

CAFER (Cápsulas de fertilizantes): integrando práticas ecológicas e agricultura sustentável como alternativa para estimular a consciência ambiental na cidade de Barbalha - CE

CAFER (Fertilizer Capsules): Integrating ecological practices and sustainable agriculture as an alternative to stimulate environmental awareness in the city of Barbalha - CE

Wisllayne Sampaio Lima ¹
Whitney Vitória de Sousa Alexandre ²
Francisco Jonathan de Oliveira Araujo ³
Fernando Miguel da Silva ⁴

Resumo:

Este estudo apresenta o desenvolvimento do CAFER, biocápsulas nutritivas de liberação controlada que utilizam mucilagem extraída do quiabo (*Abelmoschus esculentus*) e resíduos orgânicos locais (cascas de banana, ovo, cebola, borra de café) para promover a correção e nutrição do solo. O objetivo deste trabalho foi desenvolver e avaliar a eficiência dessas biocápsulas na melhoria das propriedades químicas do solo e no desenvolvimento vegetal, bem como promover a educação ambiental no contexto escolar. O projeto foi desenvolvido na Escola Estadual de Educação Profissional Otília Correia Saraiva, localizada no município de Barbalha-CE, com a participação de duas estudantes do 2º ano do Ensino Médio, no âmbito de uma proposta investigativa voltada à resolução de problemas socioambientais, vinculada ao Ceará Científico 2025. As biocápsulas visam otimizar a liberação gradual de nutrientes, reduzir a lixiviação e aumentar a disponibilidade nutricional para as plantas. Ensaio experimentais demonstraram que o tratamento com CAFER elevou o pH do solo de 5,1 para 6,4 e promoveu um crescimento superior em altura (30 cm) e massa seca em comparação ao solo sem tratamento (18

Abstract:

*This study presents the development of CAFER, controlled-release nutrient biocapsules that utilize mucilage extracted from okra (*Abelmoschus esculentus*) and local organic waste (banana peels, eggshells, onion peels, and coffee grounds) to promote soil improvement and nutrition. The objective of this study was to develop and evaluate the efficiency of these biocapsules in improving soil chemical properties and plant growth, as well as to promote environmental education in a school setting. The project was carried out at the Otília Correia Saraiva State Vocational School, located in the municipality of Barbalha, Ceará, with the participation of two 11th-grade students, as part of a research proposal aimed at solving socio-environmental problems, linked to Ceará Científico 2025. The biocapsules aim to optimize the gradual release of nutrients, reduce leaching, and increase nutrient availability for plants. Experimental trials demonstrated that treatment with CAFER raised the soil pH from 5.1 to 6.4 and promoted superior growth in height (30 cm) and dry mass compared to untreated soil (18 cm). The methodology included stages of collection, dehydration, grinding, and*

1. Estudante da 2ª série da E.E.M.T.I Sinhá Sabóia, CREDE 6, Sobral/ce.

2. Estudante da 2ª série da E.E.M.T.I Sinhá Sabóia, CREDE 6, Sobral/ce.

3. Mestranda em Sociologia. Professora da E.E.M.T.I Sinhá Sabóia CREDE 6, Sobral/ce. camilamrgf@gmail.com, <https://lattes.cnpq.br/1760008606322467>.

4. Mestre em ensino de ciências e Matemática - UFRPE. Docente da EEEP Otília Correia Saraiva. Fernando.silva3@prof.ce.gov.br.

cm]. A metodologia integrou etapas de coleta, desidratação, trituração e formulação manual. Os resultados indicam que a tecnologia apresenta potencial como solução replicável de baixo custo, além de contribuir para o desenvolvimento do protagonismo estudantil e da consciência ambiental.

Palavras-chave: Agricultura sustentável, Biocápsulas, Mucilagem de quiabo, Economia circular, Recuperação de solos.

manual formulation. The results indicate that the technology has potential as a replicable, low-cost solution, in addition to contributing to the development of student leadership and environmental awareness.

Keywords: Sustainable agriculture, Biocapsules, Okra mucilage, Circular economy, Soil restoration.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por práticas agrícolas sustentáveis tem impulsionado a busca por alternativas que reduzam os impactos ambientais associados ao uso intensivo de fertilizantes químicos, frequentemente relacionados à contaminação do solo e da água, bem como à degradação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Nesse contexto, abordagens como a agricultura regenerativa e a economia circular destacam-se por priorizarem o uso eficiente de recursos e o reaproveitamento de resíduos orgânicos.

A agricultura convencional, embora eficiente do ponto de vista produtivo, enfrenta desafios relacionados ao uso excessivo de insumos químicos, que podem provocar desequilíbrios nutricionais, perda da biodiversidade do solo e contaminação de lençóis freáticos [CARVALHO *et al.*, 2021]. Dessa forma, torna-se necessário o desenvolvimento de estratégias que conciliem produtividade agrícola e sustentabilidade ambiental.

