

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL – UFMS**

**INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS**

LAYSSA FERREIRA DE JESUS SANCHES

**ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DE ESTUDOS DE ASTROBIOLOGIA COM FUNGOS  
LIQUENIZADOS ENTRE 2001 E 2024**

Campo Grande, MS

2025

**LAYSSA FERREIRA DE JESUS SANCHES**

**ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DE ESTUDOS DE ASTROBIOLOGIA COM FUNGOS  
LIQUENIZADOS ENTRE 2001 E 2024**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), no curso de Ciências Biológicas/ Bacharelado, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Luciana da Silva Canêz.

Co-orientadora: Dr<sup>a</sup>. Mírian Liza Alves Forancelli Pacheco.

Campo Grande, MS

2025

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer aos meus pais e irmãs, que me apoiaram, incentivaram nos momentos difíceis e sempre estiveram comigo para me dar suporte emocional. Agradeço em especial à minha tia Kleide por me inspirar e incentivar a cursar uma faculdade, além de me ajudar muito financeiramente em eventos, e também sempre me ajudou nos momentos de necessidades; fico muito grata por seu carinho e cuidado. Sou grata por ter conhecido o amor da minha vida durante a graduação, pois em todos os momentos ele me incentivou e cuidou de mim nos momentos de fragilidade.

Sou grata pelas orientações das minhas orientadoras Dra. Luciana da Silva Canêz e Dra. Mírian Liza Alves Forancelli Pacheco, pois sempre estavam disponíveis para sanar as minhas dúvidas e sempre me tratavam com muito carinho.

Agradeço ao Instituto de Biociências e a Universidade de Mato Grosso do Sul pelo ensino de qualidade e pelo corpo docente do INBIO por serem extremamente capacitados e com excelentes professores.

## Resumo

Os fungos liquenizados possuem uma grande diversidade de habitats já que podem ser encontrados em diversas temperaturas, altitudes e latitudes. Tendo em vista estas características presentes nestes organismos, a astrobiologia que é um campo de pesquisa multidisciplinar, cujo escopo é compreender a origem, evolução e desenvolvimento da vida no planeta Terra ou em outros planetas. Encontrou nos fungos liquenizados um novo ramo de estudo devido às características extremófilas de algumas espécies, que podem ser organismos capazes de sobreviverem aos ambientes extremos de Marte. Este trabalho se propõe a analisar através da bibliometria artigos de astrobiologia que utilizaram fungos liquenizados nos experimentos, reconhecendo quais são as espécies já estudadas nessa área, além de compreender as justificativas para o uso das espécies e também listar os países e autores que mais produzem artigos do tema estudado. A análise bibliométrica utilizou o *Web of Science - Coleção Principal* (Clarivate Analytics / Thomson Reuters). Foram encontrados na plataforma 65 artigos, entre os anos de 2001 a 2024. Sendo assim, interpretamos que as produções científicas de astrobiologia que utilizaram líquens tiveram uma forte influência da Alemanha e Espanha. Os periódicos mais influentes são a *Astrobiology* e *Icarus*. Os autores que se destacaram foram Jean-Pierre Paul de Vera, Leopoldo G. Sancho, Sieglinde Ott, Gerda Horneck. Já os fungos liquenizados estudados pela grande maioria dos trabalhos são: *Rusavskia elegans* (Link) S.Y. Kondr. & Kärnefelt, *Chlorangium gyrosum* (Sohrabi, Sipman, V. John & V. J. Rico) S.Y. Kondr, *Buellia frigida* Darb., *Rhizocarpon geographicum* (L.) DC. Estas espécies, de acordo com os autores, foram escolhidas por possuírem características extremófilas, ou seja, sobrevivem em biomas e ambientes extremos.

Palavras-chave: Astrobiologia, líquens, estudos bibliométricos.

## Abstract

Lichenized fungi exhibit a wide diversity of habitats, as they can be found across various environments, temperatures, altitudes, and latitudes. Given these characteristics, astrobiology, a multidisciplinary research field focused on understanding the origin, evolution, and development of life on Earth and potentially on other planets, has identified lichenized fungi as a novel subject of study. This interest arises from the extremophilic traits of certain lichenized species, which may be capable of surviving in the extreme environmental conditions found on Mars. This study aims to conduct a bibliometric analysis of astrobiological research articles that have employed lichenized fungi in experimental settings. Specifically, it seeks to identify the species that have been investigated, explore the

rationales behind their selection, and map the countries and authors most actively contributing to this line of research. The bibliometric analysis was conducted using the Web of Science – Core Collection (Clarivate Analytics / Thomson Reuters), where 65 relevant articles were identified, published between 2001 and 2024. The analysis revealed that Germany and Spain have been the most influential contributors to astrobiological studies involving lichens. The most prominent journals in this field are *Astrobiology* and *Icarus*, while notable authors include Jean-Pierre Paul, Leopoldo G. Sancho, Sieglinde Ott, and Gerda Horneck. The lichenized fungi most frequently studied in this context include *Rusavskia elegans* (Link) S.Y. Kondr. & Kärnefelt, *Chlorangium gyrosum* (Sohrabi, Sipman, V. John & V. J. Rico) S.Y. Kondr., *Buellia frigida* Darb., and *Rhizocarpon geographicum* (L.) DC. According to the authors, these species were chosen for their extremophilic characteristics, meaning they are capable of surviving in extreme environments or biomes.

Keywords: Astrobiology, lichens, bibliometric studies.

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>7</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>9</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>5. 1. Resultados das análises de visão geral.....</b>	<b>11</b>
<b>5. 2. Resultado das análises das fontes.....</b>	<b>12</b>
<b>5. 3. Resultados das análises dos autores.....</b>	<b>13</b>
<b>5. 4. Resultados das análises dos documentos.....</b>	<b>17</b>
<b>5.5 Resultados das análises das estruturas conceituais.....</b>	<b>18</b>
<b>5.6 Resultados das análises das estruturas intelectuais.....</b>	<b>20</b>
<b>5.7 Resultados das análises das estruturas sociais.....</b>	<b>21</b>
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>32</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>33</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>35</b>

## 1 Introdução

Os fungos liquenizados são uma associação simbiótica entre fungos e algas e/ou cianobactérias, e essas algas/cianobactérias se encontram entre as hifas do micélio do fungo, deste modo, formando de um talo (Spielmann & Marcelli, 2006). Eles podem atuar como pioneiros em habitats com uma biota escassa, por ocuparem vários nichos ecológicos, por exemplo, rochas, folhas, troncos e sobre o solo, criando um habitat favorável que facilita o surgimento de outras espécies (Spielmann & Marcelli, 2006). Além disso, eles também podem ser encontrados em altas camadas da estratosfera, além de estarem em todos os substratos, climas, altitudes e latitudes, até mesmo sob o gelo da Antártica e em beiras de fontes termais (Marcelli, 2006).

A partir do trabalho de Kuhn *et al.* (1979) explorou-se a ideia de que líquens poderiam sobreviver ao ambiente de Marte, devido às capacidades extremófilas de algumas espécies, visto que algumas espécies de fungos liquenizados aguentam a dessecação extrema, baixa temperatura e altos níveis de radiação ultravioleta. Como reportado em estudos que demonstram essa capacidade extremófilas nas espécies de *Usnea antarctica* Du Rietz, *U. aurantiacoatra* (Jacq.) Bory, e *Umbilicaria cylindrica* (L.) Delise, que suportam temperaturas abaixo de zero (Hájek *et al.*, 2016). Além de *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr., *Xanthoparmelia conspersa* (Ehrh. ex Ach.) Hale e *Ramalina subfarinacea* (Nyl. ex Cromb.) Nyl., que sobrevivem em ambientes hostis do planeta, como desertos quentes e secos (Armstrong, 2019).

A astrobiologia é um campo de pesquisa multidisciplinar que visa estudar e compreender a origem, evolução e desenvolvimento da vida no planeta Terra ou em outros planetas (Galante *et al.*, 2016). A NASA, Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço, foi uma das pioneiras a iniciar pesquisas e expedições espaciais, como por exemplo, as missões espaciais Viking 1 e 2 em 1975 (Blumberg, 2003). Eles tiveram um grande papel para o crescimento e popularização do termo astrobiologia, por meio da criação do Instituto de Astrobiologia da Nasa (NAI) em 1998 (Galante *et al.*, 2016). Desde então os estudos de astrobiologia vêm se ramificando em diversos campos. Entre eles, em especial, o estudo com os fungos liquenizados vem ganhando espaço e relevância nos últimos anos (De Vera *et al.* 2010). Principalmente porque os seres extremófilos, por exemplo, os tardígrados (Ciobanu *et al.* 2015), são o foco de vários estudos que visam procurar organismos que possivelmente conseguem sobreviver aos ambientes extremos do planeta marciano (Kuhn *et al.*, 1979).

Nesse contexto, os testes realizados com fungos liquenizados em artigos tiveram como objetivo analisar a sobrevivência deles quando expostos à radiação intensa e a altas taxas de dessecação (De Vera *et. al.*, 2008). Isso porque as pesquisas buscam entender se os fungos liquenizados poderiam ser capazes de habitar e colonizar um ambiente extremo como o encontrado em Marte (Horneck *et. al.*, 2008). Igualmente, estudos demonstram que Marte já foi similar com a Terra no passado, já que ela possuía uma composição atmosférica e geológica semelhantes. Além disso, apresentava água em sua superfície, de modo que a união de todos esses conjuntos tornava Marte um planeta propício para o desenvolvimento de vida (Quillfeldt, 2010).

Em suma, as pesquisas de astrobiologia envolvendo fungos liquenizados, apesar de incipientes, estão em constante crescimento devido ao avanço tecnológico e também da influência da NASA, em realizar investigações a fim de compreender como o ambiente espacial impacta os seres vivos, além de buscar vida extraterrestre (Galante *et al.*, 2016).

Já no Brasil os estudos de astrobiologia começaram a partir de 1958, com o biólogo Flávio Pereira, que reuniu ideias do que poderia ser a vida fora da Terra (Pereira, 1958). Posteriormente, nas décadas de 1980 e 1990 pesquisadores brasileiros começaram a desenvolver projetos de astrobiologia, com o foco em temas como química prebiótica e origem da vida (Galante *et al.*, 2016).

Entretanto só em 2006 houve o Workshop Brasileiro de Astrobiologia, no Rio de Janeiro, este evento foi importante para reunir pesquisadores e também uma maneira de oficializar e consolidar os estudos de astrobiologia no Brasil. O Workshop contribuiu para parcerias multidisciplinares, ajudando a popularizar a astrobiologia no Brasil (Rodrigues *et. al.*, 2012). Pouco depois, em 2011, ocorreu outro marco importante para a astrobiologia brasileira, a criação do Núcleo de Pesquisa em Astrobiologia (NAP/Astrobio), já em 2017 houve a criação da Sociedade Brasileira de Astrobiologia (SBAstrobio), cujo o objetivo era manter um contato com os associados e colaboradores, a fim de organizar ações de promoção da astrobiologia brasileira, com o intuito de fortalecer e consolidar os estudos no país (Chefer & Oliveira, 2022).

