LUMEN ET VIRTUS

Análise bibliométrica da produção científica sobre a tecnologia aeroespacial terrain following radar (1966-2024)

https://doi.org/10.56238/levv15n39-098

Thamiris Thatianne de Araújo Rabelo
Grau de formação mais alto: Esp.
Instituição acadêmica: Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

Kleomara Gomes Cerquinho
Grau de formação mais alto: Dra.
Instituição acadêmica: Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

Rosana Zau Mafra
Grau de formação mais alto: Dra.
Instituição acadêmica: Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

RESUMO

Objetivo: Realizar estudo bibliométrico da produção científica sobre a tecnologia aeroespacial Terrain Following Radar, na base de dados Web of Science, no período compreendido de 1966 a 2024, por meio dos softwares RStudio® e VOSviewer®.
Referencial teórico: Baseia-se na literatura sobre a evolução das tecnologias aeroespaciais, tendo como destaque o Radar de Acompanhamento de Terreno (Terrain Following Radar) e seu contexto no âmbito militar.
Método: Esta pesquisa é classificada como descritiva e quantitativa. Os dados foram coletados na base de dados Web of Science, acessada por meio do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, abrangendo o período de 1966 a 2024. Para a análise dos dados, foram utilizados os softwares RStudio® e VOSviewer®, bem como os pacotes bibliométricos Bibliometrix e Biblioshiny.
Resultados e conclusão: Foram identificados 433 documentos, com as maiores produções científicas sobre o tema provenientes dos Estados Unidos, China, Itália, Alemanha e França. O ano com mais publicações foi 2021, seguido por 2022 e 2023. As fontes mais citadas são IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, seguida por Remote Sensing. As principais coocorrências de palavras-chave incluem SAR (Synthetic Aperture Radar), sensoriamento remoto, radar, InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) e interferometria. Em relação à coautoria entre países, destacam-se os Estados Unidos, China e Alemanha. Os autores mais relevantes sobre o tema são Liu Y., Li Y. e Li Z. Em termos de cocitação entre autores, prevalecem Lee J. S., Ferretti A. e Head J. W. Os estudos mais citados globalmente nos últimos dez anos são de Xue M. (2000), De Zan F. (2006) e Zhang Z. (2017). Conclui-se que este estudo visa aprimorar a base de conhecimento sobre a tecnologia aeroespacial Terrain Following Radar e os campos de estudo relacionados.

Implicações da pesquisa: A principal limitação desta pesquisa é sua restrição à base de dados Web of Science, onde a maioria dos documentos eram artigos. Assim, seria interessante adotar uma abordagem mais ampla, que inclua outras bases de dados, como Scopus ou Google Scholar, além de considerar diferentes tipos de publicações, como livros e anais de congressos.

Originalidade/valor: Este estudo tem como finalidade aprimorar o conhecimento sobre a tecnologia aeroespacial
Terrain Following Radar e os campos de estudo relacionados.

Palavras-chave: Terrain Following Radar, Análise Bibliométrica, RStudio®, VOSviewer®.

1 INTRODUÇÃO

As tecnologias aeroespaciais militares estão em constante evolução, impulsionadas por avanços em diversas áreas que visam aumentar a eficácia, a segurança e a capacidade de resposta das forças armadas. A tecnologia de manufatura aditiva está transformando a indústria aeroespacial ao permitir a produção de peças complexas com menor desperdício de material e custos reduzidos, sendo amplamente utilizada por empresas como Boeing e Airbus para fabricar componentes metálicos e não metálicos (Najmon, Raeisi e Tovar, 2019).

Nesse contexto, o *Terrain Following Radar* (TFR) é uma tecnologia utilizada em aplicações militares, aprimorando principalmente as capacidades operacionais e a capacidade de sobrevivência de aeronaves em ambientes hostis. Os sistemas TFR permitem que as aeronaves mantenham rotas de voo de baixa altitude, que são essenciais para evitar a detecção do radar inimigo e reduzir o risco de serem alvos de mísseis terra-ar (Kim *et al.*, 2015).

A capacidade de voar próximo ao solo enquanto evita obstáculos é facilitada por técnicas avançadas de super-resolução angular, que melhoram a precisão angular dos sistemas de radar, garantindo navegação precisa e prevenção de obstáculos (Jiang *et al.*, 2015). Além disso, ossistemas TFR são integrados a outras tecnologias, como sistemas de prevenção de colisão terrestre (GCAS) e bancos de dados digitais de terrenos, que fornecem mapeamento do terreno em tempo real e aprimoram a consciência situacional do piloto (Kim *et al.*, 2015).

O uso do Radar de Abertura Sintética (SAR) em sistemas TFR aumenta ainda mais suas capacidades ao fornecer imagens de terreno de alta resolução, mesmo em condições adversas como neblina, fumaça ou noite, onde os sistemas ópticos tradicionais falham. Isso é particularmente importante para missões que exigem furtividade e precisão. Além disso, a integração dos cálculos do alcance de detecção do radar que consideram a proteção do terreno garante que a eficácia do radar não seja comprometida por obstáculos naturais, fornecendo assim um alcance de detecçãomais preciso (Kaniewski *et al.*, 2015).

O desenvolvimento de modelos modulares de dispersão de radar que consideram a topografia do terreno e a vegetação aumenta ainda mais a precisão dos sistemas de radar em ambientes complexos (Burgin *et al.*, 2014; 2016). O uso de redes neurais artificiais para classificação de terrenos também desempenha um papel significativo na avaliação da passabilidade do terreno, o que é crucial para o planejamento e execução da missão (Pokonieczny, 2018). No geral, os sistemas TFR são indispensáveis nas operações militares modernas, oferecendo vantagens em termos de furtividade, precisão de navegação e consciência situacional, aumentandosignificativamente as taxas de sucesso da missão e a capacidade de sobrevivência da aeronave (Qiuyan *et al.*, 2018; Noh *et al.*, 2021; Jiang *et al.*, 2022).

Considerando essas reflexões, a questão de pesquisa que orientou a elaboração deste estudo foi: Por que é necessário identificar pesquisas sobre a tecnologia aeroespacial *Terrain Following Radar*? Para responder a essa questão, este trabalho visa realizar um estudo bibliométrico da produção científica relacionada à tecnologia aeroespacial em questão, utilizando a base de dados *Web of Science*, no período de 1966 (primeira publicação sobre o tema) até 2024, por meio dos *softwares RStudio*® e *VOSviewer*®.

Nessa perspectiva, realizar um estudo bibliométrico sobre a tecnologia aeroespacial *Terrain Following Radar* é essencial para compreender a evolução e o impacto dessa tecnologia ao longo do tempo. Tal análise permite identificar tendências de pesquisa, principais contribuições científicas, e lacunas de conhecimento, proporcionando uma base sólida para futuros estudos e inovações. Além disso, ao mapear o desenvolvimento e aplicação dessa tecnologia desde 1966 até 2024, é possível avaliar sua relevância e influência no campo aeroespacial, auxiliando pesquisadores e profissionais a direcionarem seus esforços de forma mais eficaz e estratégica.

Sendo assim, é fundamental analisar a produção científica sobre o tema para identificar as principais tendências e avanços na área. O uso de ferramentas computacionais como *RStudio*® e *VOSviewer*® torna a análise mais precisa e automatizada, facilitando a identificação de padrões e tendências na produção científica. Dessa forma, o estudo contribui para a compreensão das pesquisas já realizadas sobre a tecnologia aeroespacial *Terrain Following Radar* e para o aprimoramento de novas pesquisas.