Nesse cenário, a utilização da mucilagem de quiabo como biopolímero natural para encapsulamento de resíduos orgânicos surge como uma alternativa promissora. Essa abordagem possibilita a liberação gradual de nutrientes, contribuindo para maior eficiência na adubação, redução de perdas por lixiviação e melhoria das condições químicas do solo, especialmente em ambientes com tendência à acidez.

Resíduos alimentares, como cascas de ovo, banana, manga e cebola, apresentam elevado potencial como fontes de nutrientes essenciais, incluindo cálcio, potássio e fósforo. No entanto, sua aplicação direta no solo pode resultar em decomposição acelerada, liberação descontrolada de nutrientes e possíveis desequilíbrios locais [SILVA *et al.*, 2020]. A encapsulação desses materiais em matrizes biodegradáveis, como a mucilagem de quiabo, configura-se, portanto, como uma estratégia capaz de otimizar sua utilização agrícola.

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo geral desenvolver e avaliar biocápsulas biodegradáveis formuladas a partir da mucilagem de quiabo combinada com resíduos alimentares, visando otimizar a liberação gradual de nutrientes, melhorar a fertilidade do solo e reduzir impactos ambientais associados ao uso de fertilizantes convencionais.

Como objetivos específicos, destacam-se: avaliar a eficiência das biocápsulas na correção do pH do solo, comparar seu desempenho com a aplicação direta de resíduos orgânicos e analisar seus efeitos no desenvolvimento inicial das plantas.

A escolha do tema justifica-se pela integração entre princípios da agricultura regenerativa e da economia circular, ao promover o reaproveitamento de resíduos orgânicos como insumos agrícolas (PIRES, 2023). Além disso, o desenvolvimento do projeto no contexto escolar, com a participação de estudantes do Ensino Médio, reforça o papel do protagonismo estudantil na construção do conhecimento científico e na busca por soluções sustentáveis aplicadas à realidade local.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A agricultura contemporânea enfrenta o desafio de aumentar a produtividade agrícola de forma sustentável, reduzindo os impactos ambientais negativos associados ao uso excessivo de fertilizantes químicos e corretivos minerais (Carvalho *et al.*, 2021). A degradação do solo, a poluição dos recursos hídricos e a perda da biodiversidade do solo são consequências diretas das práticas convencionais, que demandam alternativas inovadoras para garantir a segurança alimentar e a conservação ambiental (FAO, 2021).

A agricultura regenerativa surge como uma abordagem integrativa que busca restaurar a saúde do solo, melhorar a ciclagem de nutrientes e promover a sustentabilidade dos agroecossistemas. Entre as práticas regenerativas, destaca-se o uso de insumos orgânicos e técnicas que otimizam a liberação de nutrientes para as plantas (Pires, 2023). Nesse cenário, o reaproveitamento de resíduos orgânicos da cadeia alimentar torna-se estratégico, tanto para a redução do desperdício quanto para a oferta de nutrientes em formas mais naturais e menos agressivas ao meio ambiente (Silva *et al.*, 2020).

A encapsulação de nutrientes em matrizes biodegradáveis, como a mucilagem de quiabo, representa uma tecnologia emergente que alia biopolímeros naturais à valorização de resíduos orgânicos para a agricultura sustentável. A mucilagem é um polissacarídeo de origem vegetal que apresenta alta capacidade de retenção de água, propriedades adesivas e biodegradabilidade, tornando-se ideal para a formação de cápsulas que protegem e liberam gradualmente os nutrientes (Souza & Menezes, 2022).

Além disso, resíduos como casca de ovo, banana, manga e cebola são fontes abundantes e acessíveis de cálcio, potássio, fósforo e micronutrientes essenciais. O carbonato de cálcio (CaCO_3) presente na casca de ovo contribui para a correção da acidez do solo, atuando lentamente para elevar o pH e melhorar a disponibilidade de nutrientes (Costa *et al.*, 2021). O potássio (K) e fósforo (P), fornecidos pelas cascas de frutas, são fundamentais para o desenvolvimento radicular, a fotossíntese e a formação de frutos (Carvalho *et al.*, 2021). Já os compostos sulfurados e micronutrientes da casca de cebola fortalecem as plantas contra estresses, contribuindo para a saúde e produtividade das culturas.

A encapsulação também reduz perdas por lixiviação, um problema comum na aplicação direta de resíduos ou fertilizantes, especialmente em solos com alta permeabilidade e em ambientes chuvosos (Souza; Menezes, 2022). Isso resulta em maior eficiência do uso dos nutrientes, menor impacto ambiental e menor custo para os agricultores. Estudos indicam que o uso de biopolímeros para encapsulação de nutrientes pode prolongar o efeito da adubação por semanas, favorecendo ciclos de crescimento mais equilibrados (Pires, 2023).