Este trabalho utilizou a bibliometria para analisar as produções científicas de artigos que estudam líquens na astrobiologia, pois a bibliometria é uma análise dos aspectos quantitativos da produção, disseminação e uso da informação registrada (Macias-Chapula, 1998), através dela é possível recuperar informações sobre produção científica anual, impacto local das revistas e jornais em determinado tema. Deste modo este trabalho se propôs a analisar, por meio da bibliometria, as publicações existentes sobre astrobiologia

envolvendo fungos liquenizados, uma vez que é importante traçarmos um panorama sobre as pesquisas deste tema, visando trabalhos futuros para preencher lacunas de conhecimento. Além disso, saber qual o foco dessas pesquisas e que espécies de fungos liquenizados foram escolhidos para as análises. Sendo assim a bibliometria nos permite transformar e juntar diversos artigos do tema pesquisado em dados, a fim de transformá-los em imagens e gráficos estatísticos. Ainda nos traz dados de quais são os países proeminentes nestes estudos, quais as principais universidades estão pesquisando, os autores que se destacam nas produções científicas, quais redes de colaborações estão sendo formadas e quais são os periódicos que possuem maior quantidade de artigos publicados sobre o tema estudado (Silva *et. al.* 2022).

## 2 Objetivos

Os objetivos deste trabalho foram:

- Analisar através da bibliometria artigos de astrobiologia que utilizaram fungos liquenizados nos experimentos;
- Reconhecer quais são as espécies de fungos liquenizados mais comumente estudadas em astrobiologia;
- Enumerar as justificativas para o uso das espécies;
- Listar espécies estudadas que também ocorrem no Brasil;
- Listar os países, periódicos e autores que mais produzem artigos do tema estudado.

## 3 Material e métodos

Foram realizadas pesquisas bibliográficas no periódico CAPES, na aba Acervo – Listas e coleções, utilizando o *Web of Science* - Coleção Principal (Clarivate Analytics / Thomson Reuters), onde foram pesquisadas as seguintes palavras-chave: (“*astrobiology*” AND “*lichen*”), além disso este trabalho usará artigos produzidos entre o período de 2001 a 2024.

Em seguida esses dados foram baixados e exportados para o Rstudio versão 4.3.3. Por meio dele foi instalado o pacote que executa o aplicativo Biblioshiny®, a fim de transformar diversos artigos em dados estatísticos, além de criar gráficos e tabelas (Aria & Cuccurullo, 2017). Seguindo a terminologia de Silva *et. al.* (2022), por meio do software foram rodadas as seguintes análises:

### Análises de visão geral

Fornecer um panorama de todas as produções científicas dentro do banco de dados, de modo a recuperar informações, como por exemplo, produção científica anual.

#### Análise das fontes

Exibe em forma de gráficos as fontes, ou seja, são os periódicos mais citados, nome dos autores que produziram o artigo e o número de artigos publicados neste determinado periódico.

#### Análise dos autores

Recupera a partir do banco de dados quais autores mais publicaram sobre o tema e o número de publicações deles. Além disso, também é possível visualizar quais os autores mais citados por periódico, e quais países detêm o maior número de publicações e quantidade de vezes que foram citados em outros trabalhos.

#### Análise dos documentos

Os documentos se referem aos artigos que foram utilizados nesta análise bibliométrica. Este tipo de análise também apresenta artigos que possuem destaques, por exemplo, os documentos mais citados por localidade. São representações gráficas que mostram os periódicos que apareceram diversas vezes e qual o país de origem daquele artigo. Além disso, representa no gráfico o ano que ele obteve mais citações e a quantidade de vezes que foram citados. Ademais, também mostra uma comparação com as citações globais.

#### Análise das estruturas conceituais

Essas análises se referem aos temas dos artigos, ao que está sendo discutido e as principais tendências. Um exemplo seria a rede de coocorrência, pois cria uma rede das palavras com maior representação, de acordo com a rede de autores, e qual a sua ligação entre a rede de palavras. As palavras que formam essa rede são retiradas do título, resumo e palavras-chave do texto.

#### Análise das estruturas intelectuais

Estão relacionadas ao impacto do autor em sua comunidade científica. Por exemplo, as redes de cocitação são representações da rede formada a partir das cocitações entre os diversos autores, evidenciando quais autores trabalham em conjunto e a intensidade da ligação entre eles.

#### Análise das estruturas sociais

Nessas análises podemos encontrar como é a interação entre os pesquisadores e instituições. Nas redes de colaboração podemos observar as ligações internas entre os autores, trazendo em evidência os pesquisadores e suas redes que pesquisam sobre o

tema. Outra ferramenta utilizada é o mapa mundial de colaboração, pois com ele é possível visualizar quais são as ligações de colaboração entre os países e suas produções, deste modo percebe-se a frequência que esses países realizam parcerias em pesquisas.

## 5 Resultados e discussão

### 5.1 Resultados das análises de visão geral

Como resultado encontrou-se 65 artigos por meio do aplicativo Biblioshiny e a partir da análise desses artigos foram obtidos os resultados dos trabalhos realizados em astrobiologia e líquens em 23 anos.

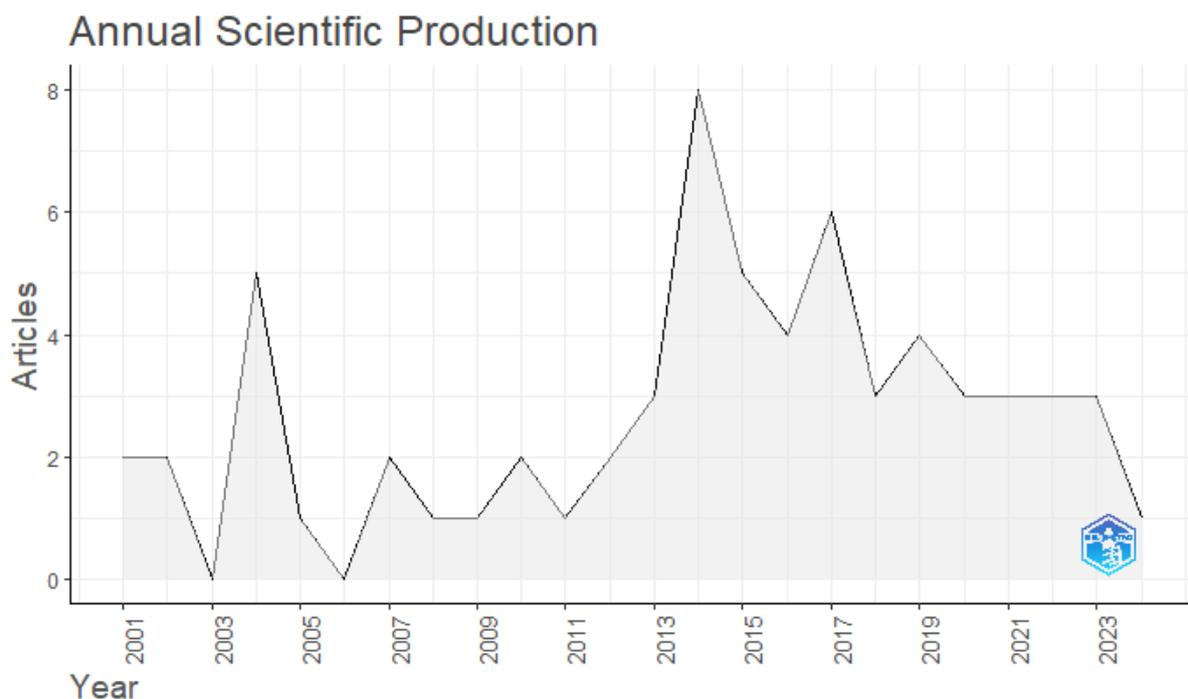


Fig. 1. Gráfico da produção científica anual no período entre 2001 a 2024, usando os 65 artigos encontrados no Web of Science. Imagem gerada a partir do aplicativo Biblioshiny.

No gráfico das produções científicas anuais (figura 1), observamos que de 2001 a 2024 houve uma grande variação nas produções científicas com picos de publicações, quedas e hiatos. Os picos foram formados entre 2003 e 2005 com cinco publicações, e logo em seguida podemos ver um hiato em 2006 com zero artigos. Já de 2007 a 2013 existem oscilações nas pesquisas: em 2007 foram encontradas duas pesquisas, em 2008 somente uma, em 2009 houveram duas, já em 2013 começou um aumento de produções. A partir de 2014 e 2017 vemos um aumento significativo das produções científicas, com oito produções em 2014 e seis em 2017. Outra vez, a partir de 2018, observamos uma redução nas

publicações, seguido de um pequeno crescimento em 2019, com quatro publicações. Contudo, a partir de 2020 vemos um ritmo constante de publicações até o ano de 2023.

## 5.2 Resultado das análises das fontes

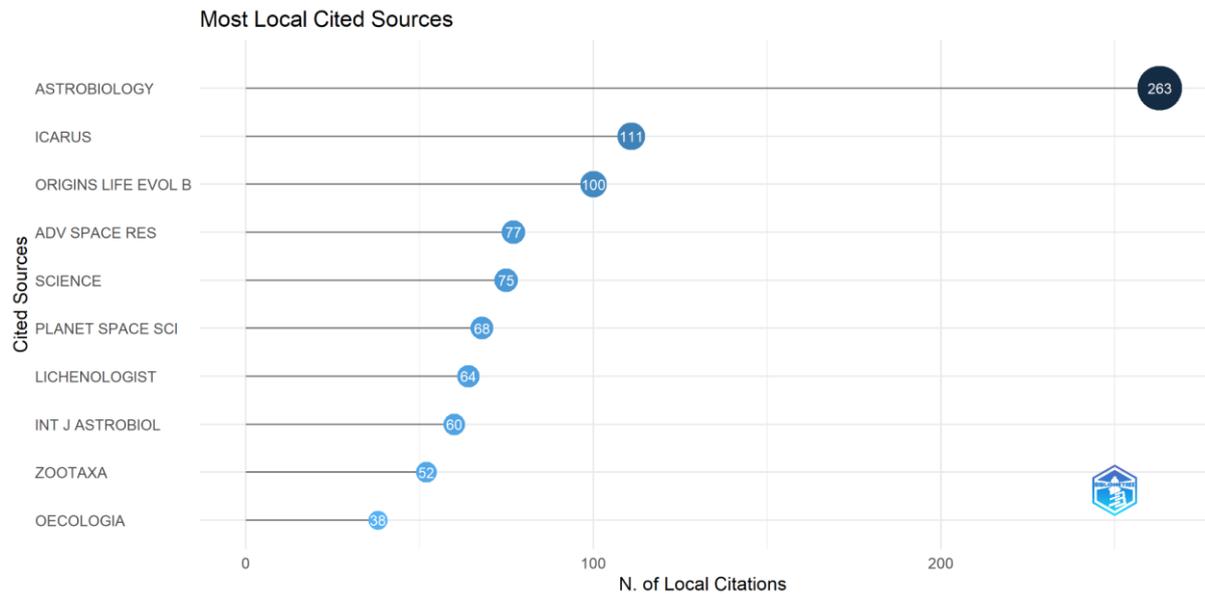


Fig. 2. Gráfico representando os periódicos com mais citações, analisando os 65 artigos ao longo de 2001 a 2024. Imagem gerada a partir do aplicativo Biblioshiny.

Os periódicos que obtiveram mais citações estão representados na figura 2, sendo eles a revista *Astrobiology* com 263 citações, seguido da revista *Icarus* com 111 citações e revista *Origins of Life and Evolution of Biospheres* com 100 citações.

Podemos ver que esses três periódicos se destacam. Uma interpretação deste gráfico poderia ser que muitos pesquisadores possuem uma tendência a citar estudos de astrobiologia com líquens nas revistas *Astrobiology*, *Icarus* e *Origins of Life and Evolution of Biospheres*.

