



Universidade Federal de Sergipe
Campus do Sertão
Departamento de Engenharia Agrônômica do Sertão



MIQUEIAS TEIXEIRA BATISTA

CONTROLE BIOLÓGICO PARA REDUÇÃO DE CUSTOS NA RIZICULTURA

Trabalho de Conclusão de Curso

Nossa Senhora da Glória/Sergipe
Fevereiro de 2026

MIQUEIAS TEIXEIRA BATISTA

CONTROLE BIOLÓGICO PARA REDUÇÃO DE CUSTOS NA RIZICULTURA

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Agrônoma da Universidade Federal de Sergipe, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Agrônoma.

Orientador: Thiago Limoeiro Ricarte

Nossa Senhora da Glória/Sergipe

Fevereiro de 2026

MIQUEIAS TEIXEIRA BATISTA

CONTROLE BIOLÓGICO PARA REDUÇÃO DE CUSTOS NA RIZICULTURA

Este documento foi julgado adequado como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Agrônômica.

Aprovado em: 02/02/2026

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **THIAGO LIMOEIRO RICARTE**
Data: 27/02/2026 11:06:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Thiago Limoeiro Ricarte, Doutor
Universidade Federal de Sergipe

Documento assinado digitalmente
 **NILSON RODRIGUES DA SILVA**
Data: 26/02/2026 10:45:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Nilson Rodrigues da Silva, Doutor
Universidade Federal de Sergipe

Documento assinado digitalmente
 **MONALISA SOARES COSTA**
Data: 25/02/2026 21:02:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Monalisa Soares Costa, Doutora
Universidade Federal de Sergipe

SUMÁRIO

Resumo.....	8
Abstract	8
1. Introdução.....	10
2. Referencial Teórico	12
2.1 A rizicultura irrigada e seus desafios produtivos	12
2.2 Sistemas produtivos: convencional e agroecológico	12
2.2.1 Sistema convencional.....	12
2.2.2 Sistema agroecológico.....	13
2.3 Manejo fitossanitário na cultura do arroz	13
2.4 Controle biológico como componente do MIP	14
2.5 Evidências econômicas da adoção do controle biológico	15
3. Metodologia.....	17
3.1 Delineamento da pesquisa	17
3.2 Área de estudo e caracterização da amostra	17
3.3 Fonte e natureza dos dados	18
3.4 Estruturação dos custos	18
3.5 Estimativa da receita agrícola.....	19
3.6 Construção dos cenários simulados.....	19
3.7 Indicadores econômicos utilizados.....	19
3.8 Análise estatística	19
4. Resultados e discussões	21
5. Conclusões.....	25
6. Referências bibliográficas.....	25

CONTROLE BIOLÓGICO PARA REDUÇÃO DE CUSTOS NA RIZICULTURA

Resumo

A rizicultura irrigada no Baixo São Francisco sergipano apresenta elevada relevância socioeconômica, porém enfrenta desafios relacionados ao aumento dos custos de produção, especialmente aqueles associados ao uso de defensivos agrícolas. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar o potencial do controle biológico como estratégia de redução dos custos com defensivos na rizicultura irrigada da região. A pesquisa foi conduzida com base em dados primários coletados diretamente em propriedades rurais dos municípios de Brejo Grande, Ilha das Flores e Propriá, complementados por dados secundários da literatura científica. Foram caracterizados os sistemas produtivos convencional e agroecológico, quantificando-se a participação dos defensivos no custo total e na receita agrícola. A partir dessas informações, foram simulados cenários de substituição parcial de defensivos químicos por agentes biológicos, considerando reduções conservadoras de 30%, 40% e 50%, fundamentadas em evidências científicas. Os resultados indicaram que os defensivos representam parcela significativa do custo variável no sistema convencional, apresentando correlação positiva com o custo total de produção. As simulações demonstraram potencial de redução de custos e melhoria na margem econômica, evidenciando que a integração do controle biológico ao manejo pode contribuir para maior sustentabilidade econômica e ambiental da atividade.

Palavras-chave: manejo integrado de pragas; sustentabilidade agrícola; viabilidade econômica; agricultura familiar; sistemas produtivos.

Abstract

BIOLOGICAL CONTROL AS A STRATEGY TO REDUCE PRODUCTION COSTS IN RICE CULTIVATION IN SERGIPE, BRAZIL

Irrigated rice production in the Lower São Francisco region of Sergipe plays a significant socioeconomic role but faces increasing production costs, particularly those related to pesticide use. In this context, this study aimed to analyze the potential of biological control as a strategy to reduce pesticide-related costs in irrigated rice systems. The research was based on primary data collected directly from rice farmers in the municipalities of Brejo Grande, Ilha das Flores, and Propriá, complemented by secondary scientific sources. Conventional and agroecological production systems were characterized, and the share of pesticides in total production costs and agricultural revenue was quantified. Based on these data, scenarios of partial substitution of chemical pesticides by biological agents were simulated, considering conservative reduction rates of 30%, 40%, and 50%, supported by scientific evidence. The results indicated that pesticides represent a significant portion of variable costs in the conventional system and show a strong positive correlation with total production costs. The simulated scenarios demonstrated potential cost reductions and improvements in economic margins, suggesting that the integration of biological control into crop management may contribute to greater economic and environmental sustainability in rice farming.

Keywords: Integrated pest management; Agricultural sustainability; Economic feasibility; Family farming; Production systems.