O artigo está organizado em seções que abrangem, sequencialmente, esta introdução, uma breve contextualização da tecnologia *Terrain Following Radar* e sua evolução, os materiais e métodos adotados no estudo, a análise e discussão dos dados, e, por fim, as considerações finais, onde são apresentadas as limitações e sugestões para futuras pesquisas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

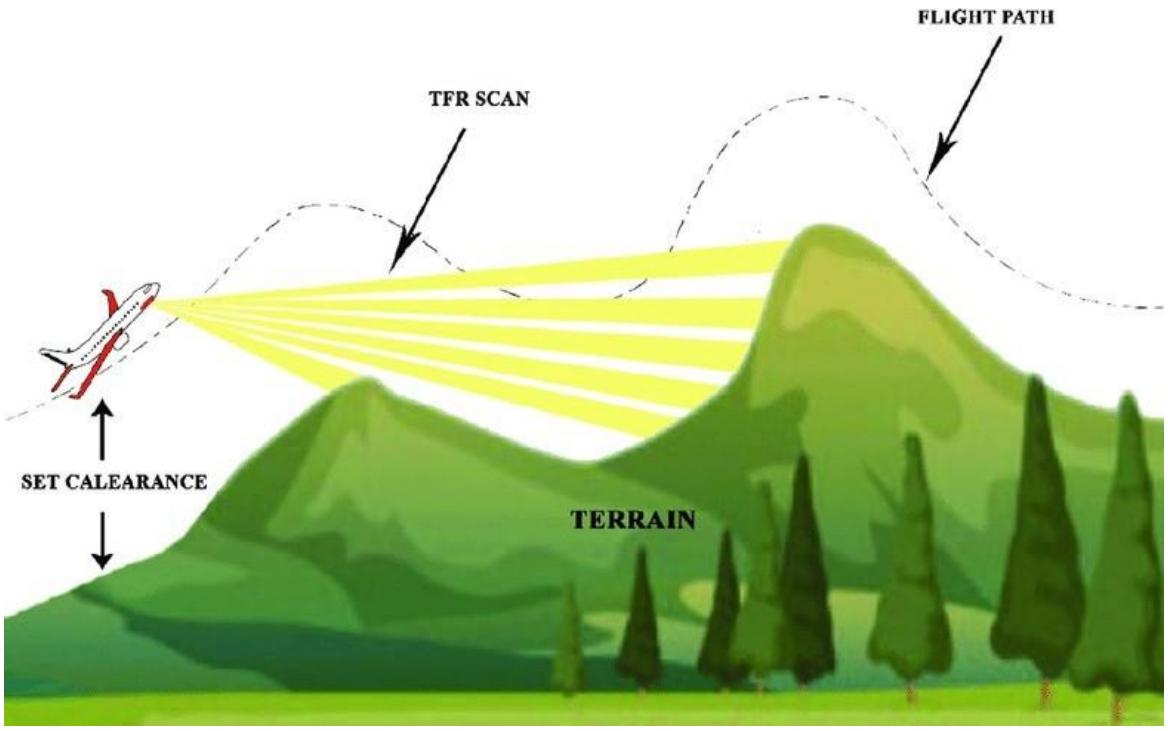
A seguir, apresenta-se uma breve contextualização dos principais avanços e aplicações do *Terrain Following Radar* (TFR), destacando sua importância no contexto da aviação militar e a evolução tecnológica que tem sustentado seu desenvolvimento. Inicialmente, são discutidos os aspectos fundamentais do TFR, sua origem e os benefícios operacionais proporcionados. Em seguida, é apresentado a evolução do TFR, ressaltando as inovações tecnológicas e a integração de novas capacidades que aprimoram sua funcionalidade e precisão. Dessa forma, busca-se oferecer uma visão sobre as funcionalidades do TFR em operações militares e suas perspectivas futuras.

2.1 TERRAIN FOLLOWING RADAR

O desenvolvimento do *Terrain Following Radar* (TFR) tem sido fundamental para aprimorar as capacidades operacionais de aeronaves militares, particularmente em missões de voo de baixa altitude. O conceito de TFR começou a ganhar força na década de 1960, com sua aplicação em aeronaves avançadas de caça e bombardeiro, como o B-1, F-111, F-16 E/F e F-15, melhorando significativamente sua capacidade de voar com segurança perto do solo, evitando a detecção dos sistemas de radar inimigos (Burgin *et al.*, 2016).

Os sistemas TFR utilizam tecnologia de radar para ajudar os pilotos a manterem uma proximidade com o solo, evitando obstáculos (conforme Figura 1), o que é crucial para evitar a detecção e melhorar a capacidade de sobrevivência em ambientes hostis (Noh *et al.*, 2021). A integração de bancos de dados digitais e altímetros de radar avançados refinou ainda mais esses sistemas, permitindo o mapeamento preciso do terreno e a prevenção de obstáculos (Kim *et al.*, 2015).

Figura 1. *Terrain Following Radar* (TFR).



Fonte: Nallusamy e Balaji (2019).

Os avanços modernos incluem o uso de módulos de radar de ondas milimétricas, que oferecem alta precisão e adequação ambiental, tornando-os econômicos e eficientes para veículos aéreos não tripulados (UAVs) em proteção de plantas e outras aplicações (Pundir e Garg, 2020).

Além disso, o desenvolvimento de técnicas de super-resolução angular melhorou a precisão angular do TFR, abordando as limitações impostas pela largura do feixe da antena e aprimorando as capacidades de detecção de obstáculos (Faris e Sasongko, 2018).

A aplicação do TFR vai além de aeronaves tripuladas até UAVs, onde dados de terreno em tempo real são usados para gerar trajetórias de voo seguras, garantindo manobras moderadas e um acompanhamento eficaz do terreno (Qiuyan *et al.*, 2018).

A importância da análise do terreno em operações militares é ressaltada por seu impacto na mobilidade de veículos e no planejamento estratégico, com avaliações de trafegabilidade do terreno sendo cruciais para operações *off-road* (Kim *et al.*, 2015). Além disso, o papel do terreno nos combates militares, particularmente na guerra de guerrilha, destaca a necessidade de uma avaliação precisa do terreno para explorar as vantagens defensivas (Jiang *et al.*, 2015).

No geral, a evolução da tecnologia TFR tem sido fundamental para o avanço da aviação militar, fornecendo recursos essenciais para sistemas tripulados e não tripulados em diversos ambientes operacionais

2.2 EVOLUÇÃO DO TFR

De acordo com Choi *et al.* (2023), o *Terrain Following Radar* (TFR) evoluiu significativamente ao longo dos anos, incorporando tecnologias avançadas para aprimorar sua funcionalidade e precisão. Inicialmente, os sistemas TFR foram projetados para ajudar os pilotos a manterem uma altitude segura acima do terreno, usando principalmente radares voltados para o futuro para detectar obstáculos e características do terreno.

Com o tempo, a integração de mapas digitais aumentou as capacidades de TFR, permitindo funções como *Terrain Referenced Navigation* (TRN) e *Terrain and Threat Avoidance* (Ta/THA), que melhoram ainda mais a segurança e a eficiência operacional (Hong *et al.*, 2023).

O desenvolvimento de algoritmos para gerar dados de varredura de terreno por radar de matriz em fases também contribuiu para um perfil de terreno mais preciso, essencial para o acompanhamento preciso do terreno (TF) (Jiang *et al.*, 2015).

Além disso, os avanços na tecnologia de radar, como o uso de módulos de radar de ondas milimétricas, melhoraram a precisão da medição e a adaptabilidade ambiental, tornando os sistemas TFR mais eficazes e econômicos (Jiang *et al.*, 2022).

A introdução de técnicas de super-resolução angular abordou as limitações da resolução angular, aumentando a precisão do TFR na detecção de obstáculos no plano vertical. O Radar de Abertura Sintética (SAR) e o SAR interferométrico (InSAR) revolucionaram ainda mais a observação do terreno ao fornecer imagens de alta resolução e estimativa de ângulo, cruciais para operações em qualquer clima e durante todo o dia (Burgin *et al.*, 2014; Qiuyan *et al.*, 2018).

Além disso, a aplicação de modelos de dispersão de radar que consideram a topografia e a vegetação do terreno melhorou a precisão das interações das ondas de radar, particularmente em áreas com vegetação e inclinação (García *et al.*, 2018). O uso do radar de banda ultra larga (UWB) em

aplicações específicas, como colheita de cana-de-açúcar, demonstra a adaptabilidade dos sistemas TFR a vários terrenos e requisitos operacionais (Hua *et al.*, 2017).