### 5.3 Resultados das análises dos autores

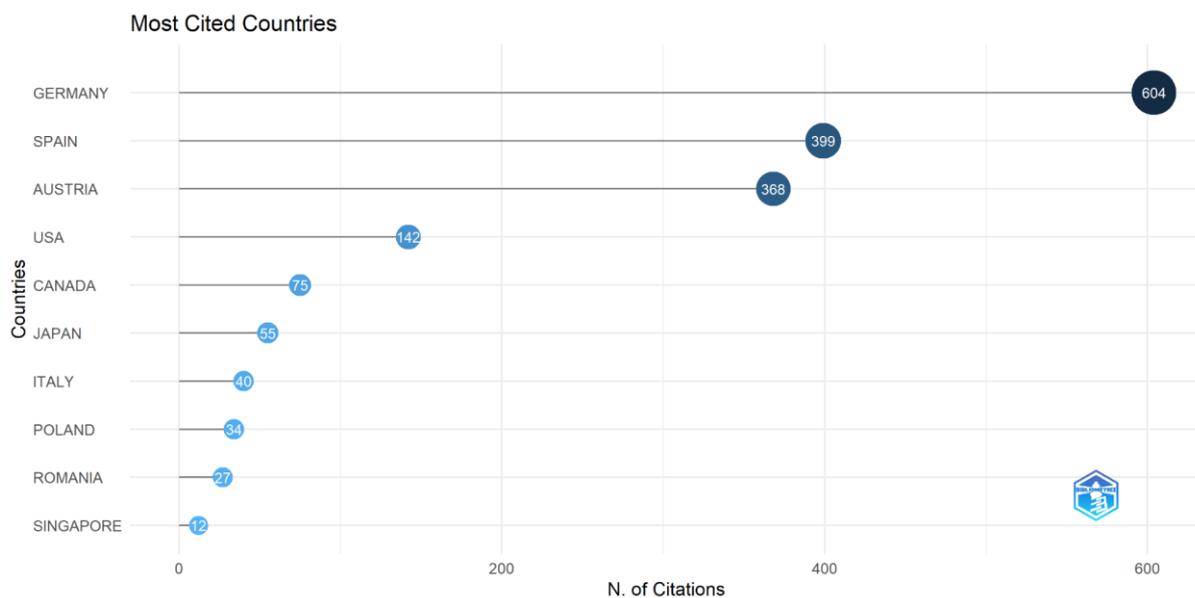


Fig. 3. Países com mais destaque em produções e que possuem uma quantidade maior de publicações e de citações. Imagem gerada a partir do Biblioshiny.

Os países mais destacados são aqueles que apresentam uma quantidade maior de publicações e maior frequência de citações dessas publicações, sendo eles representados na figura 3. É fácil observar a grande influência da Alemanha, pois esse país possui a maior quantidade de citações, sendo um total de 604. A Espanha e a Áustria também se destacam em número de citações, tendo 399 citações e 368 respectivamente. Após a Áustria vemos uma queda de citações começando com os Estados Unidos possuindo 142 citações e os demais países representados no gráfico.

A figura 3 demonstra que os países com maior interesse na área de estudo de fungos liquenizados na astrobiologia são a Alemanha, Espanha, Áustria e Estados Unidos. Esses países se destacam tanto por número de publicações quanto por número de citações. Isso porque nesses locais encontram-se grandes instituições que trabalham com astrobiologia, por exemplo, a Heinrich Heine University Dusseldorf, German Aerospace Centre (DLR) e Helmholtz Association (Alemanha), Universidade de Consejo Superior De Investigaciones Científicas (CSIC) e Centro De Astrobiologia (INTA) (Espanha). Será discutido posteriormente na figura 5 em relação a estas instituições de grande influência para as pesquisas de astrobiologia.

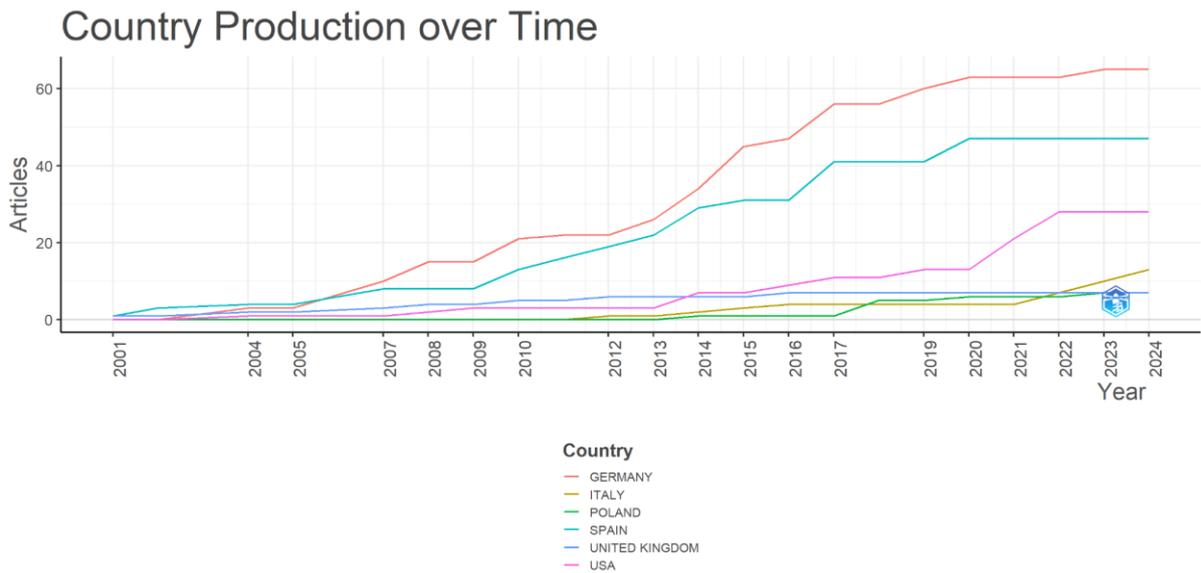


Fig. 4. Produções científicas dos países de 2001 a 2024. Alemanha (vermelho), Itália (amarelo), Polônia (verde), Espanha (azul claro), Reino Unido (azul escuro), Estados Unidos (rosa). Imagem gerada a partir do Biblioshiny.

Já nas produções dos países ao longo do tempo representados na figura 4. É possível ver uma certa correlação com a figura três, uma vez que os países que possuem maior citações também aparecem na figura 4, ou seja, Alemanha, Espanha e os Estados Unidos. Tais países, que já se destacavam em número de citações, também possuem produções significativas ao longo dos anos de 2001 a 2023, o que já era esperado, devido ao número de citações e produções relacionadas aquele país. Podemos destacar que houve um aumento crescente em produções científicas da Alemanha e Espanha a partir de 2007 e este crescimento continuou a aumentar até 2024. Entretanto, a Polônia, Itália e Reino Unido, oscilaram muito em relação às suas produções científicas, e tiveram pequenos picos de crescimento. Já para o Reino Unido, diferente de outros países, se manteve estável em número de publicações ao longo desses 23 anos avaliados.

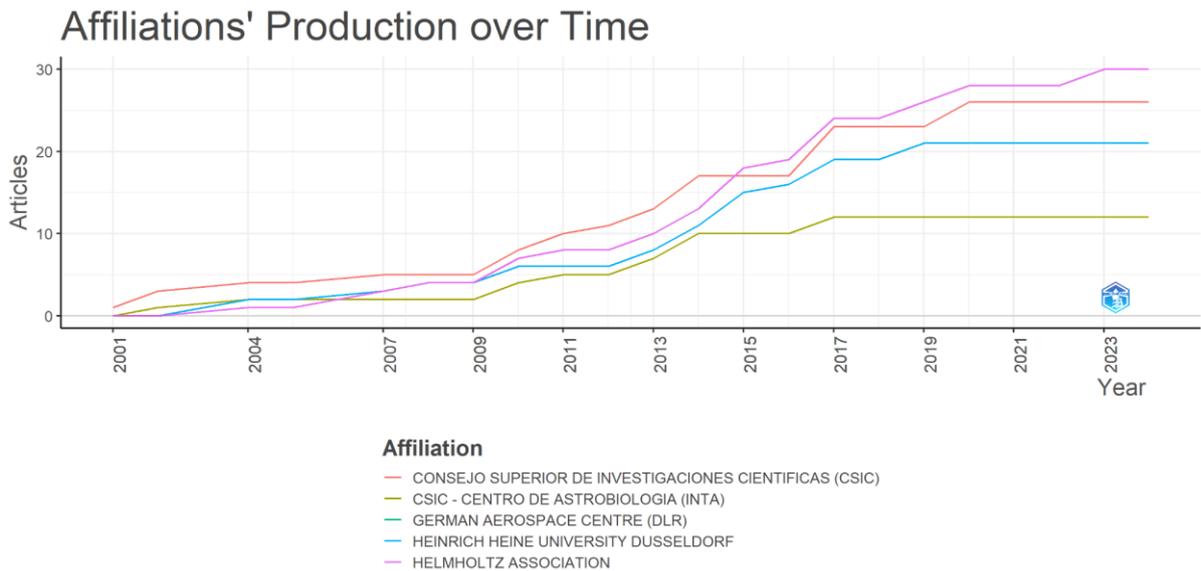


Fig. 5. Afiliações dos autores ao longo do tempo. Afiliações são: Universidad del Consejo Superior De Investigaciones Científicas (CSIC) representada em vermelho; CSIC - Centro De Astrobiologia (INTA), representado marrom; German Aerospace Centre (DLR), representado em verde; Heinrich Heine University Dusseldorf, representado em azul; Helmholtz Association, representada em roxo. Imagem gerada a partir do Biblioshiny.

As afiliações dos autores ao longo do tempo representam as instituições às quais eles estão vinculados e o número de publicações dos autores realizadas na determinada instituição, conforme ilustrado na figura 5. No gráfico é possível notar que houve um aumento do número de filiações em todas as instituições, entretanto, a partir de 2015 algumas se destacaram. O Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), da Espanha, apresentou o maior crescimento em afiliações a partir de 2009, mantendo um crescimento contínuo até 2023, com pequenas variações. No entanto, a partir de 2015, a Helmholtz Association e o German Aerospace Centre (DLR) (Alemanha) ultrapassaram a CSIC em número de afiliações. No gráfico, as linhas dessas duas instituições estão sobrepostas, por isso a DLR é representada na cor verde.

Em terceiro lugar em número de afiliações, encontra-se a Heinrich Heine University Düsseldorf. Já a CSIC - Centro de Astrobiologia (INTA), apresenta a menor taxa de afiliações dos autores.

A partir desses dados, observa-se que a maioria das afiliações dos autores pertence a instituições da Alemanha e da Espanha, o que está diretamente relacionado também à maior produção e citação, como mostrado nos gráficos da figura 4. A Helmholtz Association, German Aerospace Centre (DLR) e a Heinrich Heine University Düsseldorf estão

localizados na Alemanha, enquanto a Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) e o CSIC - Centro de Astrobiologia (INTA) são da Espanha.