1. Introdução

A rizicultura irrigada possui elevada relevância econômica e social no Brasil, constituindo-se como atividade estratégica para a segurança alimentar e para a geração de renda, especialmente no âmbito da agricultura familiar. No estado de Sergipe, com destaque para a região do Baixo São Francisco, o cultivo do arroz representa importante atividade produtiva em áreas de várzea, contribuindo para a dinâmica socioeconômica regional (BRANDÃO, 2024).

Apesar de sua relevância, a produção de arroz irrigado enfrenta desafios significativos relacionados à sustentabilidade econômica do sistema produtivo. Entre os principais entraves destaca-se o elevado custo de produção, particularmente associado ao uso intensivo de insumos externos, como fertilizantes sintéticos e defensivos agrícolas. Estudos do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA, 2024) e da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2024) demonstram que os defensivos agrícolas representam parcela expressiva do custo variável da cultura, impactando diretamente a margem de rentabilidade dos produtores.

No contexto da rizicultura irrigada, o sistema convencional caracteriza-se pelo uso predominante de insumos químicos sintéticos no manejo fitossanitário, incluindo aplicações sucessivas de inseticidas e fungicidas ao longo do ciclo produtivo, tratamento químico de sementes e forte dependência de fertilizantes minerais. Esse modelo, amplamente difundido, apresenta elevada dependência de insumos externos e maior vulnerabilidade às oscilações de preços de mercado, podendo comprometer a estabilidade econômica da atividade (MARTINS et al., 2009; IRGA, 2024).

Entre as principais pragas associadas ao ambiente irrigado destaca-se o percevejo-do-colmo (*Tibraca limbativentris*), além da bicheira-da-raiz (*Oryzophagus oryzae*), que frequentemente demandam aplicações repetidas de inseticidas. No que se refere às doenças, a brusone, causada por *Magnaporthe oryzae*, é considerada uma das enfermidades mais importantes da cultura, exigindo o uso recorrente de fungicidas sintéticos no sistema convencional (MARTINS et al., 2009). Essa dependência química eleva os custos de produção e intensifica riscos ambientais e de resistência de pragas e patógenos.

Paralelamente, observa-se a expansão de sistemas produtivos agroecológicos, que se caracterizam pela redução ou ausência do uso de defensivos químicos sintéticos, priorizando práticas preventivas, manejo integrado de pragas e doenças, equilíbrio nutricional do solo e utilização de agentes biológicos. Além do enfoque ambiental, esses sistemas frequentemente acessam mercados institucionais que valorizam produtos diferenciados, contribuindo para maior estabilidade de receita (OBSERVATÓRIO DA AGROECOLOGIA, 2020).

Nesse cenário, o controle biológico surge como estratégia promissora para reduzir a dependência de defensivos químicos no sistema convencional. O controle biológico pode ser definido como o uso de organismos vivos ou seus metabólitos para reduzir populações de pragas e patógenos a níveis que não causem prejuízos econômicos (BELARMINO, 1992). No Brasil, o setor de bioinsumos tem apresentado crescimento significativo, impulsionado por avanços científicos e políticas públicas de incentivo, consolidando o país como um dos principais mercados globais de agentes biológicos (PARRA, 2023).

Fungos entomopatogênicos como *Metarhizium anisopliae* e *Beauveria bassiana* vêm sendo amplamente estudados e aplicados no controle de insetos-praga, demonstrando potencial para reduzir o uso de inseticidas químicos (MESQUITA et al., 2023; APIRAJKAMOL et al., 2023). Da mesma forma, bactérias antagonistas do gênero *Bacillus* têm apresentado resultados promissores no controle biológico da brusone do arroz, contribuindo para a diminuição da necessidade de fungicidas sintéticos (LEI et al., 2023).

Do ponto de vista econômico, estudos internacionais indicam que a integração do controle biológico ao Manejo Integrado de Pragas pode gerar reduções significativas nos custos com defensivos, variando conforme o nível de adoção tecnológica (NARANJO; ELLSWORTH; FRISVOLD, 2015). No entanto, ainda são escassas análises aplicadas à realidade da rizicultura irrigada no estado de Sergipe, especialmente com base em dados primários de produtores locais.

Diante desse contexto, emerge a questão de pesquisa que onde a medida a adoção parcial do controle biológico pode reduzir os custos com defensivos agrícolas na rizicultura irrigada do Baixo São Francisco sergipano, sem comprometer a viabilidade econômica do sistema produtivo

Assim, o presente estudo tem como objetivo analisar o potencial do controle biológico como estratégia de redução dos custos com defensivos agrícolas na rizicultura irrigada do Baixo São Francisco sergipano.

2. Referencial Teórico

2.1 A rizicultura irrigada e seus desafios produtivos

A rizicultura irrigada constitui um dos principais sistemas produtivos do arroz no Brasil, sendo amplamente praticada em áreas de várzea com controle hídrico por inundação. Esse sistema proporciona elevada produtividade, porém demanda manejo técnico intensivo e elevado uso de insumos externos (MARTINS et al., 2009). No estado de Sergipe, especialmente na região do Baixo São Francisco, o cultivo irrigado é conduzido predominantemente por agricultores familiares, com forte dependência de fatores climáticos, infraestrutura de irrigação e custos operacionais associados ao preparo do solo, fertilização e manejo fitossanitário (BRANDÃO, 2024).