No geral, a evolução do TFR foi marcada por avanços tecnológicos contínuos, levando a sistemas mais robustos, precisos e versáteis, capazes de operar em diversos ambientes e condições.

3 MÉTODO

A seguir, são detalhados os procedimentos e técnicas utilizados para conduzir a pesquisa, incluindo a análise bibliométrica e a fonte de dados empregada. As etapas metodológicas foram cuidadosamente planejadas para garantir a precisão e a relevância dos resultados, abrangendo desde a coleta de dados até a análise e apresentação dos achados. A combinação de métodos quantitativos e ferramentas de análise robustas possibilitou uma exploração aprofundada da literatura sobre "*Terrain Following Radar*".

3.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Segundo Ribeiro e Corrêa (2013), a produção científica tem evoluído nos últimos anos, consolidada por pesquisadores e evidenciada nos periódicos acadêmicos. Nesse contexto, a análise bibliométrica é uma metodologia quantitativa que permite identificar o volume e o padrão de crescimento da literatura em uma área emergente. Essa análise oferece uma visão retrospectiva da literatura publicada, avaliando as contribuições acadêmicas em um campo específico (Guleria; Kaur, 2021).

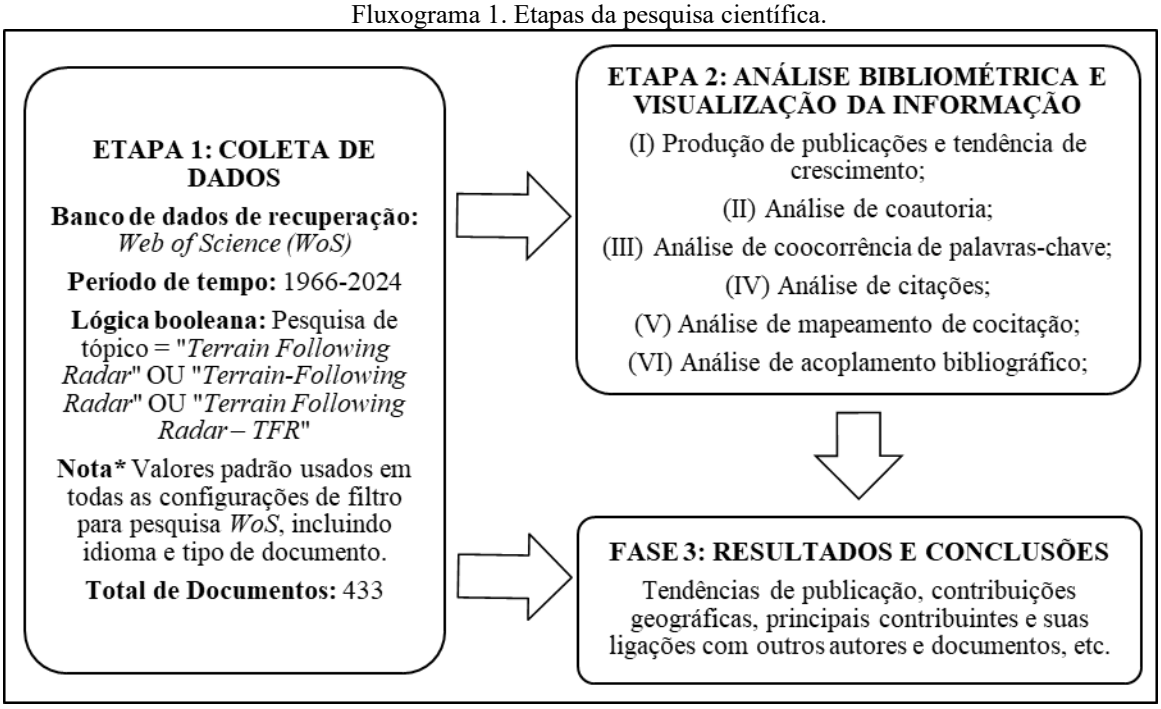
Moretti e Figueiredo (2007) destacam que a análise bibliométrica fornece uma visão abrangente das publicações científicas sobre um determinado tema em um período específico. De maneira semelhante, Gutiérrez-Salcedo *et al.* (2018) enfatizam que a bibliometria é uma ciência que envolve o estudo quantitativo e estatístico da produção, publicação, uso e disseminação do conhecimento científico a partir de bases de dados bibliográficas.

Este estudo utilizou duas técnicas eficazes: análise de desempenho e mapeamento científico. A análise de desempenho avaliou o desempenho das publicações considerando a produção por países, autores, instituições afiliadas e as tendências de crescimento ao longo dos anos. A outra técnica, a análise bibliométrica relacional ou mapeamento científico, identificou relações entre as publicações e explorou a estrutura e evolução do campo de pesquisa. Para esta análise de cocitação, foram realizadas análises de coautoria, co-palavras e evolução temática. A análise de cocitação ajuda a identificar as publicações e autores predominantes em uma área de pesquisa por meio das citações. Além disso, a análise da evolução é realizada pelos pesquisadores para entender o desenvolvimento do campo de pesquisa ao longo dos anos e prever suas tendências futuras (Ding; Yang, 2020).

3.2 FONTE DE DADOS

A fonte de dados considerada para o estudo foi a coleção principal da *Web of Science* (*WoS*), acessada em 3 de julho de 2024. A *WoS* é uma das mais renomadas bases de dados de índice de citações científicas do mundo (Clarivate, 2023). A partir dessa data, foi pesquisado o termo "*Terrain Following Radar*" em inglês, considerando-se essa expressão no título e nas palavras- chave. O período analisado abrangeu de 1966 a 2024, uma vez que a primeira publicação sobre o tema ocorreu em 1966. As etapas de recuperação dos artigos e a análise subsequente são mostradas no Fluxograma 1.

Fluxograma 1. Etapas da pesquisa científica.



Fonte: Autoria própria (2024).

Na Etapa 1, foram obtidos 433 documentos, selecionados após a busca de tópicos utilizando a lógica booleana. A lógica usada foi "*Terrain Following Radar*" OR "*Terrain-Following Radar*" OR "*Terrain Following Radar – TFR*". Entre as publicações, os três principais tipos de documentos foram: artigo (n=331, 76.27%), *paper* (n=101, 23.27%) e artigos de revisão (n=12, 2,76%). Os registros exportados para todos os 433 documentos continham informações completas (autores, países, ano de publicação, tipos de documento, periódico de origem, título, categorias de assunto e referências), incluindo resumos e referências citadas. Esses dados abrangentes derivados da Etapa 1 foram utilizados de forma eficaz para realizar a análise bibliométrica e a visualização das informações na Etapa 2.

Na Etapa 2, foi utilizado o *software* livre de análise bibliométrica *VOSviewer*® (versão 1.6.18), amplamente empregado internacionalmente, para analisar e visualizar as relações entre autores, países, periódicos, cocitações e termos. Devido à dificuldade de identificar *clusters* no mapeamento e derivar temas, o *VOSviewer*® oferece uma interface gráfica de usuário atraente que

facilita a análise rápida desses mapas (Cobo *et al.*, 2011). Para a execução da análise bibliométrica, foram instalados os pacotes *Bibliometrix* e *Biblioshiny*, *softwares* livres desenvolvidos por Massimo Aria e Corrado Cuccurullo (Aria & Cuccurullo, 2017), em interface ao *RStudio*® (versão 4.2.1).

É importante destacar que o *Bibliometrix* para *RStudio*® possui um utilitário embutido chamado *Biblioshiny*, que oferece uma interface gráfica voltada para usuários que não codificam. Esse recurso permite realizar uma análise abrangente com representação gráfica aprimorada. O *Bibliometrix* combina técnicas bibliométricas, como análise de co-palavras, análise de rede de cocitação, geração de redes de colaboração e gráfico de *Sankey*, para analisar a evolução de um campo de pesquisa (Guleria; Kaur, 2021). Já o *VOSviewer*® é utilizado principalmente para analisar redes de colaboração por meio de coautoria, coocorrência e cocitação com base em palavras-chave. Na Etapa 3 deste estudo, a utilização dos *softwares* mencionados permitiu obter os resultados bibliométricos esperados, conforme o objetivo da pesquisa.

