



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS

TATHIANE MENDONÇA DA SILVA

**CARBOXIMETILCELULOSE E AMIDO COMO VEÍCULO
PARA INOCULANTES MICROBIANOS**

Rio Largo

2025

TATHIANE MENDONÇA DA SILVA

**CARBOXIMETILCELULOSE E AMIDO COMO VEÍCULO
PARA INOCULANTES MICROBIANOS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
ao como parte dos requisitos necessários à
obtenção do título de Engenheira Agrônoma

Orientadora: Tania Marta Carvalho dos Santos
Coorientadora: Yamina Coentro Montaldo

Rio Largo
2025

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

S586c Silva, Tathiane Mendonça da.

Carboximetilcelulose e amido como veículo para inoculantes microbianos. / Tathiane Mendonça da Silva. – 2025.

33 f.: il.

Orientadora: Tania Marta Carvalho dos Santos

Coorientadora: Yamina Coentro Montaldo

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Graduação em Agronomia, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2025.

Inclui bibliografia

1. Bactéria solubilizadora de fosfato. 2. Mistura polimérica. 3. Veículos de. I. Título.

CDU: 631.531

Folha de Aprovação

TATHIANE MENDONÇA DA SILVA

Carboximetilcelulose e amido como veículo para inoculantes microbianos

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do curso de Agronomia da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 25 de julho de 2025.

Banca examinadora:



Documento assinado digitalmente
TANIA MARTA CARVALHO DOS SANTOS
Data: 28/07/2025 08:19:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador(a) - Prof. Dr.^a Tania Marta Carvalho dos Santos
Universidade Federal de Alagoas – UFAL



Documento assinado digitalmente
YAMINA COENTRO MONTALDO
Data: 28/07/2025 08:30:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador(a) Intern(a) – Prof. Dr.^a Yamina Coentro Montaldo
Universidade Federal de Alagoas – UFAL



Documento assinado digitalmente
JOAO MANOEL DA SILVA
Data: 28/07/2025 15:01:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador(a) Externo(a) – Prof. Dr. João Manoel da Silva
Instituto Federal de Alagoas – IFAL



Documento assinado digitalmente
ARTHUR COSTA PEREIRA SANTIAGO DE ALMEID
Data: 01/08/2025 13:24:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador(a) Externo(a) - Mestrando Arthur Costa Pereira Santiago de Almeida
Mestrando Produção Vegetal (UFAL)

Dedicatória. . .

Dedico esse trabalho primeiro a Deus que é meu porto seguro e está comigo em todos os momentos, dando sabedoria pela graça, sem ele nada seria possível na minha vida.

A todos os meus professores que sem eles ensinando, cobrando, e acolhendo colocando em situações difíceis para buscar sempre o melhor de mim.

A professora Tania Marta Carvalho dos Santos por ser tão carinhosa e acolhedora em todos os momentos e saber o que dizer em cada momento, instruir para fazer o TCC e ser sempre presente.

A professora Yamina Coentro Montaldo por sempre ajudar em todos os momentos de dúvida e sempre resolvendo qual quer problema do jeito dela único.

A minha família e amigos por estarem comigo em todos os momentos difíceis, não deixando desistir por todo apoio e ajuda obrigado.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a Deus, toda honra e glória a Ele, que sem ele nada seria possível nos momentos em que pensava em desistir, sentir aquela voz dentro de mim dizendo você consegue, tudo pela graça, obrigado Jesus.

Agradeço ao meu esposo Miquéias Borges por nunca soltar minha mão, por ser amor, cuidado e morada sempre dizer vá eu cuido de todo o resto em quanto você precisar. Aos meus filhos Marina Borges e Théo Borges minha força diária de amor e motivação de uma vida melhor, tudo por vocês. Meus pais, por tudo que fizeram e fazem por mim, sempre apoiando mesmo sem saber do que se trata, minha irmã apoia e diz você consegue Tathi, meus familiares que até de forma indireta foram apoio.

As minhas professoras Tania Marta Carvalho dos Santos, Yamina Coentro Montaldo obrigado por serem amigas e abrigo em todos os momentos, sempre acolhendo, orientando e ensinando, fazendo eu ser melhor a cada dia academicamente e pessoal, nem uma palavra é capaz de expressar minha gratidão por vocês.

Meus amigos e colegas do laboratório obrigado por toda ajuda e apoio durante essa jornada vocês, agradeço por cada momento vocês foram importantes e continuaram sendo na minha vida, por ajudar com meus filhos quando eu precisava sempre tive o apoio de vocês. Minha eterna e sincera gratidão a todos.

“E não nos cansaremos de fazer o bem, pois no tempo próprio colheremos, se não desanimarmos”. Gálatas 6:9

RESUMO

A união de micro-organismos benéficos e plantas, vem crescendo e sendo grandes fontes de estudos ao decorrer dos anos, principalmente visando a agricultura sustentável sem comprometer a qualidade ambiental. A inoculação de micro-organismos na agricultura, como tratamento do solo ou de sementes, tem demonstrado benefícios comprovados para as plantas cultivadas e também para os solos, tornando-os mais saudáveis, seguros e sustentáveis. Os inoculantes são formulações que necessitam de um transportador de qualidade que garanta a concentração de células ativas, além de tolerar variações de temperatura, umidade, aeração e tempo de armazenamento. Misturas poliméricas são usadas como veículos de inoculação. Dentro desse contexto, objetivou-se avaliar a eficiência da mistura polimérica carboximetilcelulose/amido como veículo para inoculante das estirpes de *Bacillus subtilis* e *Bacillus pumilus*. A mistura de CMC e amido foi preparada na proporção de 60/40 em base seca em água destilada, compatibilizado com óxido de magnésio (MgO) 2% transferidas para em frascos tipo *Babyfood* e esterilizada por autoclavagem a 1 atm por 20 minutos. Após esterilização, a cada frasco foi adicionado uma alíquota de 5,0 mL de suspensão bacteriana ajustada pela da Escala de McFarland, correspondente a $1,5 \times 10^8$ UFC/mL. As preparações foram conservadas em temperatura ambiente e no escuro. A sobrevivência dos micro-organismos foi avaliada aos 15, 30, 45, 60, dias após a inoculação, em triplicata no meio ágar nutriente e contagem depois de 24 h de incubação. Foram detectadas diferenças significativas na viabilidade celular com relação ao tempo de armazenamento. Verificou-se que para ambas estirpes a viabilidade se manteve até 60 dias. Verificou-se diferenças entre as duas estirpes com relação ao aumento do número de UFC, para *B. pumilus* foi observado a manutenção da concentração de células até 30 dias de armazenamento, para *B. subtilis* aos 15 dias já se verificou diferença significativa em relação ao tempo inicial. O modelo de regressão polinomial quadrático fez-se como o mais apropriado para o estudo das diferenças significativas relacionadas com a relação existente entre o número de UFC e tempo de armazenamento, para as duas estirpes. Para *B. pumilus* todos os coeficientes do modelo quadrático foram significativos, enquanto que para *B. subtilis* o quadrático não foi significativo. O coeficiente linear significativo indica que existe correlação entre a viabilidade celular, expresse pelo número de UFC e o tempo de armazenamento. A mistura polimérica manteve a viabilidade celular de 10^9 UFC mL⁻¹ por 60 dias à temperatura ambiente.

Palavras-chave: bactéria solubilizadora de fosfato, mistura polimérica, veículos de inoculação

ABSTRACT

The combination of beneficial microorganisms and plants has been growing and becoming a major source of research over the years, primarily aimed at sustainable agriculture without compromising environmental quality. Microorganism inoculation in agriculture, as a soil or seed treatment, has demonstrated proven benefits for cultivated plants and soils, making them healthier, safer, and more sustainable. Inoculants are formulations that require a high-quality carrier that guarantees the concentration of active cells and tolerates variations in temperature, humidity, aeration, and storage time. Polymeric blends have been used as inoculation vehicles. Within this context, the objective was to evaluate the efficiency of the carboxymethylcellulose/starch polymeric blend as an inoculant vehicle for *Bacillus subtilis* and *Bacillus pumilus* strains. Significant differences in cell viability were detected in relation to storage time. It was found that for both strains, viability was maintained for up to 60 days. Differences were observed between the two strains in relation to the increase in the number of CFU. For *B. pumilus*, maintenance of cell concentration was observed for up to 30 days of storage, and for *B. subtilis*, at 15 days, a significant difference was observed in relation to the initial time. The quadratic polynomial regression model was found to be the most appropriate for studying the significant differences related to the relationship between the number of CFU and storage time for the two strains. For *B. pumillus* all coefficients of the quadratic model were significant, while for *B. subtilis* the quadratic was not significant. The significant linear coefficient indicates that there is a correlation between cell viability, expressed by the number of CFU and storage time. The polymeric mixture maintained cell viability of 10^9 CFU mL^{-1} for 60 days at room temperature.