O ambiente irrigado, caracterizado por elevada umidade e temperaturas favoráveis, cria condições propícias ao desenvolvimento de pragas e doenças. Entre os principais insetos-praga destacam-se o percevejo-do-colmo (*Tibraca limbativentris*) e a bicheira-da-raiz (*Oryzophagus oryzae*), frequentemente associados a perdas significativas de produtividade (MARTINS et al., 2009). No que se refere às doenças, a brusone do arroz, causada por *Magnaporthe oryzae*, é considerada uma das enfermidades mais severas do sistema irrigado, podendo comprometer folhas, colmos e panículas (LEI et al., 2023).

O controle dessas pragas e doenças, no sistema convencional, baseia-se predominantemente na aplicação de inseticidas e fungicidas sintéticos, muitas vezes realizados de forma preventiva ou calendarizada. Essa prática eleva o custo variável da produção, especialmente em cenários de alta pressão fitossanitária (IRGA, 2024). Relatórios de custos de produção indicam que os defensivos agrícolas podem representar parcela relevante das despesas totais, impactando diretamente a rentabilidade do produtor (CONAB, 2024).

Além do impacto econômico, o uso intensivo de agroquímicos está associado ao risco de seleção de populações resistentes de insetos e patógenos, exigindo doses maiores ou moléculas mais onerosas ao longo do tempo (NARANJO; ELLSWORTH; FRISVOLD, 2015). Assim, a sustentabilidade do sistema irrigado passa necessariamente pela adoção de estratégias de manejo que reduzam a dependência química sem comprometer o controle fitossanitário.

Diante desse contexto, torna-se fundamental analisar alternativas que integrem eficiência técnica e viabilidade econômica, especialmente em regiões onde a margem de lucro é sensível às oscilações de custos com insumos agrícolas.

2.2 Sistemas produtivos: convencional e agroecológico

A compreensão das diferenças entre os sistemas produtivos analisados é fundamental para a interpretação dos resultados econômicos deste estudo. Embora ambos estejam inseridos na rizicultura irrigada da região do Baixo São Francisco, apresentam diferenças estruturais no manejo técnico, no uso de insumos e na forma de comercialização.

2.2.1 Sistema convencional

No presente estudo, considera-se sistema convencional aquele baseado no uso predominante de insumos externos de origem sintética, incluindo fertilizantes minerais solúveis, sementes tratadas quimicamente e aplicações sucessivas de inseticidas e fungicidas ao longo do ciclo produtivo. Esse modelo produtivo prioriza o controle químico como principal estratégia de manejo fitossanitário, frequentemente associado a aplicações preventivas ou calendarizadas, especialmente para o controle da brusone (*Magnaporthe oryzae*) e de insetos-praga como o percevejo-do-colmo (*Tibraca limbativentris*) (MARTINS et al., 2009).

No sistema convencional irrigado, o manejo envolve preparo intensivo do solo, adubação nitrogenada parcelada, controle químico de plantas daninhas e aplicações de defensivos conforme o nível de pressão fitossanitária. Esse modelo apresenta elevada dependência de insumos adquiridos no mercado, o que torna os custos de produção sensíveis às oscilações de preços de fertilizantes e agroquímicos (IRGA, 2024; CONAB, 2024).

Do ponto de vista econômico, a comercialização ocorre majoritariamente via empresas privadas, com preços definidos pelo mercado. Assim, a margem de lucro depende diretamente da relação entre custo variável — especialmente defensivos agrícolas — e preço de venda do produto.

2.2.2 Sistema agroecológico

O sistema agroecológico, por sua vez, caracteriza-se pela adoção de práticas fundamentadas em princípios ecológicos, buscando reduzir a dependência de insumos externos e minimizar impactos ambientais. Nesse modelo, o manejo fitossanitário prioriza estratégias preventivas, como equilíbrio nutricional do solo, diversidade biológica, monitoramento de pragas

e uso de agentes de controle biológico, reduzindo ou eliminando a aplicação de defensivos químicos sintéticos.

Diferentemente do sistema convencional, o agroecológico integra o controle biológico como componente central do manejo, seja por meio da conservação de inimigos naturais, seja pela aplicação de bioinsumos comercialmente disponíveis. Além disso, esse sistema frequentemente acessa mercados institucionais, como programas públicos de aquisição de alimentos, que valorizam produtos diferenciados e permitem preços superiores aos praticados no mercado convencional (OBSERVATÓRIO DA AGROECOLOGIA, 2020).

Embora possa demandar maior conhecimento técnico e organização produtiva, o sistema agroecológico tende a apresentar menor participação de defensivos químicos na estrutura de custos, o que pode contribuir para maior estabilidade econômica, especialmente quando associado a canais de comercialização diferenciados.

2.3 Manejo fitossanitário na cultura do arroz

O manejo fitossanitário na rizicultura irrigada constitui um dos principais componentes do custo variável de produção, especialmente em sistemas conduzidos sob modelo convencional. As condições de alta umidade e temperaturas favoráveis ao longo do ciclo da cultura criam ambiente propício à incidência de insetos-praga e doenças, exigindo monitoramento constante e intervenções técnicas específicas (MARTINS et al., 2009).

No sistema convencional, o controle de insetos-praga é realizado predominantemente por meio da aplicação de inseticidas químicos sintéticos, geralmente via pulverização terrestre com equipamentos tratorizados. Entre os principais alvos destacam-se o percevejo-do-colmo (*Tibraca limbativentris*) e a bicheira-da-raiz (*Oryzophagus oryzae*), que podem demandar aplicações conforme o nível de infestação identificado em campo. Além das aplicações foliares, é prática comum o tratamento químico de sementes antes da semeadura, visando proteção inicial contra pragas de solo e patógenos associados (MARTINS et al., 2009).