Para a disposição e apresentação dos resultados, última etapa do método bibliométrico, foi escolhida a utilização das figuras geradas pelos pacotes mencionados, conforme o critério dos pesquisadores. É importante destacar que, por se tratar de um estudo baseado em dados secundários, disponibilizados gratuitamente em repositórios de dados, não houve necessidade de submissão ao Comitê de Ética em Pesquisas (CEP).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por meio da base de dados *Web of Science*, foram identificadas produções científicas sobre a tecnologia aeroespacial *Terrain Following Radar* no período de 1966 a 2024. Esses dados incluíam artigos de revisão, acessos antecipados e livres, além de referências citadas enriquecidas. O conjunto de dados conta com 433 documentos e 16.036 referências. Foram encontrados 22 documentos de autoria única e 1.615 documentos multiautorais. No total, 1.637 autores pesquisaram sobre essa temática durante o período analisado. A Tabela 1 detalha e resume essas informações.

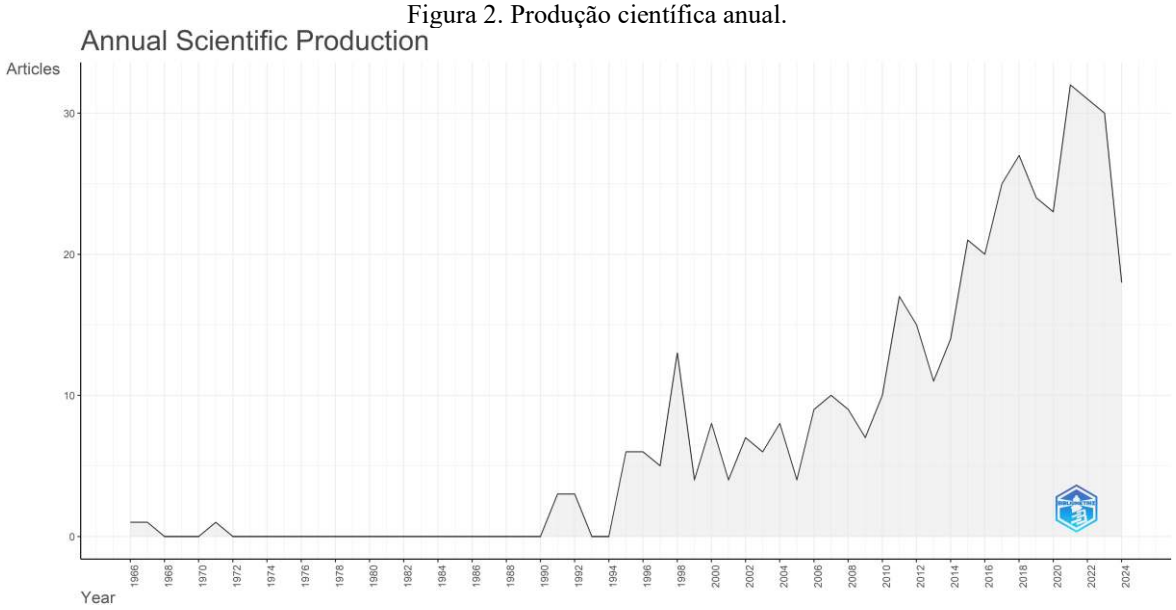
Tabela 1 – Principais Informações sobre os dados.

Descrição	Resultados
Período de tempo	1966-2024
Fontes (revistas, livros, etc.)	243
Documentos	433
Referências	16.036
Autores	1.637
Autores de documentos de autoria única	22
Autores de documentos multiautorais	1.615

Fonte: *Bibliometrix* (2024).

A Figura 2 apresenta a produção científica anual sobre a tecnologia aeroespacial *Terrain Following Radar* no período de 1966 a 2024. O ano de 2021 destacou-se com o maior número de publicações, totalizando 32. Em seguida, os anos de 2022 e 2023 tiveram 31 e 30 publicações, respectivamente. Por outro lado, os anos de 1966, 1967 e 1971 registraram apenas uma publicação cada.

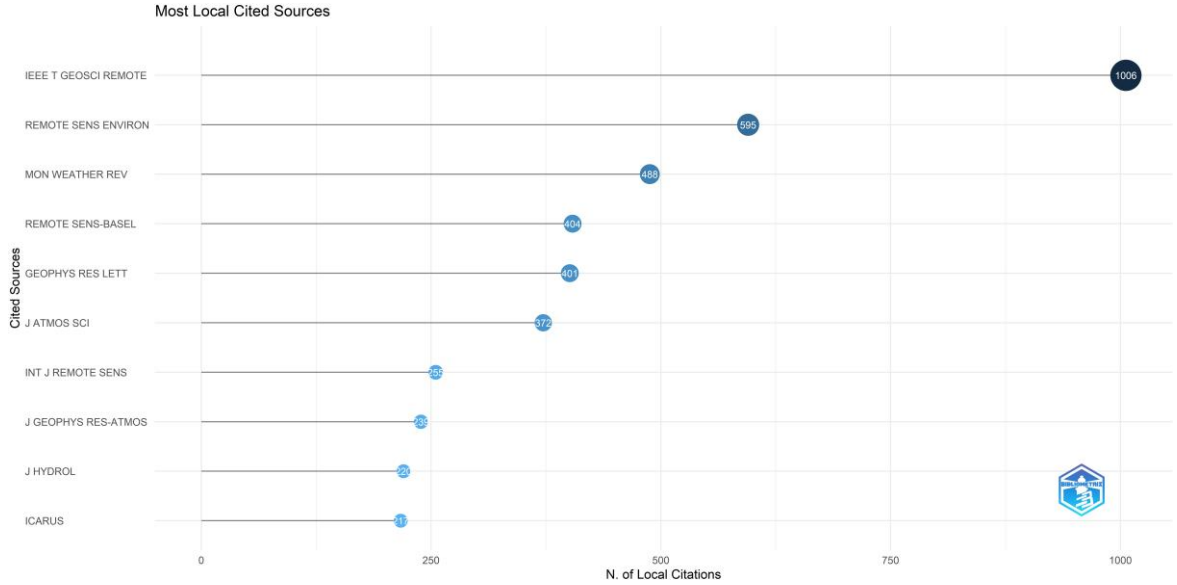
Figura 2. Produção científica anual.



Fonte: *Bibliometrix* (2024).

A Figura 3 apresenta as dez fontes locais mais citadas nas listas de referências dos 433 documentos analisados. Entre elas, destaca-se a revista "*IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*" com 1.006 citações. Dentre essas dez fontes, a menos citada foi "*Icarus*", com 217 citações.

Figura 3. Fontes locais citadas a partir das referências.



Fonte: *Bibliometrix* (2024).

Uma medida da frequência com que um artigo é citado em determinado ano em uma revista pode ser definida como o fator de impacto da fonte. Este índice é utilizado para avaliar a importância ou classificação de uma revista, contando o número de vezes que seus artigos são citados (Oyewola; Dada, 2022). Neste estudo, utilizamos três diferentes medidas frequentemente index (veja Tabela 2). A revista "*IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*" destacou- se com um h-index de 17 e um g-index de 24, seguida pela revista "*Remote Sensing*", que obteveum h-index de 14 e um g-index de 24. Em relação ao m-index, "*Remote Sensing*" apresentou um fator de impacto de 1.273, indicando que os artigos publicados nesta revista foram citados mais frequentemente do que em outros periódicos.