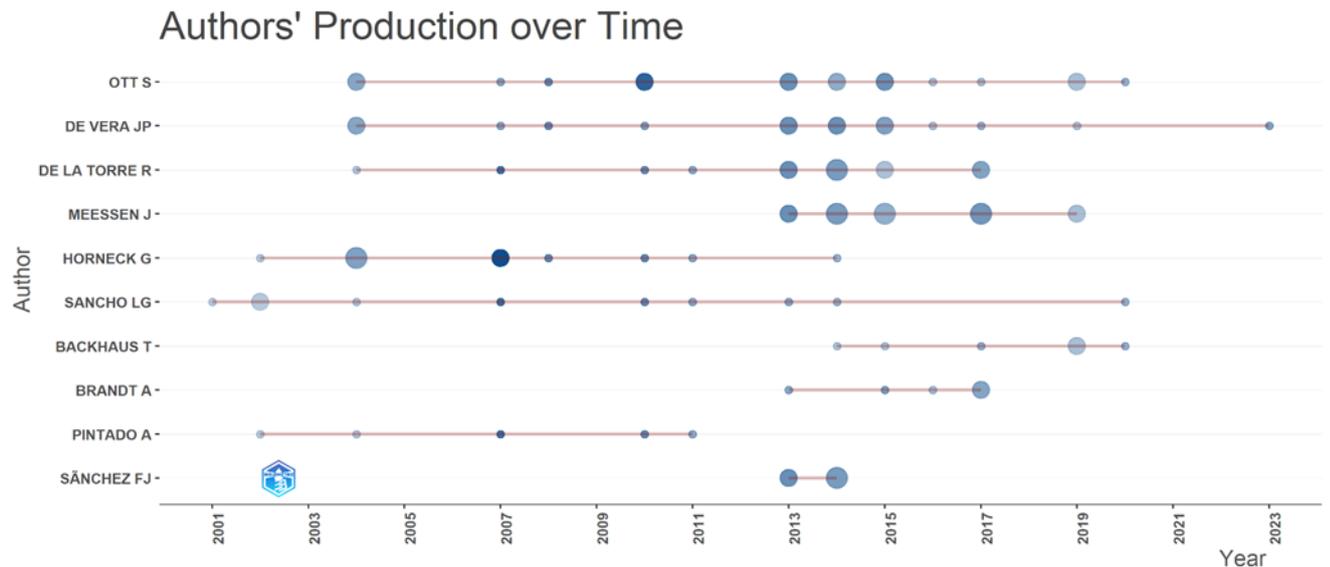


Fig. 6. Produções dos autores ao longo do tempo. Os círculos azuis representam os números de artigos encontrados naquele ano, bem como a tonalidade da cor expressa a quantidade de publicações no ano. Imagem gerada a partir do Biblioshiny.

Quando olhamos para as produções dos autores ao longo do tempo, vale destacar que nesta figura vemos diversos círculos azuis com múltiplas tonalidades, estes círculos representam os números de artigos encontrados naquele ano, ou seja, quanto maior a intensidade do azul mais publicações foram encontradas naquele determinado ano (veja também a figura 1). Um exemplo seria Sieglinde Ott que no ano de 2010 apresentou uma maior frequência de publicações, assim como Gerda Horneck em 2007. Sieglinde Ott teve constância em produções científicas nesse tema de 2004 a 2020. Já Jean-Pierre Paul de Vera (de 2004 até 2023) e Leopoldo G. Sancho (2001 até 2021) também se destacam por suas produções científicas, como pode ser visto na figura 6.

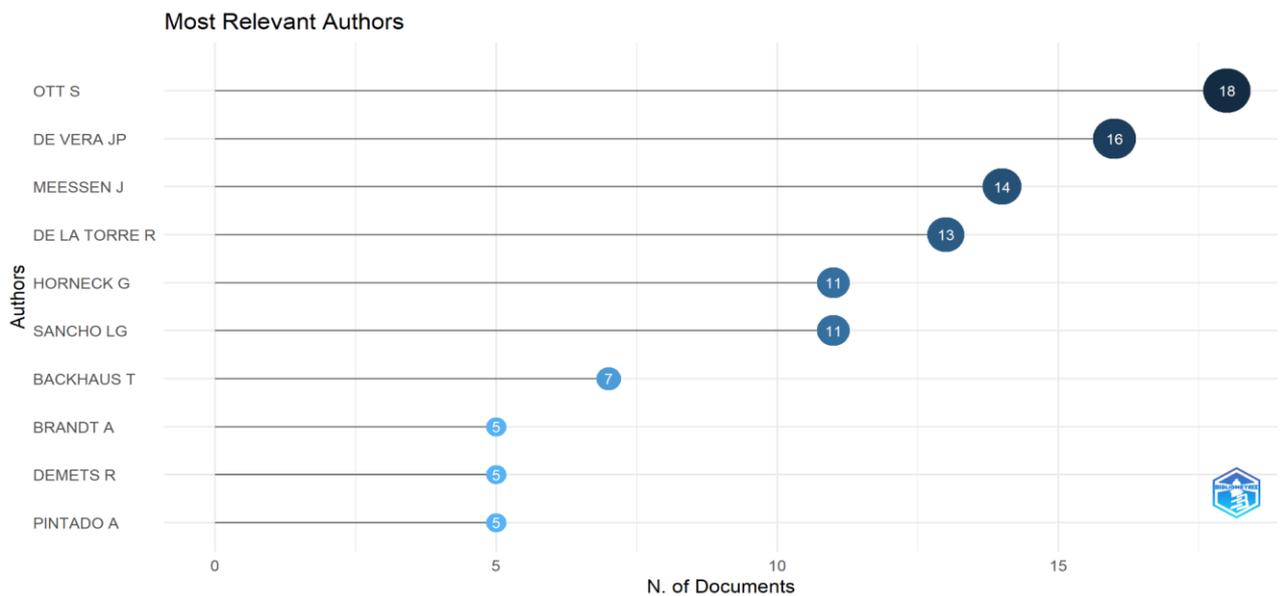


Fig. 7. Autores e seus respectivos números de publicações encontrados pelo Web of Science. Imagem gerada a partir do Biblioshiny.

Já a figura 7, representa os autores mais relevantes, ou seja, aqueles que se destacaram em publicações, ou seja, são os autores que publicaram com frequência e seus artigos foram citados em outros artigos. Deste modo quando nos referimos a autores mais relevantes estamos comparando a quantidade de publicações dos autores em relação ao tema estudado. Como visto anteriormente Sieglinde Ott se destaca, pois ele apresenta 18 artigos, em seguida temos Jean-Pierre Paul de Vera (16 artigos) e Joachim Meeßen (14 artigos). Logo a seguir observamos Rosa De La Torre com 13 artigos, e Gerda Horneck e Leopoldo G. Sancho com 11 artigos.

#### 5.4 Resultados das análises dos documentos

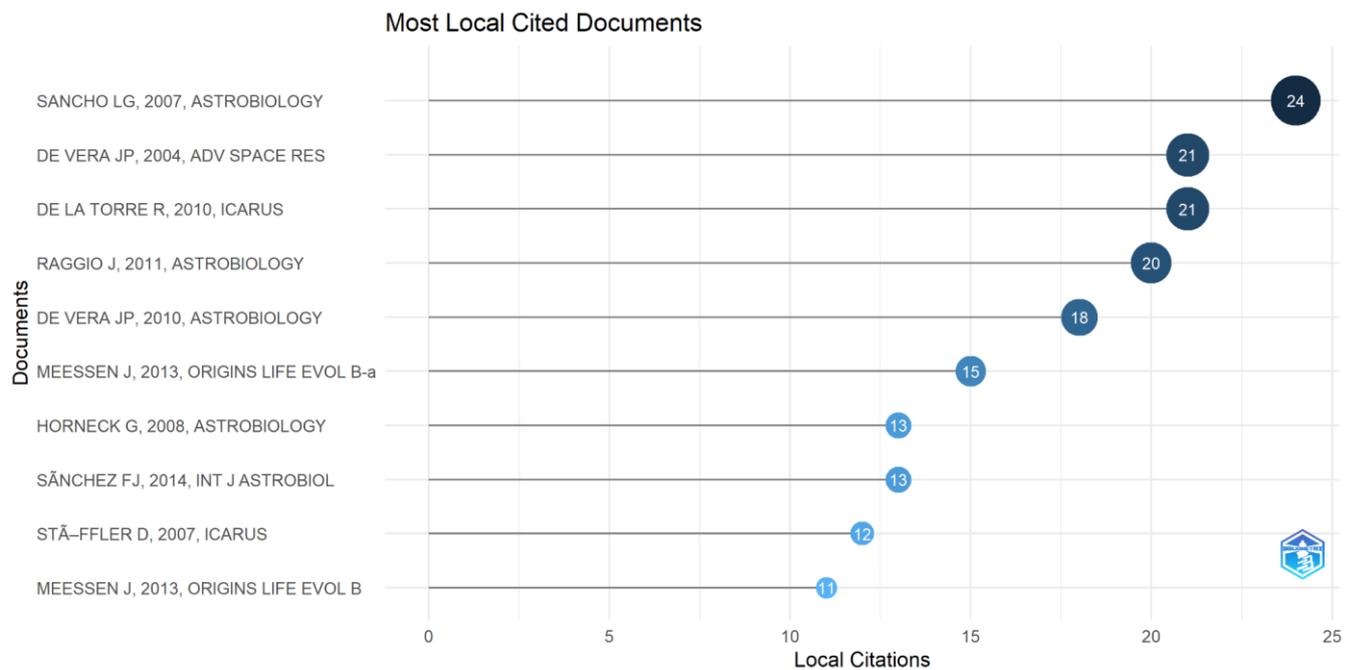


Fig. 8. Artigos mais citados, organizados por nome do autor, ano e o periódico onde o trabalho foi publicado. Imagem gerada a partir do Biblioshiny.

Na figura 8 é possível observar quais foram os periódicos que tiveram a maior quantidade de citações, além do ano de maior citação e também frequência de citações e qual foi o autor que se destacou naquele periódico. Leopoldo G. Sancho, que mesmo não estando entre os mais produtivos nas análises anteriores, seu artigo na revista *Astrobiology* teve 24 citações, já Jean-Pierre Paul de Vera, que publicou no ano de 2004 na revista *Advances in Space Research*, obteve 21 citações, este autor também apresenta publicações na revista *Astrobiology* em 2010, com um total de 18 citações. A autora Rosa De La Torre publicou em 2010 na *Icarus* e obteve 21 citações. O autor José Raggio Quilez possui 20 citações na revista *Astrobiology* no ano de 2011. Outro autor que apresentou destaque duas vezes foi Joachim Meeßen, ele produziu dois trabalhos em 2013, onde um obteve 15 citações e o outro 11, ambos no jornal *Origins of Life and Evolution of Biospheres*. Os demais autores produziram artigos com menos citações em comparação, porém ainda se destacam com citações.

## 5.5 Resultados das análises das estruturas conceituais

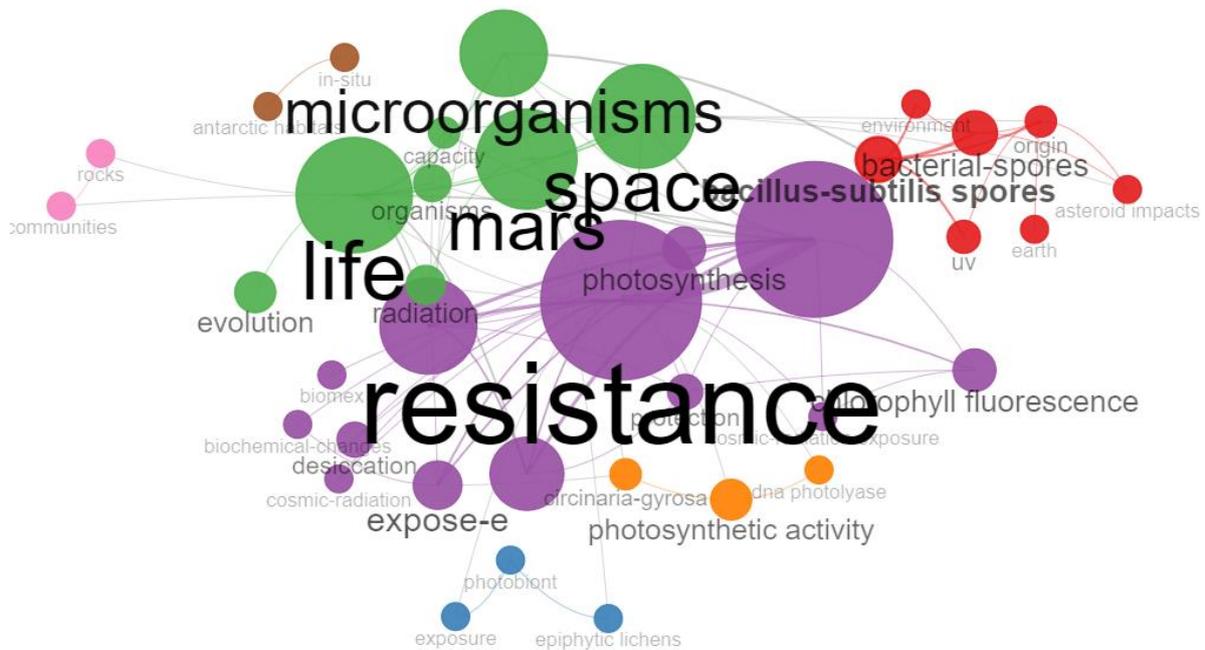


Fig. 9. Rede de coocorrência das palavras, que foram separadas em agrupamentos coloridos nas seguintes cores: roxo, verde, vermelho, laranja, azul, rosa e marrom. Quanto maior a palavra mais vezes ela foi utilizada, além de ter sido encontrada em diversos artigos. Imagem gerada a partir do Biblioshiny.

