

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**GABRIELI GONÇALVES DE ARAUJO LORENCINI**

**RELEVÂNCIA DA BIOLOGIA MOLECULAR - qPCR PARA O CONTROLE DE  
QUALIDADE EM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAIS E  
INOCULANTES VEGETAIS: ABORDAGEM CIENCIOMÉTRICA**

**DOIS VIZINHOS**

**2025**

**GABRIELI GONÇALVES DE ARAUJO LORENCINI**

**RELEVÂNCIA DA BIOLOGIA MOLECULAR - qPCR PARA O CONTROLE DE  
QUALIDADE EM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAIS E  
INOCULANTES VEGETAIS: ABORDAGEM CIENCIOMÉTRICA**

Relevance of Molecular Biology – qPCR for quality control in plant growth-promoting  
bacteria and plant inoculants: A scientometric approach

Trabalho de conclusão de curso de especialização  
apresentada como requisito para obtenção do título de  
Especialista em Biologia Molecular – Habilitação em  
Biotecnologia da Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Betty Cristiane Kuhn

Coorientadora: Flavia Regina Oliveira De Barros

**DOIS VIZINHOS**

**2025**



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**GABRIELI GONÇALVES DE ARAUJO LORENCINI**

**RELEVÂNCIA DA BIOLOGIA MOLECULAR - qPCR PARA O CONTROLE DE  
QUALIDADE EM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAIS E  
INOCULANTES VEGETAIS: ABORDAGEM CIENCIOMÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Especialista em Biologia Molecular – Habilitação em  
Biotecnologia da Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 07 Abril de 2025

---

Betty Cristiane Kuhn

Doutora em Genética e Melhoramento pela Universidade Estadual de Maringá, 2015  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Brasil.

---

Juliana Morini Küpper Cardoso

Doutora em Genética e Biologia Molecular pela Universidade Estadual de Campinas, 2013  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Brasil.

---

Francisco Menino Destefanis Vitola

Doutor em Processos Biotecnológicos pela Universidade Federal do Paraná, 2014  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Brasil.

**DOIS VIZINHOS**

**2025**

Dedico este trabalho à minha família, e especialmente ao meu marido pelos momentos de ausência e pelo apoio constante.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha orientadora Profa. Dra. Betty Cristiane Kuhn, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória, juntamente com a minha coorientadora Profa. Dra. Flavia Regina Oliveira De Barros.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Por fim, agradeço ao Laboratório Multiusuário de Análises Biológicas e Biologia Molecular por ter disponibilizado os recursos e o suporte necessários que tornaram possível a realização desta pesquisa.

## RESUMO

A microbiota do solo possui uma grande importância na manutenção da sua saúde e fertilidade, além de contribuírem para o crescimento e desenvolvimento saudável das plantas. Os inoculantes vegetais possuem as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), que podem ser utilizadas para suprir a carência de certos aspectos do solo, como disponibilidade de nitrogênio e fósforo além de auxiliarem na produção de fitormônios, e dessa forma melhorarem na produtividade reduzindo o uso de fertilizantes químicos. A utilização da biologia molecular, principalmente com técnicas como a Reação em Cadeia da Polimerase Quantitativa (qPCR) trazem vantagens na avaliação e controle de qualidade desses produtos, pois são mais rápidos e específicos do que as técnicas tradicionais utilizadas para garantir a qualidade do inoculante. Portanto, o trabalho traz uma análise cienciométrica sobre a utilização da técnica qPCR em análises de BPCP e inoculantes vegetais, buscando mapear os impactos e padrões das publicações desses temas em âmbito mundial. Utilizou-se o Web of Science (Wos) para selecionar os artigos científicos, e o CienteSpace para formular gráficos correspondentes aos padrões encontrados. Identificou-se 44 artigos após filtragem no Wos, que mostram que a qPCR é eficaz para quantificar os microrganismos específicos, e para diferenciação de espécies benéficas de contaminantes. Além disso a ciencimetria mostrou um destaque para China, Brasil e Estados Unidos nos estudos realizados, indicando também um aumento do interesse global no tema. Portanto, a crescente busca por meios eficazes de otimizar a produção vegetal juntamente com a qPCR que é uma ferramenta valiosa para avaliação de inoculantes, justificam os avanços nas pesquisas realizadas nos últimos anos. O estudo traz a relevância das publicações nos dias atuais, e pode ser atualizado com o passar dos anos para manter atual os parâmetros relacionados à biologia molecular e inoculantes.

Palavras-chave: Ciencimetria; qPCR; BPCP; Inóculos vegetais.

## ABSTRACT

The soil microbiota plays a crucial role in maintaining soil health and fertility, as well as contributing to the healthy growth and development of plants. Plant inoculants contain Plant growth-promoting bacteria (PGPB), which can be used to address certain soil deficiencies, such as nitrogen and phosphate availability, and assist in the production of phytohormones, thereby improving productivity and reducing the use of chemical fertilizers. The use of molecular biology, particularly techniques like Quantitative Polymerase Chain Reaction (qPCR), offers advantages in the evaluation and quality control of these products, as they are faster and more specific than traditional methods used to ensure inoculant quality. Therefore, this work presents a scientometric analysis of the use of qPCR in the analysis of GPB and plant inoculants, aiming to map the impact and patterns of publications on these topics worldwide. The Web of Science (WoS) was used to select scientific articles, and CiteSpace was employed to create graphs corresponding to the patterns found. After filtering in WoS, 44 articles were identified, showing that qPCR is effective for quantifying specific microorganisms and differentiating beneficial species from contaminants. Additionally, the scientometric analysis highlighted the prominence of China, Brazil, and the United States in the studies conducted, indicating a growing global interest in the topic. Therefore, the increasing search for effective means to optimize plant production, along with qPCR as a valuable tool for inoculant evaluation, justifies the advancements in research conducted in recent years. The study underscores the relevance of current publications and can be updated over time to keep parameters related to molecular biology and inoculants up to date.

Keywords: Scientometrics; qPCR; PGPB; Plant inoculants.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma PRISMA, ilustrando o processo de seleção dos dados para realização da análise cienciométrica. ....	20
Figura 2 - Gráfico de relação entre o número de publicações e citações no decorrer dos anos. ....	25
Figura 3 - Revistas com maior número de publicações na listagem marcada. Em x o nome da revista e em y o número de artigos publicados ....	26
Figura 4 - Clusters formados por países. ....	27
Figura 5 - Gráfico de número de publicações (y) e países (x). ....	28
Figura 6 - Gráfico de porcentagens de publicações por País ....	28
Figura 7 - Países com o maior número de publicações baseado no cálculo da centralidade ....	29
Figura 8 - Países com maior número de citações, com destaque para o Burst representado pelo círculo vermelho no nó do Brasil. ....	30
Figura 9 - Cluster de palavras chave por temas ....	31

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BPC	Bactérias Promotoras De Crescimento
BPCP	Bactérias Promotoras De Crescimento De Plantas
qPCR	Reação em cadeia da polimerase quantitativa
Wos	Web Of Science
PMA	Propidium Monoazide
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
RNA	Ácido ribonucleico
RNA-seq	Sequenciamento de RNA
AIA	Ácido Indolacético
RT-qPCR	Reação de Cadeia Polimerase de transcrição reversa quantitativa
SOS	Salt Overly Sensitive
SCAR	Sequence Characterized Amplified Regions
ANPII	Associação Nacional Dos Produtores E Importadores De Inoculantes

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1</b>	<b>Contextualização .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Inoculantes vegetais .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Biologia Molecular.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3</b>	<b>Análise Cienciométrica .....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1</b>	<b>Impacto das publicações.....</b>	<b>19</b>
<b>4.2</b>	<b>Relação das citações com os artigos.....</b>	<b>24</b>
<b>4.3</b>	<b>Relação dos países com os artigos.....</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>32</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>33</b>
	<b>ANEXO A - Lei n. 9.610, de 19 de fevereiro de 1998.....</b>	<b>39</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

O solo é um ambiente bastante diverso e dinâmico, por isso ele é essencial para que aconteça a manutenção de ecossistemas e sistemas agrícolas (Fierer, 2017; Bardgett; Van Der Putten, 2014). Um dos pontos que auxiliam nessa manutenção é a presença de microrganismos que possuem uma grande importância para manter a saúde e fertilidade do solo, pois, eles modificam as características e assim acabam influenciando positivamente na produtividade agrícola (Richardson; Simpson, 2011; Kuzyakov; Xu, 2013). Além disso, os microrganismos têm a capacidade de reduzir a prevalência de doenças, o que promove um ambiente mais saudável e propício para o crescimento de plantas (Mendes *et al.*, 2013; Berendsen *et al.*, 2012).

Com o intuito de manter o solo saudável e fértil aumentou-se a necessidade de manter práticas agrícolas sustentáveis. O uso de inoculantes cumpre essas demandas e tem se tornado de grande importância para melhorar a eficiência dos sistemas agrícolas e conseqüentemente reduzir a utilização de produtos químicos no solo (Bashan; De-Bashan, 2010).

Os inoculantes são produtos que contêm altas concentrações de microrganismos benéficos, as bactérias promotoras de crescimento (BPC), que auxiliam na melhora da nutrição, da saúde vegetal e do solo (Hungria; Mendes, 2015). Além disso, eles podem minimizar os impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana, visto que reduzem a utilização de insumos químicos (Moreira; Siqueira, 2006).

A eficiência dos inoculantes pode variar, pois depende da qualidade e eficácia dos microrganismos que estão presentes nas formulações, por isso se torna essencial a realização do controle de qualidade para garantir a eficácia deles (Carvalho; Hungria; Miura, 2009). Existem alguns métodos tradicionais utilizados para fazer a contagem microbiana, mas os mesmos apresentam limitações de tempo e precisão (Carvalho; Hungria; Miura, 2009). Para auxiliar nessas limitações, podem ser utilizadas técnicas moleculares, entre elas existe a reação em cadeia da polimerase quantitativa (qPCR), que realiza a quantificação precisa e rápida dos microrganismos presentes nos inoculantes (Elsas *et al.*, 1998). A qPCR tem diversos benefícios, como

a capacidade de detectar e quantificar de forma específica os microrganismos de interesse, mesmo que esses estejam em baixas concentrações (Brankatschk *et al.*, 2012; Fierer *et al.*, 2005).

Com o intuito de realizar um estudo quantitativo da produção científica, o trabalho de Zupic e Čater (2014) mostra que a cienciometria é uma métrica utilizada como uma abordagem quantitativa na avaliação das publicações existentes nos bancos de dados atuais. Ela analisa a estrutura e o desenvolvimento de campos científicos, formando mapas das relações entre os assuntos e os artigos, e assim torna-se uma abordagem valiosa para complementar revisões de literatura (Zupic; Čater 2014).