Tabela 2 – Fator de impacto da fonte

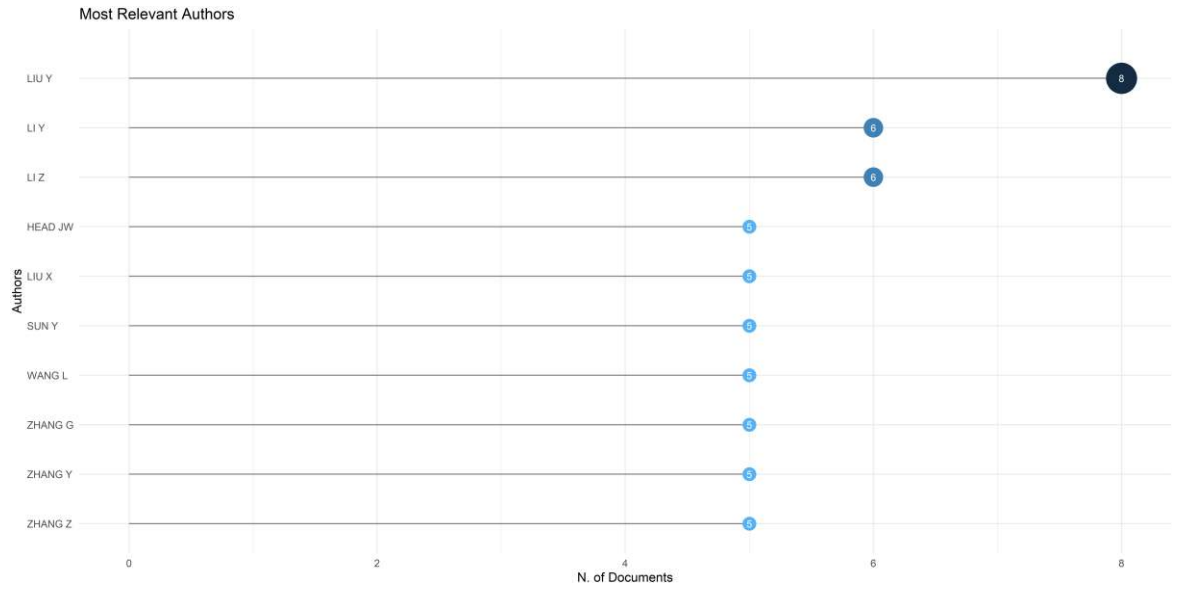
Fonte	h-index	g -index	m -index	C*	Y**
IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing	17	24	0.567	929	995
Remote Sensing	14	24	1.273	96	014
Monthly Weather Review	11	12	0.324	12	991
Remote Sensing of Environment	11	12	0.367	01	995
IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth	7	7	0.700	39	015
IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters	6	8	0.222	13	004
International Journal of Remote Sensing	6	8	0.185	57	998
Hydrology and Earth System Sciences	5	5	0.185	42	998
Icarus	5	9	0.300	74	998

Journal Of Geophysical Research-Planets	5	5	0 .152	46	992

*Total de citações; **Ano de publicação.
Fonte: *Bibliometrix* (2024).

A Figura 4 mostra os dez autores mais influentes em pesquisas sobre a tecnologia aeroespacial *Terrain Following Radar*, no período de 1966 a 2024. Liu Y. destaca-se em primeiro lugar com 8 publicações, seguido por Li Y. e Li Z., ambos com 6 publicações. Entre os dez autores, Head J. W., Liu X., Sun Y., Wang L., Zhang G., Zhang Y., e Zhang Z. têm cinco publicações cada um.

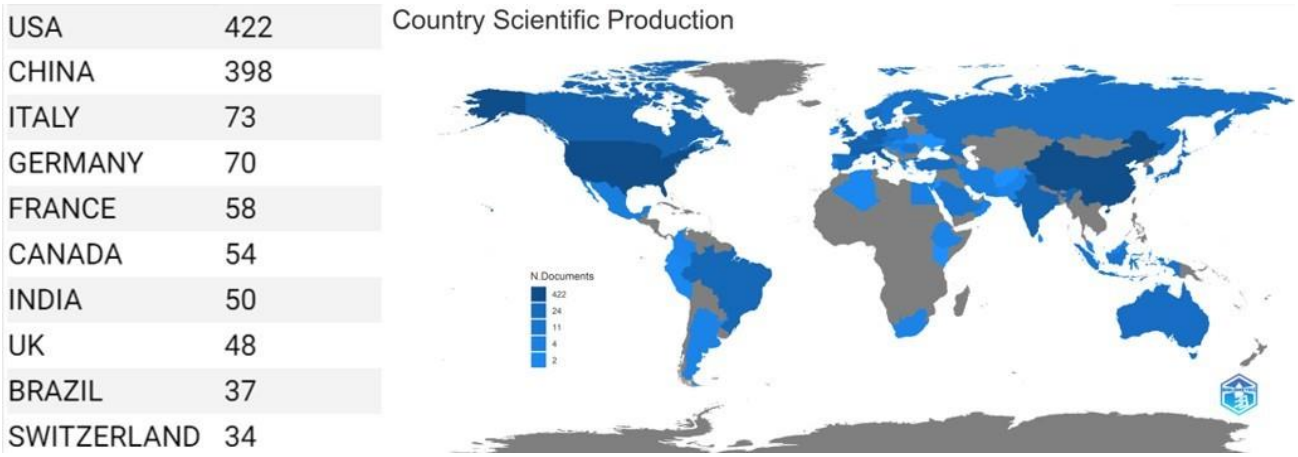
Figura 4. Autores mais relevantes.



Fonte: *Bibliometrix* (2024).

A Figura 5 ilustra a produção científica por país na temática abordada, com base no número de publicações. A distribuição geográfica de artigos, considerando as afiliações de todos os autores, revela uma concentração nos Estados Unidos da América, com 422 afiliações, posicionando-se em primeiro lugar. Em seguida, encontram-se China (398 afiliações), Itália (73), Alemanha (70) e França (58). O Brasil ocupa a nona posição, com 37 afiliações, juntamente com outros países.

Figura 5. Produção científica por país.



Fonte: *Bibliometrix* (2024).

A Tabela 3 apresenta os dez documentos mais citados globalmente, contendo quatro colunas: *Paper*, DOI, Citação Total (TC), Frequência da Citação Total (NTC) e País. O autor Xue M. (2000), do periódico "*Meteorology and Atmospheric Physics*", lidera a lista com 693 citações totais, seguido por De Zan F. (2006), do periódico "*IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*", com 534 citações totais. Entre os dez documentos mais citados, o periódico "*IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*" aparece com três *papers*. É importante destacar que cinco dos dez documentos globais mais citados são dos Estados Unidos, seguido pela China, com três artigos.

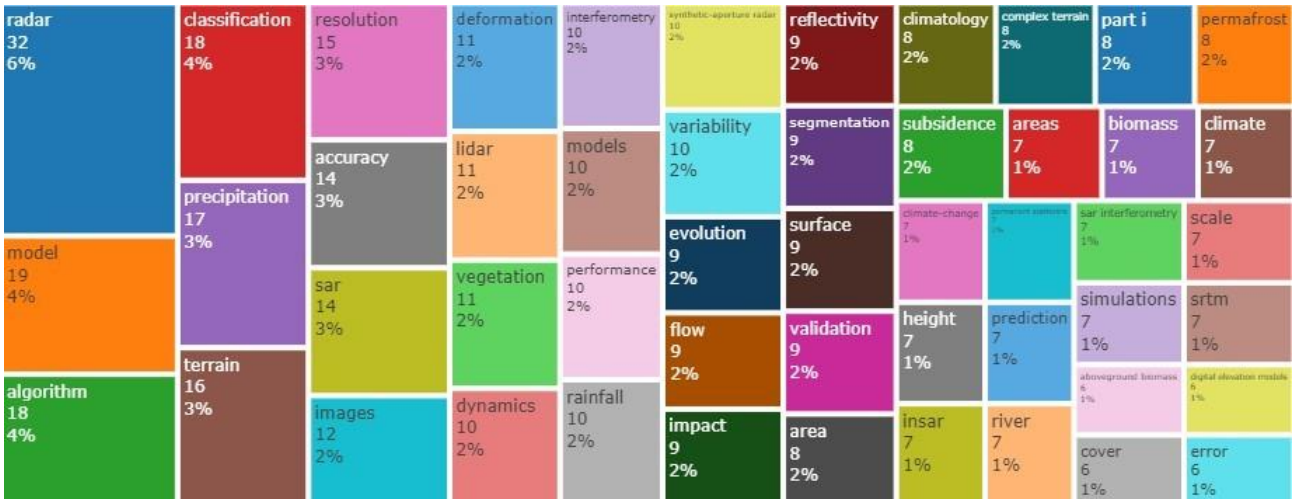
Tabela 3 – Documentos mais citados em âmbito internacional acerca da temática.