Nesta figura 9 podemos ver que existem diversos círculos interligados e com diferentes cores, formando uma rede de coocorrência com as palavras, destacando as mais utilizadas, ou seja, quanto maior o círculo mais vezes essa palavra foi citada no título, resumo, palavras-chave e também no texto. Outro ponto importante é que as palavras também foram agrupadas de acordo com sua rede de ligação, por exemplo, se elas estão ligadas com a mesma cor, pode significar que elas foram usadas muitas vezes no mesmo artigo ou eram encontrados em artigos do mesmo tema.

No agrupamento roxo vemos a maior palavra nesta rede de coocorrência, *resistance*, (resistência), ou seja, podemos ver que muitos artigos a utilizaram a fim de referir a resistência dos líquens, por exemplo, a raios UV, temperaturas elevadas e etc. Outras palavras encontradas neste agrupamento são: *photosynthesis*, *radiation*, *chlorophyll fluorescence*, *protection*, *biomex*, *biochemical-changers*, *desiccation*, *cosmic-radiation*, *expose-e*.

Já no agrupamento em verde observamos as seguintes palavras: *microorganisms*, *space*, *Mars*, *life*, *evolution*, *organisms*, *capacity*. As primeiras quatro citadas, se destacaram, pois

eram maiores em comparação aos outros, sendo assim elas possivelmente foram frequentemente utilizadas nos 65 artigos.

Em seguida temos o agrupamento na cor vermelha possuindo sete palavras, sendo elas: *Bacillus-subtilis spore, bacterial spores, environment, origin, asteroid impacts, earth, uv.*

Logo após vemos o agrupamento laranja (*Circinaria-gyrosa, photosynthetic activity e dna photolyase*), Em seguida temos o agrupamento azul (*photobiont, exposure, epiphytic lichens*) e, com apenas duas palavras observamos o agrupamento rosa com: *rocks e communities* e marrom com *Antarctic habitats e in-situ.*

### 5.6 Resultados das análises das estruturas intelectuais

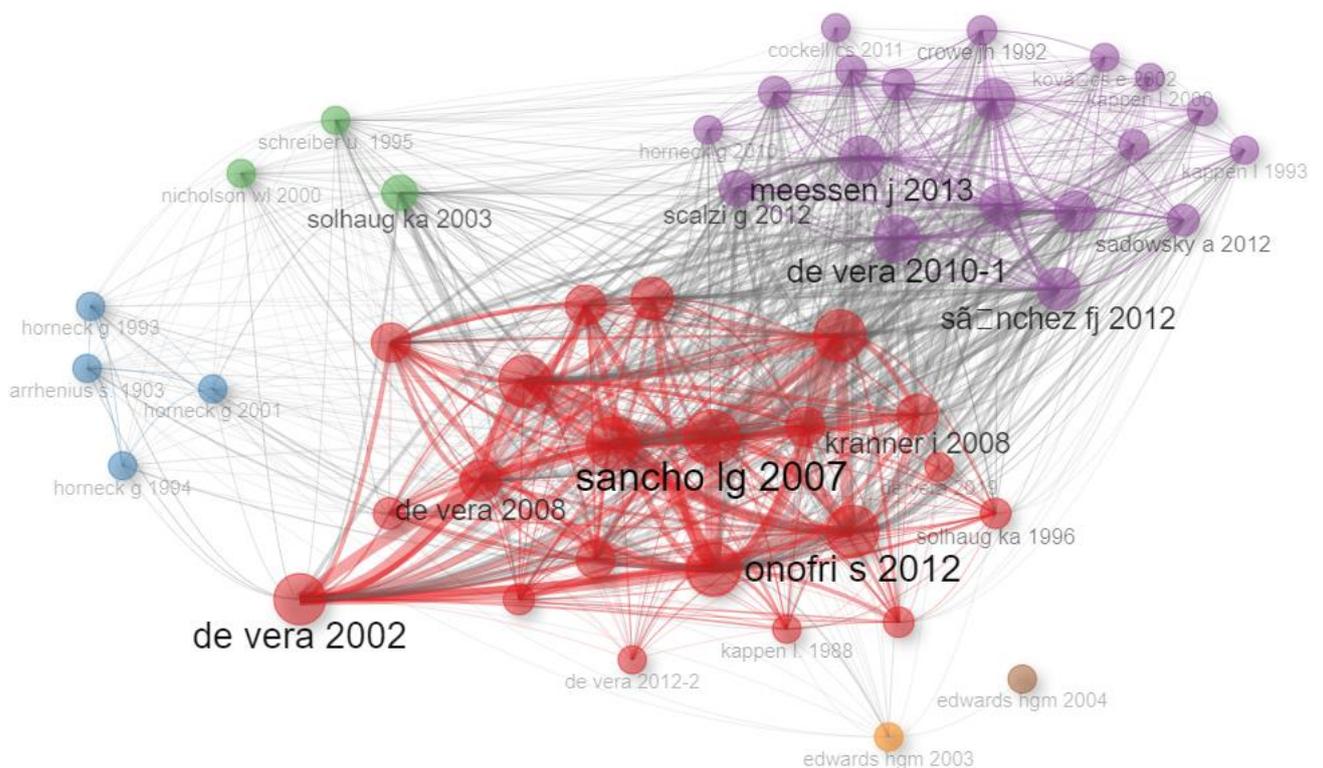


Fig. 10. Rede de cocitação entre os autores. Foram separados em seis agrupamentos nas seguintes cores: vermelho, roxo, azul, verde, laranja e marrom. Imagem gerada a partir do Biblioshiny.

Nas análises de estrutura intelectual (figura 10), está representada a rede de cocitação que nos permitem interpretar interação entre os autores, ou seja, traz em evidência os principais autores, sendo eles os que mais publicam artigos do tema e também é possível observar quais as ligações que eles possuem com os demais autores, as ligações são separadas em agrupamentos representadas por diferentes cores na figura.

No agrupamento vermelho observamos que ele está centralizado na figura e com diversas linhas ligadas e entrelaçadas, sendo ele um dos maiores agrupamentos nesta rede de cocitação. Alguns nomes de autores se destacam, por exemplo, Leopoldo G. Sancho em 2007, Jean-Pierre Paul de Vera em 2002, 2008, 2012, Silvano Onofri em 2012, Ilse Kranner em 2008, Howell G.M. Edwards em 2003 e 2004, Knut A. Solhaug em 1996 e Ludger Kappen em 1988. Vale destacar que quanto maior os círculos com os nomes, mais vezes o autor é citado nessa rede de cocitação. Já as linhas mostram qual a intensidade da ligação entre os autores.

Já no agrupamento roxo o vemos fortemente ligado ao agrupamento vermelho, pois existem diversas redes formadas entre os autores. Os nomes em destaque são: Jean-Pierre Paul de Vera em 2010, Joachim Meeßen em 2013, Francisco J. Sánchez em 2012, Andres Sadowsky em 2012, Ludger Kappen em 1993 e 2006, Etelka Kovács em 2002, John H. Crowe em 1992, Charles S. Cockell em 2011, Gerda Horneck em 2010, Giuliano Scalzi em 2012.

O grupo em azul observa-se somente dois autores, porém Gerda Horneck aparece três vezes nos anos de 1993, 1994, 2001, o outro autor que aparece neste agrupamento é Svante August Arrhenius em 1903. Isso indica que Gerda Horneck se autocitou nas referidas referências.

No terceiro agrupamento, em verde, observamos os seguintes autores: Knut A. Solhaug em 2003, Ulrich Schreiber em 1995 e Wayne L. Nicholson em 2000.

Em laranja e marrom podemos observar o autor Howell G.M. Edwards com publicações em 2003 e 2004. Em 2004 vemos autocitação do seu trabalho de 2003, Entretanto, esse mesmo artigo foi por mais de uma vez citado pelo grupo de autores representados em vermelho.

## 5.7 Resultados das análises das estruturas sociais

### Country Collaboration Map

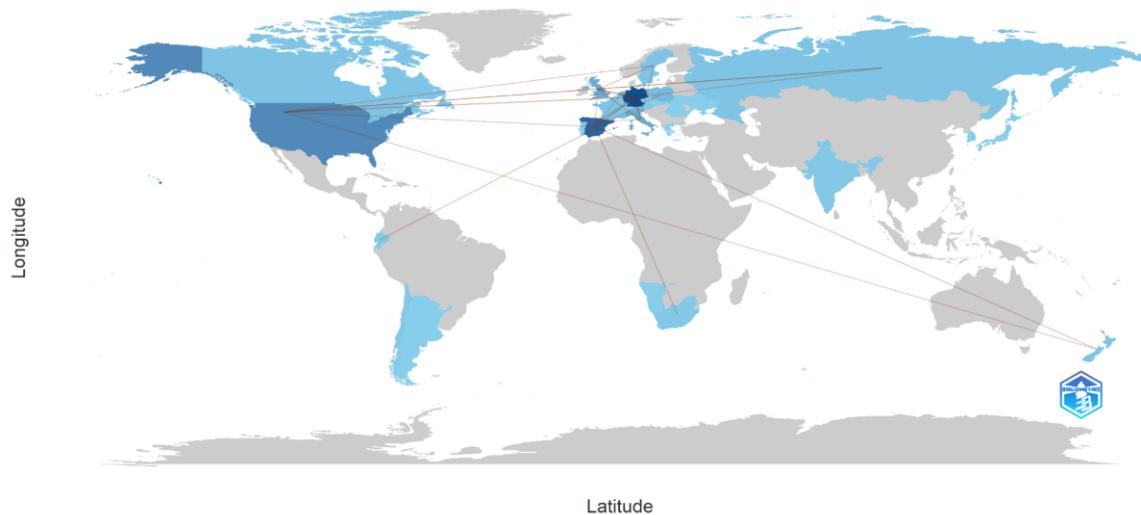


Fig. 11. Mapa mundial de colaboração dos países. As linhas vermelhas indicam as ligações entre os países. Já a intensidade da coloração indica a frequência que esta colaboração ocorre com os demais países. Sendo assim azul-escuro escuro significa uma alta colaboração e azul-claro uma baixa colaboração. Imagem gerada a partir do Biblioshiny.