Visto a grande importância que a qPCR traz para o setor agrícola e biotecnológico, este estudo trará uma revisão cienciométrica para mapear as tendências científicas e assim poder avaliar o impacto das publicações relacionadas a utilização dessa técnica em inoculantes de plantas e bactérias promotoras de crescimento que abordam o uso da qPCR. Além de detectar quais são os padrões de publicação e qual é o impacto científico relacionado à sua aplicação em inóculos vegetais.

## **1.2 Objetivos**

Realizar uma revisão cienciométrica da bibliografia existente na plataforma *Web Of Science* (Wos) sobre a técnica qPCR utilizada em bactérias promotoras de crescimento e inóculos de plantas.

- Relatar quais são as vantagens da utilização de qPCR em análises de bactérias promotoras de crescimento.
- Identificar quais são os padrões de publicação, o impacto científico e tendências presentes nas publicações relacionadas tanto ao uso do qPCR quanto a bactérias promotoras de crescimento e inóculos vegetais, para assim visualizar qual a relevância desses artigos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Inoculantes vegetais

O solo é um ambiente constituído por uma biologia rica e diversa, pois é habitado por uma ampla gama de microrganismos que atuam em conjunto e possuem a capacidade de modificar as características do solo (Fierer, 2017; Bardgett; Van Der Putten, 2014). Essas modificações incluem a disponibilidade de nutrientes, o que promove o aumento da produtividade e também a melhoria da eficiência dos sistemas agrícolas (Richardson; Simpson, 2011; Kuzyakov; Xu, 2013), além de atuarem na redução de doenças no solo (Mendes Et Al., 2013; Berendsen *et al.*, 2012). Para auxiliar na garantia da saúde do solo, é essencial adotar práticas como a rotação de culturas, a aplicação de esterco e o uso de inoculantes (University Of Georgia Extension, 2013; Lupwayi *et al.*, 2011; Diacono; Montemurro, 2010).

A região do solo que é localizada próxima às raízes é o local onde se concentram os microrganismos que vão interagir diretamente com a planta, essa região é conhecida como rizosfera (Hiltner, 1904). A rizosfera é importante para o crescimento das plantas, já que a microbiota interage diretamente com as raízes e influencia no crescimento vegetal (Turkovskaya; Golubev, 2020; Bais *et al.*, 2006). A composição da microbiota pode ser afetada por vários fatores, como o pH, a diversidade vegetal e as características do solo (Sanon *et al.*, 2009; Berg; Smalla, 2009).

Os inoculantes são produtos orgânicos que possuem uma concentração de microrganismos conhecida, como bactérias ou fungos, que tem a capacidade de trazer benefícios desejados para às plantas (Bashan; De-Bashan, 2010). Eles atuam estimulando tanto o desenvolvimento vegetal, quanto fazendo a otimização da absorção de nutrientes e aumentando a produtividade das plantas no campo (Bashan; De-Bashan, 2010). Além disso, ao melhorar a absorção de nutrientes realizadas pelas plantas, os inoculantes diminuem a necessidade de utilização de agrotóxicos e fertilizantes artificiais, que podem gerar efeitos prejudiciais à saúde humana, ao solo e ao ecossistema (Moreira; Siqueira, 2006; Hoflich; Glante, 1991).

Existem alguns microrganismos conhecidos como BPC e eles atuam no aumento da fertilidade do solo, ajudando as plantas a se desenvolverem e assim aumentar e melhorar a produtividade agrícola (Hungria; Mendes, 2015). Isso acontece por conta da atuação em processos essenciais para as plantas como a fixação de

nitrogênio e a disponibilidade de fosfatos, que tornam esses nutrientes mais acessíveis para as plantas (Hungria; Mendes, 2015), essas bactérias podem também ser utilizadas como biofertilizantes e biopesticidas (Al-Tammara; Khalifa, 2022).

Presentes na interação da planta com o ambiente, os fitormônios, conhecidos como hormônios vegetais, desempenham um papel no auxílio às plantas, quando essas estão em condições de estresse abiótico (Khan *et al.*, 2020; Vejan *et al.*, 2016). Eles atuam como mensageiros e regulam a forma que as plantas interagem com o ambiente e como isso influencia no seu desenvolvimento (Khan *et al.*, 2020; Vejan *et al.*, 2016). Os fitormônios podem ser produzidos pelas plantas ou por BPCP, e irão atuar no desenvolvimento das plantas, pois estimulam o crescimento das raízes, a divisão celular, além de aumentar a absorção de nutrientes do solo (Ahmed; Hasnain, 2010; Goswami *et al.*, 2013).

Entre os microrganismos mais estudados para a produção de inoculantes estão os fungos micorrízicos, que ajudam na absorção de nutrientes, em especial o fósforo, por meio de relações com as raízes das plantas (Mendes *et al.*, 2013). Também se destacam as bactérias promotoras de crescimento, como as fixadoras de nitrogênio, representadas pelos gêneros *Azospirillum*, *Rhizobium* e *Azotobacter*, que transformam o nitrogênio atmosférico em formas que as plantas possam absorver (Turkovskaya; Golubev, 2020).

Outro grupo importante é o das bactérias solubilizadoras de nutrientes, como *Pseudomonas* e *Bacillus*, que liberam fosfatos e outros elementos na rizosfera, tornando-os acessíveis para as plantas (Glick, 2012). Além disso, bactérias dos gêneros *Enterobacter* e *Serratia*, solubilizam fosfatos e ainda produzem fitormônios e outros compostos que estimulam o crescimento vegetal (Glick, 2012).

O mercado atual oferece uma variedade de inoculantes, que podem ter em sua formulação um único microrganismo ou múltiplas espécies, cada tipo de inoculante apresenta benefícios específicos, que variam conforme o objetivo do produtor, sendo considerado a cultura e as características do solo onde serão utilizados (Vejan *et al.*, 2016; Bashan *et al.*, 2014). As turfas são um tipo de inoculante formado por matéria orgânica decomposta e livre de hormônios e metais pesados (Enríquez *et al.*, 1993; Bailey *et al.*, 2008; Britannica, 2023). A turfa é amplamente utilizada como fertilizante orgânico, contribuindo para a melhoria da estrutura do solo e o aumento da retenção de água (Kiehl, 1985; Caron *et al.*, 2015). Já inoculantes líquidos, são de aplicação mais simples e têm absorção rápida pelas plantas,

enquanto os inoculantes granulares tem maior estabilidade em solos com condições adversas (Florencio, *et al.* 2022).

Para garantir a eficácia desses inoculantes é importante e necessário realizar avaliações da qualidade dos inóculos, para verificar se existe a presença de contaminantes e qual a concentração das células do microrganismo em questão, essas devem estar dentro da garantia dada pelo fornecedor, para isso são utilizados alguns métodos como o espalhamento e o gotejamento em culturas sólidas (Carvalho; Hungria; Miura, 2009; Ferreira; Nogueira; Hungria, 2024).

Nesses métodos, as amostras passam por diluição seriada e posterior incubação permitindo assim, realizar a contagem de unidades formadoras de colônias nas placas, além disso, utiliza-se o método do número mais provável, no qual plantas são inoculadas com diluições em diferentes concentrações para verificar, qual a capacidade de inoculação do produto (Carvalho; Hungria; Miura, 2009; Ferreira; Nogueira; Hungria, 2024), todas as etapas dos métodos levam tempo e dependem de trabalho manual para quantificar o resultado.

## **2.2 Biologia Molecular**

A biologia avançou muitos nos últimos anos com o início das pesquisas na área da biologia molecular, que inicio-se em 1930, mas apenas em 1950 obteve dispersão no campo acadêmico, devido ao trabalho integrado de geneticistas e outros profissionais que visavam compreender a estrutura do gene e qual a função do mesmo (Lindley; Tabery, 2005). Ela é uma área diretamente relacionada ao estudo de estruturas e funções de DNA, RNA, proteínas e como as interações entre elas afetam as atividades do organismo (Lindley; Tabery, 2005; Thakur *et al.*, 2008).

As abordagens moleculares evoluíram consideravelmente e hoje permitem analisar as comunidades microbianas e compreender melhor a sua composição e atividades (Wilmes; Bond, 2009; Zoetendal *et al.*, 2008). Uma das técnicas amplamente estudada é a PCR, que amplifica de forma exponencial uma região específica do DNA, permitindo a realização de diagnósticos, pesquisas, melhoramento genético e auxiliando na detecção de microrganismos (Nolan *et al.*, 2006; Postollec, 2011). O mesmo princípio da PCR é aplicado na qPCR, essa, é mais eficiente por conta da utilização de sondas fluorescentes, que permitem acompanhar o resultado da amplificação enquanto ela ocorre, a técnica permite também quantificar a quantidade de DNA ou RNA da amostra (Nolan *et al.*, 2006; Bustin *et al.*, 2009).

Em comparação com métodos tradicionais utilizados na avaliação dos inoculantes e pesquisas com BPCP, a qPCR oferece resultados mais rápidos e precisos (Arora *et al.*, 2020; Stets *et al.*, 2015; Urrea-Valencia *et al.*, 2021) o que é essencial para a produção em larga escala de inoculantes de alta qualidade. Essa técnica em geral também permite a detecção simultânea de múltiplos microrganismos, aumentando a eficiência do controle de qualidade (Srinivas *et al.* 2013; Kakar *et al.* 2014), pois os inoculantes podem ser verificados para patógenos e contaminantes. Dessa forma, a qPCR vem ganhando espaço como uma ferramenta para a garantia da qualidade e a otimização de processos na indústria (Soares, 2019).

As técnicas moleculares, como a qPCR, podem ser utilizadas para quantificar microrganismos específicos, oferecendo maior precisão e rapidez nas análises (Elsas, *et al.* 1998). A qPCR tem um papel fundamental no controle de qualidade, por ter alta sensibilidade e especificidade, além de permitir de forma rápida detectar e quantificar o DNA de microrganismos, mesmo quando estão em baixas concentrações, garantindo a eficácia dos inoculantes (Elsas, *et al.* 1998; Pedrolo *et al.* 2024). Além disso, a qPCR é capaz de assegurar que o microrganismo esteja dentro dos níveis recomendados para o desempenho ideal (Brankatschk *et al.*, 2012; Fierer *et al.*, 2005).

A técnica de qPCR pode apresentar alguns desafios quando utilizada para o controle de qualidade, um dos principais é a inibição da reação por substâncias presentes na amostra que será analisada, como compostos orgânicos ou metais pesados, o que pode levar a resultados elevados sobre a quantidade de DNA ou ainda resultar em falsos negativos (Kuffel; Gray; Daeid, 2021; Opel; Chung; Mccord, 2010). Para resolver esse problema, a purificação do DNA ou a diluição da amostra pode ser realizada, porque dessa forma ocorre a redução da interferência dos inibidores e melhora os resultados (Oliveira *et al.*, 2007).