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada na Escola Estadual de Educação Profissional EEEP Otília Correia Saraiva, localizada no município de Barbalha-CE (INEP: 23325429). A instituição oferece ensino médio integrado à educação profissional, contando com infraestrutura composta por laboratórios de ciências, salas de aula climatizadas e espaços destinados a práticas experimentais. O estudo contou com a participação de duas estudantes do 2º ano do Ensino Médio, envolvidas no desenvolvimento do projeto como parte de uma proposta investigativa voltada ao evento estadual do Ceará Científico 2025. A escolha das participantes ocorreu com base no interesse pelas áreas de Ciências da Natureza e sustentabilidade.

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa experimental de abordagem quali-quantitativa (GIL, 2017). O desenvolvimento da pesquisa ocorreu entre os meses de fevereiro e junho de 2025, envolvendo etapas de revisão teórica, planejamento experimental, execução e análise dos dados. A fase experimental foi realizada especificamente durante o mês de maio de 2025, período no qual foram conduzidos os ensaios de cultivo, monitoramento e coleta de dados.

O estudo foi estruturado em três fases e seis etapas, abrangendo formulação de cápsulas, cultivo experimental e análises laboratoriais, com foco na eficácia do sistema de liberação controlada de nutrientes. O processo foi estruturado em etapas sistemáticas para garantir a reprodutibilidade e a eficácia do sistema de liberação controlada de nutrientes. As atividades foram desenvolvidas pelas estudantes participantes, sob orientação docente, de forma colaborativa, sendo realizadas tanto no laboratório de Ciências da escola quanto na área externa do pátio, conforme a natureza de cada etapa experimental. As etapas que envolveram manipulação de materiais, preparo de soluções e análises foram conduzidas no laboratório, enquanto as atividades de cultivo e acompanhamento do desenvolvimento vegetal ocorreram em ambiente externo, permitindo maior aproximação com as condições naturais.

A Figura 1 a seguir apresenta a sequência visual das atividades realizadas, incluindo coleta de resíduos, higienização, preparo, trituração, modelagem das biocápsulas e inserção nas células de cultivo.

Figura 1: Etapas de construção das biocápsulas.



Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

Inicialmente, a Etapa 01 consistiu na extração da mucilagem de quiabo (*Abelmoschus esculentus*), seguindo como referência principal o método descrito por Souza e Menezes [2022], adaptado às condições laboratoriais da escola. A construção desta etapa baseou-se em revisão teórica prévia sobre biopolímeros naturais e suas aplicações na agricultura sustentável, permitindo a adequação do protocolo experimental à realidade dos recursos disponíveis.

O processo envolveu o corte, trituração e homogeneização dos frutos frescos em água destilada (proporção 1:1), seguido de filtração para obtenção de um gel viscoso, rico em polissacarídeos, que serviu como matriz hidropolimérica para as cápsulas. Os materiais utilizados foram provenientes do laboratório de Ciências da escola, sem necessidade de parcerias externas, garantindo a viabilidade da reprodução do experimento em ambiente escolar.

Paralelamente, na Etapa 02, os resíduos alimentares (cascas de banana, manga, cebola e ovos) foram cuidadosamente preparados. Os resíduos foram provenientes de consumo doméstico das estudantes participantes e de reaproveitamento de resíduos orgânicos gerados no ambiente escolar, em quantidades aproximadas e proporcionais para composição do material experimental.

A higienização e preparo dos materiais foram realizados de forma colaborativa pelas estudantes, sob orientação docente, no laboratório de Ciências. Estes foram submetidos à secagem (solar e em estufa por 72 horas) para remoção da umidade e, posteriormente, triturados até a obtenção de um pó homogêneo, conforme apresentado na Figura 1. A Etapa 03 consistiu na trituração individual de cada material, utilizando liquidificador e pilão, disponibilizados pela escola no laboratório de Ciências, seguida da pesagem das massas obtidas, garantindo a proporção adequada dos componentes. Na Etapa 04, procedeu-se à determinação do pH dos componentes individuais e do solo a ser utilizado, por meio de análises laboratoriais dos materiais triturados e desidratados. Essa etapa foi realizada pelas estudantes participantes, sob orientação do professor responsável, permitindo a análise da capacidade corretiva dos resíduos e sua influência inicial nas propriedades químicas do solo.

Após o preparo dos componentes, a fase de modelagem com a semente e inserção na célula de cultivo constituiu etapa central da metodologia, conforme ilustrado na Figura 1. O processo de encapsulamento foi fundamentado em estudos sobre o uso de mucilagens vegetais como matrizes biodegradáveis para liberação controlada de nutrientes (Souza; Menezes, 2022), sendo adaptado para incorporar simultaneamente a semente no interior da biocápsula.