Com o mapa mundial de colaboração dos países, ilustrado na figura 11, é possível observar por meio das linhas vermelhas as redes de ligações entre os países que colaboram entre si na produção de trabalhos na astrobiologia. Nesta figura observamos diferentes tons de azul nos países, que indicam a intensidade daquela colaboração, um exemplo, seria a Alemanha e Espanha que estão em azul-escuro devido à sua grande colaboração com diversos outros países, tendo sido também os países com maior produtividade na área e citações.

Em destaque é possível ver a região da Europa os países que com três tonalidades de azul. Os países com uma intensidade maior no azul são a Alemanha, Espanha e França, ou seja, eles apresentam uma maior significância e se destacam entre os demais países, como já haviam sido demonstrados nas figuras anteriores, por exemplo, nas figuras 3 e 4. Já os com média intensidade são o Reino Unido, Itália, Bélgica, Países Baixos (Holanda) e a Suíça, apresentando um envolvimento com média significância. Os países destacados em azul claro foram Portugal, Irlanda, Dinamarca, Noruega, Suécia, Finlândia, Áustria, República Tcheca, Polônia, Hungria, sendo eles os que possuíam menos significância, porém ainda estão presentes como países que apresentam colaborações.

Na América do Norte vemos os Estados Unidos e o Canadá. Dentre os dois o que possui uma maior colaboração, sendo ela em quantidade de produções é os Estados Unidos, mais em específico o Alasca, devido à intensidade da cor azul. Entretanto os Estados Unidos possuem diversas linhas ligadas a ele, ou seja, ele tem mais colaborações com os demais países.

Na América do Sul e na África observa-se uma menor produção de artigos de astrobiologia com líquens, tendo em vista o tom claro do azul representado na figura. Entretanto na América do Sul mais colaboraram o Chile, Argentina, Equador, Colômbia e Peru, enquanto na África, apenas a África do Sul e a Namíbia. Vale destacar que o Equador possui uma linha vermelha ligada à Espanha, o que indica uma colaboração entre os países. É importante ressaltar que não foram encontrados artigos produzidos por autores e/ou instituições do Brasil que envolvam pesquisas de astrobiologia com fungos liquenizados.

No continente asiático a Rússia, Índia, Japão e Coreia do Sul, apresentam colaborações. A Rússia possui ligações nas redes de colaboração com a Inglaterra e a Alemanha. Enquanto na Oceania foram encontradas colaborações somente com a Nova Zelândia, ela contribuiu em produções científicas com a Espanha e os Estados Unidos.

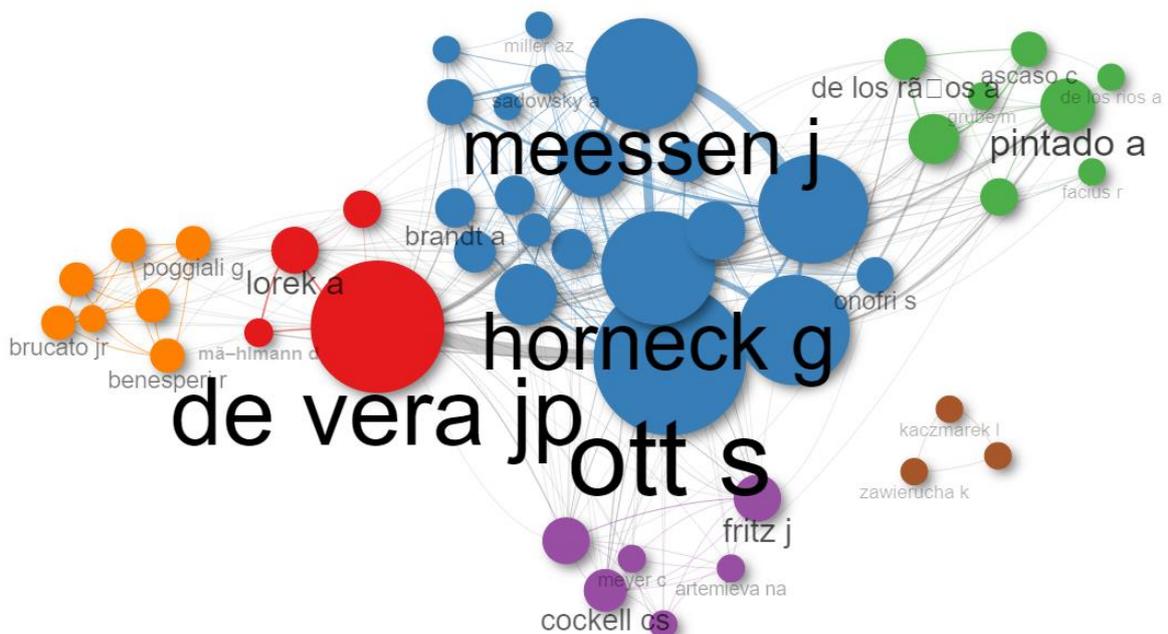


Fig. 12. Rede de colaboração entre os autores. As redes foram separadas em seis grupos com as determinadas cores: Azul, vermelho, verde, laranja, roxo e marrom. Sendo a rede

azul a que possui mais colaborações entre si e com as demais redes e a marrom com nenhuma colaboração com as outras redes. Imagem gerada a partir do Biblioshiny.

Na rede de colaboração entre os autores, ilustrada na figura 12, podemos interpretar que existem quatro autores que são cruciais nas colaborações nos artigos de astrobiologia estudando os fungos liquenizados, pois eles estão representados na figura como nomes centrais, além de estarem com seus nomes maiores e destacados, como por exemplo, Joachim Meeßen, Gerda Horneck, Jean-Pierre Paul de Vera e Sieglinde Ott. Outro ponto a se destacar é que existem grupos mais afastados que tendem a realizar colaborações somente entre si, por exemplo, o grupo em marrom, sendo eles, Lukasz Kaczmarek, Krzysztof Zawierucha e Milena Roszkowska, esses três autores são poloneses.

Nesta figura as redes de colaborações foram novamente divididas em cores, sendo elas, azul, vermelho, verde, laranja, roxo e marrom. A rede em azul está como uma das centrais na imagem, tendo três autores em grande destaque, Joachim Meeßen (Alemanha), Gerda Horneck (Alemanha) e Sieglinde Ott (Alemanha), já os outros autores desta rede são: Annette Brandt (Alemanha), Ana Zélia Miller (Espanha), Andres Sadowsky (Alemanha) e o Silvano Onofri (Itália). Em vermelho existem os seguintes autores: Jean-Pierre de Vera (Alemanha), Andreas Lorek (Alemanha) e Diedrich Möhlmann (Alemanha), o autor Jean-Pierre Paul de Vera também está destacado como um dos autores que possui diversas colaborações nesta rede. Já na rede colorida em verde vemos os autores, Ana Pintado (Espanha), Asuncion de Los Rios (Espanha), Carmen Ascaso (Espanha), Rainer Facius (Alemanha) e Martin Grube (Áustria). Em laranja os nomes encontrados foram os de John Robert Brucato (Itália), Renato Benesperi (Itália) e Giovanni Poggiali (Itália). A rede em roxo observamos os seguintes autores, Charles S. Cockell (Reino Unido), Joerg Fritz (Estados Unidos), Natalia A. Artemieva (Estados Unidos) e a Cornelia Meyer (Alemanha). Em marrom vemos que este grupo está isolado e com somente colaborações entre os três autores de sua rede, sendo eles, Lukasz Kaczmarek (Polônia), Krzysztof Zawierucha (Polônia) e Milena Roszkowska (Polônia). Deste modo evidencia-se que de fato todos esses autores produziram artigos e possuíam colaborações entre si, sendo representados na figura 11 do mapa mundial de colaboração. Ademais, muitos autores citados nesta figura 12, já foram citados diversas vezes em outras figuras como, por exemplo, Jean-Pierre de Vera, Sieglinde Ott, que apareceram nas figuras 6, 7, 8 e 10.

Podemos observar também que a rede em laranja (John Robert Brucato, Renato Benesperi e Giovanni Poggiali) possuía colaborações com a vermelha (Jean-Pierre de Vera, Andreas Lorek e Diedrich Möhlmann), mas não possuía ligações com as outras. Já a azul (Joachim Meeßen, Gerda Horneck, Sieglinde Ott, Annette Brandt, Ana Zélia Miller, Andres Sadowsky

e o Silvano Onofri) tem ligações com as redes vermelha (Jean-Pierre de Vera, Andreas Lorek e Diedrich Möhlmann), roxa (Charles S. Cockell, Joerg Fritz, Natalia A. Artemieva e a Cornelia Meyer) e a verde (Ana Pintado, Asuncion de Los Rios, Carmen Ascaso, Rainer Facius e Martin Grube). E com somente a rede marrom (Lukasz Kaczmarek, Krzysztof Zawierucha e Milena Roszkowska) está sem ligações de colaborações com as demais redes.

Para interpretarmos todos os dados obtidos do Biblioshiny é necessário compreender que todas as 12 figuras citadas anteriormente possuem correlações umas com as outras, pois todos os dados foram obtidos a partir dos mesmos 65 artigos. Quando olhamos para os países que produzem artigos de astrobiologia que estuda fungos liquenizados, não podemos esquecer das faculdades envolvidas nestas pesquisas, dos cientistas que produziram o artigo, nas colaborações entre os autores, nos temas pesquisados, quais revistas os artigos são publicados entre outros fatores. Por isso a interpretação e discussão dos resultados levaram em conta todas as figuras, e por isso não poderá ser interpretada e discutida de maneira separada para cada figura.

Primeiramente podemos observar que as análises de 65 artigos no Biblioshiny revelaram variações nas publicações sobre astrobiologia com fungos liquenizados entre 2001 e 2024. Foram evidentes os picos de produção no tema entre 2003 e 2005, um hiato em 2006 e um crescimento significativo a partir de 2014, com destaque para 2014 e 2017. Após uma redução em 2018, houve um leve aumento em 2019 e um ritmo constante de publicações de 2020 a 2023. Conclui-se que a produção científica na área começou a crescer a partir de 2012.

Fica claro, portanto, que alguns países foram mais significativos na produção de conhecimento, como a Alemanha liderando as citações, com 604 citações, seguida pela Espanha (399) e Áustria (368). Os Estados Unidos, Canadá, Japão e outros países possuem menor volume. Os países mais influentes na área são Alemanha, Espanha, Áustria e EUA, sendo assim os principais países que impactaram para o crescimento de produções de artigos em 2012 possivelmente foram eles. Desde modo a produção científica dos países ao longo do tempo reflete na tendência das citações, com destaque para Alemanha, Espanha e EUA. A Alemanha e Espanha tiveram um crescimento acentuado desde 2007, enquanto Polônia, Itália e Reino Unido apresentaram oscilações e pequenos picos.

Com as afiliações dos autores ao longo do tempo, podemos observar quais instituições influenciam mais nessas produções científicas citadas anteriormente. Um exemplo seria a

CSIC, da Espanha, que obteve o maior crescimento inicial, mas, a partir de 2015, foi ultrapassada pela Helmholtz Association e pelo German Aerospace Centre (DLR). A Heinrich Heine University Düsseldorf ocupa o terceiro lugar, enquanto a CSIC - Centro de Astrobiologia (INTA) apresenta a menor taxa de afiliações. Observa-se que a maioria das afiliações está concentrada em instituições da Alemanha e da Espanha.