Keywords: phosphate-solubilizing bacteria, polymer mixture, inoculation vehicles

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Formas de fósforo e sua dinâmica no solo. P fósforo, Pi fósforo inorgânico, Po fósforo orgânico, Fe ferro, Fe-P fosfato de ferro, Al-P fosfato de alumínio, Ca-P fosfato de cálcio	12
Figura 2 – Estrutura monomérica do NaCMC sódico	19
Figura 3 – Legenda	19
Figura 4 – Viabilidade celular significância dos coeficientes do modelo de regressão polinomial quadrática para sobrevivência de células <i>B. pumilis</i> na formulação CMC/amido em função do tempo de armazenamento. . . .	25
Figura 5 – Viabilidade celular e significância dos coeficientes do modelo de regressão polinomial quadrática para sobrevivência de células <i>B. subtilis</i> na formulação CMC/amido em função do tempo de armazenamento. . .	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Legislação sobre fertilizantes disponível no Ministério da Agricultura, onde vai tratar da atribuição da fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos e inoculantes.	16
Tabela 2 – Viabilidade celular das estirpes (log UFC mL ⁻¹) na mistura composta de CMC e amido compatibilizada com MgO 2% em vários tempos de armazenamento	24

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO DA LITERATURA	11
2.1	Elemento Fósforo	11
2.2	Inoculantes Microbianos	14
2.3	Tipos de formulações	18
3	MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1	Local de investigação	22
3.2	Material Biológico	22
3.3	Preparação do veículo de inoculação	22
3.4	Análise estatística	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5	CONCLUSÃO	28
	REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um nutriente essencial para o desenvolvimento vegetal, desempenhando um papel importante em processos como armazenamento e transferência de energia, formação de estruturas vitais e metabolismo. Sua deficiência, comum em solos brasileiros, pode comprometer o crescimento da planta e a produtividade da cultura. A utilização de micro-organismos solubilizadores de fósforo (MSP) tem se mostrado uma estratégia promissora para aumentar a disponibilidade desse nutriente no solo e melhorar o desenvolvimento das plantas, especialmente em solos com baixa disponibilidade de fósforo.

Os micro-organismos solubilizadores de fosfato (MSP), isolados ou em conjunto com outros microrganismos benéficos, podem aumentar a taxa de crescimento das plantas ao solubilizar o fosfato presente no solo ou adicionado como fertilizante, além de liberarem hormônios e outros nutrientes. No entanto, a quantidade de MSP no solo pode não ser suficiente para um impacto significativo no crescimento vegetal. Produtos comerciais contendo esses micro-organismos, como inoculantes ou biofertilizantes, são aplicados em sementes, solo ou plantas para promover a colonização e ativação dos mecanismos de promoção do crescimento.

Inoculantes contendo micro-organismos promotores do crescimento vegetal são utilizados para colonizar as plantas e ativar mecanismos microbianos que auxiliam no desenvolvimento vegetal, tais como: na mobilização e transporte de nutrientes ligando e dissolvendo o nitrogênio na planta, mineralização do fósforo, aumento da superfície de absorção raízes, produção de hormônios vegetais e compostos orgânicos substâncias voláteis que estimulam o desenvolvimento das plantas e protegem plantas contra patógenos. Estes produtos são cada vez mais utilizados na agricultura comercial, com diversas formulações disponíveis no mercado. O Ministério da Agricultura define inoculante, como um material que contém micro-organismos benéficos para as plantas, incluindo um suporte (material excipiente que acompanha e nutre os microrganismos) e com pureza, garantindo a ausência de micro-organismos não especificados.

Misturas poliméricas, como a combinação de CMC e amido, são estratégias eficazes para criar suportes de inoculação que combinam as propriedades de diferentes polímeros a baixo custo. Estas misturas, especialmente CMC/amido (60/40), têm se mostrado adequadas para formulações líquidas e em gel, mantendo a viabilidade de bactérias por períodos prolongados. Esta característica as torna ideais para produção em larga escala e para pequenas unidades agrícolas, facilitando o armazenamento e transporte sem refrigeração. Diante do exposto, objetivou-se avaliar a composição polimérica carboximetilcelulose e amido como veículo para inoculantes de *Bacillus subtilis* i20 e *Bacillus pumilus* i24.

2 REVISÃO DA LITERATURA

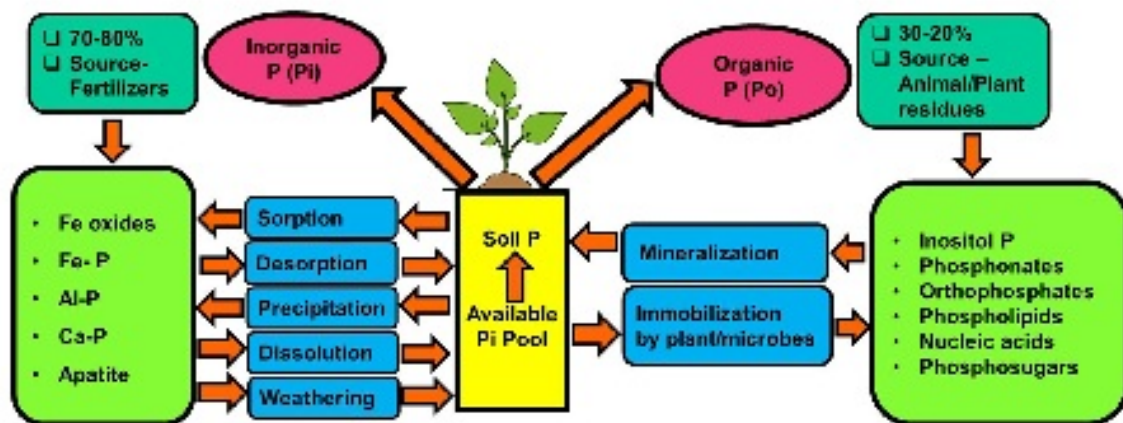
2.1 Elemento Fósforo

O fósforo (P) é um dos elementos essenciais ao crescimento e desenvolvimento das plantas representando cerca de 0,2% do peso seco. O fósforo elementar é essencial na constituição dos componentes vitais da célula, a exemplo das membranas celulares fosfolipídicas, da ferramenta de transferência energética intracelular que é a ATP, e do DNA e RNA pela ligação de fosfodiéster entre nucleotídeos .(Moura, 2007).

O fósforo não é encontrado na natureza na forma livre, é instável como gás devido à sua reatividade e é um elemento essencial à vida. Na atmosfera, ele é detectado somente adsorvido em partículas de matéria, com remoção rápida por processos de precipitação, de maneira que sua existência nesse meio é diminuta e não relevante enquanto via de transporte (Sasabuchi et al., 2023). A transferência física do elemento entre ecossistemas é reduzida, em contraste aos ciclos do carbono e do nitrogênio, que são auxiliados fortemente pela biota.

Nos solos, o fósforo está presente em diferentes formas: solúvel, mineral, adsorvido e orgânico. A fração solúvel representa uma porcentagem muito baixa do P total, mas é a única forma (íons ortofosfato livres PO_4^{3-}) que plantas e culturas podem usar para o crescimento. O P insolúvel, que consiste em P orgânico e mineral, é, em vez disso, a forma dominante de P nos solos: a dominância de fosfatos de alumínio/ferro e formas de fosfato de cálcio limita sua solubilidade em solos ácidos e alcalinos, respectivamente (Figura 1). As formas de fosfato excretadas por organismos vivos são liberadas nos solos como fosfatos orgânicos(Daneshgar et al., 2018; Rawat et al., 2021).

