities and future prospect for advancing Indian agricultural machinery into the african market. **AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America**, 49, n. 2, p. 31-42and53, 2018. Review.

SOARES, P. B.; CARNEIRO, T. C. J.; CALMON, J. L.; OLIVEIRA, L. O. D. C. Análise bibliométrica da produção científica brasileira sobre Tecnologia de Construção e Edificações na base de dados web of science. **Ambiente Construído**, v.16, 175-185 p. 2016.

SOUZA, M. P.; HOELTZ, M.; BRITTES BENITEZ, L.; MACHADO, Ê. L. *et al.* Microalgae and clean technologies: a review. **Clean - Soil**, v. 47, p. 18-38 p, 2019.

STRUIK, P. C.; KLERKX, L.; VAN HUIS, A.; RÖLING, N. G. Institutional change towards sustainable agriculture in West Africa. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v. 12, n. 3, p. 203-213, 2014.

SUMO, P. D.; JI, X.; CAI, L. Efficiency evaluation and loan assessment of fashion upcyclers in Liberia using fuzzy, DEA and FIS models. **Research Journal of Textile and Apparel**, 2022.

UDOMKUN, P.; ROMULI, S.; SCHOCK, S.; MAHAYOTHEE, B. *et al.* Review of solar dryers for agricultural products in Asia and Africa: An innovation landscape approach. **Journal of Environmental Management**, v. 268, 2020. Review.

UGOLINI, D.; BONASSI, S.; CRISTAUDO, A.; LEONCINI, G. *et al.* Temporal trend, geographic distribution, and publication quality in asbestos research. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, p. 6957-6967, 2015.

UPTON, M. The economics of food production. **Ciba Foundation symposium**, v. 177, p. 61-71.

VALENTE DE MACEDO, L. S.; BARDA PICAVENT, M. E.; PUPPIM DE OLIVEIRA, J. A.; SHIH, W. Y. Urban green and blue infrastructure: A critical analysis of research on developing countries. **Journal of Cleaner Production**, 313, 2021.

VIRGIN, I.; KOMAKECH, A.; KYAMBADDE, J.; NJAU, K. N. *et al.*, 2017, English, **Innovative biomass conversion in Africa**. ETA-Florence Renewable Energies. 1673-1678. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85043782559&partnerID=40&md5=c7544a49f2c03366208661a4245f95ca>.

VUSHE, A. Proposed research, science, technology, and innovation to address current and future challenges of climate change and water resource management in Africa. *In: Climate Change and Water Resources in Africa: Perspectives and Solutions Towards an Imminent Water Crisis*: Springer International Publishing, 2021. p. 489-518.

WEBERSIK, C.; WILSON, C. Achieving environmental sustainability and growth in africa: The role of science, technology and innovation. **Sustainable Development**, v. 17, n. 6, p. 400-413, 2009.

WHITFIELD, S. 'More vital to our future than we realize?' Learning from Netting's thesis on smallholder farming, 25 years on. **Outlook on Agriculture**, v. 46, n. 4, p. 258-264, 2017.

WIESEL, P.; DRESCH, E.; DE SANTANA, E.; LOBO, E. Urban afforestation and its ecosystem balance contribution: a bibliometric review. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 32, p. 453-469, 2021.

## ***Biografia dos Autores***

### **Silmo Schüler**

Graduado em Ciências Físicas e Biológicas com habilitação em Física pelas Faculdades Integradas de Santa Cruz do Sul (1986), pós-graduado em Tecnologia dos Alimentos pelas Faculdades Integradas de Santa Cruz do Sul (1994); mestrado em Desenvolvimento Regional pela Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC (2000), doutorando em Tecnologia Ambiental (UNISC). Consultor no Brasil e no Continente Africano, com ênfase em educação e tecnologia ambiental no combate à fome e à pobreza.

### **Liane Mahlmann Kipper**

Professora Titular da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC) e Coordenou o Mestrado em Sistemas e Processos Industriais de 2013 a 2015. Atua nos Programas de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e em Sistemas e Processos Industriais nas áreas de gestão do conhecimento, inovação e criatividade, e em gestão de processos e métodos e técnicas de pesquisa desenvolvendo atividades principalmente nos seguintes temas: melhoria de processos, sistemas enxutos: inovação, criatividade, desenvolvimento de produtos e proteção de conhecimento; e na gestão de processos e tecnologia para otimização e melhoria de processos. Tem experiência na área de Física, com ênfase em Mecânica, Ciências Térmicas, Óptica e Física Experimental. De 1995 a 2009 atuou com gestão universitária, especialmente nas áreas de pesquisa e pós-graduação. É bolsista produtividade do CNPq e editora da revista Produção Online.

### **Jorge André Ribas Moraes**

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Maria (1988), Mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Maria (1998) e Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (2005). Atualmente exerce a função de chefe do departamento de Engenharia Arquitetura e Computação da Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC e é professor do Programa de Mestrado e Doutorado em Tecnologia Ambiental - PPGTA da UNISC e no Mestrado Profissional em Administração - PPGA da UNISC. Professor tempo Integral da Universidade de Santa Cruz do Sul. - UNISC. Tem experiência na área de Engenharia Sanitária, com ênfase em Gestão Ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: produção mais limpa; produção enxuta; gestão ambiental; gestão de riscos; qualidade e produtividade; segurança do trabalho e ergonomia; reciclagem de materiais; economia circular; e melhoria de processos.

### **João Marbio Pires Iturbide**

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade da Região da Campanha – URCAMP (2018), MBA em Gestão de Recursos Hídricos pelo Centro Universitário UNINTER (2021), Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Franciscana - UFN em 2021, Mestrando no Programa de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental - PPGTA - pela Universidade de Santa Cruz – UNISC. Atualmente exerce a profissão de engenheiro civil na prefeitura municipal de São Gabriel – RS.

### **Eduardo Alcayaga Lobo**

Biólogo formado pela Universidade de Chile em 1982. Mestre em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de São Carlos, Brasil, e Doutor em Ciências Biológicas pela Universidade de Ciências Marinhas e Tecnologia de Tóquio, Japão (1995). Em 2000 realizou seu pós-doutorado na área de “Controle da Contaminação Ambiental” no Instituto Nacional de Recursos Ambientais, Tsukuba, Japão. Atualmente é Professor Titular e pesquisador do Departamento de Ciências da Vida da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), RS, e desde 2005 atua como docente, pesquisador e orientador no Programa em Tecnologia Ambiental (Mestrado e Doutorado).



Artigo recebido em: 21/05/2023 e aceito para publicação em: 17/08/2023

DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v23i2.4910>