Neste momento, a semente foi posicionada no centro da biocápsula, moldada manualmente utilizando a mucilagem de quiabo como agente aglutinante. A mucilagem não apenas promove a união dos resíduos orgânicos, mas também atua como um hidrogel natural, criando um microambiente protetor e com maior retenção hídrica ao redor da semente.

Esse mecanismo favorece a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas, ao mesmo tempo em que regula a liberação gradual de nutrientes diretamente na rizosfera, reduzindo perdas por lixiviação e aumentando a eficiência do processo de nutrição vegetal.

O experimento foi conduzido em bandeja sementeira de plástico com solo arenoso, utilizando três tratamentos principais destacados no quadro 1 a seguir:

Quadro 1: Delimitação do Delineamento Experimental

TRATAMENTO	DESCRIÇÃO	OBJETIVO	VARIÁVEIS ANALISADAS
SCA (Controle)	Solo arenoso sem qualquer aditivo ou corretivo.	Referência de crescimento natural e acidez basal.	pH, Germinação, Altura e umidade residual.
SRI (Resíduos)	Aplicação direta de resíduos orgânicos triturados e secos.	Avaliar eficiência da adubação orgânica convencional.	pH, Germinação, Altura e umidade residual.
SC (CAFER)	Aplicação de biocápsulas de liberação controlada (CAFER).	Avaliar eficiência da encapsulação e liberação gradual.	pH, Germinação, Altura e umidade residual.

Fonte: dados da pesquisa, 2025.

A cultura de coentro foi monitorada por 30 dias, avaliando-se o pH do solo, a taxa de germinação, a umidade residual e o desenvolvimento vegetativo. O pH do solo foi utilizado como indicador da acidez ativa, sendo considerados adequados valores entre 6,0 e 6,5 para o desenvolvimento da maioria das culturas agrícolas (EMBRAPA, 2017).

A taxa de germinação foi expressa em porcentagem (%), calculada a partir da razão entre o número de sementes germinadas e o total de sementes semeadas em cada tratamento, sendo considerada satisfatória quando superior a 80% em condições adequadas de cultivo.

A umidade residual do solo foi avaliada como indicador da capacidade de retenção hídrica, sendo interpretada de forma comparativa entre os tratamentos, considerando que maiores valores indicam melhor disponibilidade de água para as plantas, especialmente em solos arenosos.

O desenvolvimento vegetativo foi analisado com base na altura média das plantas (em centímetros) e no aspecto visual das plântulas, sendo considerados indicadores de crescimento vigoroso a uniformidade, coloração verde intensa e maior alongamento do caule ao longo do período experimental.

4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Análise da correção do pH e eficiência da encapsulação

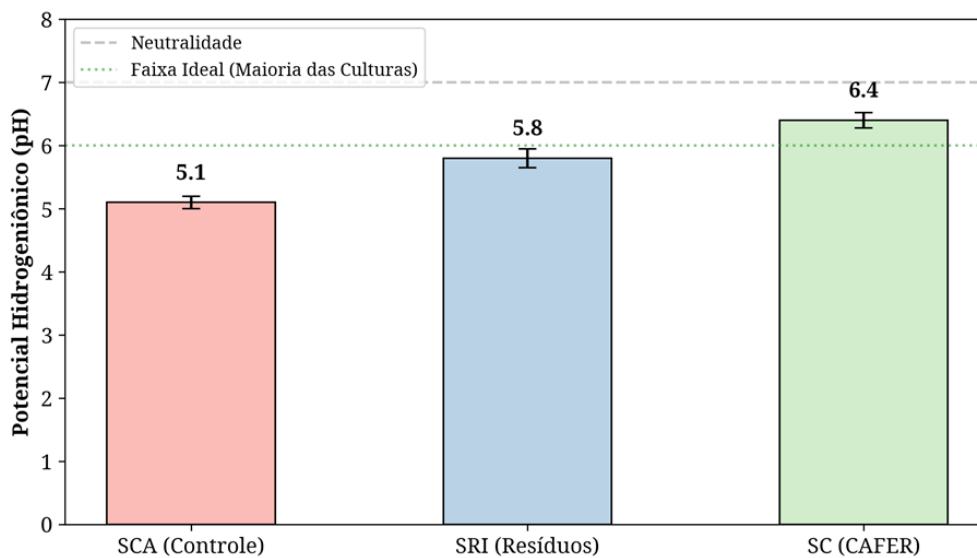
O experimento foi conduzido ao longo de 30 dias, durante o mês de maio de 2025, envolvendo duas estudantes do 2º ano do Ensino Médio, no contexto de atividades experimentais desenvolvidas no laboratório de Ciências e na área externa da escola, sob orientação docente. Os resultados obtidos ao final do período experimental evidenciaram alterações significativas no pH do solo, conforme demonstrado na Figura 2.