Figura 1 – Formas de fósforo e sua dinâmica no solo. P fósforo, Pi fósforo inorgânico, Po fósforo orgânico, Fe ferro, Fe-P fosfato de ferro, Al-P fosfato de alumínio, Ca-P fosfato de cálcio



Fonte: Rawat et al. (2020)

Em ambientes aquáticos, para concentrações relativamente baixas de íons Al/Fe/Ca, os íons P estão muito mais disponíveis do que em solos. Resíduos industriais, detergentes e esgoto doméstico são fontes consideráveis de íons fosfato para águas, portanto, altas quantidades disponíveis de íons fosfato podem estimular o crescimento de plantas e fitoplâncton em corpos d'água (Daneshgar et al., 2018).

O P orgânico, menos biodisponível nos solos, é identificado por grupos de ortofosfato ligados a moléculas orgânicas, muitos oriundos da matéria orgânica, podendo ser parcialmente solubilizado por micro-organismos no decorrer do processo de mineralização (Pantano et al., 2016). Ao passo que, na forma adsorvida possui os íons de ortofosfato fixados em partículas como os óxi-hidróxidos de ferro, Em relação ao fósforo mineral, a maioria está presente em rochas do tipo sedimentar (Daneshgar et al., 2018).

Os solos tropicais, geralmente apresentam baixa disponibilidade do elemento devido à alta reatividade de formas solúveis com ferro e alumínio, formando compostos de baixa solubilidade (Klaic et al., 2018) sendo necessário, portanto, a fertilização periódica com fosfato para alcançar alta produtividade das culturas.

Contudo, fertilizantes convencionais com fósforo são geralmente compostos de alta solubilidade, como mono-amônio de fosfato (MAP), mas seus processos de produção causam danos ao ambiente, pois, o tratamento químico da rocha fosfática exige altas

concentrações de ácido sulfúrico e ácido fosfórico (Alori; Glick; Babalola, 2017; Klaic et al., 2018).

A alta solubilidade dos fertilizantes frequentemente leva a impactos ambientais, resultando na eutrofização de massas de água nas áreas próximas de zonas agrícolas (Klaic et al., 2018). A concentração de apenas $0,02 \text{ mgL}^{-1}$ de fosfato em águas resulta na multiplicação de algas, que podem produzir toxinas prejudiciais à saúde animal e humana. Ao ultrapassar a concentração de $0,1 \text{ mgL}^{-1}$, ocorre proliferação das algas formando uma camada que além de bloquear a luz solar no corpo hídrico, aumenta a taxa de consumo do oxigênio dissolvido (Bacelo et al., 2020).

As principais consequências da eutrofização, são alteração de sabor e odor na água e a possibilidade de inviabilização de seu uso em função da presença de cianotoxinas (Sasabuchi et al., 2023) Também são observados aumento na mortalidade de peixes e moluscos cultiváveis, redução da diversidade de espécies, limitação da transparência da água, instauração de condições anaeróbicas para o corpo d'água e outros fenômenos que comprometem a qualidade dos ecossistemas e da vida aquática (Bacelo et al., 2020).

O uso direto de rocha fosfática moída (RF) é uma alternativa atrativa para fertilização, uma vez que a ausência de tratamento químico prévio resulta em impactos ambientais reduzidos e custos mais baixos, com a vantagem adicional de que a menor solubilidade da RF permite maior controle da liberação de fosfato .(Klaic et al., 2018)

No entanto, a alta estabilidade química das rochas fosfáticas, devido à presença da fase apatita e efeitos de cristalização relacionados à apatita, significa que a solubilidade é muito menor do que o necessário em aplicações práticas A solubilidade desse material é bastante baixa, mesmo em solos ácidos, limitando seu uso direto como fertilizantes, especialmente para culturas de ciclo curto (Fayiga; Nwoke, 2016; Pavinato et al., 2017; Klaic et al., 2021).

Para aumentar a eficiência da fertilização com o fósforo, melhorar a produtividade das culturas e reduzir a poluição ambiental, é necessário identificar e aplicar estratégias que otimizem a absorção pelas plantas e minimizem as perdas para o ambiente. Vários micro-organismos quando associados à planta podem promover o seu crescimento e proporcionar uma série de outros benefícios no seu desenvolvimento sendo denominados micro-organismos promotores do crescimento de plantas (MPCP) (Abhilash et al., 2016). Esses micro-organismos tem sido utilizados para formulação de biofertilizantes e inoculantes microbianos (Brígido; Glick; Oliveira, 2016; Cely et al., 2016; Velez et al., 2016; Fukami et al., 2017; Lubna et al., 2018; Rizvi; Khan, 2018; Wang; Li; Li, 2018; Bilal et al., 2019; Nascimento et al., 2019; Pastor-Bueis et al., 2020; Florencio et al., 2022)

2.2 Inoculantes Microbianos

A agricultura sustentável, que busca produzir alimentos sem comprometer a qualidade ambiental, é uma preocupação global, especialmente devido ao uso massivo de insumos químicos na agricultura convencional. Essa prática tem gerado impactos negativos como redução da produtividade, declínio da fertilidade do solo, resistência a pragas e contaminação do agroecossistema. Alternativas biológicas, baseadas na sustentabilidade ecológica e proteção ambiental, têm sido estudadas para minimizar esses impactos (Singh; Prabha, 2016) .

A utilização de micro-organismos para promover o crescimento das plantas, através da inoculação, é uma biotecnologia em ascensão. A inoculação de diversas cepas microbianas na agricultura, como tratamento de solo ou sementes, tem demonstrado benefícios comprovados para as plantas cultivadas, bem como para os solos, tornando-os mais saudáveis, seguros e sustentáveis. Os micro-organismos promotores de crescimento de plantas, podem ser uma ferramenta importante para solucionar problemas ambientais e promover a sustentabilidade em agroecossistemas (Lopes et al., 2021). Ao atuarem como bioinoculantes, eles modificam o metabolismo vegetal, resultando em melhorias na morfologia, anatomia, bioquímica e fisiologia das plantas, o que leva a um aumento na produção e qualidade dos alimentos com menor impacto ambiental (Suyal et al., 2016)l.

Estima-se que em 2024 o mercado global de biofertilizantes movimentou 1,38 bilhões de dólares e está projetado para atingir US\$ 2,83 bilhões até 2030, crescendo a uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 12,8% de 2025 a 2030 (GRAND VIEW RESEARCH, 2024). Inoculantes de micro-organismos promotores de crescimento de plantas podem ser definidos como formulações contendo uma ou mais cepas (ou espécies) de micro-organismos benéficos preparadas com um material carreador econômico e de fácil utilização (Malusá; Sas-Paszt; Ciesielska, 2012) que, quando aplicados ao solo, sementes ou folhas, conseguem aumentar o crescimento e o desenvolvimento de plantas (Santos; Nogueira; Hungria, 2019; Florencio et al., 2022).

Esses micro-organismos podem viver livres no solo ou em relação simbiótica com as plantas, além de poderem ser aplicados separadamente ou co-inoculados (quando mais de um microrganismo está presente na formulação)(Emmanuel; Babalola, 2020). Sua aplicação na agricultura tem se mostrado efetiva para o aumento da produtividade agrícola e redução dos impactos ambientais causados pela aplicação exacerbada de herbicidas, pesticidas e fertilizantes químicos. Os inoculantes microbianos possuem diversas formas de ação, tais como:

- liberação de compostos químicos que podem estimular o crescimento de plantas ou aumentar sua resistência em situações de estresse (Egamberdieva et al., 2017; Santos; Nogueira; Hungria, 2019);
- agentes de biocontrole, reduzindo a incidência de doenças causadas por fitopatógenos nas plantas (Ramírez-Cariño et al., 2020)
- biofertilizantes, por meio da solubilização e aumentando a disponibilidade de nutrientes vitais para as plantas, como nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, entre outros (Seenivasagan; Babalola, 2021).

Os inoculantes devem apresentar características desejáveis a fim de garantir que o produto promova o crescimento microbiano, e ainda permitir que as células continuem viáveis durante todo o período de armazenamento, garantindo que a população de micro-organismos presentes no produto esteja disponível para serem associados às plantas e desempenhem sua função (Bashan et al., 2014). Além disso não apresentar impactos negativos no ambiente, ser compatível com fertilizantes ou defensivos agrícolas (CARDOSO; ESTRADA-BONILLA, 2019).