Paper	DOI	TC*	NTC**	País
(1) XUE M, 2000, METEOROL ATMOS	10.1007/s007030070003	693	6.76	China
(2) DE ZAN F, 2006, IEEE TRANS	10.1109/TGRS.2006.873853	534	6.32	Itália
(3) ZHANG Z, 2017, IEEE TRANS	10.1109/TGRS.2017.2743222	405	10.69	China
(4) BECK HE, 2019, HYDROL EARTH	10.5194/hess-23-207-2019	307	8.40	USA
(5) SOLOMON SC, 1992, J GEOPHYS	10.1029/92JE01418	260	2.44	USA
(6) FARLEY KA, 2020, SPACE SCI REV	10.1007/s11214-020-00762-y	226	6.81	USA
(7) CARBONE RE, 2008, J CLIM	10.1175/2008JCLI2275.1	208	6.86	USA
(8) XU W, 1999, IEEE TRANS GEOSCI	10.1109/36.739143	206	3.66	China
(9) QUEGAN S, 2019, REMOTE SENS	10.1016/j.rse.2019.03.032	160	4.38	Reino Unido
(10) MASTERS D, 2004, REMOTE SENS	10.1016/j.rse.2004.05.016	150	3.35	USA

*Total de citações; ** Frequência da Citação Total.
Fonte: *Bibliometrix* (2024).

A Figura 6 exibe um *TreeMap* com as cinquenta palavras mais frequentes em publicações científicas sobre a tecnologia aeroespacial *Terrain Following Radar*. A palavra "radar" é a mais prevalente, aparecendo 32 vezes (6%), seguida por "modelo" com 19 ocorrências (4%), "algoritmo" e "classificação" com 18 ocorrências cada (4%), "precipitação" com 17 (3%) e "terreno" com 16 (3%). Esta visualização hierárquica destaca a relevância dessas palavras nas publicações.

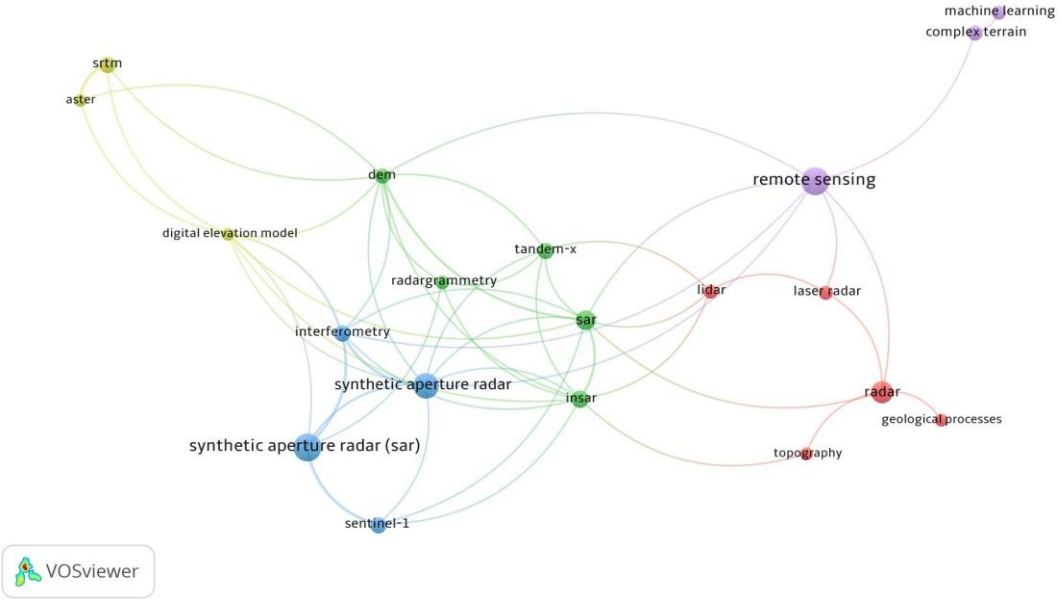
Figura 6. Resumo *TreeMap* das palavras com maiores ocorrências nas publicações.



Fonte: *Bibliometrix* (2024).

A Figura 7 ilustra a rede de coocorrência de palavras-chave. Nesse contexto, a análise dessa rede auxilia os pesquisadores na identificação dos tópicos principais discutidos em uma área de pesquisa específica. De acordo com Zupic e Čater (2015), a coocorrência de palavras-chave é uma técnica cienciométrica eficaz que permite visualizar e exibir as semelhanças entre palavras-chave ou tópicos frequentemente coocorrentes na literatura. Com base nisso, das 1.336 palavras-chave encontradas, estabeleceu-se um limite de coocorrência de no mínimo cinco no *VOSviewer*, resultando em 20 palavras-chave. Destas, emergiram cinco *clusters*, com 65 nós na rede. Cada nó na visualização representa uma palavra-chave, e o tamanho do nó é proporcional à ocorrência dessa palavra-chave na literatura revisada. Em outras palavras, nós maiores indicam uma frequência mais alta de coocorrência de palavras-chave. As cinco principais coocorrências são: SAR (*Synthetic Aperture Radar*) (21); sensoriamento remoto (21); radar (14); InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*) (9); e interferometria (8).

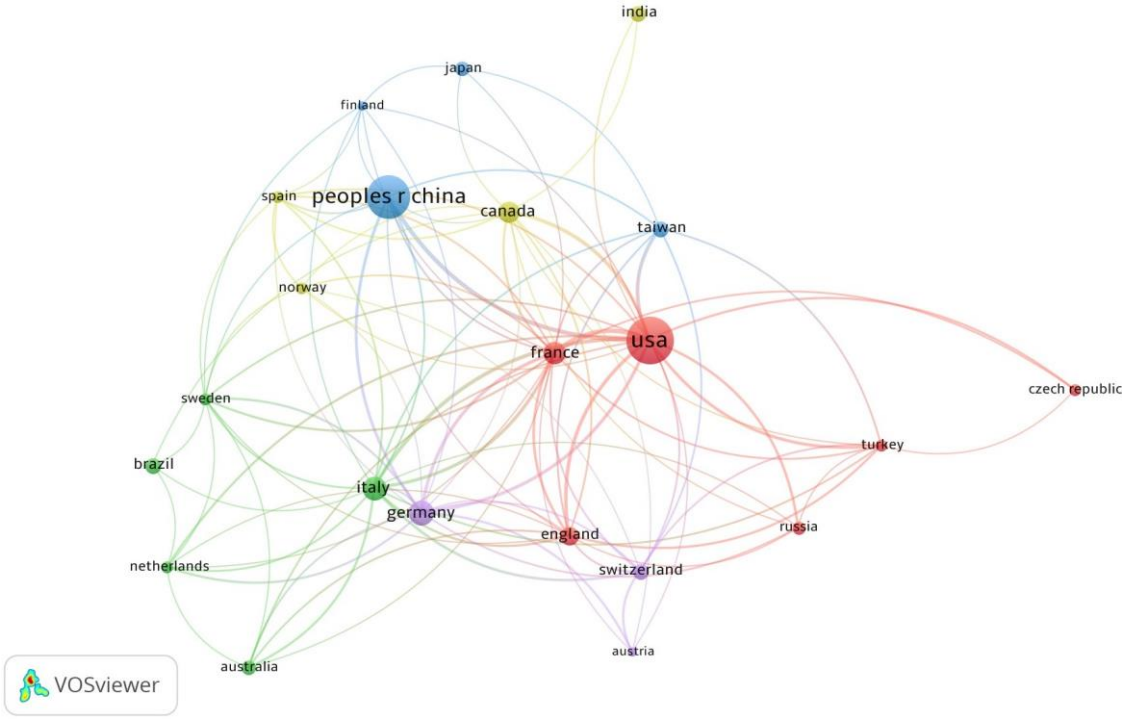
Figura 7. Coocorrência de palavras-chave.