Outro desafio é que a qPCR naturalmente não diferencia células viáveis de não viáveis, detectando DNA de microrganismos mortos ou danificados, o que pode no momento da amplificação superestimar a quantidade de células, sendo as únicas que serão de fato efetivas no inoculante (Pedrolo *et al.* 2024; Cunha; Pedrolo; Arisi, 2024). Uma solução para isso é o uso de corantes específicos, como o *Propidium Monoazide* (PMA), pois o PMA se intercala com o DNA das células que estão com a membrana rompida, pois quando é exposto à luz, forma ligações com o material genético, tornando-o indisponível para a realização da qPCR, e dessa forma é

possível quantificar apenas as células que estão integras, e desconsiderar as células não viáveis (Pedrolo *et al.* 2024; Cunha; Pedrolo; Arisi, 2024).

### 2.3 Análise Cienciométrica

O trabalho realizado por Zupic e Čater (2014) aborda a cienciométrica que é o estudo quantitativo da produção científica. A cienciométrica, é uma métrica utilizada como uma abordagem quantitativa na avaliação da literatura científica. Ela mapeia como os assuntos e os artigos estão relacionados, com a intenção de criar mapas e gráficos para entender o campo de pesquisa, identificando redes de colaboração e temas emergentes. A cienciométrica se torna uma abordagem valiosa para complementar revisões de literatura, pois tem uma visão quantitativa e sistemática da estrutura e funcionamento de campos científicos (Zupic; Čater 2014).

Para a realização da cienciométrica é necessário utilizar um banco de dados para realizar a busca pelos artigos e trabalhos relacionados ao tema da pesquisa, os mais comuns são o *Wos*, *Scopus* e *PubMed*, que irão fornecer os dados relevantes de cada artigo para poder ser feito o levantamento dos dados e o mapeamento de citações e métricas dos trabalhos (Mongeon; Paul-Hus, 2016). Para realizar a análise cienciométrica é necessário utilizar ao menos uma ferramenta para visualização e identificação dos padrões entre as publicações, as mais utilizadas são o *CiteSpace*, *VOSviewer* e *Bibliometrix* (Chen, 2006; Van Eck; Waltman, 2010; Aria; Cuccurullo, 2017;).

As métricas para avaliação da produção científica incluem o índice H, que combina o número de publicações e citações com o impacto do pesquisador (Hirsch, 2005), a centralidade, que irá identificar a importância de um nó em redes de colaboração e citações, quanto mais alta a centralidade mais influente o é aquele agrupamento (Chen, 2006). Quando uma palavra-chave ocorre com bastante frequência surge conexões entre as áreas de conhecimento, pois as ferramentas conseguem agrupá-las para estruturar os campos de pesquisa (Van Eck & Waltman, 2010).

Devido à grande importância dos inoculantes e a crescente presença da qPCR nas análises de qualidade, o presente estudo visa obter dados e mapear o impacto e as tendências científicas relacionadas ao uso do qPCR para análises de

inóculos de plantas, utilizando a cienciometria. O trabalho irá evidenciar a relevância dessa técnica e de suas vantagens para métodos de quantificação e detecção.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A base de dados selecionada para a busca bibliográfica foi a *Web of Science* (Wos). Os termos de busca para a seleção de artigos foram filtrados da seguinte forma: “Coleção principal da *Web of Science*”; Edições “All”; utilizando o operador booleano “AND”, com as palavras-chave “plant” AND “qPCR OR real time PCR OR q-RT-QPCR” AND “growth promoting bacteria” todos marcados como “All Fields” em todos os anos de publicação. A seleção dos estudos foi realizada com uma triagem inicial para remover estudos irrelevantes com base nos títulos e resumos.

A pesquisa foi realizada em 14 de fevereiro de 2025, e resultou em 293 artigos. As bibliografias escolhidas abordavam a utilização de qPCR ou outras técnicas moleculares em bactérias promotoras de crescimento, ou inóculos de plantas. Foram definidos como critérios de exclusão os estudos não relacionados à análise de inóculos ou bactérias promotoras de crescimento, plantas, biologia molecular ou qPCR. Os artigos sem acesso ao texto completo também foram excluídos da análise. Após refinamento, os artigos que não se encaixava na proposta foram removidos e resultaram em 44 artigos selecionados por atenderem aos parâmetros desejados.

Em seguida, os dados foram exportados para o *CiteSpace* versão 6.3 R1 (64-bit) *Basic* 10, onde foram identificadas as tendências para posterior análise de dados e elaboração dos elementos gráficos. Para que o programa *CiteSpace* obtivesse os dados necessários para as análises, duas pastas foram criadas, uma intitulada “Dados” onde estava um arquivo exportado do Wos contendo as informações de todos os artigos da listagem, e uma denominada “Projetos” onde cada gráfico e dado fornecido pelo *CiteSpace* era salvo.

Os parâmetros foram selecionados para elaboração de nós, sendo considerado autor, instituição, país ou revistas, os dados resultantes foram selecionados por padrões presentes nos 44 artigos selecionados. O período selecionado para análises dos resultados foi de janeiro de 2009 até 2025, pois esses foram os anos nos quais existiam publicações referentes ao tema.

## **4 RESULTADOS**

### **4.1 Impacto das publicações**

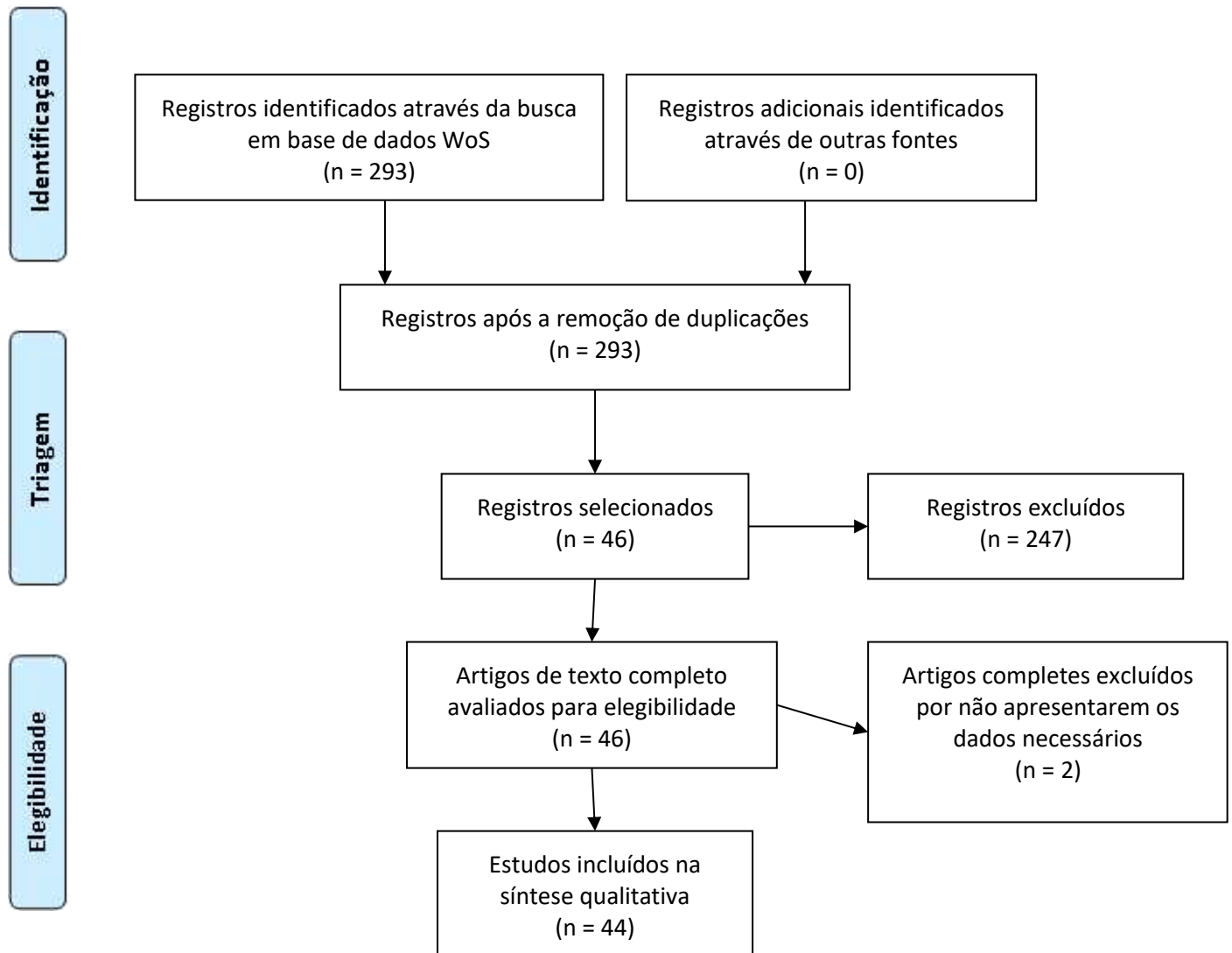
A coleta de dados foi realizada utilizando a coleção principal da Wos, que foi escolhida devido à sua grande abrangência de publicações provenientes de diversas bases de dados. O período temporal abrangeu todos os anos disponíveis, de 1945 a 2025, porém somente a partir do ano de 2009 foram encontradas publicações sobre o tema.

Após a análise inicial, e aplicação dos critérios de exclusão, a pesquisa identificou um total de 293 registros. Posteriormente foram excluídos artigos que não abordavam os temas de qPCR e bactérias promotoras do crescimento vegetal, o que resultou em 46 registros. Desses, após leitura de título e análise de resumos, foram selecionados 44 artigos da Wos que atenderam aos objetivos da cienciometria, conforme ilustrado no Fluxograma PRISMA (Figura 1).

Figura 1 - Fluxograma PRISMA, ilustrando o processo de seleção dos dados para realização da análise cienciométrica.



### PRISMA 2009 Flow Diagram



Fonte: Autoria própria (2025)

Com o intuito de avaliar a importância e a influência dos trabalhos acadêmicos, utilizou-se o índice H, que é uma métrica utilizada para ver a relevância de publicações. Essa medida é utilizada para analisar a produtividade e o impacto de pesquisadores, pois ela considera tanto o número de publicações quanto a quantidade de citações que essas publicações receberam. Nesse estudo, o índice H foi de 18, o que significa que 18 artigos dos 44 analisados receberam, cada um, pelo menos 18 citações. Esse resultado mostra a relevância e o impacto das publicações.

No total os 44 artigos tiveram 1060 citações. Entre eles o mais citado foi o “*Pseudomonas putida attunes morphophysiological, biochemical and molecular responses in Cicer arietinum L. during drought stress and recovery*” com 262 citações. Segue a lista dos dez artigos mais citados entre a lista selecionada (Quadro 1).