Esses micro-organismos podem viver livres no solo ou em relação simbiótica com as plantas, além de poderem ser aplicados separadamente ou co-inoculados (quando mais de um microrganismo está presente na formulação)(Emmanuel; Babalola, 2020)

No Brasil, os inoculantes são formulações à base de estirpes selecionadas que são posteriormente aprovadas pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Mapa), cuja legislação é abrangente e envolve diversas leis, decretos e instruções normativas que regulamentam a produção, fiscalização e comercialização desses produtos (BRASIL, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2024) (Tabela 1).

Tabela 1 – Legislação sobre fertilizantes disponível no Ministério da Agricultura, que trata da atribuição da fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos e inoculantes.

Legislação	Disposição
Lei nº 6.894/1980	Dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes destinados à agricultura
Instrução Normativa nº 08, de 02/07/2003	Dispensa de registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA os fertilizantes, corretivos e inoculantes importados diretamente pelo consumidor final, para seu uso próprio.
Instrução Normativa nº 14, de 16/10/2003	Estabelece as normas para registro no Sistema Integrado de Comércio Exterior - SISCOMEX para as importações de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, e suas respectivas matérias-primas.
Decreto nº 4.954/2004	Detalha as normas e procedimentos relacionados à inspeção e fiscalização
Instrução Normativa nº 27, de 05/06/2006, alterada pela IN SDA 07 de 12/04/2016	Estabelece os limites de concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas para produzir, importar ou comercializar fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes
Instrução Normativa nº 30/2010	Estabelece os métodos oficiais para análise de inoculantes, incluindo contagem, identificação e análise de pureza
Instrução Normativa nº 13/2011:	Dispõe sobre o registro de produtos contendo micro-organismos resultantes de modificações por engenharia genética e a inclusão desses organismos nos anexos da IN

Legislação	Disposição
Instrução Normativa nº 53/2013 alterada pela IN nº 3 de 15/01/2020	Define os requisitos para o registro de estabelecimentos produtores e importadores de inoculantes, bem como os procedimentos para a análise e controle de qualidade
Decreto nº 8.384/2014	Dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura
Instrução Normativa nº 30, de 12/11/2010	Estabelece os métodos oficiais para análise de inoculantes, sua contagem, identificação e análise de pureza
Instrução Normativa nº 13, de 24/03/2011	Aprova as normas sobre especificações, garantias, registro, embalagem e rotulagem dos inoculantes destinados à agricultura, bem como as relações dos micro-organismos autorizados e recomendados para produção de inoculantes no Brasil.
Instrução Normativa nº 61, de 08/07/2020	Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura
Portaria SDA/MAPA nº 1.110, de 13/05/2024	Aprova os métodos oficiais para realização de ensaios dos programas e controles oficiais do Ministério da Agricultura e Pecuária.
Manuais da Secretaria de Defesa Agropecuária	https://wikisda.agricultura.gov.br/pasta "Laboratórios."

Fonte: Autora, 2025

A principal questão para permitir o uso amplo de inoculantes é o desenvolvimento de técnicas para a produção de grandes quantidades de inóculos puros, com alto potencial de infectividade, o que exige da tecnologia de inoculação: uso de uma formulação adequada, seleção de um veículo adequado e desenvolvimento de métodos de administração corretos (Malusá; Sas-Paszt; Ciesielska, 2012).

2.3 Tipos de formulações

Vários materiais são utilizados como veículos para inoculantes por apresentarem maior eficácia biológica, resistência e proteção contra bactérias contra estresses abióticos e bióticos. Os elementos constituintes dos veículos podem ser orgânicos, inorgânicos ou sintéticos. Um veículo apropriado depende de propriedades como: disponibilidade, baixo custo, fácil utilização, empacotabilidade e miscibilidade. Além disso, a troca gasosa deve ser permitida pelo veículo, especialmente o oxigênio, que deve ter alta capacidade de retenção de água e alto teor de matéria orgânica (Rebah; Tyagi; Prévost, 2002).

Outro ponto importante na produção dos inoculantes é o veículo que será utilizado, se será um produto líquido ou em pó, e qual a melhor maneira de aplicação. Algumas substâncias bastante utilizadas como veículos nos inoculantes são: turfa, óleo mineral, alginatos, carboximetilcelulose 0,15%, glicerina 1%, colágeno 1%, extrato de solo 1:1 (CARDOSO; ESTRADA-BONILLA, 2019).

Nas formulações líquidas, os micro-organismos são frequentemente incorporados em um meio transportador, geralmente composto por meio de cultura, água ou óleo, podendo conter aditivos. Nas formulações sólidas, os microrganismos são integrados a transportadores em pó, tais como turfa, argilas, solo inorgânico ou substratos inertes, como perlita e vermiculita. Enquanto, o encapsulamento envolve a imobilização dos microrganismos em matrizes poliméricas ((Bashan et al., 2014; FERREIRA, 2024)).

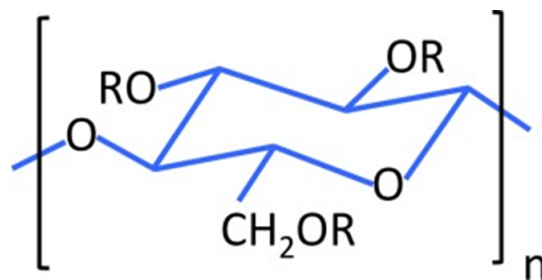
Estudos recentes têm sido voltados à utilização de polímeros biodegradáveis como possíveis veículos de inoculação por serem ecologicamente seguros, degradáveis pela ação de micro-organismos sem causar danos ao meio ambiente (Bashan et al., 2014; Oliveira et al., 2014; Silva Júnior et al., 2016; Stephan; Silva; Bisutti, 2016; Perez et al., 2018; Reis et al., 2021; Gomes et al., 2021; Souza et al., 2022; Lopes et al., 2021; Brondi et al., 2022; Macarena Fernández et al., 2022; Macarena Fernández et al., 2024; Velloso et al., 2024; Almeida et al., 2025).

A carboximetil celulose (CMC), um derivado do polissacarídeo celulose, tem se destacado como um material proeminente na produção de filmes biodegradáveis e comestíveis, sendo reconhecida por suas propriedades não tóxicas, biocompatibilidade,

solubilidade em água, origem renovável e baixo custo (FERREIRA, 2024).

A CMC é um éter de celulose, sua estrutura está fundamentada no polímero de β (1 \rightarrow 4) -D-glucopiranosose da celulose (Figura 2). As propriedades da CMC, incluindo a formação de filmes, géis e hidrogéis (por reticulação com cátions bi e trivalentes), conferem-lhe relevância em várias aplicações, como a liberação controlada de pesticidas e nutrientes na agricultura, além de sua utilização na indústria alimentícia para filmes comestíveis protetores (Lopez et al., 2015; Santos et al., 2021)

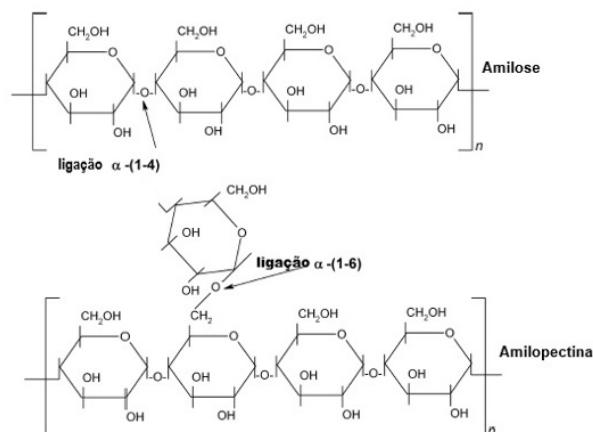
Figura 2 – Estrutura monomérica carboximetilcelulose sódica, onde R pode ser H ou CH₂COONa



Fonte: Lopez et al, 2015

Entre os biopolímeros naturais, o amido, conhecido por sua capacidade de formação de filme e biocompatibilidade, é altamente versátil devido às suas propriedades físico-químicas, que permitem seu uso em uma ampla gama de produtos. O amido consiste em dois polímeros de glucana: amilopectina, uma molécula altamente ramificada, e amilose predominantemente linear (Figura 3) (VISAKH et al., 2014)

Figura 3 – Legenda



Fonte: Visakh et al, 2014

Esses polímeros se organizam dentro do grânulo de amido em camadas concêntricas semicristalinas e amorfas (Moreira et al., 2013). A ligação de hidrogênio da amilopectina facilita a absorção de água, levando ao aumento da viscosidade e às propriedades de gelatinização aprimoradas. Em contraste, a amilose contribui para a hidrofobicidade do amido. As proporções relativas desses componentes definem as propriedades únicas de diferentes amidos, adaptando-os para aplicações específicas (Cornejo-Ramírez et al., 2018).