No que se refere às doenças, a brusone (*Magnaporthe oryzae*) é considerada a principal enfermidade da cultura no sistema irrigado, podendo comprometer folhas, colmos e panículas. O manejo convencional inclui aplicações de fungicidas sistêmicos e protetores, muitas vezes realizadas de forma preventiva ou nos estádios fenológicos mais suscetíveis da cultura.

Dependendo das condições climáticas e da pressão da doença, podem ser realizadas uma ou mais aplicações ao longo do ciclo produtivo (IRGA, 2024).

Esse conjunto de intervenções — tratamento de sementes, aplicações de inseticidas e fungicidas e controle químico de plantas daninhas — contribui para a elevação dos custos de produção, sobretudo quando há necessidade de reaplicações em decorrência de alta pressão fitossanitária ou falhas de controle. Além disso, o uso intensivo de agroquímicos pode favorecer a seleção de populações resistentes, exigindo a utilização de moléculas mais onerosas ou misturas comerciais, impactando ainda mais a estrutura de custos (NARANJO; ELLSWORTH; FRISVOLD, 2015).

Em contraposição, no sistema agroecológico o manejo fitossanitário prioriza estratégias preventivas e integradas, baseadas no monitoramento populacional, no equilíbrio nutricional do solo e na utilização de agentes biológicos. Nesses sistemas, o controle químico é reduzido ou inexistente, sendo substituído por práticas que favorecem o controle natural das populações de pragas e patógenos, além do uso de bioinsumos quando necessário.

Assim, a intensidade e a forma de manejo fitossanitário diferenciam significativamente os sistemas produtivos analisados, influenciando diretamente a participação dos defensivos na composição do custo total e, conseqüentemente, a rentabilidade da atividade.

2.4 Controle biológico como componente do MIP

O Manejo Integrado de Pragas (MIP) consiste em um conjunto de estratégias que visam manter as populações de pragas abaixo do nível de dano econômico, por meio da integração de métodos culturais, biológicos, genéticos e químicos (MARTINS et al., 2009). Nesse contexto, o controle biológico não deve ser entendido como alternativa isolada ao controle químico, mas como um de seus principais componentes estruturantes.

O controle biológico pode ser definido como a utilização de organismos vivos ou seus metabólitos para reduzir a população de pragas e patógenos a níveis que não causem prejuízos econômicos (BELARMINO, 1992). Sua aplicação pode ocorrer por meio da conservação de inimigos naturais já presentes no agroecossistema ou pela introdução de agentes biológicos produzidos comercialmente, como fungos entomopatogênicos e bactérias antagonistas.

Na cultura do arroz, fungos como *Metarhizium anisopliae* e *Beauveria bassiana* têm sido amplamente estudados para o controle de insetos-praga, atuando por infecção direta do hospedeiro

após aplicação via pulverização foliar (MESQUITA et al., 2023; APIRAJKAMOL et al., 2023). Esses agentes apresentam potencial para reduzir a necessidade de aplicações sucessivas de inseticidas sintéticos, especialmente quando incorporados a programas de monitoramento e tomada de decisão baseada em nível de dano econômico.

No controle de doenças, bactérias do gênero *Bacillus* e fungos como *Trichoderma spp.* têm demonstrado atividade antagonista contra patógenos associados à cultura do arroz, incluindo a brusone (*Magnaporthe oryzae*), podendo atuar tanto via aplicação foliar quanto no tratamento de sementes (LEI et al., 2023). Esses agentes contribuem para a supressão de patógenos por mecanismos como competição, produção de metabólitos antimicrobianos e indução de resistência sistêmica na planta.

Do ponto de vista econômico, a integração do controle biológico ao MIP pode reduzir a frequência de aplicações químicas, diminuir o volume total de insumos sintéticos utilizados e mitigar riscos de resistência, o que tende a impactar positivamente a estrutura de custos no médio e longo prazo (NARANJO; ELLSWORTH; FRISVOLD, 2015). Contudo, sua eficácia depende de fatores como condições ambientais, momento de aplicação e nível de adoção tecnológica pelo produtor.

No Brasil, o mercado de bioinsumos tem apresentado crescimento consistente, consolidando o país como um dos principais consumidores e produtores globais de agentes biológicos (PARRA, 2023). Esse avanço científico e tecnológico amplia as possibilidades de inserção do controle biológico em sistemas produtivos tradicionais, inclusive como estratégia intermediária de transição entre modelos altamente dependentes de agroquímicos e sistemas de base agroecológica.

Dessa forma, a incorporação do controle biológico ao manejo da rizicultura irrigada deve ser analisada não apenas sob a perspectiva ambiental, mas também sob o enfoque econômico, considerando sua capacidade de reduzir custos variáveis associados ao uso intensivo de defensivos químicos.

2.5 Evidências econômicas da adoção do controle biológico

A adoção do controle biológico no âmbito do Manejo Integrado de Pragas tem sido associada não apenas à redução de impactos ambientais, mas também a ganhos econômicos decorrentes da diminuição do uso de defensivos químicos. Estudos internacionais indicam que a integração de agentes biológicos aos sistemas produtivos pode reduzir a frequência de aplicações de inseticidas

e fungicidas, resultando em economia de insumos e menor exposição a oscilações de preços no mercado de agroquímicos (NARANJO; ELLSWORTH; FRISVOLD, 2015).