**Quadro 1 - Dez artigos com mais citações relacionados a qPCR e BPCP**

Titulo	Autores e Ano	Citações
1.Pseudomonas putida attunes morphophysiological, biochemical and molecular responses in Cicer arietinum L. during drought stress and recovery	TIWARI et al., 2016	262
2.Strain-specific quantification of root colonization by plant growth promoting rhizobacteria Bacillus firmus I-1582 and Bacillus amyloliquefaciens QST713 in non-sterile soil and field conditions	MENDIS et al., 2018	84
3.Quantification of Pseudomonas fluorescens strains F113, CHA0 and Pf153 in the rhizosphere of maize by strain-specific real-time PCR unaffected by the variability of DNA extraction efficiency	VON FELTEN; DÉFAGO; MAURHOFER, 2010	54
4.Effectsof growth-promoting rhizobacteria on maize growth and rhizosphere microbial community under conservation tillage in Northeast China	CHEN et al., 2021	52
5.RNA-seq transcriptional profiling of Herbaspirillum seropedicae colonizing wheat (Triticum aestivum) roots	PANKIEVICZ et al., 2016	48
6.Identification and validation of reference genes to study the gene expression in Gluconacetobacter diazotrophicus grown in different carbon sources using RT-qPCR	GALISA et al., 2012	46
7.Halotolerant Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Induce Salinity Tolerance in Wheat by Enhancing the Expression of SOS Genes	HAROON et al., 2022	43
8.Tracing of Two Pseudomonas Strains in the Root and Rhizoplane of Maize, as Related to Their Plant Growth-Promoting Effect in Contrasting Soils	MOSIMANN et al., 2017	42
9.Quantification of Azospirillum brasilense FP2 Bacteria in Wheat Roots by Strain-Specific Quantitative PCR	STETS et al., 2015	40
10.Assessment of SCAR markers to design real-time PCR primers for rhizosphere quantification of Azospirillum brasilense phytostimulatory inoculants of maize	COUILLEROT et al., 2010	37

Fonte: Autoria própria (2025)

Entre os dez artigos mais citados conseguimos agrupá-los com base nos tópicos com os quais trabalham em seus textos. Tiwari *et al.* Aborda sobre qual o papel de *Pseudomonas putida* no crescimento e também na redução de estresse hídrico em plantas de grão-de-bico (*Cicer arietinum*), eles buscaram entender como ocorrem as respostas fisiológicas, bioquímicas e moleculares. E conseguiram demonstrar que a *P. putida* eleva a tolerância a seca modulando a expressão de genes relacionados ao estresse, aumenta a biomassa e a clorofila além de melhorar a eficiência fotossintética das plantas. Os autores utilizaram técnicas moleculares como o qPCR para entender como as BPCP podem regular seus genes respondendo ao estresse.

O trabalho realizado por Von Felten, Défago e Maurhofer (2010) também estudou o gênero *Pseudomonas*, mas a espécie *P. fluorescens*, eles utilizaram a qPCR para quantificar as três cepas F113, CHA0 e Pf153 da *P. fluorescens* na rizosfera do milho, com *primers* desenvolvidos por eles para cada cepa, encontraram desafios relacionados a extração de DNA da amostra e propuseram uma forma de corrigir essa questão, utilizando um padrão interno, ou seja, uma quantia conhecida de DNA extraído juntamente com a amostra para que posteriormente seja realizado a correção das variações caso seja necessário, e para que assim os resultados fiquem mais confiáveis. Além disso, observaram que as cepas de *Pseudomonas* são eficientes para a colonização das raízes do milho, promovendo o crescimento vegetal.

Outro artigo que tratou de *Pseudomonas*, foi o estudo de Mosimann *et al.* (2017) eles utilizaram técnicas de biologia molecular para encontrar e quantificar duas cepas de BPCP a *P. fluorescens* CHA0 e *P. fluorescens* Pf153 na rizosfera do milho. E notaram que o impacto delas no crescimento das plantas foi eficiente mesmo em diferentes tipos de solo, pois essas bactérias colonizaram as raízes, auxiliando na comunidade microbiana do solo, além de promover o crescimento do milho.

Mendis *et al.* (2018) utilizaram outras espécies de BPCP, eles trabalharam com *Bacillus firmus* e *Bacillus amyloliquefaciens*, utilizando a qPCR para quantificar a colonização das BPCP em raízes, em condições de solo não estéril e campo. O estudo desenvolveu *primers* específicos para cada cepa, permitindo a detecção e quantificação precisa dessas bactérias mesmo na presença de outros microrganismos do solo. O trabalho mostra a importância da qPCR como uma ferramenta para monitorar a eficiência de inoculantes microbianos em condições reais de campo.

Já Chen *et al.* (2021) investigaram de forma mais geral quais são os efeitos de bactérias promotoras de crescimento vegetal no crescimento do milho e na comunidade microbiana da rizosfera, o estudo foi realizado em plantio direto na China. Eles utilizaram técnicas moleculares, incluindo qPCR, para quantificar a abundância de microrganismos específicos na rizosfera, tanto os nativos do solo quanto os introduzidos por eles e avaliaram quais os impactos na comunidade microbiana local. Notaram que as BPCP promoveram o crescimento do milho, aumentaram a biomassa vegetal e ainda melhoraram a absorção de nutrientes pelas plantas.

Pankievicz *et al.* (2016) trabalharam com a BPCP *Herbaspirillum seropedicae* nas raízes de trigo, utilizando técnicas de biologia molecular, como o sequenciamento de RNA (RNA-seq), para verificar a expressão gênica durante a colonização. Eles

notaram que a *H. seropedicae* colonizou de forma eficiente as raízes do trigo, e ainda ativaram genes bacterianos relacionados ao metabolismo, fixação de nitrogênio e produção de fitormônios, como o ácido indolacético (AIA), que estimula o crescimento das raízes. Além disso, notaram que a BPCP realizou mudanças na expressão gênica da planta, pois ativou alguns genes associados à defesa, ao metabolismo de nutrientes e ao desenvolvimento radicular.

Galisa *et al.* (2012) avaliaram a importância da *Gluconacetobacter diazotrophicus* na fixação de nitrogênio e a capacidade de estimular o crescimento vegetal, utilizando a biologia molecular em seu estudo. Eles identificaram e validaram os genes de referência para análises de expressão gênica usando a técnica de RT-qPCR (PCR de transcriptase reversa). Eles conseguiram compreender como a BPCP consegue ajustar o metabolismo e a resposta fisiológica quando em estado de mudança ambiental, principalmente relacionada a disponibilidade de carbono. A escolha de genes de referência estáveis foi crucial para normalizar os dados de expressão gênica, garantindo que os resultados sejam precisos e confiáveis, especialmente quando a bactéria é cultivada em diferentes fontes de carbono.

O artigo de Haroon *et al.* (2022) trabalhou com as bactérias promotoras de crescimento vegetal halotolerantes, que induzem tolerância à salinidade em trigo, eles focaram nos mecanismos moleculares envolvidos. Utilizaram técnicas como RT-qPCR para mostrar que essas bactérias aumentam a expressão dos genes SOS (*Salt Overly Sensitive*), que regulam o equilíbrio iônico e protegem as células vegetais sob estresse salino. Obtiveram o resultado de que a colonização das raízes pelas BPCPs ativou vias de sinalização molecular que melhoram a resistência ao sal, também promoveu o crescimento do trigo, aumentando a biomassa e a saúde das plantas.

Trabalhando com *Azospirillum brasilense* FP2, Stets *et al.* (2015) utilizaram qPCR, para quantificar a presença de BPCP em raízes de trigo. Eles desenvolveram *primers* específicos para a cepa FP2, para detectar e quantificar essa bactéria mesmo na presença de outros microrganismos do solo. A pesquisa demonstrou que o qPCR é uma ferramenta eficaz para monitorar a colonização de raízes por BPCP, pois fornece dados confiáveis sobre a interação entre a bactéria e a planta.

Também trabalhando com *Azospirillum brasilense*, Couillerot *et al.* (2010) utilizaram técnicas de biologia molecular e desenvolveram marcadores SCAR (*Sequence Characterized Amplified Regions*) e qPCR, para quantificar a bactéria promotora de crescimento vegetal na rizosfera do milho. Eles desenharam *primers*

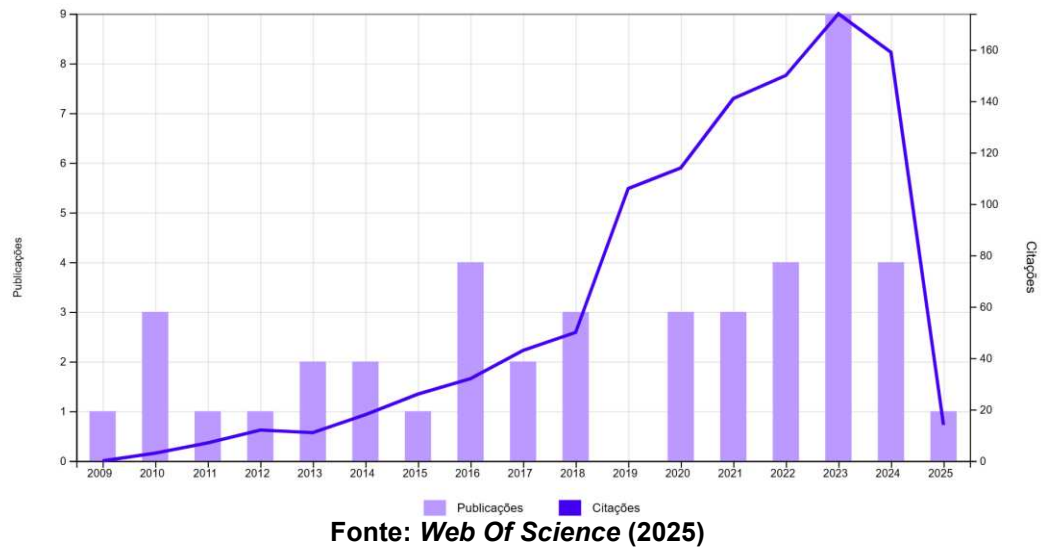
específicos para *A. brasilense*, o que permitiu a detecção e quantificação precisa dessa bactéria em ambientes como a rizosfera. Notaram, então, que o *A. brasilense* promove o crescimento do milho, atua na fixação de nitrogênio e na produção de fitormônios.

A junção de todos esses principais artigos mostra a importância da biologia molecular nos estudos e controle de BPCPs, pois essas possuem estratégias de interesse para o meio agrícola. Os trabalhos servem como uma base essencial para compreender como as bactérias respondem a condições do solo e promovem o desenvolvimento das plantas juntamente com a microbiota do solo. Nota-se, também, que a técnica de qPCR permite quantificar diversas espécies de BPCP tanto na rizosfera quanto em outros locais do solo ou raízes. Tudo isso pode ser utilizado para aprimorar o desenvolvimento de inoculantes biológicos com uma maior eficiência e rapidez, visto que a biologia molecular permite avaliar em condições reais de campo como são as respostas dos inoculantes e das BPCPs.

#### **4.2 Relação das citações com os artigos**

Analisando o progresso das publicações relacionadas a biologia molecular e a BPCP ao decorrer dos anos de 2009 a 2025 nota-se que houve uma progressão no número de publicações e, das citações com o decorrer dos anos, indicando assim um maior impacto das publicações e também da colaboração dos pesquisadores. No ano de 2016 as citações continuaram crescendo mesmo com uma constância no número de publicações, até o ano de 2023 que teve o maior número de trabalhos publicados e também foi o ano com maior número de citações, após isso houve uma pequena queda em ambos os parâmetros como observado na Figura 2.