Carreadores à base de amido combinados com outros polímeros têm ganhado interesse em projetos de formulações. Diversas aplicações foram relatadas, como a capacidade de esferas otimizadas de alginato-amido de manter uma concentração estável de células de *B. pumilus* superior a 109 UFC mL⁻¹ e uma capacidade de retenção de água de aproximadamente 37% (Riseh et al., 2021).

A co-imobilização de *Azospirillum argentinense* e *Pseudomonas rhodesiae* em esferas de quitosana/amido demonstrou ser uma estratégia eficaz para aplicação em sementes de milho (Macarena Fernández et al., 2024). Esta formulação proporciona maior estabilidade e garante maior produtividade da cultura em comparação com inoculantes líquidos. A liberação controlada de microrganismos benéficos é uma vantagem fundamental do encapsulamento usando matrizes biopoliméricas. Um sistema à base de amido modificado foi projetado para proteger e liberar *Priestia megaterium*; no entanto, para alcançar a eficácia, é necessária uma modulação cuidadosa da microestrutura e composição do filme (Velloso et al., 2024).

As misturas poliméricas atuam com suportes de inoculação sendo considerada estratégia para reunir em um único material, propriedades de polímeros diferentes a custo muito baixo (Almeida et al., 2025). Misturas de CMC/amido selecionadas como carreadores para formulações líquidas e em gel foram capazes de manter a viabilidade de uma mistura de cinco cepas de bactérias diazotróficas (*Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Herbaspirillum seropedicae*, *H. rubrisubalbicans*, *Azospirillum amazonense* e *Burkholderia tropica*) (Fernandes Júnior et al., 2009). Um experimento de curta duração em casa de vegetação mostrou que a cana-de-açúcar inoculada respondeu positivamente à colonização pelas cepas diazotróficas (Silva et al., 2009).

Misturas de CMC/amido preparados na proporção de 60/40 em base seca (compatibilizado com óxido de magnésio (MgO)), proporcionaram viabilidade celular de *Bradyrhizobium pachyrhizi* BR 3262, por até quatro meses em temperatura ambiente (Almeida et al., 2025). Segundo os autores, essa característica as torna ideais para produção em biofábricas que atendem unidades agrícolas localizadas próximas ao local de produção do inoculante, reduzindo assim a necessidade de armazenamento refrigerado e os custos de transporte. Essas formulações também são adequadas para áreas de

agricultura familiar que requerem pequenas quantidades de uma ampla variedade de inoculantes para atender às diversas necessidades de práticas agrícolas baseadas em calendário. A mistura de CMC/amido fornece uma solução conveniente para armazenamento de curto prazo.

Outro ponto importante salientado por Almeida et al (2025) é a diferença nos custos de autoclave ao comparar formulações baseadas na mistura de CMC/amido com outros inoculantes, como aqueles a base de turfa. Devido à sua microbiota diversificada e rica, a turfa requer um tempo de autoclave mais longo e um rigoroso controle de qualidade para garantir que quaisquer micro-organismos contaminantes residuais estejam dentro dos limites aceitáveis, conforme exigido pela legislação brasileira.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de investigação

Os ensaios foram conduzidos no laboratório de Microbiologia Agrícola do Campus de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, na cidade de Rio Largo – AL, situada a 9° e 29'45" de latitude sul, 35° e 49'54," de longitude oeste e 165 m de altitude.

As estirpes de Bactérias Solubilizadoras de Fosfato (BSF) utilizadas neste estudo pertencem ao repositório do Laboratório de Microbiologia do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas e depositados no Gen Bank: *B. subtilis* (Gen Bank KTKT998655.1) e *B. pumilus* (Gen Bank KTKT998656.1), isolados da rizosfera de cana-de-açúcar, inicialmente identificadas testadas e selecionadas.

3.2 Material Biológico

A suspensão de células das estirpes BSF foi preparada em meio de extrato de levedura-glicerol (glicerol 10,0 mL, K₂HPO₄ (solução a 5%) 10,0 mL, MgSO₄.7H₂O (solução a 2%) 10,0 mL, NaCl (solução a 1%) 10,0 mL, CaCl₂ (solução a 2%) 10,0 mL, FeCl₂ (solução a 0,1%) 10,0 mL, extrato de levedura 0,40 g, água destilada ou 1000 mL, ágar 15g. pH 6,80 sob agitação a 120RPM em temperatura ambiente. As suspensões celulares foram ajustadas para turbidez equivalente ao padrão 0,5 da Escala de McFarland, correspondente a aproximadamente $1,5 \times 10^8$ UFC mL⁻¹.

3.3 Preparação do veículo de inoculação

A mistura de CMC e amido foi preparada na proporção de 60/40 em base seca (64 g L⁻¹) em água destilada, compatibilizado com óxido de magnésio (MgO) 2% transferidas para em frascos tipo *Babbyfood* e esterilizada por autoclavagem a 1atm por 20 minutos. A compatibilização de misturas poliméricas é necessária para obter sinergismo de propriedades, pois a maioria das misturas de polímeros são imiscíveis. Agentes compatibilizantes atuam como ponte, promovendo maior interação entre os polímeros, melhorando as propriedades finais do material resultante.

Após esterilização, a cada frasco foi adicionado uma alíquota de 5,0 mL de suspensão bacteriana ajustada pela da Escala de McFarland, correspondente a aproximadamente $1,5 \times 10^8$ UFC.mL⁻¹. Após a inoculação os frascos foram fechadas e o conteúdo agitado, manual e vigorosamente, para homogeneizar as formulações. Os frascos foram conservados em temperatura ambiente e no escuro, no laboratório. A sobrevivência dos micro-organismos

foi avaliada aos 15, 30, 45, 60, dias após a inoculação, e determinada por diluições em série de plaqueadas em triplicata no meio ágar nutriente e contagem depois de 24 h de incubação (UFC.mL⁻¹).

3.4 Análise estatística

Os ensaios foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado com três repetições, em esquema fatorial com dois fatores . Os resíduos do delineamento foram submetidos aos testes de Lilliefors, Cochran e Bartlett para verificação da normalidade e homogeneidade das variâncias dos dados. Para análise das variâncias aplicou-se o teste F ($P \leq 0,05$) e as médias comparadas pelo teste Scott Knott ($P \leq 0,05$). Além disso, modelos de regressão foram ajustados aos fatores quantitativos. O coeficiente de correlação de Spearman (ρ) e o valor de p de significância também foram determinados. Foi utilizado o software Sisvar (v5.7) (Ferreira, 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram detectadas diferenças significativa na viabilidade celular com relação ao tempo de armazenamento. Verificou-se que para ambas estirpes a viabilidade se manteve até 60 dias. Os dados obtidos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Viabilidade celular das estirpes (log UFC mL⁻¹) na mistura composta de CMC e amido compatibilizada com MgO 2% em vários tempos de armazenamento

Estirpes	Tempo de armazenamento (dias)	Log UFC(gmL ⁻¹)
<i>Bacillus subtilis</i>	0	8,44b
	15	9,07a
	30	9,08a
	45	9,04a
	60	9,03a
<i>Bacillus pumilus</i>	0	8,38b
	15	8,48b
	30	9,43a
	45	9,15a
	60	9,09a

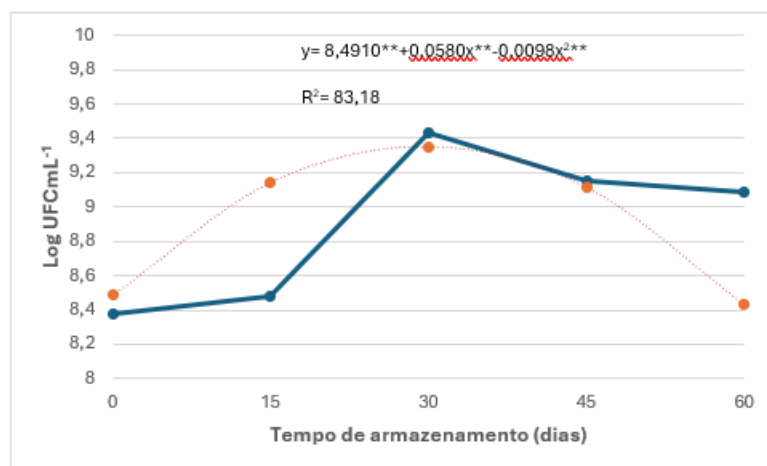
Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$)

Fonte: Autora, 2025

Verificou-se diferenças entre as duas estirpes com relação ao aumento do número de UFC, para *B. pumilus* foi observado a manutenção da concentração de células até o 30 dias de armazenamento, para *B. subtilis* aos 15 dias já se verificou diferença significativa em relação ao tempo inicial. Esse período corresponde ao estágio de adaptação da cultura ao veículo, que apresenta características diversas das observadas nos meios de cultura.