Segundo Naranjo, Ellsworth e Frisvold (2015), programas de manejo que incorporam controle biológico podem gerar reduções variáveis nos custos com defensivos, dependendo do nível de adoção e das condições locais, podendo variar entre reduções moderadas e substanciais. Essa variação está associada à intensidade da substituição química, ao grau de monitoramento técnico e à adequação das condições ambientais para atuação dos agentes biológicos.

No contexto brasileiro, o crescimento do mercado de bioinsumos tem ampliado a oferta comercial de agentes biológicos, contribuindo para maior competitividade em relação aos produtos químicos sintéticos (PARRA, 2023). Embora os custos de aquisição de bioinsumos variem conforme a formulação, dose e frequência de aplicação, sua utilização integrada ao manejo pode reduzir a necessidade de reaplicações químicas, especialmente quando associada a estratégias preventivas.

Além disso, Belarmino (1992) já destacava que o controle biológico, quando bem estruturado dentro de programas de manejo integrado, pode representar alternativa economicamente viável ao controle exclusivamente químico, especialmente em sistemas com alta pressão de pragas. A principal vantagem econômica reside na possibilidade de reduzir a dependência de aplicações repetidas e na mitigação de riscos associados à resistência de pragas e patógenos.

Entretanto, é importante destacar que os impactos econômicos da adoção do controle biológico não são uniformes e dependem do contexto produtivo, do nível de capacitação técnica do produtor e da intensidade de uso prévio de defensivos químicos. Assim, a literatura aponta para a necessidade de análises aplicadas à realidade local, considerando dados primários de custos de produção, de modo a estimar cenários realistas de substituição parcial (NARANJO; ELLSWORTH; FRISVOLD, 2015).

Nesse sentido, a construção de cenários simulados de redução percentual dos custos com defensivos constitui ferramenta metodológica adequada para estimar o potencial econômico da adoção do controle biológico, especialmente em estudos exploratórios que buscam avaliar a viabilidade de transição produtiva sem intervenção experimental direta.

Desse modo, a análise econômica proposta neste estudo fundamenta-se em evidências científicas consolidadas e busca aplicar tais referências à realidade da rizicultura irrigada do Baixo São Francisco sergipano, contribuindo para o debate sobre sustentabilidade econômica e ambiental do setor.

3. Metodologia

3.1 Delineamento da pesquisa

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza quantitativa, com abordagem exploratória e comparativa, cujo objetivo foi analisar o potencial do controle biológico como estratégia de redução dos custos com defensivos agrícolas na rizicultura irrigada do Baixo São Francisco sergipano.

A pesquisa apresenta caráter descritivo, uma vez que buscou caracterizar a estrutura de custos dos sistemas produtivos convencional e agroecológico, quantificando a participação dos defensivos no custo total e na receita agrícola. Conforme Gil (2010), estudos descritivos são adequados quando o objetivo é analisar fenômenos econômicos e produtivos com base em dados observáveis, sem intervenção experimental direta.

Além disso, adotou-se abordagem comparativa entre sistemas produtivos, permitindo avaliar diferenças estruturais na composição de custos e simular cenários de substituição parcial de defensivos químicos por agentes biológicos.

3.2 Área de estudo e caracterização da amostra

A coleta de dados foi realizada diretamente em propriedades rurais localizadas nos municípios de Brejo Grande, Ilha das Flores e Propriá, situados na região do Baixo São Francisco sergipano.

Foram analisados dados de produtores inseridos nos sistemas convencional e agroecológico, considerando informações referentes à safra 2023/2024. A seleção dos produtores ocorreu por acessibilidade, priorizando aqueles que disponibilizaram planilhas detalhadas de custos de produção.

Os produtores foram caracterizados quanto a:

- Área cultivada (hectares);
- Produção total (kg);
- Sistema produtivo adotado;
- Custo total de produção;
- Custo específico com defensivos agrícolas;

- Canal de comercialização.

Essa caracterização foi fundamental para permitir comparações econômicas entre os sistemas analisados.

3.3 Fonte e natureza dos dados

3.3.1 Dados primários

Os dados primários foram obtidos por meio de visitas técnicas presenciais realizadas nas propriedades rurais, nas quais foram coletadas planilhas de custos fornecidas pelos próprios produtores.

As informações incluíram despesas com:

- Insumos (fertilizantes, sementes, defensivos);
- Operações mecanizadas;
- Mão de obra;
- Custos operacionais diversos.

Os dados foram organizados em planilha eletrônica e padronizados por hectare (R\$ ha⁻¹), permitindo comparabilidade entre propriedades com diferentes áreas cultivadas.

Segundo Richetti (2007), o uso de dados primários de custos de produção aumenta a precisão da análise econômica por refletir a realidade local do sistema produtivo.

3.3.2 Dados secundários

Foram utilizados dados secundários provenientes de:

- Documentos técnicos sobre manejo do arroz (MARTINS et al., 2009);
- Relatórios oficiais de custos de produção (IRGA, 2024; CONAB, 2024);
- Estudos científicos sobre controle biológico e análise econômica (BELARMINO, 1992; NARANJO; ELLSWORTH; FRISVOLD, 2015; PARRA, 2023).

Essas fontes foram utilizadas exclusivamente para fundamentação teórica e para embasar a construção dos cenários simulados.