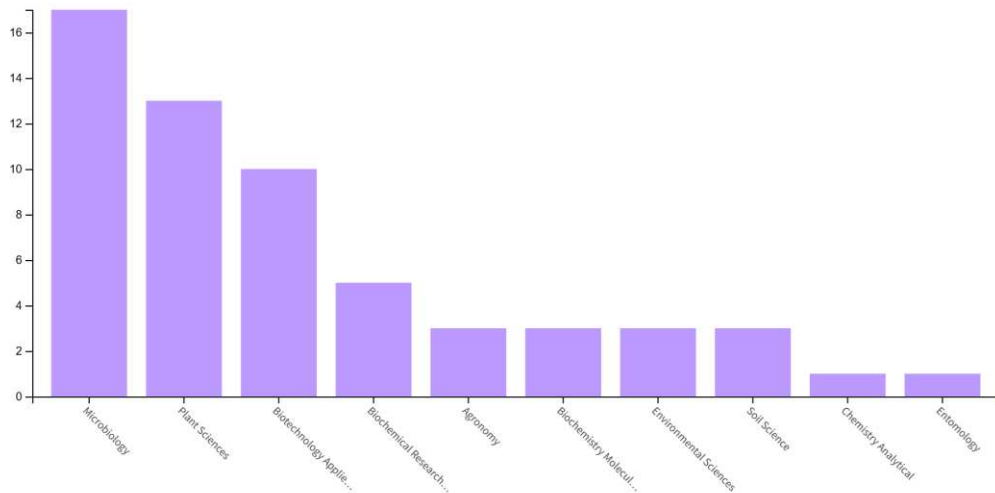
**Figura 2 - Gráfico de relação entre o número de publicações e citações no decorrer dos anos.**



Provavelmente o aumento dos estudos e citações relacionadas a BPCP está relacionada ao interesse dos pesquisadores nos benefícios que as bactérias podem proporcionar para o solo e as plantas com o intuito de utilizá-las como inoculantes. E a biologia molecular entra como uma ferramenta de grande auxílio para a eficácia e rapidez na entrega dos resultados da qualidade desses produtos. De acordo com MarketsandMarkets (2022), o mercado de inoculantes está em expansão e é para atingir um aumento de 8,1% entre 2022 até 2027.

A figura 3 mostra quais foram os dez principais locais de publicação dos artigos listados, considerando o volume de publicação em cada instituição. A revista com mais publicações ligada ao tema é a *Microbiology* com 38% das publicações, seguida pela *Plant Sciences* com 29%, e *Biotechnology Applied Microbiology* com 22%.

**Figura 3 - Revistas com maior número de publicações na listagem marcada. Em x o nome da revista e em y o número de artigos publicados**

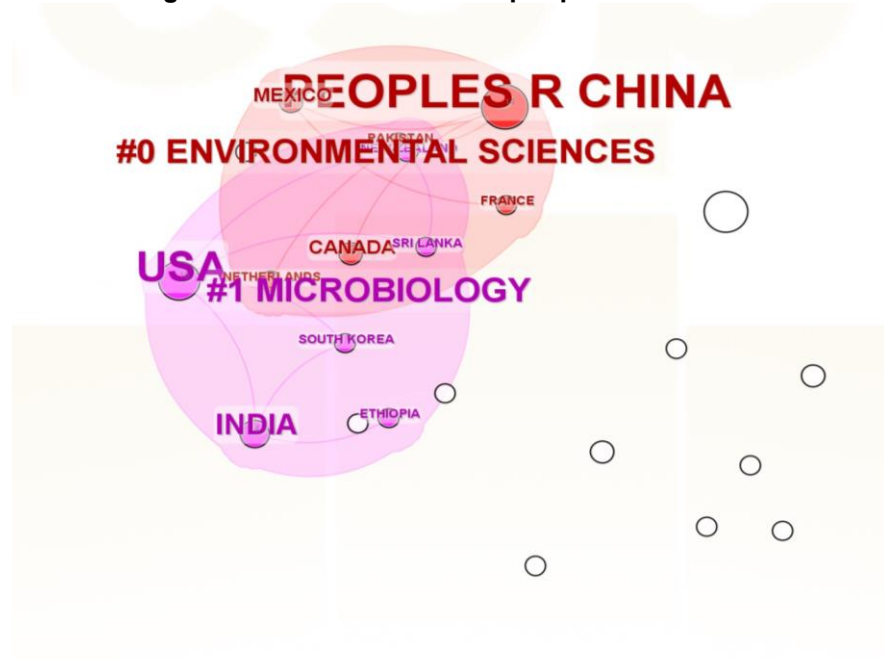


**Fonte: Web of Science 2025**

Observando a origem das publicações é possível entender os padrões presentes e a especialização de certos temas com o qual a revista está mais relacionada, assim observa-se uma certa troca de informações e dados sobre pesquisas acadêmicas. Nota-se que está ocorrendo o avanço de pesquisas com esse tema em diversas áreas como a microbiologia, agronomia, tecnologia, estudo do solo, química e até entomologia.

Uma análise realizada pelo *CiteSpace* considerou os países de origem dos artigos para formar grupos considerando qual o tema das publicações. Esses foram agrupados por serem mais proeminentes e terem mais impacto nos artigos publicados, dois *Clusters* foram apontados como relevantes, sendo a “Ciência Ambiental” o agrupamento de maior importância, onde encontram-se a China, Paquistão, França e México, indicando que esses países produziram trabalhos que tiveram impacto na área da ciência ambiental. O outro *Cluster* formado foi o “Microbiologia” que abrange os países Estados Unidos, Coréia, Índia, Etiópia e o Canadá que está entre os dois *Clusters* (Figura 4). A análise desse resultado de formação de *clusters* foi de molaridade de 0,65 e silhueta de 0,92 o que indica uma boa solução para agrupar os *clusters*, e que esse levantamento realmente possui relevância com a situação estudada.

Figura 4 - Clusters formados por países.

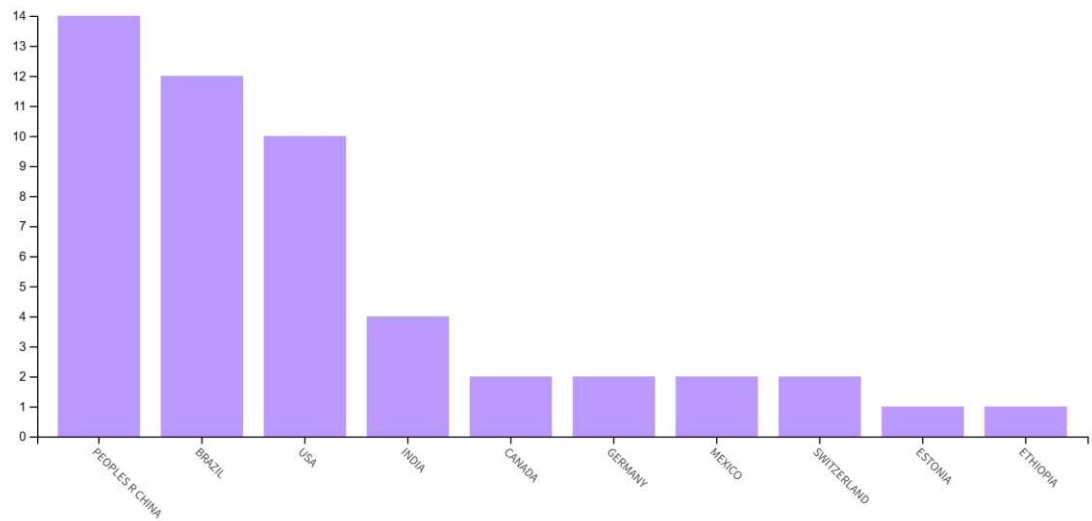


Fonte: Autoria própria. *CienceSpace* 2025

#### 4.3 Relação dos países com os artigos

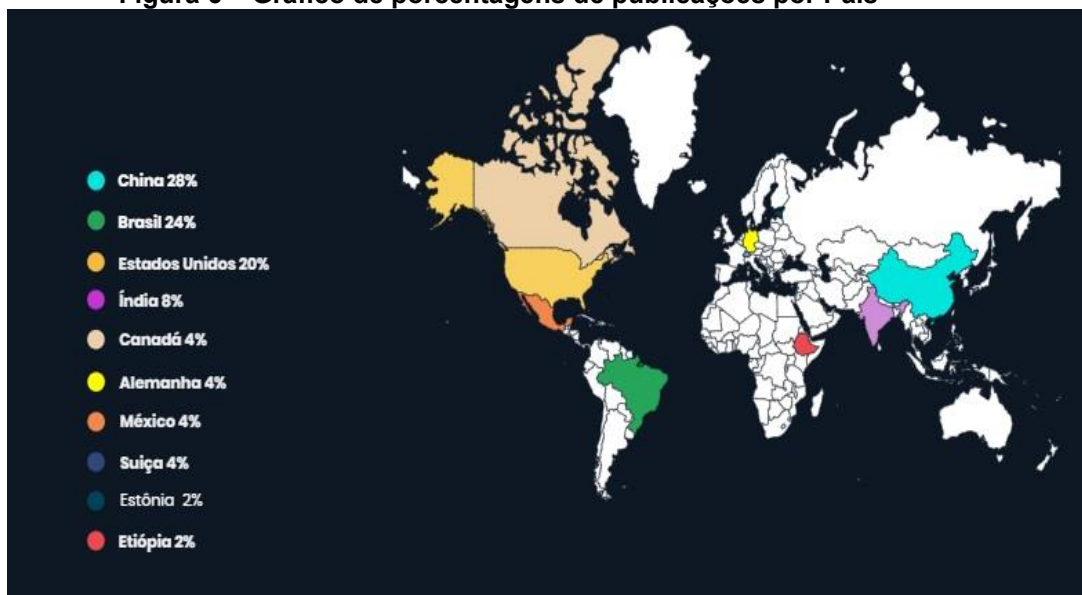
Diversos países publicaram sobre o tema, o que mais publicou foi a China (14), seguido pelo Brasil (12), os Estados Unidos (10), a Índia (4), o Canadá (2), a Alemanha (2), México (2), Suíça (2), Estônia (1) e Etiópia (1) (Figuras 5 e 6). Nota-se assim que existe um interesse global na temática de utilização de biologia molecular para controle de BPCP. O que sugere a existência de trocas de informações e pesquisas de forma internacional, e indicando também que o assunto voltado a biologia molecular em análises de BPCP é relevante em vários locais do mundo, provavelmente pela crescente utilização de inoculantes.