Deste modo, com as produções científicas dos autores ao longo do tempo, vemos que Sieglinde Ott manteve constância entre 2004 e 2020, Jean-Pierre Paul de Vera (2004-2023) e Leopoldo G. Sancho (2001-2021) também se destacaram. Exemplos notáveis incluem Sieglinde Ott em 2010 e Gerda Horneck em 2007. Quando analisamos quais universidades estão envolvidas e os países dos autores podemos ver que Sieglinde Ott é professora em Heinrich Heine University Düsseldorf, na Alemanha, já Jean-Pierre Paul de Vera é vinculado na Head of Department at German Aerospace Center (DLR), da Alemanha, enquanto Leopoldo G. Sancho é professor na Director at Complutense University of Madrid, na Espanha, e Gerda Horneck pertence ao DLR eV Institute of Aerospace, da Alemanha. Indicando que realmente a Alemanha e Espanha, possuem uma liderança em publicações, instituições e autores. Deste modo também podemos observar que os autores mais relevantes considerando o número de publicações sobre o tema estudado são novamente Sieglinde Ott liderando com 18 artigos, seguido por Jean-Pierre Paul de Vera (16) e Joachim Meeßen (14). A autora Rosa De La Torre possui treze artigos, enquanto Gerda Horneck e Leopoldo G. Sancho possuem onze. Theresa Backhaus tem 7 publicações, e Annette Brandt, René Demets e Ana Pintado possuem 5 cada. Já na rede de colaboração entre autores vemos novamente quatro autores centrais se destacando, sendo eles o Joachim Meeßen, Gerda Horneck, Jean-Pierre Paul de Vera e Sieglinde Ott, esses autores possuem diversas colaborações. Assim como no mapa mundial representado na figura 11 e também na rede de cocitação, ilustrado na figura 10, podemos realmente observar que esses autores da Alemanha e Espanha influenciam muito nas redes de colaborações e também nas diversas produções científicas.

Já os periódicos com mais citações foram a revista *Astrobiology* liderando com 263 citações, seguida por *Icarus* (111) e *Origins of Life and Evolution of Biospheres* (100). Esses três periódicos se destacam, indicando uma tendência dos pesquisadores em publicar e citar estudos sobre astrobiologia com fungos liquenizados nessas revistas, possivelmente devido ao seu impacto e especialização no tema. Sendo assim os autores que se destacam com publicações e o seu periódico mais escolhido podemos observar os seguintes autores: Leopoldo G. Sancho obteve 24 citações na *Astrobiology* em 2007. Jean-Pierre Paul de Vera teve 21 citações na *Advances in Space Research* (2004) e 18 na *Astrobiology* (2010). Rosa

de La Torre alcançou 21 citações na *Icarus* (2010), enquanto José Raggio Quilez teve 20 na *Astrobiology* (2011). Joachim Meeßen se destacou com dois artigos na *Origins of Life and Evolution of Biospheres* (2013), com 15 e 11 citações. Gerda Horneck (*Astrobiology*, 2008) e Francisco Javier Sánchez (*International Journal of Astrobiology*, 2014) tiveram 13 citações cada. Já Dieter Stöffler recebeu 12 citações na *Icarus* em 2007.

Sendo assim, interpretamos que as produções científicas de astrobiologia pesquisando líquens tem influência marcante da Alemanha e Espanha, pois diversas vezes observamos que as universidades e, conseqüentemente os autores, que produzem pesquisas neste tema estão sediados nesses países. Isso evidencia também a tradição de estabelecer parcerias entre esses autores.

Os fungos liquenizados estudados pela grande maioria dos trabalhos são os seguintes: *Rusavskia elegans* (Link) S.Y. Kondr. & Kärnefelt (15 artigos), *Chlorangium gyrosum* (Sohrabi, Sipman, V. John & V. J. Rico) S.Y. Kondr (11 artigos), *Buellia frigida* Darb. (9 artigos), *Rhizocarpon geographicum* (L.) DC. (7 artigos), de acordo com a tabela 1. Tais espécies, segundo os autores, foram escolhidas por possuírem características extremófilas, ou seja, sobrevivem em biomas e ambientes ou biomas extremos, por exemplo, temperaturas muito elevadas ou extremamente baixas e também escassez de umidade entre outros. O fungo liquenizado *Rusavskia elegans* tem como característica colonizar montanhas em regiões polares (De Vera *et. al.*, 2002). *Chlorangium gyrosum* muitas vezes foi coletada de desertos e áreas áridas da Espanha e *Buellia frigida* em habitats marítimos e continentais da Antártica (Backhaus *et. al.*, 2015). *Rhizocarpon geographicum* na maioria das vezes foi encontrado em granito em uma área com o clima continental, onde as condições apresentam variações de temperatura (De La Torre *et. al.*, 2010). Como não foram encontrados trabalhos e pesquisas de astrobiologia com fungos liquenizados no Brasil, os 65 artigos estudados não citaram fungos liquenizados que podem ser encontrados no Brasil, de acordo com a tabela 1. Podemos imaginar que fungos liquenizados que sobrevivem em biomas extremamente secos e com altas temperaturas, como por exemplo, na Caatinga e alguns locais do cerrado, além de analisar diversos outros fungos liquenizados, que se encontram em acervos e entre outros. Esses fungos liquenizados brasileiros possivelmente poderiam ser sujeitos aos experimentos realizados nos projetos de astrobiologia. Onde eles seriam testados em dessecação intensa, altas intensidades de raios UV entre outros experimentos.

**Tabela 1.** Tabela com as espécies de fungos liquenizados utilizados para experimentos nos 65 artigos, a procedência das amostras são os locais onde o material do estudo foi coletado, as referências são do artigo revisado. Na coluna da procedência das amostras e referências algumas espécies foram usadas em diversos artigos, então foram organizadas por 1, 2, 3 e assim por diante.

<b>Espécies estudadas</b>	<b>Procedência das amostras</b>	<b>Referências</b>
<i>Acarospora gwynnii</i> C.W. Dodge & E.D. Rudolph	Antártica	Andreev <i>et. al.</i> 2020
<i>Acarospora rugulosa</i> Körb.	Noruega e Suécia	Krajanová 2023
<i>Acarospora</i> sp.	Local não identificado <sup>1, 2</sup>	(1) Jagadeesh <i>et. al.</i> 2020; (2) O'Malley-James <i>et. al.</i> 2019
<i>Acarospora strigata</i> (Nyl.) Jatta	Estados Unidos	Sokoloff <i>et. al.</i> 2016
<i>Amandinea petermannii</i> (Hue) Matzer, H. Mayrhofer & Scheid.	Antártica	Andreev <i>et. al.</i> 2020
<i>Aspicilia fruticulosa</i> (Eversm.) Flagey	Espanha	Raggio <i>et. al.</i> 2011
<i>Bryoria fremontii</i> (Tuck.) Brodo & D. Hawksw	Estados Unidos	Spribille <i>et. al.</i> 2016
<i>Bryoria tortuosa</i> (G. Merr.) Brodo & D. Hawksw	Estados Unidos	Spribille <i>et. al.</i> 2016
<i>Buellia frigida</i> Darb.	Antártica <sup>1, 2, 3, 4, 5 7, 7, 8, 9</sup>	(1) Andreev <i>et. al.</i> 2020; (2) Backhaus <i>et. al.</i> 2014; (3) Backhaus <i>et. al.</i> 2019; (4) De Vera <i>et. al.</i> 2019; (5) Jänchen <i>et. al.</i> 2015; (6) Meeßen <i>et. al.</i> 2014; (7) Meeßen <i>et. al.</i> 2013a; (8) Meeßen <i>et. al.</i> 2013b; (9) Meeßen <i>et. al.</i> 2015
<i>Caloplaca citrina</i> (Hoffm.) Th. Fr.	Antártica	Andreev <i>et. al.</i> 2020
<i>Caloplaca saxicola</i> (Hoffm.) Nordin	Antártica	Edwards <i>et. al.</i> 2004

<i>Candelariella flava</i> (C.W. Dodge & G.E. Baker) Castello & Nimis	Antártica	Andreev <i>et. al.</i> 2020
<i>Chlorangium gyrosum</i> Sohrabi, Sipman, V. John & V.J. Rico	Espanha <sup>1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11</sup>	(1) Backhaus <i>et. al.</i> 2014; (2) Böttger <i>et. al.</i> 2014; (3) De La Torre <i>et. al.</i> 2017 (4) De Vera <i>et. al.</i> 2019; (5) Jänchen <i>et. al.</i> 2015; (6) Meeßen <i>et. al.</i> 2017; (7) Meeßen <i>et. al.</i> 2014; (8) Meeßen <i>et. al.</i> 2013a; (9) Meeßen <i>et. al.</i> 2013b; (10) Noetzel <i>et. al.</i> 2020; (11) Sánchez <i>et. al.</i> 2013
<i>Circinaria fruticulosa</i> (Eversm.) Sohrabi	Espanha	De La Torre <i>et. al.</i> 2010
<i>Diploschistes diacapsis</i> (Ach.) Lumbsch	Espanha	Miralles <i>et. al.</i> 2012
<i>Diploschistes muscorum</i> (Scop.) R. Sant.	França	Krajanová 2023
<i>Gyalolechia bracteata</i> (Hoffm.) A. Massal.	Suécia <sup>1,2</sup>	(1) De Vera <i>et. al.</i> 2004; (2) De Vera <i>et. al.</i> 2003
<i>Heteropladidium acarosporoides</i> (Zahlbr.) Breuss	Estados Unidos	Sokoloff <i>et. al.</i> 2016
<i>Heteropladidium compactum</i> (A. Massal.) Gueidan & Cl. Roux	Estados Unidos	Sokoloff <i>et. al.</i> 2016
<i>Hydropunctaria maura</i> (Wahlenb.) C. Keller, Gueidan & Thüs	Litoral da Europa	Grube <i>et. al.</i> 2005
<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl.	Suécia	Fontaneto <i>et. al.</i> 2012
<i>Lecidea andersonii</i> Filson	Antártica	Andreev <i>et. al.</i> 2020
<i>Lecidea inops</i> Th. Fr	Suécia, Reino Unido, França, Rússia	Krajanová 2023
<i>Lecidea</i> sp.	Chile	Archer <i>et. al.</i> 2017

<i>Lepra corallina</i> (L.) Hafellner	Reino Unido	Krajanová 2023
<i>Lepraria crassissima</i> (Hue) Lettau	Espanha	Miralles <i>et. al.</i> 2012
<i>Parmelia saxatilis</i> (L.) Ach.	Suécia	Fontaneto <i>et. al.</i> 2012
<i>Pleopsidium chlorophanum</i> (Wahlenb.) Zopf	Antártica <sup>1, 2, 3, 4</sup>	(1) De Vera <i>et. al.</i> 2014; (2) Edwards <i>et. al.</i> 2004; (3) Meeßen <i>et. al.</i> 2013 A; (4) Meeßen <i>et. al.</i> 2013b
<i>Pleurosticta acetabulum</i> (Neck.) Elix & Lumbsch	Grécia	Parasyri <i>et. al.</i> 2018
<i>Polyozosia expectans</i> (Darb.) S.Y. Kondr., Lőkös & Farkas	Antártica	Andreev <i>et. al.</i> 2020
<i>Rhizocarpon geographicum</i> (L.) DC.	Espanha <sup>1, 3, 4, 5, 6, 7;</sup> Mediterrâneo <sup>2</sup>	(1) De La Torre <i>et. al.</i> 2002; (2) De La Torre <i>et. al.</i> 2004; (3) De La Torre <i>et. al.</i> 2010; (4) Meeßen <i>et. al.</i> 2013a; (5) Meeßen <i>et. al.</i> 2013b; (6) Sánchez <i>et. al.</i> 2013; (7) Sancho <i>et. al.</i> 2007
<i>Rusavskia elegans</i> (Link) S.Y. Kondr. & Kärnefelt	Antártica <sup>1;</sup> ; Suíça <sup>2, 3, 4, 7, 8, 9,</sup> <sup>11, 12, 13;</sup> Mediterrâneo <sup>5;</sup> Espanha <sup>6, 14;</sup> Itália <sup>10;</sup> África do Sul <sup>15</sup>	(1) Andreev <i>et. al.</i> 2020; (2) Brandt <i>et. al.</i> 2015; (3) Brandt <i>et. al.</i> 2017; (4) Brandt <i>et. al.</i> 2016; (5) De La Torre <i>et. al.</i> 2004; De La Torre <i>et. al.</i> 2010; (6) De La Torre <i>et. al.</i> 2017; (7) De Vera <i>et. al.</i> 2004; (8) De Vera <i>et. al.</i> 2003; (9) De Vera <i>et. al.</i> 2010; (10) Horneck <i>et. al.</i> 2008; (11) Jänchen <i>et. al.</i> 2015; (12) Meeßen <i>et. al.</i> 2013a; (13) Meeßen <i>et. al.</i> 2013b; (14) Sancho <i>et. al.</i> 2007; (15) Stöffler <i>et. al.</i> 2007
<i>Squamarina lentigera</i> (Weber) Poelt	Espanha	Miralles <i>et. al.</i> 2016
<i>Stellarangia</i> spp.	Namíbia	Hinchliffe <i>et. al.</i> 2017
<i>Usnea</i> sp.	Roménia	Ciobanu <i>et. al.</i> 2015