No cenário controle (SCA), o pH do solo manteve-se próximo ao valor inicial (5,1), indicando baixa capacidade de correção natural da acidez em ausência de intervenções. No tratamento com resíduos orgânicos aplicados diretamente ao solo (SRI), observou-se discreta elevação do pH, sugerindo liberação rápida de nutrientes e efeito corretivo limitado ao curto prazo.

Por outro lado, no tratamento com biocápsulas CAFER (SC), verificou-se aumento mais expressivo do pH, atingindo valores próximos a 6,4, indicando maior eficiência na correção da acidez do solo. Esse

comportamento pode ser explicado pela dinâmica de liberação controlada promovida pela mucilagem de quiabo, que atua como matriz hidropolimérica. Diferentemente da aplicação direta de resíduos, em que ocorre rápida mineralização e possível perda por lixiviação, a encapsulação promove liberação gradual dos nutrientes, permitindo uma ação corretiva mais estável e prolongada ao longo do tempo. Além disso, a presença de carbonato de cálcio proveniente da casca de ovo, retido na estrutura da biocápsula, contribui de forma contínua para a neutralização da acidez, favorecendo a manutenção do pH em níveis mais adequados ao desenvolvimento vegetal. Os resultados indicam que a tecnologia CAFER apresenta maior eficiência na correção da acidez do solo quando comparada à aplicação convencional de resíduos orgânicos, especialmente em condições de solo arenoso, onde a lixiviação de nutrientes tende a ser mais intensa.

Figura 2: Impacto dos tratamentos na acidez ativa do solo.



Fonte: dados da pesquisa, 2025.

A superioridade do tratamento com biocápsulas CAFER (SC) em relação ao tratamento com resíduos orgânicos aplicados diretamente (SRI) pode ser explicada pela cinética de liberação controlada de nutrientes. Enquanto os resíduos soltos sofrem rápida mineralização e estão mais suscetíveis à lixiviação pelas águas de irrigação, a mucilagem de quiabo atua como uma matriz hidropolimérica, funcionando como barreira física e química.

Os polissacarídeos presentes na mucilagem formam uma rede tridimensional capaz de reter compostos minerais, como o carbonato de cálcio proveniente da casca de ovo, promovendo sua liberação gradual à medida que ocorre a biodegradação da cápsula. Esse comportamento resulta em uma correção mais estável e prolongada da acidez do solo.

Estudos sobre o uso de biopolímeros na agricultura indicam que sistemas de encapsulamento aumentam a eficiência do uso de nutrientes e reduzem perdas por lixiviação, especialmente em solos arenosos e regiões de clima semiárido, onde a retenção hídrica é limitada (Souza & Menezes, 2022; EMBRAPA, 2017).

Dessa forma, a manutenção do pH em faixas próximas a 6,0–6,5 favorece a disponibilidade de macronutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo e potássio, contribuindo diretamente para o melhor desempenho das plantas ao longo do período experimental.

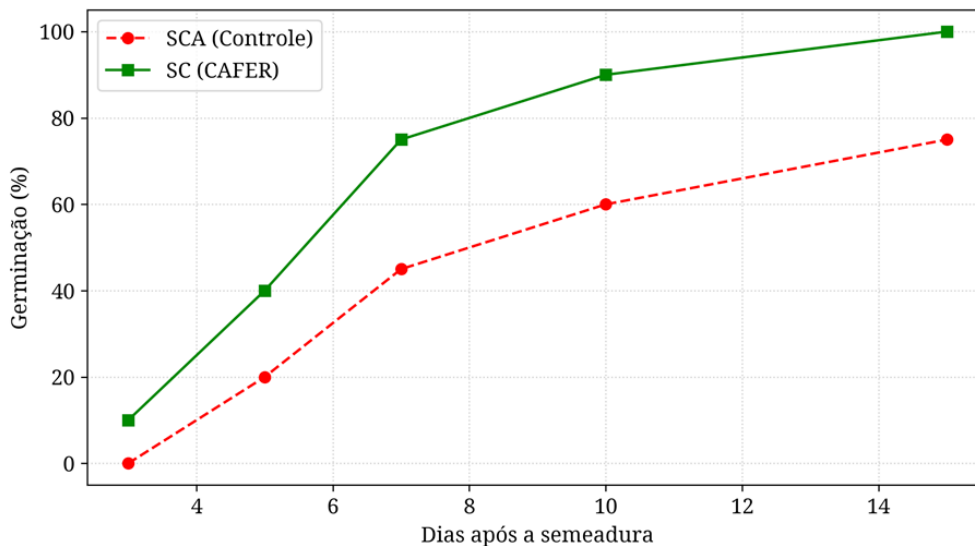
4.2 Desenvolvimento vegetativo e parâmetros biométricos no solo controle e no solo suplementado

Para a cultura do coentro (*Coriandrum sativum*), verificou-se diferença significativa na taxa de germinação [%] das sementes nas células experimentais, quando comparados o solo controle (SCA) e o solo suplementado com biocápsulas CAFER (SC), especialmente, nos primeiros 15 dias após a semeadura, conforme apresentado na Figura 3.