3.4 Estruturação dos custos

Os custos foram organizados em duas categorias principais:

1. **Custo Total de Produção (CTP)** – soma de todos os custos diretos e indiretos do cultivo.
2. **Custo com Defensivos Agrícolas (CDA)** – parcela específica destinada à aquisição e aplicação de inseticidas, fungicidas e demais produtos fitossanitários.

Os valores foram expressos:

- Em R\$ por produtor;
- Em R\$ ha⁻¹;
- Como percentual da receita agrícola.

3.5 Estimativa da receita agrícola

A receita total foi estimada com base na produção física (kg) e no preço médio de comercialização praticado pelos produtores.

- Sistema convencional: R\$ 0,95 kg⁻¹
- Sistema agroecológico: R\$ 6,80 kg⁻¹

A diferenciação de preços está associada aos distintos canais de comercialização, especialmente à inserção em mercados institucionais no caso agroecológico.

3.6 Construção dos cenários simulados

A análise comparativa foi estruturada a partir da construção de cenários de substituição parcial de defensivos químicos por agentes biológicos.

Foram adotados três cenários de redução percentual nos custos com defensivos:

- 30%
- 40%
- 50%

A escolha dessa faixa fundamentou-se em evidências científicas que apontam reduções variáveis conforme o nível de adoção do controle biológico (NARANJO; ELLSWORTH; FRISVOLD, 2015), optando-se por intervalos conservadores para evitar superestimação dos impactos econômicos.

Ressalta-se que os cenários simulados representam estimativas econômicas baseadas na literatura e nos dados reais de custos de produção, não configurando experimento agrônomo em campo.

3.7 Indicadores econômicos utilizados

Foram calculados os seguintes indicadores:

- Custo total por hectare (R\$ ha⁻¹);
- Custo com defensivos por hectare (R\$ ha⁻¹);
- Participação percentual dos defensivos no custo total (%);
- Participação percentual dos defensivos na receita (%);
- Margem econômica estimada.

3.8 Análise estatística

Foi realizada estatística descritiva, incluindo:

- Média;
- Valor mínimo;
- Valor máximo;
- Desvio-padrão;
- Coeficiente de variação.

Além disso, foi aplicada a correlação de Pearson entre:

- Custo total por hectare;
- Custo com defensivos por hectare;
- Receita agrícola.

A correlação permitiu avaliar o grau de associação linear entre as variáveis analisadas.

4. Resultados e discussões

A Tabela 1 apresenta a estatística descritiva dos principais indicadores econômicos analisados, incluindo média, valores mínimos, máximos, desvio-padrão e coeficiente de variação. Observa-se heterogeneidade significativa entre os produtores, especialmente no custo total por hectare, indicando diferentes níveis de intensidade tecnológica e estratégias de manejo.

Tabela 1 - Estatística descritiva dos indicadores econômicos (R\$ ha⁻¹)

Município	Nº produtores	Custo total médio (R\$/ha)	DP (R\$/ha)	CV (%)	Defensivos médio (R\$/ha)	DP (R\$/ha)	CV (%)
Brejo Grande	9	3.840,93	1.120,40	29,17	173,41	85,2	49,13
Propriá	2	10.125,97	2.010,10	19,85	612,89	120,5	19,66
Ilha das Flores	5	8.080,19	1.890,70	23,4	1.552,17	410,3	26,44

DP: Desvio padrão, CV: Coeficiente de variação

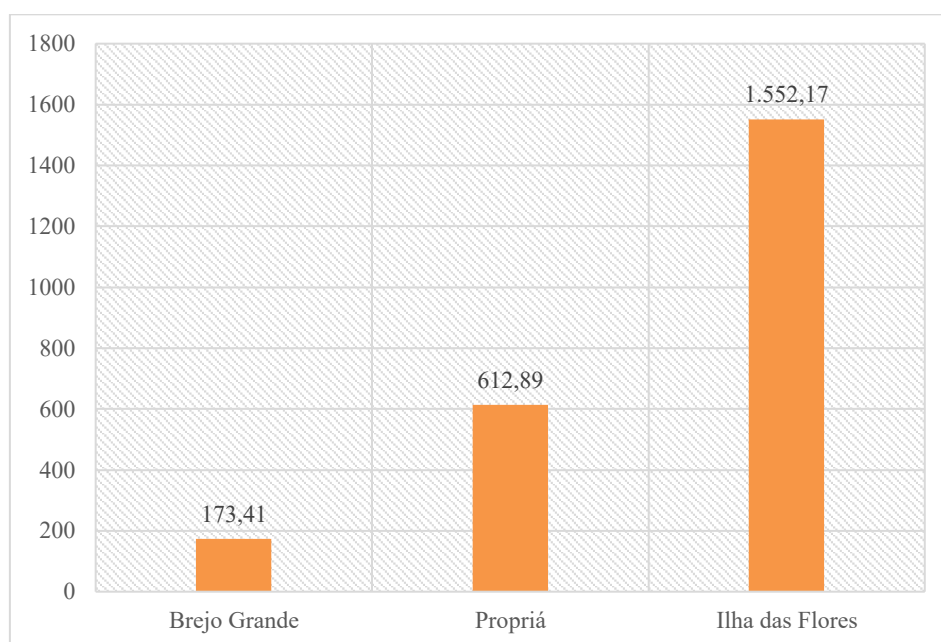
Fonte: Dados da pesquisa (2025)

O desvio-padrão relativamente elevado em determinados municípios demonstra variabilidade nos gastos com defensivos e na estrutura de custos, refletindo diferenças no manejo fitossanitário adotado. Essa variabilidade é esperada em sistemas irrigados, onde a pressão de pragas e doenças pode variar conforme condições microclimáticas e práticas culturais (MARTINS et al., 2009).