<i>Xanthoparmelia</i> spp.	Namíbia	Hinchliffe <i>et. al.</i> 2017
<i>Xanthoria parietina</i> (L.) Th. Fr.	Roménia <sup>1</sup> ; Suécia <sup>2, 3</sup> ; Itália <sup>4, 5, 6</sup>	(1) Ciobanu <i>et. al.</i> 2014; (2) De Vera <i>et. al.</i> 2004; (3) Fontaneto <i>et. al.</i> 2012; (4) Lorenz <i>et. al.</i> 2024; (5) Lorenz <i>et. al.</i> 2022; (6) Lorenz <i>et. al.</i> 2023
Líquens não identificados	Espanha	McGuire <i>et. al.</i> 2014
Líquens não identificados	Coréia	Kihm <i>et. al.</i> 2023
Líquens não identificados	Chile	Azua-Bustos <i>et. al.</i> 2013

## 6 Conclusão

Desde 1979 Kuhn e seus colaboradores já estavam cogitando ideias de pesquisas com líquens na astrobiologia (Kuhn et. al., 1979). Entretanto, este trabalho se propôs a recuperar trabalhos somente a partir de 2001 a 2024, e foram encontrados 65 artigos de astrobiologia que realizaram experimentos com fungos liquenizados. Os artigos deste trabalho foram recuperados no Web of Science - Coleção Principal (Clarivate Analytics / Thomson Reuters) e usando os dados no software Biblioshiny.

Os resultados encontrados revelaram que a partir de 2012 houve um crescimento nas publicações de pesquisas de fungos liquenizados na astrobiologia (fig.1) desde então os países que tiveram o foco em se aprofundar e investir nessa área foram a Alemanha, Espanha e os Estados Unidos como podemos ver na figura quatro. O grupo que se destacou com publicações e estudos envolvendo análises de dessecação, simulação do espaço testando a sobrevivência dos líquens, usando raios gama e espectroscopia Raman, foram os pesquisadores Annette Brandt (Alemanha), Joachim Meeßen (Alemanha), Sieglinde Ott (Alemanha), Jean-Pierre de Vera (Alemanha), Rosa de La Torre (Espanha), Theresa Backhaus (Alemanha), Leopoldo G. Sancho (Espanha), Gerda Horneck (Alemanha). Além disso, podemos observar que esses autores publicavam em conjunto e também faziam citações, isso é mostrado claramente nas figuras (8, 10 e 12). Os líquens mais estudados em diversos artigos foram: *Rusavskia elegans* (Link) S.Y. Kondr. & Kärnefelt 15 artigos, *Chlorangium gyrosum* (Sohrabi, Sipman, V. John & V. J. Rico) S.Y. Kondr 11 artigos, *Buellia frigida* Darb., 9 artigos, *Rhizocarpon geographicum* (L.) DC. 7 artigos, de acordo com a tabela 1. A justificativa dos autores nas escolhas das espécies de fungos liquenizados era que eles possuíam características extremófilas, deste modo os ambientes que eles encontravam os espécimes vinham de ambientes e biomas considerados hostis esta era a justificativa dos autores para a utilização dos fungos liquenizados citados anteriormente. A maior parte dos testes consistia em realizar a dessecação intensa do líquen, ou seja, retirar toda a água, e analisar se o fotobionte do líquen ainda realizava fotossíntese, deste modo eles determinavam se o fungo liquenizado apresentava características para sobreviver em Marte. Já outros experimentos consistiam em expor o material à UVC em combinação com dessecação e temperaturas abaixo de zero.

A partir da ferramenta de pesquisa do Web of Science - Coleção Principal (Clarivate Analytics/ Thomson Reuters) não foram encontrados artigos de autores brasileiros pesquisando líquens na astrobiologia, assim como podemos visualizar no mapa mundial

(fig. 11), que o Brasil não está presente nas pesquisas de fungos liquenizados na astrobiologia, além de não terem sido relatados fungos liquenizados coletados no Brasil, de acordo com a tabela 1.

O Brasil carece de astrobiólogos com o interesse de pesquisar fungos liquenizados, devido às pesquisas deste tema no Brasil ainda estarem se consolidando, visto que somente a partir de 2006 o Brasil começou a realizar workshops e fundar núcleos de pesquisas e sociedades de astrobiologia brasileiras. É de suma importância o Brasil participar de pesquisas com fungos liquenizados na área da astrobiologia, pois temos uma grande diversidade de fungos liquenizados que poderia ser testada em experimentos de dessecação intensa, altas intensidades de raios UV entre outros. Além de possuímos biomas onde os fungos liquenizados crescem em ambientes extremamente estressantes, por exemplo, o cerrado e a caatinga. Deste modo podemos realizar análises com os fungos liquenizados brasileiros a fim de analisar se esses líquens poderiam sobreviver em condições marcianas ou em ambientes extremos e hostis.

## 7 Referências bibliográficas

Aria M, Cuccurullo C. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics* 2017;11(4):959-975; doi: 10.1016/j.joi.2017.08.007

Armstrong RA. The Lichen Symbiosis: Lichen "Extremophiles" and Survival on Mars. *Journal of Astrobiology and Space Science Reviews* 2019;1:378-399.

Backhaus T, De La Torre R, Lyhme K, *et al.* Desiccation and low temperature attenuate the effect of UVC254 nm in the photobiont of the astrobiologically relevant lichens *Circinaria gyrosa* and *Buellia frigida*. *International Journal of Astrobiology* 2014;14(3):479-488; doi: 10.1017/S1473550414000470.

Blumberg BS, The Nasa astrobiology institute: early history and organization. *Astrobiology* 2003; 3 (3):463-70. doi: 10.1089/153110703322610573.

Ciobanu DA, Roszkowska M, Kaczmarek L. Two new tardigrade species from Romania (Eutardigrada: Milnesiidae, Macrobiotidae), with some remarks on secondary sex characters in *Milnesium dornensis* sp nov. *Zootaxa* 2015; 3941(4):542-564; doi: 10.11646/zootaxa.3941.4.4.

Chefer C, Oliveira AL. Astrobiologia no contexto do ensino de ciências no Brasil: cosmovisões de pesquisadores e professores da área. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências* 2022;24:1-19; doi: 10.1590/1983-21172022240125.

De La Torre R, Sancho LG, Horneck G, *et al.* Survival of lichens and bacteria exposed to outer space conditions—results of the Lithopanspermia experiments. *Icarus* 2010;208(2):735-748;doi: 10.1016/j.icarus.2010.03.010.

De Vera JP, Horneck G, Rettberg P, *et al.* The potential of the lichen symbiosis to cope with extreme conditions of outer space—I. Influence of UV radiation and space vacuum on the vitality of lichen symbiosis and germination capacity. *International Journal of Astrobiology* 2003;1(4):285-293; doi: 10.1017/S1473550403001216.

De Vera JP, Möhlmann D, Butina F, *et al.* Survival Potential and Photosynthetic Activity of Lichens Under Mars-Like Conditions: A Laboratory Study. *Astrobiology* 2010;10(2)215-227; doi: 10.1089/ast.2009.0362.

De Vera JP, Rettberg P, Ott S. Life at the Limits: Capacities of Isolated and Cultured Lichen Symbionts to Resist Extreme Environmental Stresses. *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 2008;38:457-468; doi: 10.1007/s11084-008-9140-7.

Galante D, Silva EP, Rodrigues F, *et al.* *Astrobiologia: uma ciência emergente*. Tikinet Edição Ltda: São Paulo, SP; 2016.

Hájek J, Barták M, Hazdrová J, *et al.* Sensitivity of photosynthetic processes to freezing temperature in extremophilic lichens evaluated by linear cooling and chlorophyll fluorescence. *Elsevier* 2016;73(3):329-334; doi: 10.1016/j.cryobiol.2016.10.002.

Horneck G, Stöffler D, Ott S, *et al.* Microbial Rock Inhabitants Survive Hypervelocity Impacts on Mars-Like Host Planets: First Phase of Lithopanspermia Experimentally Tested. *Astrobiology* 2008;8(1):17-44; doi: 10.1089/ast.2007.0134.

Kuhn WR, Rogers SR, Macelroy RD. The response of selected terrestrial organisms to the Martian environment: A modeling study. *Icarus* 1979;37(1):336--346; doi: 10.1016/0019-1035(79)90139-8.

Macias-Chapula CA. O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional. *Ciência da informação* 1998;27(2):134-140; doi: 10.1590/S0100-19651998000200005.

Marcelli MP. Fungos Liquenizados. In: *Biologia de liquens* (Xavier Filho L, Legaz ME, Cordoba CV, Pereira EC. eds.). Âmbito Cultural Edições Ltda.: Rio de Janeiro, 2006: pp. 23-74.

Pereira FA. *Introdução à astrobiologia*. José Olympio Editora: São Paulo, SP; 1958.

Quillfeldt JA. Astrobiologia: água e vida no sistema solar e além. *Caderno Brasileiro De Ensino De Física* 2010;27:685–697; doi: 10.5007/2175-7941.2010v27nespp685

Rodrigues F, Galante D, Paulino-Lima IG, *et al.* Astrobiology in Brazil: early history and perspectives. *International Journal of Astrobiology* 2012;11(4):189-202; doi: 10.1017/S1473550412000250.

Silva CL, Sgarbossa M, Grzybovski D, *et al.* *Manual prático para estudos bibliométricos com o uso do Biblioshiny*. Passo Fundo: EDIUPF: Rio Grande do Sul, RS; 2022.

SPIELMANN AA, MARCELLI MP. *Fungos liquenizados (liquens)*. Instituto de Botânica: São Paulo, SP; 2006.

*A formatação das citações e referências bibliográficas seguiu as regras de formatação da revista Astrobiology (<https://home.liebertpub.com/publications/astrobiology/99/for-authors>).*

## **ANEXO**

**Link das referências dos 65 artigos utilizados na análise bibliométrica:**

[https://drive.google.com/drive/folders/1wXoxfpSema1O9Hka4W1F4gLOsR3dsAxq?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1wXoxfpSema1O9Hka4W1F4gLOsR3dsAxq?usp=drive_link)