O tratamento com CAFER apresentou germinação mais rápida e uniforme, atingindo valores superiores ao controle já nos primeiros dias de cultivo, o que indica maior eficiência no estabelecimento inicial das plântulas. Em contraste, o solo controle apresentou germinação mais lenta e menor taxa final, evidenciando limitações relacionadas à disponibilidade de nutrientes e às condições físico-químicas do solo.

A diferença entre os tratamentos torna-se mais evidente a partir do 7º dia, momento em que o sistema com CAFER apresenta avanço mais acentuado no percentual de germinação em relação ao controle, indicando não apenas maior taxa final, mas também maior velocidade germinativa.

Figura 03: Taxa de germinação acumulada [%] ao longo de 15 dias.



Fonte: dados da pesquisa, 2025.

A Figura 3 apresenta a evolução da taxa de germinação ao longo de 15 dias após a semeadura, realizada durante o mês de maio de 2025, em condições experimentais conduzidas no laboratório de Ciências e na área externa da escola.

O delineamento experimental consistiu na semeadura de cinco sementes por célula de cultivo, sendo utilizadas 30 células por tratamento, totalizando 60 unidades experimentais e 300 sementes previamente selecionadas.

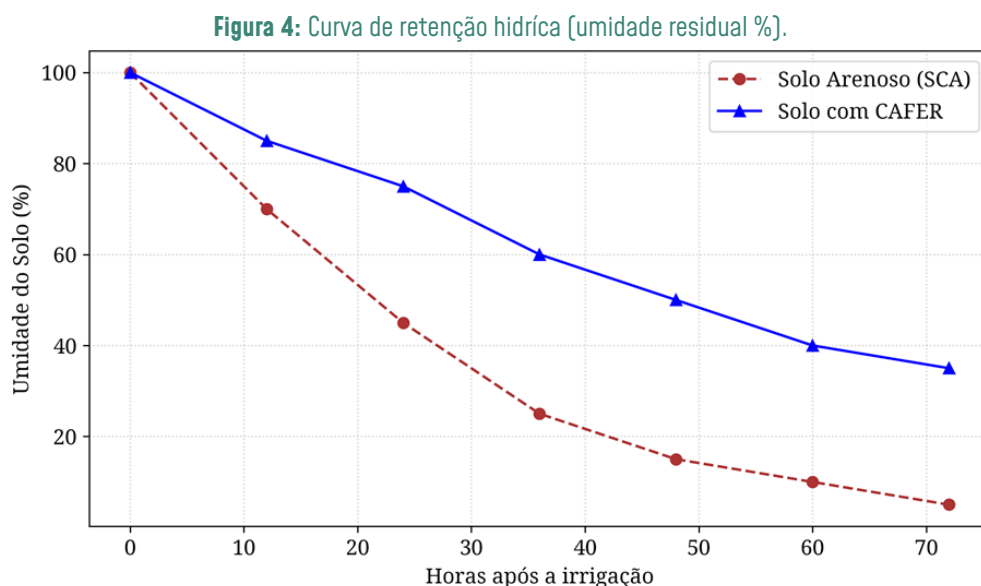
O processo de semeadura e acompanhamento foi realizado pelas estudantes participantes, sob orientação docente, ao longo do período experimental, garantindo padronização na condução das atividades e registro dos dados.

Esse arranjo experimental confere maior robustez aos resultados, permitindo uma avaliação representativa do comportamento germinativo em cada condição de solo.

Observa-se que o tratamento com CAFER (cenário 1) apresentou germinação progressiva mais acentuada desde os primeiros dias, atingindo 100% de germinação aos 15 dias, o que corresponde à emergência total das 150 sementes avaliadas. Em contraste, o solo controle (cenário 2) apresentou germinação mais lenta, estabilizando-se em aproximadamente 75%, o que corresponde à germinação de 113 sementes ao final do período experimental.

Considerando o número inicial de sementes por célula, esse resultado evidencia que, mesmo após 15 dias, ocorreram falhas no processo germinativo no tratamento controle. A diferença entre os tratamentos torna-se mais evidente a partir do 7º dia, quando o sistema com CAFER já atinge cerca de 75% de germinação, enquanto o controle permanece em torno de 45%.