Fonte: *VOSviewer* (2024).

A Figura 8 apresenta os 23 países com as maiores coautorias distribuídos em 5 *clusters*. Para essa análise, o número mínimo de documentos por país foi estabelecido em 5, enquanto o número mínimo de citações foi definido como 3. Assim, a análise de coautoria entre países reflete tanto a relação de colaboração quanto o grau de colaboração na área temática. Nós maiores indicam maiores colaborações entre países em pesquisas sobre a tecnologia aeroespacial *Terrain Following Radar*, sendo que a espessura e o comprimento das ligações entre os nós representam a intensidade da cooperação. Os países com maior número de coautorias foram: Estados Unidos, com 119documentos, 5.452 citações e força de link de 83; China, com 101 documentos, 1.781 citações e força de link de 27; e Alemanha, na terceira posição, com 35 documentos, 918 citações e força total de link de 39.

Figura 8. Coautoria entre países.



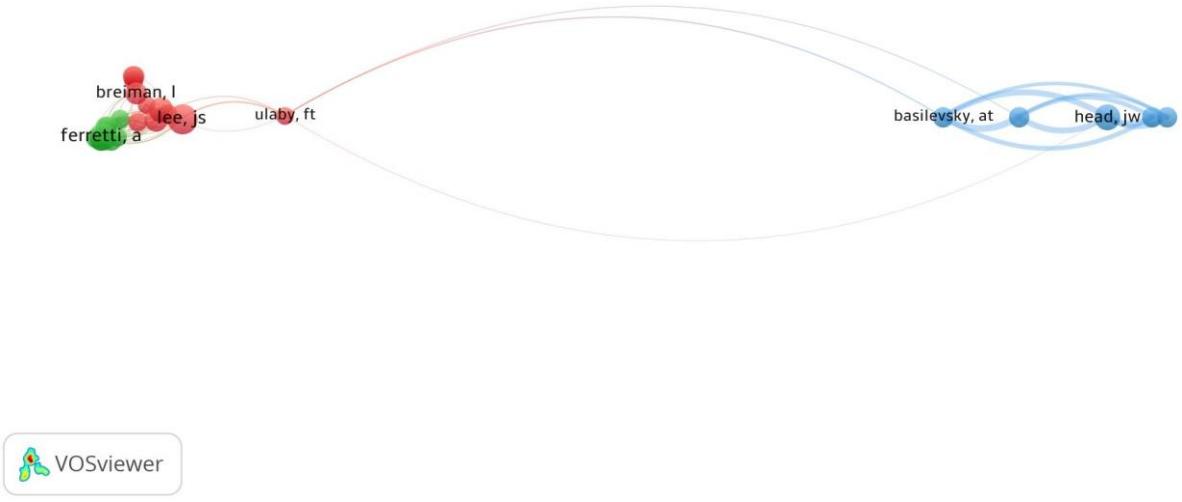
Fonte: *VOSviewer* (2024).

A Figura 9 ilustra a rede de cocitação de autores. A análise de cocitação de artigos permite aos pesquisadores compreenderem a natureza dos artigos citados em um *cluster* e as interconexões entre os *clusters* (Chen; Ibekwe-Sanjuan ; Hou, 2010). Os achados da rede de cocitação, extraída do *VOSviewer*, mostram que os pares de artigos altamente cocitados são aqueles conectados por arcos espessos. Um par de artigos cocitados ocorre quando dois artigos são citados juntos em um único trabalho. Os arcos grossos indicam uma forte relação entre esses artigos, sugerindo semelhanças em tópicos específicos dentro do campo da tecnologia aeroespacial *Terrain Following Radar*. Em contraste, arcos finos indicam uma fraca associação de cocitação entre artigos, refletindoa falta de semelhanças de conteúdo. Dessa forma, é possível identificar a frequência com que doisou mais autores são citados juntos em um mesmo artigo (cocitação). Essa medida parte do pressuposto de que quanto mais itens são citados em conjunto, mais provável é que seus conteúdos estejam relacionados. Deste modo, dos 10.801 autores identificados, definiu-se no *VOSviewer* um número mínimo de vinte cocitações, resultando em 25 autores. Assim, os cinco principais autores cocitados são: Lee, J. S. (52); Ferretti, A. (43); Head, J. W. (39); Toutin, T. (36); e Cloude, S. R. (33).

A Figura 9 ilustra a rede de cocitação de autores. A análise de cocitação de artigos permite aos pesquisadores compreenderem a natureza dos artigos citados em um *cluster* e as interconexões entre os *clusters* (Chen; Ibekwe-Sanjuan ; Hou, 2010). Os achados da rede de cocitação, extraída do *VOSviewer*, mostram que os pares de artigos altamente cocitados são aqueles conectados por arcos espessos. Um par de artigos cocitados ocorre quando dois artigos são citados juntos em um único

trabalho. Os arcos grossos indicam uma forte relação entre esses artigos, sugerindo semelhanças em tópicos específicos dentro do campo da tecnologia aeroespacial *Terrain Following Radar*. Em contraste, arcos finos indicam uma fraca associação de cocitação entre artigos, refletindoa falta de semelhanças de conteúdo. Dessa forma, é possível identificar a frequência com que doisou mais autores são citados juntos em um mesmo artigo (cocitação). Essa medida parte do pressuposto de que quanto mais itens são citados em conjunto, mais provável é que seus conteúdos estejam relacionados. Deste modo, dos 10.801 autores identificados, definiu-se no *VOSviewer* um número mínimo de vinte cocitações, resultando em 25 autores. Assim, os cinco principais autores cocitados são: Lee, J. S. (52); Ferretti, A. (43); Head, J. W. (39); Toutin, T. (36); e Cloude, S. R. (33).

Figura 9. Rede de cocitação de autores.



Fonte: *VOSviewer* (2024).

Assim, ao fornecer uma visão geral da produção científica sobre a tecnologia aeroespacial *Terrain Following Radar* no período de 1966 a 2024, este estudo apresenta possíveis contribuições relacionadas ao foco das pesquisas e à identificação de lacunas existentes. Além disso, enfatiza-se a importância de colaborações internacionais entre os países sobre o tema.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou aprimorar a base de conhecimento sobre a tecnologia aeroespacial*Terrain Following Radar* e o campo de estudos relacionados. Para isso, foi realizada uma análise bibliométrica utilizando o software *VOSviewer*® e o pacote *Bibliometrix* no *RStudio*®. A técnica relacional para estudos bibliométricos envolve a aplicação de cinco métodos principais: análise de coautoria, análise de citação, mapeamento de cocitação, análise de coocorrência de palavras-chave e análise bibliográfica. Esses métodos foram aplicados em 433 documentos extraídos da base de dados *Web of Science*.

Durante o período pesquisado de quase 60 anos, percebe-se que houve um crescimento significativo no número de publicações acerca dessa tecnologia. Além disso, os Estados Unidos e a China destacam-se como os países mais citados em pesquisas sobre o tema, exercendo grande influência global. Além desses, Alemanha, Itália e França também são líderes em publicações sobre o assunto. Esses cinco países juntos representam 74,42% de todas as publicações, indicando consideráveis investimentos na área.

Contudo, os resultados deste estudo indicam a ausência de uma maior cooperação tanto nacional quanto internacional para enfrentar os desafios associados ao tema. Portanto, é fundamental intensificar a colaboração e a pesquisa em nível internacional.