**Figura 5 - Gráfico de número de publicações (y) e países (x)**



Fonte: *Web of Science 2025*

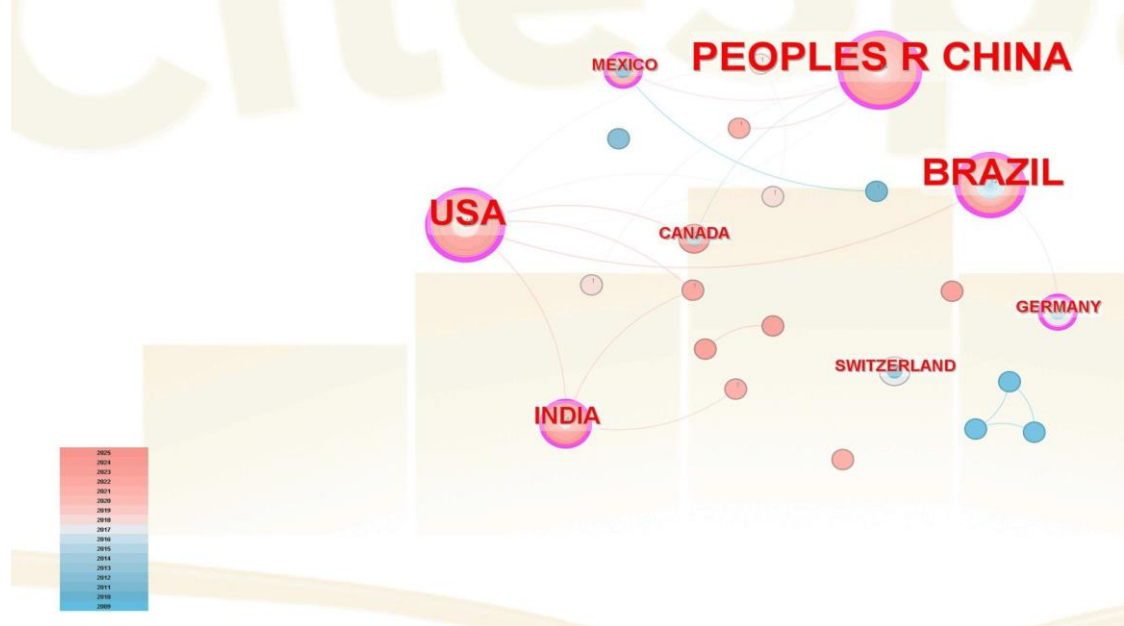
**Figura 6 – Gráfico de porcentagens de publicações por País**



Fonte: *Autoria própria 2025. Visme 2025*

Na Figura 7 observam-se os agrupamentos em nós baseados nos países com publicação relacionada ao tema. Os países com maior número de artigos encontram-se com os maiores nós, sendo a China, Estados Unidos, e Brasil. Os nós nos quais estão presentes o círculo roxo representa a centralidade de cada país, ou seja, a importância que o mesmo possui na temática estudada, o quanto os artigos produzidos são citados por outros trabalhos. E por fim, as linhas que ligam os nós entre si, representam as citações que ocorrem entre os países, os Estados Unidos e a China possuem maior número de relações internacionais como observado na figura.

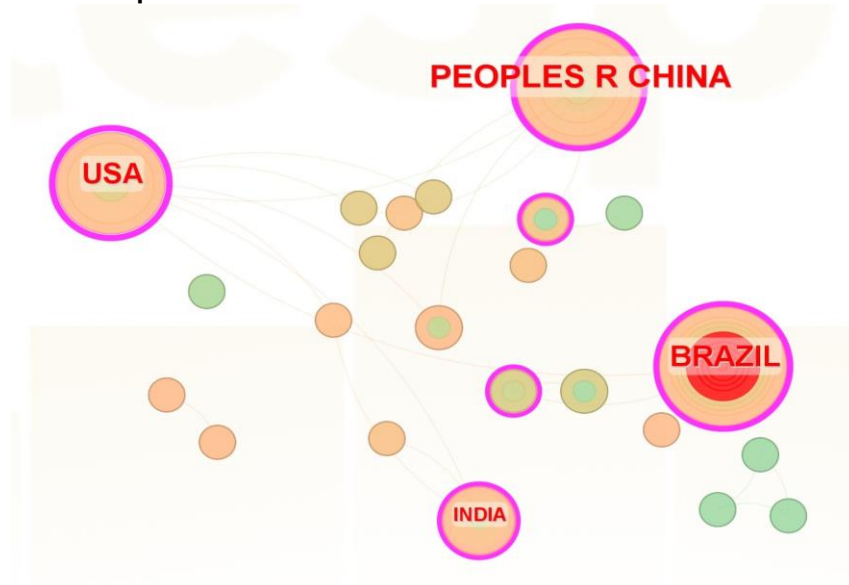
Figura 7 - Países com o maior número de publicações baseado no cálculo da centralidade.



Fonte: Autoria própria, CiteSpace 2025

O Brasil tem um impacto importante no número de publicações em 2012 e em 2016, formando assim um *Burst* de citações (Figura 8), já que foi o país com maior aumento no número de citações nos artigos relacionadas a biologia molecular e BPCP nesses anos, indicando que houve um crescimento no interesse por uso de biologia molecular em análises de BPCP, provavelmente devido à crescente demanda de inoculantes que surge no país. Segundo a Associação Nacional Dos Produtores E Importadores De Inoculantes – APII (2023) o Brasil tem um aumento anual estipulado em mais de 14% na produção de inoculantes por ano.

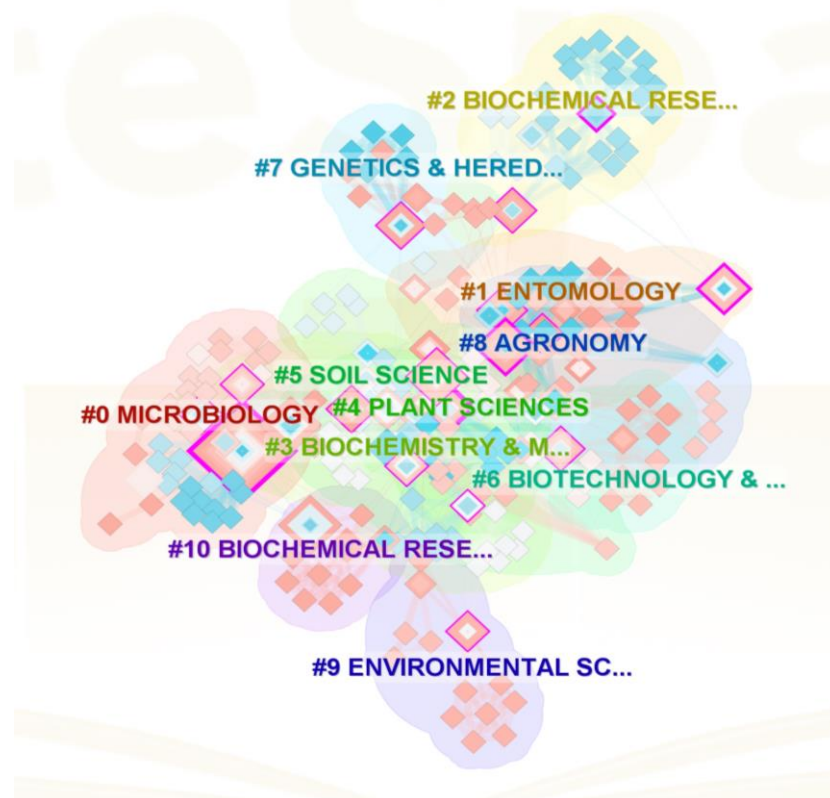
Figura 8 – Países com maior número de citações, com destaque para o *Burst* representado pelo círculo vermelho no nó do Brasil.



Fonte: Autoria própria, *CienceSpace* 2025

Na figura 9 as palavras chaves dos artigos foram aglomeradas por assunto, formando *clusters*. A separação entre diversas áreas indica a oportunidade de colaboração entre os pesquisadores. A relação de modularidade (0,7083) e silhueta (0,9125) indica uma formação de *clusters* bem definidos e bem agrupados, com uma separação clara entre eles, que indica que possuem conexão apesar de serem bem diferenciados. O assunto mais presente nas palavras-chave é o “*Microbiology*”, seguido por “*Entomology*”, “*Biochemical research methods - applied to plant & biotechnology*”, “*Biochemistry & molecular biology*”, “*Plant sciences*”, “*Soil science*”, “*Biotechnology & applied microbiology*”, “*Genetics & heredity*”, “*Agronomy*”, “*Environmental sciences*”, “*Biochemical research methods*”. O destaque para microbiologia e métodos de pesquisa bioquímica podem indicar pesquisas voltadas para aplicações práticas, e ainda tem a presença de temas como ciência do solo e ambiental, o que pode mostrar uma preocupação com questões ambientais e sustentáveis.

**Figura 9 - Cluster de palavras chave por temas.**



Fonte: Autoria própria, *CienceSpace* 2025.

A análise cientométrica realizada permitiu levantar os padrões presentes nas publicações e quais são as tendências globais, dando destaque para a importância da biologia molecular para a agricultura e inoculantes. A relevância de revistas como microbiologia e biotecnologia sugere uma aplicação prática, como o interesse em biofertilizantes.

A expansão do mercado de inoculantes pode levantar um interesse cada vez maior na utilização do qPCR, devido aos diversos benefícios dessa ferramenta, contribuindo para otimização da garantia desses produtos. Principalmente quando consideradas as condições de campo, que são variáveis e com características adversas, e a qPCR pode ser utilizada para esses monitoramentos. Nesse contexto, o estudo pode ter importância para pesquisas futuras, servindo como base para novos estudos ou fornecendo dados para levantamento de dados.

## 5 CONCLUSÃO

A utilização de BPCP e inóculos tem grande importância para a saúde do solo e agronomia. Nesse contexto, o uso de técnicas moleculares como a qPCR é extremamente importante para conquistar resultados precisos e rápidos no controle de qualidade desses produtos. No entanto, é necessário atentar-se a algumas questões como a quantificação de células não viáveis e falhas da extração que podem comprometer a eficiência da análise. Quando esses detalhes são observados, a qPCR mostra-se eficiente para análises desses produtos.

Apesar de vários países serem citados na análise cienciométrica, existe uma escassez de publicações em outros locais. Essa desigualdade pode estar relacionada à falta de recursos para utilização de métodos moleculares, pois esses costumam ter uma utilização limitada de inoculantes em algumas regiões, o que pode interferir na produção científica. Essa falta de pesquisas pode acarretar uma necessidade de complementar futuramente os resultados cienciométricos com as inter-relações mundiais.

A ciencimetria é valiosa para a identificação de tendências e áreas de interesse dentro do campo de estudo. Com isso, esse trabalho pode ser útil para orientar futuras pesquisas, colaborações internacionais e políticas científicas, pois a predominância de certos temas, como microbiologia e biotecnologia, pode destacar a importância de investimentos em áreas estratégicas. Além disso, a análise das relações entre as publicações de diferentes países pode auxiliar na identificação dos trabalhos mais citados, facilitando assim a realização de revisões sistemáticas e direcionando pesquisas futuras.