Esse comportamento indica não apenas maior taxa final de germinação, mas também maior velocidade germinativa no tratamento com CAFER, fator essencial para o estabelecimento inicial das plântulas. Esse desempenho superior pode ser associado à melhoria das condições microambientais proporcionadas pela biocápsula, especialmente no que se refere à retenção hídrica. Como indicado na Figura 4, a mucilagem de quiabo apresenta elevada capacidade de retenção de água, favorecendo a manutenção da umidade no entorno das sementes e reduzindo o estresse hídrico em condições de solo arenoso.



Fonte: dados da pesquisa, 2025.

Esse efeito é particularmente relevante em solos arenosos, nos quais a drenagem é elevada e a disponibilidade de água é frequentemente limitante. Dessa forma, os resultados indicam que o uso de CAFER contribui não apenas para o aumento da taxa de germinação, mas também para a redução da variabilidade e das falhas germinativas observadas no solo controle, promovendo maior uniformidade e eficiência no estabelecimento inicial da cultura.

Além da taxa de germinação, a análise da umidade residual do solo evidenciou diferenças importantes entre os cenários experimentais. O tratamento com CAFER apresentou maior retenção hídrica ao longo do período de cultivo, enquanto o solo controle apresentou redução mais acentuada da umidade, indicando menor capacidade de retenção de água.

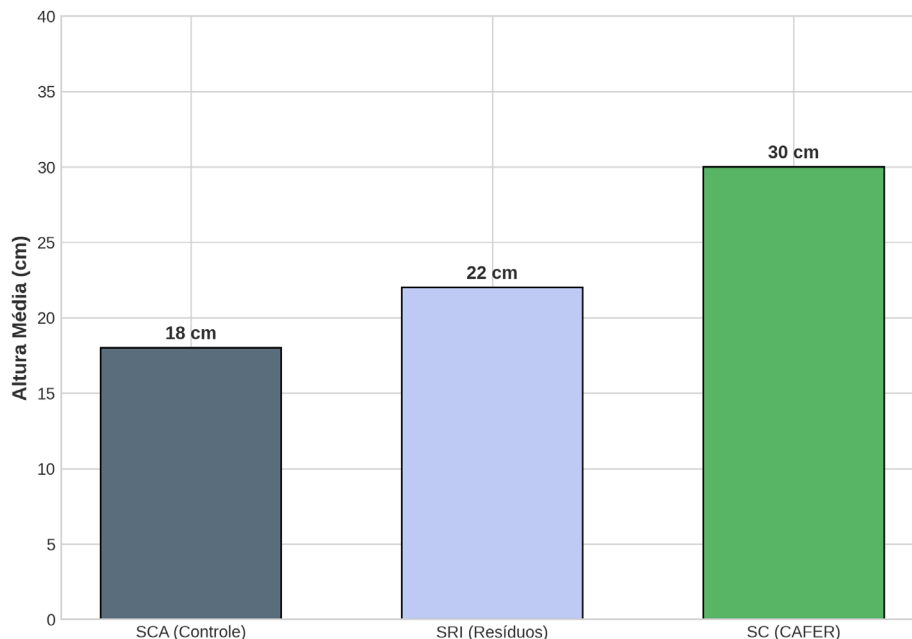
Esse comportamento contribui diretamente para a manutenção de condições mais favoráveis ao desenvolvimento inicial das plantas, especialmente em solos arenosos, onde a perda de água ocorre de forma mais rápida.

Além disso, os efeitos positivos do tratamento não se restringem à fase germinativa, estendendo-se ao desenvolvimento inicial das plantas.

O crescimento médio do coentro, avaliado a partir da altura das plantas (cm) ao final de 30 dias Figura 05, foi superior no tratamento com CAFER em comparação ao solo controle, indicando melhor desempenho vegetativo. Observou-se maior uniformidade no desenvolvimento das plantas no cenário com CAFER, com plântulas apresentando crescimento mais homogêneo, enquanto no solo controle houve maior variabilidade no tamanho e desenvolvimento das plantas.

Esses resultados reforçam o potencial do uso de biocápsulas como estratégia para otimizar o desempenho da cultura, especialmente em condições de limitação hídrica e baixa fertilidade do solo.

Figura 5: Parâmetros biométricos do coentro aos 30 dias.



Fonte: dados da pesquisa, 2025.

A interpretação dos dados indica que as biocápsulas CAFER exerceram efeito positivo no desenvolvimento do coentro, especialmente quando comparadas ao solo controle.

No cenário com CAFER, observou-se maior taxa de germinação, crescimento mais uniforme e maior desenvolvimento vegetativo das plantas ao longo do período experimental. Esse desempenho pode ser associado à atuação integrada de fatores como melhoria do pH do solo, maior disponibilidade gradual de nutrientes e aumento da retenção hídrica proporcionada pela mucilagem de quiabo.