O modelo de regressão polinomial quadrático fez-se como o mais apropriado para o estudo das diferenças significativas relacionadas com a relação existente entre o número de UFC e tempo de armazenamento, para as duas estirpes. Para *B. pumillus* (Figura 4) todos os coeficientes do modelo quadrático foram significativos, enquanto que para *B. subtilis* (Figura 5) o quadrático não foi significativo. O coeficiente linear significativo indica que existe correlação entre a viabilidade celular, expresse pelo número de UFC e o tempo de armazenamento.

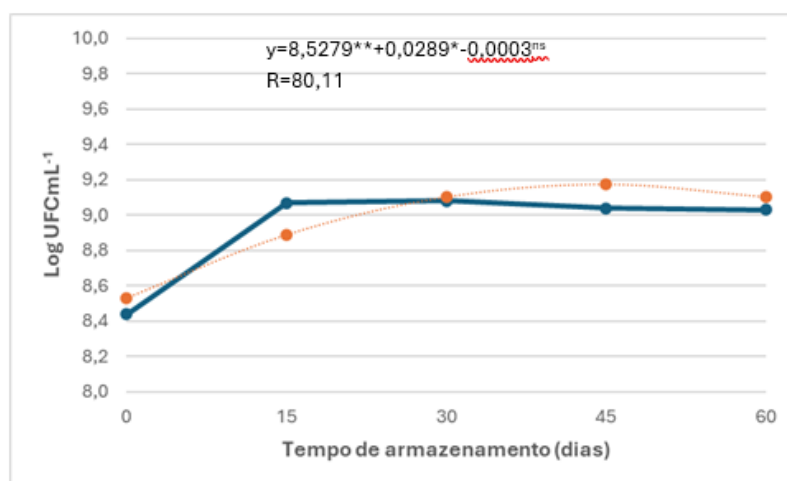
Figura 4 – Viabilidade celular significância dos coeficientes do modelo de regressão polinomial quadrática para sobrevivência de células *B. pumilis* na formulação CMC/amido em função do tempo de armazenamento.



** significativo pelo teste t ($p \leq 0,01$)

Fonte: Autora, 2025

Figura 5 – Viabilidade celular e significância dos coeficientes do modelo de regressão polinomial quadrática para sobrevivência de células *B. subtilis* na formulação CMC/amido em função do tempo de armazenamento.



** significativo pelo teste t ($p \leq 0,01$)

Fonte: Autora, 2025

O tempo de prateleira e a qualidade dos inoculantes usa a determinação do número de células viáveis, a manutenção de células com as suas características de interesse devem ser mantidas durante mais do que uma estação de crescimento, que para a legislação Brasileira é de seis meses (IN 13, MAPA 2011).

A sobrevivência das bactérias em inoculantes, está relacionada ao veículo utilizado para a produção do inoculante, sendo necessário que o veículo proporcione alta retenção de umidade, ausência de toxidez, boa adesão às sementes e baixa custo. A formulação precisa fornecer um ambiente adequado, proteção físico-química para um período prolongado de armazenamento e um número crítico de células de aproximadamente 10^6 – 10^7 . Formulações de biofertilizantes baseadas em biopolímeros naturais estão atraindo interesse crescente devido à sua biodegradabilidade e potencial para promover o uso de recursos renováveis e econômicos (Pereira et al., 2023).

Entre os biopolímeros naturais, o amido, conhecido por sua capacidade de formação de filme e biocompatibilidade, é altamente versátil devido às suas propriedades físico-químicas, que permitem seu uso em uma ampla gama de produtos (Almeida et al., 2025). No entanto, apesar de suas características vantajosas para diversas aplicações, os materiais biodegradáveis frequentemente apresentam propriedades mecânicas inferiores em comparação aos polímeros derivados do petróleo (Ray; Bousmina, 2005). Essa limitação pode ser resolvida utilizando-se a mistura de amido com outro biopolímero com resistência mecânica superior, como a carboximetilcelulose (CMC)

A CMC tem sido amplamente utilizada como veículo para inoculantes devido as suas propriedades de solubilidade em água fria e quente, retenção de água e capacidade de formar filme. Essas propriedades podem proporcionar um alto índice de sobrevivência as células. Os agentes compatibilizantes podem ser polímeros funcionalizados ou substâncias de baixo peso molecular que proporcionam maior interação entre os polímeros, reduzindo a separação de fases e melhorando as propriedades finais da mistura (Almeida et al., 2025).

Misturas de CMC/amido demonstram potencial como carreadoras de bactérias promotoras de crescimento de plantas, incluindo bactérias, como *Bradyrhizobium*, que podem promover a nodulação de leguminosas e aumentar a fixação biológica de nitrogênio. Essas misturas, particularmente aquelas contendo 50–60% de CMC, mantêm eficazmente a viabilidade celular por aproximadamente um mês em armazenamento em temperatura ambiente (Fernandes Júnior et al., 2009).

Almeida et al (2025) realizaram estudo com o objetivo desenvolver uma formulação de mistura de biopolímeros para a cepa BR 3262 de *Bradyrhizobium pachyrhizi*, utilizando quatro amidos comerciais e duas carboximetilceluloses (CMC), e desenvolveram misturas de CMC/amido compatibilizadas ou não com MgO em concentrações de 0,1% a 1,0%. Os inoculantes resultantes foram armazenados por 168 dias. Os autores verificaram que algumas misturas de CMC/amido mantiveram excelente viabilidade celular por até quatro meses em temperatura ambiente.

A biomassa de espirulina, condicionada a CMC como veículo de inoculação, mostrou a capacidade dessa mistura em aumentar em 100 vezes o número de células viáveis de *Bradyrhizobium parchirizi* (BR3262) após 30 dias de armazenamento a temperatura ambiente (Freitas, 2015). No trabalho desenvolvido por Souza (2017) usando veículo polimérico à base de CMC e EPS, a estirpe BR 3267 de *Bradyrhizobium yuanmingense*, conseguiu alcançar 120 dias com viabilidade celular entre 10^8 e 10^9 UFC/mL (SOUSA, 2017).

As misturas CMC/EPS e CMC/amido/EPS mantiveram a viabilidade celular durante o período de armazenamento de 4 meses, excetuando a estirpe bacteriana de *Gluconacetobacter diazotrophicus* (BR 11281), o que se sugere uma otimização das condições de crescimento dessa estirpe (Chantre, 2018). A utilização de biopolímeros como goma xantana (GX) e carboximetilcelulose (CMC) foi eficiente na conservação e viabilidade de células de *Bradyrhizobium elkanii*, *Bradyrhizobium diazoefficiens* e *Azospirillum* sp. durante 210 dias de armazenamento a 5 °C (Souza et al., 2022). A mistura CMC/amido também conservou a viabilidade celular de *Bacillus subtilis* I20 e *Bacillus subtilis* I12 durante 90 dias (Silva et al., 2023).

5 CONCLUSÃO

Nas condições do presente estudo, a mistura polimérica cmc/amido (60:40) manteve a viabilidade das estirpes bacterianas.