Por fim, este estudo contribui para o avanço do conhecimento sobre a aplicação de técnicas moleculares no controle de qualidade de BPCP e inóculos, destacando a importância da ciencimetria para o direcionamento do conhecimento científico e a promoção de práticas agrícolas sustentáveis.

## REFERÊNCIAS

- AHMED, A.; HASNAIN, S. Auxin-producing *Bacillus* sp.: Auxin quantification and effect on the growth of *Solanum tuberosum*. **Pure and Applied Chemistry**, v. 82, n. 1, p. 313-319, 2010.
- AL-TAMMARA, Fatimah K.; KHALIFA, A. Y. Z. Plant growth promoting bacteria drive food security. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, e267257, 2022.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PRODUTORES E IMPORTADORES DE INOCULANTES (ANPII). Painel Interno ANPII Bio 2023. Disponível em: <<https://anpiibio.org.br/estatisticas/>>. Acesso em: 09 out. 2025.
- ARORA, D.; YAN, G.; BAIDOO, R. Developing a real-time PCR assay for direct detection and quantification of *Pratylenchus scribneri* in field soil. **Nematology**, v. 22, p. 733-744, 2020.
- BAETU, Tudor; PIOTROWSKA, Monika; TABERY, James. **Molecular biology**. In: ZALTA, Edward N.; NODELMAN, Uri (ed.). **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**. Spring 2024 Edition. Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/spr2024/entries/molecular-biology/>. Acesso em: 03 fev. 2025.
- BAIS, H. P.; WEIR, T. L.; PERRY, L. G.; GILROY, S.; VIVANCO, J. M. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. **Annual Review of Plant Biology**, v. 57, p. 233-266, 2006.
- BAILEY, V. L.; SMITH, J. L.; BOLTON, H. Fungal-to-bacterial ratios in soils investigated for enhanced C sequestration. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 40, n. 9, p. 2103-2112, 2008.
- BARDGETT, R. D.; VAN DER PUTTEN, W. H. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. **Nature**, v. 515, n. 7528, p. 505-511, 2014.
- BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth: A critical assessment. **Advances in Agronomy**, v. 108, p. 77-136, 2010.
- BASHAN, Y.; DE-BASHAN, LE; HERNÁNDEZ, JP. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives. **Plant and Soil**, v. 378, n. 1-2, p. 1-33, 2014.
- BERENDSEN, R. L.; PIETERSE, C. M.; BAKKER, P. A. The rhizosphere microbiome and plant health. **Trends in Plant Science**, v. 17, n. 8, p. 478-486, 2012.
- BERG, G.; SMALLA, K. Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of microbial communities in the rhizosphere. **Microbiology Ecology**, v. 68, n. 1, p. 1-13, 2009.
- BRANKATSCHK, R.; BODENHAUSEN, N.; ZEYER, J.; BÜRGMANN, H. Simple absolute quantification method correcting for quantitative PCR efficiency variations

for microbial community samples. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 78, n. 12, p. 4481-4489, 2012. DOI: 10.1128/AEM.05287-11.

BRITANNICA. Peat. **Encyclopaedia Britannica**, 2023. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/peat>. Acesso em: 26 jun. 2024.

BUSTIN, S. A.; BENES, V.; GARSON, J. A.; HELLEMANS, J.; HUGGETT, J.; KUBISTA, M.; MUELLER, R.; NOLAN, T.; PFAFFL, M. W.; SHIPLEY, G. L.; VANDESOMPELE, J.; WITTEWER, C. T. The MIQE guidelines: minimum information for publication of quantitative real-time PCR experiments. **Clinical Chemistry**, v. 55, n. 4, p. 611–622, 2009.

CARON, V. C.; GRAÇAS, J. P.; CASTRO, P. R. C. **Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2015. 46 p.

CARVALHO, G. A. B.; HUNGRIA, M.; MIURA, L. M. Análise e controle da qualidade de inoculantes microbianos de interesse agrícola: bactérias fixadoras de nitrogênio. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 4., 2009, Londrina. **Resumos**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. p. 86-90.

CHEN, C. CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 57, n. 3, p. 359-377, 2006.

CHEN, C. **CiteSpace: Visualizing Patterns and Trends in Scientific Literature**. Versão 6.3.R1 (64-bit) Basic 10. Disponível em: <https://citespace.podia.com/>.

CHEN, L.; HAO, Z.; LI, K.; SHA, Y.; WANG, E.; SUI, X.; CHEN, W. Effects of growth-promoting rhizobacteria on maize growth and rhizosphere microbial community under conservation tillage in Northeast China. **Microbial Biotechnology**, v. 14, n. 2, p. 535-550, 2021.

COUILLEROT, O.; POIRIER, M. A.; PRIGENT-COMBARET, C.; MAVINGUI, P.; CABALLERO-MELLADO, J.; MOËNNE-LOCCOZ, Y. Assessment of SCAR markers to design real-time PCR primers for rhizosphere quantification of *Azospirillum brasilense* phytostimulatory inoculants of maize. **Journal of Applied Microbiology**, v. 109, n. 2, p. 528-538, 2010.

CUNHA, E. T.; PEDROLO, A. M.; ARISI, A. C. M. Thermal and salt stress effects on the survival of plant growth-promoting bacteria *Azospirillum brasilense* in inoculants for maize cultivation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2024.

DIACONO, M.; MONTEMURRO, F. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 30, n. 2, p. 401-422, 2010.

EJAN, P.; ABDULLAH, R.; KHADIRAN, T.; ISMAIL, S.; NASRULHAQ BOYCE, A. Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability—a review. **Molecules**, v. 21, n. 5, p. 573, 2016.

ELSAS, V. J. D.; DUARTE, G. F.; ROSADO, A. S.; SMALLA, K. Microbiological and molecular biological methods for monitoring microbial inoculants and their effects in

the soil environment. **Journal of Microbiological Methods**, v. 32, n. 2, p. 133-154, 1998.

ENRÍQUEZ, S.; DUARTE, C. M.; SAND-JENSEN, K. Patterns in decomposition rates among photosynthetic organisms: the importance of detritus C:N:P content. **Oecologia**, v. 94, n. 4, p. 457-471, 1993.

FERREIRA, E.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. **Manual de análises de bioinsumos para uso agrícola: inoculantes**. Brasília, DF: Embrapa, 2024. 164 p.

FIERER, N. Embracing the unknown: disentangling the complexities of the soil microbiome. **Nature Reviews Microbiology**, v. 15, n. 10, p. 579-590, 2017.

FIERER, N.; JACKSON, J. A.; VILGALYS, R.; JACKSON, R. B. Assessment of soil microbial community structure by use of taxon-specific quantitative PCR assays. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 71, n. 7, p. 4117-4120, 2005.

FLORENCIO, C.; BORTOLETTO-SANTOS, R.; FAVARO, C. P.; BRONDI, M. G.; VELLOSO, C. C.; KLAIC, R.; MATTOSO, L. H. Avanços na produção e formulação de inoculantes microbianos visando uma agricultura mais sustentável. **Química Nova**, v. 45, n. 9, p. 1133-1145, 2022.

GLICK, B. R. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. **Scientifica**, v. 2012, p. 1-15, 2012.

GOSWAMI, D.; VAGHELA, H.; PARMAR, S.; DHANDHUKIA, P.; THAKKER, J. N. Plant growth promoting potentials of *Pseudomonas* spp. strain OG isolated from marine water. **Journal of Plant Interactions**, v. 8, n. 4, p. 281-290, 2013.

HAROON, U.; KHIZAR, M.; LIAQUAT, F. ALI. M. Halotolerant plant growth-promoting rhizobacteria induce salinity tolerance in wheat by enhancing the expression of SOS genes. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 41, p. 2435-2448, 2022.

HILTNER, L. Über neuere Erfahrungen und Probleme auf dem Gebiete der Bodenbakteriologie unter besonderer Berücksichtigung der Gründüngung und Brache. **Arbeiten der Deutschen Landwirtschaftlichen Gesellschaft**, v. 98, p. 59-78, 1904.

Hirsch, J. E. An index to quantify an individual's scientific research output. **Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)**, v. 102, n. 46, 2005.

HOFLICH, G.; GLANTE, F. Inokulumanzucht und inokulation ertragswirksamer VA-Mykorrhizapilzelnoculum Production and Inoculation of Effective VA-Mycorrhizae Fungi. **Zentralblatt für Mikrobiologie**, v. 146, p. 247-252, 1991.

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C. **Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis?** In: DE BRUIJN, F. J. (Ed.). **Biological nitrogen fixation**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015. v. 2, p. 1005-1019.

KAKAR, K. U.; DUAN, Y. P.; NAWAZ, Z.; SOL, G.; ALMONEAFFY, A. A.; HASSAN, S. A.; ELSHAKH, A.; LI, B.; XIE, G. L. A novel rhizobacterium Bk7 for biological control of rice brown sheath rot caused by *Pseudomonas fuscovaginae* and its mode of action. **European Journal of Plant Pathology**, v. 138, p. 819-834, 2014.

KHAN, N.; BANO, A.; ALI, S. Crosstalk amongst phytohormones from planta and PGPR under biotic and abiotic stresses. **Plant Growth Regulation**, v. 90, n. 2, p. 189-203, 2020.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Ceres, 1985. Acesso em: 05 mar. 2025.

KUFFEL, A.; GRAY, A.; DAEID, N. N. Impact of metal ions on PCR inhibition and RT-PCR efficiency. **International Journal of Legal Medicine**, v. 135, n. 1, p. 63-72, jan. 2021.

KUZYAKOV, Y.; XU, X. Competition between roots and microorganisms for nitrogen: mechanisms and ecological relevance. **New Phytologist**, v. 198, n. 3, p. 656-669, 2013.

LUPWAYI, N. Z.; LAFOND, G. P. Soil microbial response to nitrogen fertilizer and tillage in barley and corn. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, n. 5, p. 1076-1085, 2011.

MarketsandMarkets. (2022). **Mercado de Inoculantes por Tipo (Inoculantes Agrícolas e Inoculantes de Silagem), Micróbio (Bactérias e Fúngicas), Tipo de Cultura (Cereais e Grãos, Oleaginosas e Leguminosas, Frutas e Vegetais e Culturas Forrageiras), Forma (Líquida e Seca) e Região - Previsão Global para 2027**. Disponível em: <<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/agricultural-inoculants-market-152735696.html>>. Acesso em: 20 fev. 2025.

MENDES, R.; GARBEVA, P.; RAAIJMAKERS, J. M. The rhizosphere microbiome: significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 37, n. 5, p. 634-663, 2013.

MENDIS, H. C.; THOMAS, V. P.; SCHWIENSTEK, P.; SALAMZADE, R.; CHIEN, J.-T.; WAIDYARATHNE, P.; KLOEPPER, J.; DE LA FUENTE, L. Strain-specific quantification of root colonization by plant growth promoting rhizobacteria *Bacillus firmus* I-1582 and *Bacillus amyloliquefaciens* QST713 in non-sterile soil and field conditions. **PLoS ONE**, v. 13, n. 2, 2018.