A mucilagem atua como um hidrogel natural, elevando a capacidade de retenção de água no solo arenoso e reduzindo o estresse hídrico entre os intervalos de irrigação, condição particularmente relevante em ambientes de clima semiárido.

No cenário controle, por outro lado, verificou-se menor taxa de germinação, maior variabilidade no desenvolvimento das plântulas e crescimento reduzido, indicando limitações relacionadas à baixa disponibilidade de nutrientes, maior acidez do solo e menor retenção de umidade.

A comparação entre os cenários evidencia que o uso de biocápsulas promove condições mais favoráveis ao estabelecimento inicial da cultura, contribuindo para maior eficiência no aproveitamento dos recursos disponíveis no solo.

Quanto à presença de borra de café na composição das cápsulas, seu efeito está relacionado principalmente à contribuição nutricional e à melhoria das características físicas do substrato, podendo também influenciar indiretamente a proteção das plântulas, embora esse aspecto não tenha sido diretamente avaliado neste estudo

A simplicidade do processo de produção das biocápsulas permite sua aplicação em contextos de agricultura familiar e urbana, reduzindo a dependência de fertilizantes sintéticos e ampliando a autonomia produtiva.

Além disso, a valorização do protagonismo estudantil na Escola Estadual de Educação Profissional Otília Correia Saraiva demonstra que a integração entre educação científica e práticas sustentáveis pode gerar soluções tecnológicas de baixo custo e potencial impacto social, especialmente no contexto do semiárido cearense.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As biocápsulas CAFER demonstraram potencial como alternativa sustentável para o manejo do solo, especialmente, em condições de baixa fertilidade e limitação hídrica, como observado em solos arenosos do semiárido. Os resultados obtidos indicaram melhorias na correção do pH, no aumento da taxa de germinação, na retenção de umidade e no desenvolvimento inicial das plantas quando comparados ao solo controle.

No entanto, é importante destacar que os resultados se referem a um experimento em escala controlada e de curta duração, sendo necessários estudos complementares em condições de campo e em diferentes ciclos de cultivo para validação mais ampla da tecnologia.

Do ponto de vista educacional, o projeto evidenciou o papel do protagonismo estudantil no desenvolvimento de soluções científicas aplicadas a problemas locais. A participação ativa das estudantes em todas as etapas, desde a fundamentação teórica até a execução experimental e análise dos resultados, contribuiu para a construção do pensamento científico, autonomia investigativa e senso crítico.

A experiência demonstrou a integração entre Educação Básica e pesquisa experimental pode gerar não apenas aprendizado significativo, mas também propostas tecnológicas viáveis e contextualizadas com a realidade regional. Além disso, o uso de resíduos orgânicos como matéria-prima reforça a importância da Educação Ambiental e da valorização de práticas sustentáveis, promovendo a redução de desperdícios e o reaproveitamento de recursos locais.

Como perspectivas futuras, recomenda-se a ampliação dos testes em escala de campo, a avaliação do desempenho em diferentes culturas agrícolas e a padronização do processo produtivo das biocápsulas, de modo a garantir maior controle sobre sua composição e eficiência.

Dessa forma, o CAFER apresenta-se como uma proposta promissora, tanto do ponto de vista agrônomo quanto educacional, contribuindo para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis e para o fortalecimento da ciência no contexto escolar.

REFERÊNCIAS

- CARVALHO, M. M. *et al.* Correção de acidez do solo com resíduos orgânicos. **Cadernos de Agroecologia**, v. 16, n. 2, p. 45-58, 2021.
- COSTA, R. S. *et al.* Uso de casca de ovo como corretivo agrícola. **Agroecologia em Foco**, v. 9, n. 3, p. 112-124, 2021.
- EMBRAPA. **Manual de Fertilidade do Solo e Manejo de Nutrientes**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2017.
- FAO. **Agroecological transitions for sustainable food systems**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- IPNI. **Manual de Nutrição de Plantas**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2018.
- OLIVEIRA, A. U.; STÉDILE, J. P. **A Natureza do Agronegócio no Brasil**. Brasília: Secretaria Operativa, 2005.
- PIRES, A. M. **Agricultura orgânica e regenerativa: bases e aplicações**. Belo Horizonte: Instituto Terra Livre, 2023.
- SILVA, R. J. *et al.* Uso de resíduos agroindustriais como fonte de nutrientes. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 15, n. 1, p. 33-47, 2020.
- SOUZA, L. T.; MENEZES, C. A. Mucilagens vegetais e suas aplicações agrícolas. **Revista Ciência Rural**, v. 52, n. 4, p. 201-214, 2022.
- SOUZA, L. M. B. *et al.* Desempenho agrônômico de composto orgânico contendo borra de café. **INCAPER em Foco**, 2023.