Os resultados também destacaram as cinco afiliações mais relevantes dos autores nos estudos sobre o tema, com ênfase em: *National Aeronautics and Space Administration – NASA* (EUA); *Helmholtz Association* (Alemanha); *Chinese Academy of Sciences* (China); *NASA Jet Propulsion Laboratory* – JPL (EUA);e *California Institute of Technology* (EUA).

Com o objetivo de identificar os periódicos mais relevantes, esta pesquisa bibliométrica analisou indicadores quantitativos (volume de publicações) e qualitativos (número de citações). Diante disso, com base no número de publicações, índice-H e índice-G, o *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* foi considerado o periódico mais influente na temática, enquanto o *Remote Sensing* destacou-se pelo maior fator de impacto, com base no índice m-index.

A análise das palavras-chave também destacou as principais áreas de pesquisa relacionadas à tecnologia *Terrain Following Radar*, que incluem: Sensoriamento Remoto; Engenharia; Ciência da Imagem e Tecnologia Fotográfica; Geologia; e Meteorologia e Ciências Atmosféricas.

A principal limitação desta pesquisa é sua restrição à base de dados *Web of Science*, onde a maioria dos documentos analisados eram artigos. Deste modo, seria necessário expandir a linha de pesquisa para incluir outras bases de dados, como *Scopus* e *Google Scholar*, além de considerar outros tipos de publicações, como livros e anais de congressos.

REFERÊNCIAS

Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. Journal of Informetrics, 11(4), 959-975.

Burgin, M., Khankhoje, U. K., Duan, X., & Moghaddam, M. (2014). Generalized radar scattering model including terrain topography. In 2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (pp. 5037-5039). IEEE.

Burgin, M. S., Khankhoje, U. K., Duan, X., & Moghaddam, M. (2016). Generalized terrain topography in radar scattering models. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 54(7), 3944-3952.

Chen, C., Ibekwe-SanJuan, F. and Hou, J. (2010), The structure and dynamics of cocitation clusters:A multiple-perspective cocitation analysis. J. Am. Soc. Inf. Sci., 61: 1386-1409. https://doi.org/10.1002/asi.21309.

Choi, DY. et al. (2023). Development of a Terrain Scan Data Generation Algorithm Using DTED. In: Lee, S., Han, C., Choi, JY., Kim, S., Kim, J.H. (eds) The Proceedings of the 2021 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT 2021), Volume 2. APISAT 2021. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 913. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2635-8_81.

Clarivate. (2023). Web of Science™ de dados de citação global independente mais confiável do mundo.

Cobo, M.J., López-Herrera, A.G., Herrera-Viedma, E. and Herrera, F. (2011), Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. J. Am. Soc. Inf. Sci., 62: 1382-1402. https://doi.org/10.1002/asi.21525

Ding, X., & Yang, Z. (2020). Knowledge mapping of platform research: a visual analysis using VOS-viewer and Cite Space. Electronic Commerce Research. https://doi.org/10.1007/s10660- 020- 09410-7.

Faris, A. and Sasongko, R. A. (2018). Terrain Following System Based on Online Detection Data, 2018 15th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV), Singapore, pp. 739-743, doi: 10.1109/ICARCV.2018.8581149.

García, A. J., Bakon, M., Martínez, R., & Marchamalo, M. (2018). Evolution of urban monitoring with radar interferometry in Madrid City: performance of ERS-1/ERS-2, ENVISAT, COSMO- SkyMed, and Sentinel-1 products. International journal of remote sensing, 39(9), 2969-2990.

Guleria D., Kaur G. (2021). Bibliometric analysis of ecopreneurship using VOSViewer and RStudio bibliometrix, 1989–2019. Library Hi Tech, 39(4), 1001–1024. https://doi.org/10.1108/LHT-09-
Gutiérrez-Salcedo, M; Martínez, M. A; Moral-Munoz, J. A; Herrera-Viedma, E; & Cobo, M. J. (2018). Some bibliometric procedures for analyzing and evaluating research fields. Applied Intelligence, 48, 1275-1287. https://doi.org/10.1007/s10489-017-1105-y.

Hua Z., Lixiang R., Jisheng, W., Ran L., Manlu L., Yulu F., Liang G. (2017). Terrain following system and realization method of sugarcane harvester based on UWB radar.

Hong, K., Kim, S., Bang, H., Seo, K., & Jeon, J. (2023). Accelerated Algorithm for Generating Measurements of Terrain Following Radar Based on Digital Elevation Models. Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, 51(6), 399-406.

Jiang, W., Huang, Y., Wu, J., Li, W., & Yang, J. (2015). A new approach for terrain following radar based on radar angular superresolution. In The proceedings of the third international conference on communications, signal processing, and systems (pp. 223-231). Springer International Publishing.

Jiang, M., Wei, H., Tang, C., Zhang, H., & Xu, G. (2022, November). Terrain observation using ground-based interferometric millimeter-wave sar imaging. In 2022 3rd China International SAR Symposium (CISS) (pp. 1-5). IEEE.

Kaniewski, P., Leśnik, C., Susek, W., & Serafin, P. (2015, June). Airborne radar terrain imaging system. In 2015 16th International Radar Symposium (IRS) (pp. 248-253). IEEE.

Kim, C. S., Cho, I. J., Lee, D. K., & Kang, I. J. (2015). Development of low altitude terrain following system based on TERain PROfile matching. Journal of institute of control, robotics and systems, 21(9), 888-897.

Moretti, S. L. A., Figueiredo, J. C. B. (2008). Análise bibliométrica da produção sobre Responsabilidade Social das Empresas no ENANPAD: evidências de um discurso monológico. Revista De Gestão Social E Ambiental, 1(3), 21–38. https://doi.org/10.24857/rgsa.v1i3.34.

Najmon, J. C., Raeisi, S., & Tovar, A. (2019). Review of additive manufacturing technologies and applications in the aerospace industry. Additive manufacturing for the aerospace industry, 7-31.
Nallusamy, T., & Balaji, P. (2019). Optimization of NOE Flights Sensors and Their Integration. Advances in Human and Machine Navigation Systems, IntechOpen, https://doi.org/10.5772/intechopen.86139.

Noh, J., Ahn, H., Lee, J., Bang, H. (2021). Terrain-Following Guidance Based on Model Predictive Control. In: Lee, S., Han, C., Choi, JY., Kim, S., Kim, J.H. (eds) The Proceedings of the 2021 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT 2021), Volume 2. APISAT 2021. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 913. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2635-8_62.

Oyewola, D. O., & Dada, E. G. (2022). Exploring machine learning: a scientometrics approach using bibliometrix and VOSviewer. SN applied sciences, 4(5), 143. https://doi.org/10.1007/s42452-022-05027-7.

Pokonieczny, K. (2018). Use of a multilayer perceptron to automate terrain assessment for the needs of the armed forces. ISPRS international journal of geo-information, 7(11), 430.

Pundir, S.K., Garg, R.D. Development of mapping techniques for off road trafficability to support military operation. Spat. Inf. Res. 28, 495–506 (2020). https://doi.org/10.1007/s41324-019-00310-z.
Qiuyan Z, Junjie T, Shixian L, Jia P. (2018). A radar sensor, terrain following system for plant protection unmanned aerial vehicle terrain following.

Ribeiro, H. C. M., Corrêa, R. (2013). Análise da produção científica da temática Gestão Socioambiental na perspectiva da revista RGSA. Revista De Gestão Social E Ambiental, 6(3), 86- 104. https://doi.org/10.5773/rgsa.v7i2.652.

Van Eck, N.J., Waltman, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. Scientometrics 84, 523–538 (2010). https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3.
Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric Methods in Management and Organization.Organizational Research Methods, 18(3), 429–472. https://doi.org/10.1177/1094428114562629.

OYEWOLA, David Opeoluwa; DADA, Emmanuel Gbenga. Exploring machine learning: a scientometrics approach using bibliometrix and VOSviewer. SN Applied Sciences, v. 4, n. 5, p. 143, 2022.