MONGEON, P; PAUL-HUS, A. The journal coverage of Web of Science and Scopus: A comparative analysis. **Scientometrics**, v. 106, n. 1, p. 213-228, 2016.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

MOSIMANN, C.; OBERHÄNSLI, T.; ZIEGLER, D.; NASSAL, D.; KANDELER, E.; BOLLER, T.; MÄDER, P.; THONAR, C. Tracing of two *Pseudomonas* strains in the root and rhizoplane of maize, as related to their plant growth-promoting effect in contrasting soils. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, p. 2150, 2017.

NOLAN, T.; HANDS, R. E.; BUSTIN, S. A. Quantification of mRNA using real-time RT-PCR. **Nature Protocols**, v. 1, p. 1559–1582, 2006.

OLIVEIRA, M. C. S.; REGITANO, L. C. A.; ROESE, A. D.; ANTHONISEN, D. G.; PATROCÍNIO, E.; PARMA, M. M.; SCAGLIUSI, S. M. M.; TIMÓTEO, W. H. B.; JARDIM, S. N. **Fundamentos teórico-práticos e protocolos de extração e de**

**amplificação de DNA por meio da técnica de reação em cadeia da polimerase.** São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007.

OPEL, K. L.; CHUNG, D.; McCORD, B. R. Um estudo de mecanismos de inibição de PCR usando PCR em tempo real. **Journal of Forensic Sciences**, v. 55, n. 1, p. 25-33, 2010.

PANKIEVICZ, V. C. S.; CAMILIOS-NETO, D.; BONATO, P.; BALSANELLI, E.; TADRA-SFEIR, M. Z.; FAORO, H.; SOUZA, E. M. RNA-seq transcriptional profiling of *Herbaspirillum seropedicae* colonizing wheat (*Triticum aestivum*) roots. **Plant Molecular Biology**, v. 90, p. 589-603, 2016.

PEDROLO, A. M.; CUNHA, E. T.; GNECCO, N.; ARISI, A. C. M. Enumeration of plant growth-promoting bacteria *Herbaspirillum seropedicae* viable cells by a propidium monoazide combined with quantitative PCR (PMA-qPCR) assay. **Microchemical Journal**, v. 197, 2024.

POSTOLLEC, F.; FALENTIN, H.; PAVAN, S.; COMBRISSE, J.; SOHIER, D. Recent advances in quantitative PCR (qPCR) applications in food microbiology. **Food Microbiology**, v. 28, n. 5, p. 848–861, 2011.

RICHARDSON, A. E.; SIMPSON, R. J. Soil microorganisms mediating phosphorus availability. **Plant Physiology**, v. 156, n. 3, p. 989-996, 2011.

SANON, A.; ANDRIANJAKA, Z. N.; PRIN, Y.; BALLY, R.; THIOULOUSE, J.; COMTE, G.; DUPONNOIS, R. Rhizosphere microbiota interferes with plant-plant interactions. **Plant and Soil**, v. 321, n. 1-2, p. 259-278, 2009.

SOARES, I. C. **Avaliação da população de duas espécies diazotróficas associativas em tecidos de braquiária e milho utilizando PCR quantitativa.** 2019. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade e Biotecnologia Aplicada) – Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019.

SRINIVAS, K. P.; SREEKANTH REDDY, M.; HEMA, M.; SREENIVASULU, P. Multiplex RT-PCR for parallel detection of three RNA viruses associated with stripe and mosaic diseases of sorghum in India. **European Journal of Plant Pathology**, v. 137, p. 211-215, 2013.

STETS, M. I.; ALQUERES, S. M. C.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O.; SCHMID, M.; HARTMANN, A.; CRUZ, L. M. Quantification of *Azospirillum brasilense* FP2 bacteria in wheat roots by strain-specific quantitative PCR. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 81, n. 19, p. 6700-6709, 2015.

THAKUR, N. L.; JAIN, R.; NATALIO, F.; HAMER, B.; THAKUR, A. N.; MÜLLER, W. E. G. Marine molecular biology: An emerging field of biological sciences. **Biotechnology Advances**, v. 26, n. 3, p. 233–245, 2008.

TIWARI, S.; LATA, C.; CHAUHAN, P. S.; NAUTIYAL, C. S. *Pseudomonas putida* attunes morphophysiological, biochemical and molecular responses in *Cicer arietinum* L. during drought stress and recovery. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 99, p. 108-117, fev. 2016.

TURKOVSKAYA, O. V.; GOLUBEV, S. N. The Collection of Rhizosphere Microorganisms: its importance for the study of associative plant-bacterium interactions. **Vavilovskii Zhurnal Genet Selektzii**, v. 24, n. 3, p. 315-324, 2020.

URREA-VALENCIA, S.; ETTO, R. M.; TAKAHASHI, W. Y.; CAIRES, E. F.; BINI, A. R.; AYUB, R. A.; STETS, M. I.; CRUZ, L. M.; GALVAO, C. W. Detection of *Azospirillum brasilense* by qPCR throughout a maize field trial. **Applied Soil Ecology**, v. 160, 2021.

UNIVERSITY OF GEORGIA EXTENSION. **Soil Inoculants**. [S. I.], 2013. Disponível em: <https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=C990&title=soil-inoculants>. Acesso em: 12 fev. 2025.

Van Eck, N. J., & Waltman, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523-538, 2010.

VISMEE. Disponível em: <https://www.visme.co/pt-br/criar-mapa/>. Acesso em: 27 fev. 2025.

VON FELTEN, A.; DÉFAGO, G.; MAURHOFER, M. Quantification of *Pseudomonas fluorescens* strains F113, CHA0 and Pf153 in the rhizosphere of maize by strain-specific real-time PCR unaffected by the variability of DNA extraction efficiency. **Journal of Microbiological Methods**, v. 81, n. 2, p. 108-115, 2010.

**WEB OF SCIENCE**. Disponível em: <https://www.webofscience.com/>. Acesso em: 14 fev. 2025.

WILMES, P.; BOND, P. L. Microbial community proteomics: elucidating the catalysts and metabolic mechanisms that drive the Earth's biogeochemical cycles. **Current Opinion in Microbiology**, v. 12, p. 310–317, 2009.

ZOETENDAL, E. G.; RAJILIĆ-STOJANOVIĆ, M.; DE VOS, W. M. High-throughput diversity and functionality analysis of the gastrointestinal tract microbiota. **Gut**, v. 57, p. 1605–1615, 2008.

**ANEXO A - Lei n. 9.610, de 19 de fevereiro de 1998**



**Presidência da República  
Casa Civil  
Subchefia para Assuntos Jurídicos**

**LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998<sup>1</sup>.**

**Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.**

**O PRESIDENTE DA REPÚBLICA** Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

Título I - Disposições Preliminares

Art. 1º Esta Lei regula os direitos autorais, entendendo-se sob esta denominação os direitos de autor e os que lhes são conexos.

Art. 2º Os estrangeiros domiciliados no exterior gozarão da proteção assegurada nos acordos, convenções e tratados em vigor no Brasil.

Parágrafo único. Aplica-se o disposto nesta Lei aos nacionais ou pessoas domiciliadas em país que assegure aos brasileiros ou pessoas domiciliadas no Brasil a reciprocidade na proteção aos direitos autorais ou equivalentes.

Art. 3º Os direitos autorais reputam-se, para os efeitos legais, bens móveis.

Art. 4º Interpretam-se restritivamente os negócios jurídicos sobre os direitos autorais.

Art. 5º Para os efeitos desta Lei, considera-se:

I - publicação - o oferecimento de obra literária, artística ou científica ao conhecimento do público, com o consentimento do autor, ou de qualquer outro titular de direito de autor, por qualquer forma ou processo;

II - transmissão ou emissão - a difusão de sons ou de sons e imagens, por meio de ondas radioelétricas; sinais de satélite; fio, cabo ou outro condutor; meios óticos ou qualquer outro processo eletromagnético;

III - retransmissão - a emissão simultânea da transmissão de uma empresa por outra;

IV - distribuição - a colocação à disposição do público do original ou cópia de obras literárias, artísticas ou científicas, interpretações ou execuções fixadas e fonogramas, mediante a venda, locação ou qualquer outra forma de transferência de propriedade ou posse;

V - comunicação ao público - ato mediante o qual a obra é colocada ao alcance do público, por qualquer meio ou procedimento e que não consista na distribuição de exemplares;

VI - reprodução - a cópia de um ou vários exemplares de uma obra literária, artística ou científica ou de um fonograma, de qualquer forma tangível, incluindo qualquer armazenamento permanente ou temporário por meios eletrônicos ou qualquer outro meio de fixação que venha a ser desenvolvido;

VII - contrafação - a reprodução não autorizada;

VIII - obra:

a) em co-autoria - quando é criada em comum, por dois ou mais autores;

b) anônima - quando não se indica o nome do autor, por sua vontade ou por ser desconhecido;

c) pseudônima - quando o autor se oculta sob nome suposto;

d) inédita - a que não haja sido objeto de publicação;

e) póstuma - a que se publique após a morte do autor;

f) originária - a criação primígena;

g) derivada - a que, constituindo criação intelectual nova, resulta da transformação de obra originária;

h) coletiva - a criada por iniciativa, organização e responsabilidade de uma pessoa física ou jurídica, que a publica sob seu nome ou marca e que é constituída pela participação de diferentes autores, cujas contribuições se fundem numa criação autônoma;

i) audiovisual - a que resulta da fixação de imagens com ou sem som, que tenha a finalidade de criar, por meio de sua reprodução, a impressão de movimento, independentemente dos processos de sua captação, do suporte usado inicial ou posteriormente para fixá-lo, bem como dos meios utilizados para sua veiculação;

IX - fonograma - toda fixação de sons de uma execução ou interpretação ou de outros sons, ou de uma representação de sons que não seja uma fixação incluída em uma obra audiovisual;

X - editor - a pessoa física ou jurídica à qual se atribui o direito exclusivo de reprodução da obra e o dever de divulgá-la, nos limites previstos no contrato de edição;

XI - produtor - a pessoa física ou jurídica que toma a iniciativa e tem a responsabilidade econômica da primeira fixação do fonograma ou da obra audiovisual, qualquer que seja a natureza do suporte utilizado;

XII - radiodifusão - a transmissão sem fio, inclusive por satélites, de sons ou imagens e sons ou das representações desses, para recepção ao público e a transmissão de sinais codificados, quando os meios de decodificação sejam oferecidos ao público pelo organismo de radiodifusão ou com seu consentimento;

XIII - artistas intérpretes ou executantes - todos os atores, cantores, músicos, bailarinos ou outras pessoas que representem um papel, cantem, recitem, declamem, interpretem ou executem em qualquer forma obras literárias ou artísticas ou expressões do folclore.

Art. 6º Não serão de domínio da União, dos Estados, do Distrito Federal ou dos Municípios as obras por eles simplesmente subvencionadas.

<sup>1</sup> Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19610.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19610.htm).