REFERÊNCIAS

- ABHILASH, P. C. et al. Plant Growth-Promoting Microorganisms for Environmental Sustainability. **Trends in biotechnology**, v. 34, p. 847 – 850, 6 2016. Disponível em: <https://DOI:10.1016/j.tibtech.2016.05.005>.
- ALMEIDA, J. C. de et al. Inoculant Formulation for Bradyrhizobium spp.: Optimizing CMC/Starch Blends for Improved Performance. **Agriculture**, v. 15, n. 1010, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture15091010>.
- ALORI, E. T.; GLICK, B. R.; BABALOLA, O. O. Microbial Phosphorus Solubilization and Its Potential for Use in Sustainable Agriculture. **Frontiers in microbiology**, v. 8, p. 971 –, 6 2017. Disponível em: <https://DOI:10.3389/fmicb.2017.00971>.
- BACELO, H. et al. Performance and prospects of different adsorbents for phosphorus uptake and recovery from water. **Chemical Engineering Journal**, n. 122566, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122566>.
- BASHAN, Y. et al. **Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: Formulations and practical perspectives (1998-2013)**. 2014. 1 – 33 p.
- BILAL, S. et al. Phytohormones enabled endophytic *Penicillium funiculosum* LHL06 protects *Glycine max* L. from synergistic toxicity of heavy metals by hormonal and stress-responsive proteins modulation. **Journal of hazardous materials**, v. 379, p. 120824 –, 2019. Disponível em: DOI:10.1016/j.jhazmat.2019.120824.
- BRASIL, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Legislação sobre fertilizantes disponível no Ministério da Agricultura. **Legislações**, Brasília, p. 1 – 1, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacoes>. Acesso em: 10 de julho de 2025.
- BRÍGIDO, C.; GLICK, B. R.; OLIVEIRA, S. Survey of Plant Growth-Promoting Mechanisms in Native Portuguese Chickpea Mesorhizobium Isolates. **Microbial ecology**, v. 73, p. 900 – 915, 2016. Disponível em: doi:10.1007/s00248-016-0891-9.
- BRONDI, M. et al. Encapsulation of *Trichoderma harzianum* with nanocellulose/carboxymethyl cellulose nanocomposite. **Carbohydrate polymers**, v. 295, p. 119876 –, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119876>.
- CARDOSO, E. J. B. N.; ESTRADA-BONILLA, G. A. Inoculantes Agrícolas. In: LIMA, U. de A. (org.). **Biotecnologia industrial, v. 3: Processos fermentativos e enzimáticos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2019. v. 3, cap. 9, p. 305 – 332. ISBN 978-85-212-1458-8. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=u3O5DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA305&dq=INOCULANTES+AGR%C3%8DCOLAS&ots=kG8fjHNL-f&sig=UX9wwZ1jwgcqk7cZduGeowse9qk&redir_esc=y#v=onepage&q=INOCULANTES%20AGR%C3%8DCOLAS&f=false.
- CELY, M. V. T. et al. Inoculant of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (*Rhizophagus clarus*) Increase Yield of Soybean and Cotton under Field Conditions. **Frontiers in microbiology**, v. 7, p. 720 –, 6 2016. Disponível em: doi:10.3389/fmicb.2016.00720.

CHANTRE, N. C. S. **Veículo de inoculação à base de exopolissacarídeo em formulações bacterianas para cana-de-açúcar**. 2018. 57 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) — Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/4893>.

CORNEJO-RAMÍREZ, Y. I. et al. The structural characteristics of starches and their functional properties. **CYTA – JOURNAL OF FOOD**, v. 16, p. 1003 – 1017, 2018. Disponível em: doi:10.1080/19476337.2018.1518343.

DANESHGAR, S. et al. The Potential Phosphorus Crisis: Resource Conservation and Possible Escape Technologies: A Review. **Resources**, v. 7, n. 2, 2018. ISSN 2079-9276. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-9276/7/2/37>.

EGAMBERDIEVA, D. et al. Phytohormones and Beneficial Microbes: Essential Components for Plants to Balance Stress and Fitness. **Frontiers in microbiology**, v. 8, p. 2104 –, 2017. Disponível em: doi:10.3389/fmicb.2017.02104.

EMMANUEL, O. C.; BABALOLA, O. O. Productivity and quality of horticultural crops through co-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting bacteria. **Microbiological research**, v. 239, p. 126569 –, 2020. Disponível em: doi:10.1016/j.micres.2020.126569.

FAYIGA, A. O.; NWOKE, O. C. Phosphate rock: Origin, importance, environmental impacts, and future roles. **Environmental Reviews**, v. 24, p. 403 – 415, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/er-2016-0003>.

FERNANDES JÚNIOR, P. I. et al. Polymers as carriers for rhizobial inoculant formulations. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 9, p. 1184 – 1190, 2009.

FERREIRA, A. M. **FILMES POLIMÉRICOS A BASE DE CARBOXIMETIL CELULOSE REFORÇADOS COM NANOCELULOSE COM POTENCIAL PARA ENCAPSULAR O AGENTE DE BIOCONTROLE *Trichoderma harzianum***. 2024. 70 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) — Universidade Federal de São Carlos. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/server/api/core/bitstreams/008df8c2-317f-422d-998a-53db70164ff1/content>.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529 – 535, 2019.

FLORENCIO, C. et al. AVANÇOS NA PRODUÇÃO E FORMULAÇÃO DE INOCULANTES MICROBIANOS VISANDO UMA AGRICULTURA MAIS SUSTENTÁVEL. **Química Nova**, p. 1133 – 1145, 2022.

FREITAS, C. de S. **Mistura polimérica espirulina/carboximetilcelulose como veículo de inoculação de *Bradyrhizobium japonicum* em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. 2015. 51 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) — Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/3277>.

FUKAMI, J. et al. Phytohormones and induction of plant-stress tolerance and defense genes by seed and foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* cells and metabolites promote maize growth. **AMB Express**, v. 7, p. 153 –, 2017. Disponível em: doi:10.1186/s13568-017-0453-7.

GOMES, D. P. et al. Efeito da combinação entre carbendazim e inoculantes formulados com polímeros sobre *Bradyrhizobium* sp. em sementes de caupi. **Conjecturas**, v. 21, p. 88 – 98, 2021. Disponível em: DOI:10.53660/CONJ-263-309.

GRAND VIEW RESEARCH. **Biofertilizers Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Nitrogen Fixing, Phosphate Solubilizing), By Application (Seed Treatment, Soil Treatment), And Segment Forecasts, 2025-2030**. 2024. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/biofertilizers-industry>. Acesso em: 10 de julho de 2025.

KLAIC, R. et al. Nanocomposite of starch-phosphate rock bioactivated for environmentally-friendly fertilization. **Minerals Engineering**, v. 128, p. 230 – 237, 2018.

KLAIC, R. et al. Synergy of *Aspergillus niger* and Components in Biofertilizer Composites Increases the Availability of Nutrients to Plants. **Current microbiology**, v. 78, p. 1529 – 1542, 3 2021. Disponível em: <https://doi:10.1007/s00284-021-02406-y>.

LOPES, M. J. dos S. et al. Biotecnologia microbiana: inoculação, mecanismos de ação e benefícios às plantas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e356101220 –, 2021.

LOPEZ, C. G. et al. Structure of Sodium Carboxymethyl Cellulose Aqueous Solutions: A SANS and Rheology Study. **Journal of polymer science. Part B, Polymer physics**, v. 53, p. 492 – 501, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/polb.23657>.

LUBNA et al. Salt tolerance of *Glycine max.*L induced by endophytic fungus *Aspergillus flavus* CSH1, via regulating its endogenous hormones and antioxidative system. **Plant physiology and biochemistry : PPB**, v. 128, p. 13 – 23, 2018. Disponível em: doi: 10.1016/j.plaphy.2018.05.007.

MACARENA FERNÁNDEZ et al. Enhancement of late-sown maize production with immobilized bacteria in chitosan/starch beads in different crop management conditions. **Biology and Fertility of Soils**, 2024. Disponível em: doi:10.1007/s00374-024-01795-z.

MACARENA FERNÁNDEZ et al. Chitosan/starch beads as bioinoculants carrier: long-term survival of bacteria and plant growth promotion. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 106, p. 7963 – 7972, 2022. Disponível em: doi:10.1007/s00253-022-12220-6.

MALUSÁ, E.; SAS-PASZT, L.; CIESIELSKA, J. Technologies for beneficial microorganisms inocula used as biofertilizers. **The Scientific World Journal**, v. 2012, n. 491206, p. 491206 –, 2012. Disponível em: doi:10.1100/2012/491206.

MOREIRA, F. K. V. et al. Brucite nanoplates reinforced starch bionanocomposites. **Carbohydrate polymers**, v. 92, p. 1743 – 1751, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.11.019>.