O coeficiente de variação reforça que, embora existam diferenças entre produtores, a participação dos defensivos no custo total apresenta padrão consistente, especialmente no sistema convencional, evidenciando seu peso estrutural na composição do custo variável (IRGA, 2024).

A figura 1 evidencia diferenças expressivas no custo com defensivos entre os municípios analisados. Nota-se maior concentração de gastos nos sistemas convencionais, o que confirma a dependência do controle químico como principal ferramenta de manejo fitossanitário.

Figura 1 – Custo com defensivos agrícolas por hectare (R\$ ha⁻¹)

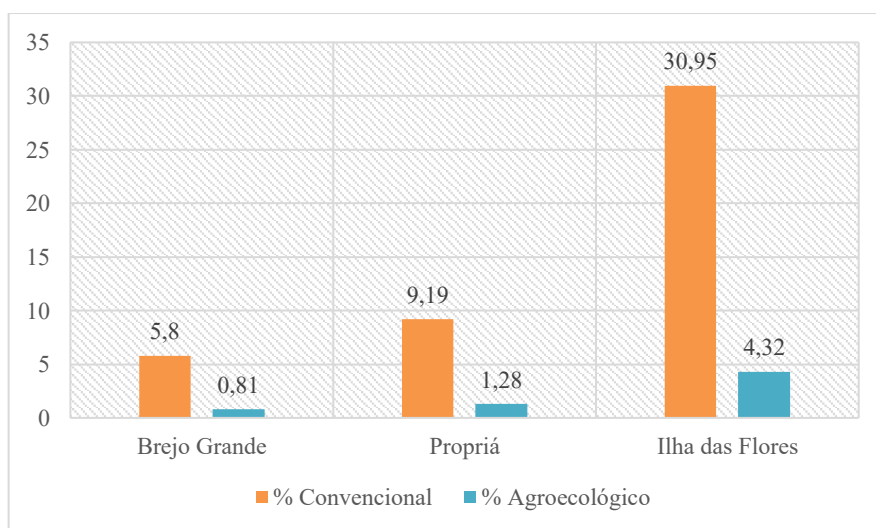


Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Esse comportamento está associado à necessidade de controle frequente de pragas como o percevejo-do-colmo e doenças como a brusone, que, em ambientes irrigados, exigem intervenções sucessivas (MARTINS et al., 2009). A maior intensidade de uso de defensivos impacta diretamente o custo variável e, conseqüentemente, a margem econômica da atividade.

A figura 2 demonstra que, no sistema convencional, a participação percentual dos defensivos na receita é significativamente superior à observada no sistema agroecológico. Esse resultado evidencia maior vulnerabilidade econômica do sistema convencional às oscilações no preço dos insumos químicos.

Figura 2 – Percentual da receita comprometida com defensivos (%)



Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Enquanto o sistema agroecológico apresenta menor comprometimento da receita com defensivos, devido à redução do uso de agroquímicos e à comercialização via mercados institucionais, o sistema convencional depende diretamente da relação entre custo variável e preço de venda praticado pelo mercado privado (CONAB, 2024).

Essa diferença estrutural reforça a importância de estratégias que reduzam a dependência química, especialmente em contextos de baixa valorização do produto.

A correlação de Pearson confirmou que os defensivos constituem determinante central do custo total.

O valor $r = 0,82$ demonstrado na Tabela 2, entre custo total e defensivos indica forte correlação positiva, ou seja, produtores que gastam mais com defensivos tendem a apresentar maior custo final de produção.

Tabela 2 – Correlação de Pearson

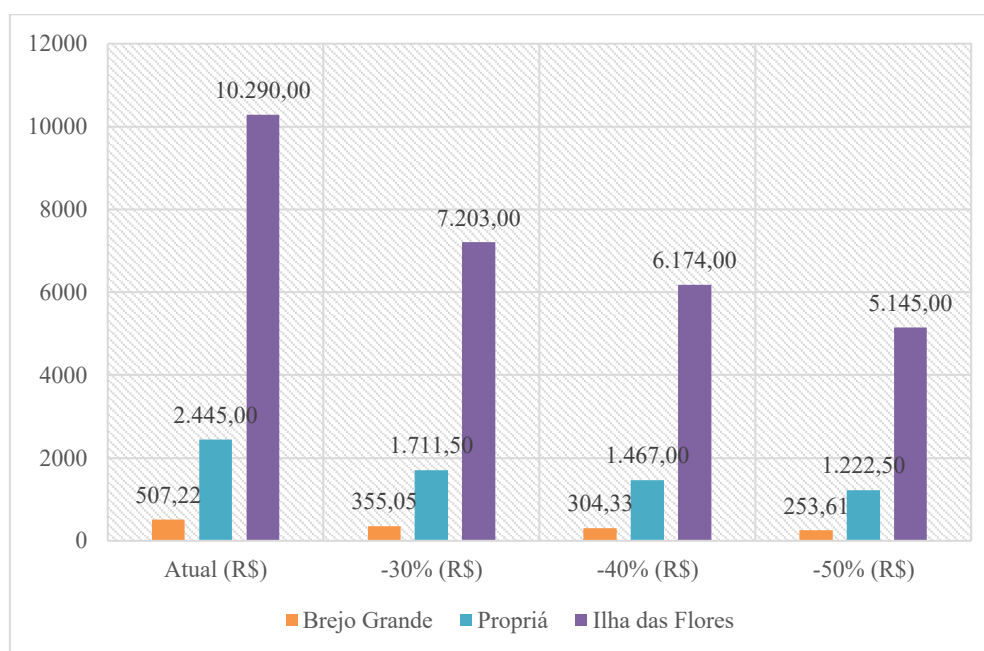
Variáveis analisadas	r (Pearson)
Custo total × Defensivos	0,82
Defensivos × Receita convencional	0,74
Defensivos × Receita agroecológica	0,41

Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Esse achado reforça que a redução do uso de químicos pode impactar diretamente a viabilidade econômica da rizicultura regional.

A figura 3 apresenta os cenários simulados de substituição parcial dos defensivos químicos por controle biológico, considerando reduções conservadoras de 30%, 40% e 50%. Observa-se redução progressiva na participação dos defensivos no custo total, com impacto positivo na margem econômica estimada.

Figura 3 - Cenários simulados de redução dos custos com defensivos (30%, 40% e 50%)



Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Esses cenários foram fundamentados em evidências científicas que indicam potencial de redução variável conforme o nível de adoção do controle biológico (NARANJO; ELLSWORTH; FRISVOLD, 2015). A adoção de percentuais conservadores visa evitar superestimação dos ganhos econômicos, mantendo coerência metodológica.

Importante destacar que a simulação não pressupõe eliminação total dos defensivos químicos, mas substituição parcial integrada ao Manejo Integrado de Pragas, reduzindo riscos técnicos associados à transição produtiva.

Essa tendência confirma que os defensivos exercem influência direta sobre a estrutura de custos do sistema convencional, conforme evidenciado também pela correlação positiva entre custo total e custo com defensivos. A redução parcial desses gastos, mesmo em níveis moderados, pode contribuir para maior estabilidade econômica da atividade.

Contudo, a viabilidade prática da substituição depende de fatores como eficiência técnica dos agentes biológicos, monitoramento adequado e capacitação do produtor, conforme discutido por Parra (2023).

5. Conclusões

Os resultados evidenciaram que os defensivos agrícolas representam parcela significativa do custo variável no sistema convencional, exercendo influência direta sobre o custo total de produção. A análise de correlação confirmou associação positiva entre custo total por hectare e gasto com defensivos, demonstrando que a redução dessa despesa tende a impactar diretamente a estrutura econômica da atividade.

Os cenários simulados de substituição parcial por controle biológico indicaram potencial de redução progressiva nos custos com defensivos, refletindo melhoria na margem econômica estimada. Ainda que se trate de simulação baseada em literatura científica e não de experimento em campo, os resultados sugerem que a integração gradual de agentes biológicos ao Manejo Integrado de Pragas pode representar alternativa economicamente viável para produtores inseridos no sistema convencional.

Para aprimoramento futuro, recomenda-se a realização de estudos experimentais em campo que avaliem o custo líquido da adoção do controle biológico, incluindo despesas com produtos biológicos, aplicação e assistência técnica. Sugere-se também a ampliação da amostra e a análise longitudinal de mais de uma safra, permitindo maior robustez estatística.

Conclui-se, portanto, que o controle biológico apresenta potencial como ferramenta estratégica de gestão econômica na rizicultura irrigada regional, podendo contribuir para a redução da dependência de defensivos químicos e para o fortalecimento da sustentabilidade produtiva, desde que integrado de forma técnica e gradual ao manejo existente.

6. Referências bibliográficas

APIRAJKAMOL, N. et al. Application of *Beauveria bassiana* in pest management systems. *Biological Control*, v. 175, 2023.

BELARMINO, Luiz Carlos. Controle biológico de insetos-praga. Jaguariúna: Embrapa, 1992.

BRANDÃO, Camilo Rafael Pereira. Análise da produção de arroz irrigado no Baixo São Francisco sergipano. 2024. Trabalho acadêmico.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Custos de produção agrícola: arroz irrigado. Brasília: CONAB, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 10 jan. 2026.

GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ (IRGA). Custo de produção do arroz irrigado – Safra 2023/2024. Porto Alegre: IRGA, 2024. Disponível em: <https://www.irga.rs.gov.br>. Acesso em: 10 jan. 2026.

LEI, X. et al. Biological control of rice blast using *Bacillus* spp. *Crop Protection*, v. 168, 2023.

MARTINS, J. F. S. et al. Manejo integrado de pragas na cultura do arroz irrigado. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009.

MESQUITA, E. et al. Advances in biological control using entomopathogenic fungi in agriculture. *Journal of Invertebrate Pathology*, v. 199, 2023.

NARANJO, Steven E.; ELLSWORTH, Peter C.; FRISVOLD, George B. Economic value of biological control in integrated pest management. *Annual Review of Entomology*, v. 60, p. 621–645, 2015.

OBSERVATÓRIO DA AGROECOLOGIA. Agroecologia, políticas públicas e mercados institucionais. Brasília, 2020.

PARRA, José Roberto Postali. Biological control in Brazil: advances and perspectives. *Revista Brasileira de Entomologia*, v. 67, 2023.

RICHETTI, Alceu. Análise econômica da produção agrícola. Brasília: Embrapa, 2007.