MOURA, L. de A. Nota sobre o gênero *Chlamophora* Chevrolat, com a descrição de uma nova espécie do sul do Brasil (Coleoptera, Chrysomelidae, Galerucinae). **Revista Brasileira de Zoologia**, scielo, v. 24, p. 552 – 558, 00 2007. ISSN 0101-8175. Disponível em: <http://www.scielo.br/scieloOrg/php/articleXML.php?lang=en&pid=S0101-81752007000300005>.

- NASCIMENTO, F. X. et al. Plant growth-promoting activities and genomic analysis of the stress-resistant. **Biotechnology reports (Amsterdam, Netherlands)**, v. 25, p. e00406 –, 2019. Disponível em: doi:10.1016/j.btre.2019.e00406.
- OLIVEIRA, A. L. M. de et al. Aplicações da biodiversidade bacteriana do solo para a sustentabilidade da agricultura. **BBR - Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 3, p. 56 – 77, 2014. Disponível em: doi:10.5433/2316-5200.2014v3n1p56.
- PANTANO, G. et al. Sustentabilidade no uso do fósforo: uma questão de segurança hídrica e alimentar. **Química Nova**, v. 39, n. 6, p. 732 – 740, 2016.
- PASTOR-BUEIS, R. et al. Formulation of a Highly Effective Inoculant for Common Bean Based on an Autochthonous Elite Strain of. **Frontiers in microbiology**, v. 10, p. 2724 –, 2020. Disponível em: doi:10.3389/fmicb.2019.02724.
- PAVINATO, P. S. et al. Effects of cover crops and phosphorus sources on maize yield, phosphorus uptake, and phosphorus use efficiency. **Agronomy Journal**, v. 109, p. 1039 – 1047, 2017. Disponível em: doi:10.2134/agronj2016.06.0323.
- PEREIRA, J. F. et al. Perspectives on the Use of Biopolymeric Matrices as Carriers for Plant-Growth Promoting Bacteria in Agricultural Systems. **Microorganisms**, v. 11, p. 467 –, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020467>.
- PEREZ, J. J. et al. A novel, green, low-cost chitosan-starch hydrogel as potential delivery system for plant growth-promoting bacteria. **Carbohydrate polymers**, v. 202, p. 409 – 417, 2018. Disponível em: doi:10.1016/j.carbpol.2018.07.084.
- RAMÍREZ-CARIÑO, H. F. et al. Biocontrol of *Alternaria alternata* and *Fusarium oxysporum* by *Trichoderma asperelloides* and *Bacillus paralicheniformis* in tomato plants. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 113, p. 1247 – 1261, 2020. Disponível em: doi:10.1007/s10482-020-01433-2.
- RAWAT, P. et al. **Phosphate-Solubilizing Microorganisms: Mechanism and Their Role in Phosphate Solubilization and Uptake**. 2021. 49 – 68 p.
- RAY, S. S.; BOUSMINA, M. Biodegradable polymers and their layered silicate nanocomposites: In greening the 21st century materials world. **Progress in Materials Science**, v. 50, p. 962 – 1079, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2005.05.002>.
- REBAH, F. B.; TYAGI, R. D.; PRÉVOST, D. Wastewater sludge as a substrate for growth and carrier for rhizobia: the effect of storage conditions on survival of *Sinorhizobium meliloti*. **Bioresource technology**, v. 83, p. 145 – 51, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00202-4](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00202-4).
- REIS, V. C. M. et al. SOBREVIVÊNCIA DE RIZÓBIO EM SEMENTES DE FEIJÃO-CAUPI TRATADAS COM FUNGICIDA E INOCULANTE FORMULADO COM POLÍMERO GOMA XANTANA. In: VOCAÇÕES, I. I. D. (org.). **V Congresso Internacional das Ciências Agrárias**. [S.l.]: IIDV, 2021.
- RISEH, R. S. et al. Reducing Drought Stress in Plants by Encapsulating Plant Growth-Promoting Bacteria with Polysaccharides. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, p. 12979. –, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms222312979>.

RIZVI, A.; KHAN, M. S. Heavy metal induced oxidative damage and root morphology alterations of maize (*Zea mays* L.) plants and stress mitigation by metal tolerant nitrogen fixing *Azotobacter chroococcum*. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 157, p. 9 – 20, 2018. Disponível em: doi:10.1016/j.ecoenv.2018.03.063.

SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. **AMB Express**, v. 9, p. 205 –, 2019. Disponível em: doi:10.1186/s13568-019-0932-0.

SANTOS, V. S. et al. Avaliação e caracterização de biofilme comestível de carboximetilcelulose contendo nanopartículas de quitosana e Cúrcuma longa. **Revista Matéria**, v. 26, p. e12926 –, 2021. Disponível em: 10.1590/S1517-707620210001.1226.

SASABUCHI, I. T. M. et al. Sustentabilidade no uso de fósforo: uma revisão bibliográfica com foco na situação atual do estado de São Paulo, Brasil. **Química Nova**, SciELO Brasil, v. 46, n. 02, p. 185 – 198, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170967>.

SEENIVASAGAN, R.; BABALOLA, O. O. Utilization of Microbial Consortia as Biofertilizers and Biopesticides for the Production of Feasible Agricultural Product. **Biology**, v. 10, p. 1111 –, 2021. Disponível em: doi:10.3390/biology10111111.

SILVA JÚNIOR, E. B. da et al. Pré-inoculação de sementes de *Vigna unguiculata* (L) Walp. com inoculante polimérico no Centro-Oeste. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 21, p. 39 – 42, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.12661/pap.2016.007>.

SILVA, M. C. da et al. INOCULANTES COM BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO. In: ANAIS. **76 Reunião Anual da SBPC**. Belem: SBPC, 2023. p. 1 –. Disponível em: https://reunioes.sbpcnet.org.br/76RA/inscritos/resumos/2845_1532714314808f9e08aa0bd7f9e8c4e04.pdf.

SILVA, M. F. da et al. Inoculantes formulados com polímeros e bactérias endofíticas para a cultura da cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 11, p. 1437 – 1443, 2009.

SINGH, D. P.; SINGH, H. B.; PRABHA, R. **Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity**: Research perspectives. 1. ed. New Delhi: Springer, 2016. v. 1. 354 p. Disponível em: DOI10.1007/978-81-322-2647-5.

SOUSA, E. B. **Preparação de veículo de inoculação à base de CMC/EPS**: Obtenção, caracterização e desempenho. 2017. 52 p. Dissertação (Engenharia Química) — Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

SOUZA, M. C. et al. Biopolímeros na conservação de células de rizobactérias em meios de cultura alternativos. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. e35911427490 –, 2022.

STEPHAN, D.; SILVA, A. P. M. D.; BISUTTI, I. L. Optimization of a freeze-drying process for the biocontrol agent *Pseudomonas* spp. and its influence on viability, storability and efficacy. **Biological Control**, v. 94, p. 74 – 81, 2016. Disponível em: doi:10.1016/j.biocontrol.2015.12.004.

SUYAL, D. C. et al. Microbial Inoculants as Biofertilizer. In: SINGH, D. P.; SINGH, H. B.; PRABHA, R. (ed.). **Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity**. 1. ed. New Delhi: Springer India, 2016. v. 1, cap. 18, p. 311 – 318. Disponível em: DOI10.1007/978-81-322-2647-5_18.

VELEZ, P. A. et al. Synergistic effect of chickpea plants and Mesorhizobium as a natural system for chromium phytoremediation. **Environmental technology**, v. 38, p. 2164 – 2172, 2016. Disponível em: doi:10.1080/09593330.2016.1247198.

VELLOSO, C. C. V. et al. Modulation of starch-based film properties for encapsulation of microbial inoculant. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 283, n. 137605, 2024. Disponível em: doi:10.1016/j.ijbiomac.2024.137605.

VISAKH, P. M. et al. Starch-based bionanocomposites: processing and properties. In: MATHEW KRISTIINA OKSMAN, S. T. Y. H. L. A. L. A. P. (org.). **Starch-based bionanocomposites: processing and properties polysaccharide building blocks: a sustainable approach to the development of renewable biomaterials**. 1. ed. [s.n.], 2014. v. 1, cap. 11, p. 289 – 307. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/260165747>.

WANG, L.; LI, Y.; LI, Y. Metal ions driven production, characterization and bioactivity of extracellular melanin from *Streptomyces* sp. ZL-24. **International journal of biological macromolecules**, v. 123, p. 521 – 530, 2018. Disponível em: doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.11.061.