



Otimização matemática aplicada a uma unidade agropecuária no Oeste Paraibano

Mathematical optimization applied to an agricultural unit in Western Paraíba

Optimización matemática aplicada a una unidad agropecuaria en el Oeste Paraibano

André Sandmann¹

Vera Lucia Antunes de Lima²

Thaimara Ramos Angelino de Souza³

Anna Rebeca Silva Nóbrega⁴

Yohanna Macedo de Farias Pinto⁵

Nadiana Praça de Souza⁶

Thais Aparecida Rocha da Costa⁷

Maria Sallydelândia de Farias Araújo⁸

Smyth Trotsk de Araujo Silva⁹

Francisco de Assis da Silva¹⁰

¹ Doutor em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Campina Grande, Paraíba, Brasil. E-mail: sandmann@utfpr.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8662-4321>

² Doutora em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Campina Grande, Paraíba, Brasil. E-mail: vera.antunes.ufcg@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7495-6935>

³ Mestre em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Campina Grande, Paraíba, Brasil. E-mail: thai.angelino79@hotmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2613-1872>

⁴ Mestre em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Campina Grande, Paraíba, Brasil. E-mail: thai.angelino79@hotmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2613-1872>

⁵ Mestre em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Boa Vista, Paraíba, Brasil. E-mail: yohannamfarias@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-5691-6736>

⁶ Graduada em Agronomia. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Campina Grande, Paraíba, Brasil. E-mail: nadianasouza2018@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-3292-9529>

⁷ Graduada em Agronomia. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Campina Grande, Paraíba, Brasil. E-mail: tthaisrochacosta@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-9598-7742>

⁸ Doutora em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Campina Grande, Paraíba, Brasil. E-mail: sallydelandia.farias@ufcg.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3255-2024>

⁹ Mestre em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Campina Grande, Paraíba, Brasil. E-mail: smythtrotsk18@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9452-9655>

¹⁰ Doutor em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Campina Grande, Paraíba, Brasil. E-mail: agrofdsilva@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4558-1147>





Resumo

O presente estudo teve como objetivo, desenvolver um modelo matemático para uma pequena unidade de produção agropecuária no oeste paraibano visando maximizar o resultado econômico. O rápido avanço tecnológico e científico das últimas décadas possibilitou o desenvolvimento de softwares especializados em modelar e resolver problemas de otimização. Esses softwares podem tornaram-se ferramentas essenciais para apoiar a tomada de decisões na gestão de operações. O trabalho foi desenvolvido em uma propriedade rural, localizada no interior do município de Alagoa Nova, Paraíba. Para isso, foi necessário compreender a dinâmica do sistema de produção agropecuário da propriedade, utilizando de entrevistas, questionários e estimativas de custos. Esse procedimento permitiu coletar dados que auxiliaram na investigação e na análise da unidade de produção, resultando na formulação de um modelo matemático, permitindo a elaboração de alternativas de desenvolvimento adaptadas à realidade da propriedade rural. A partir dos dados coletados, foram realizados cálculos econômicos utilizando o software LINGO, considerando a ingestão de volumoso do rebanho bovino da unidade. Foram estabelecidas restrições técnicas, financeiras, de superfície e de mão de obra. Constatou-se que a modelagem matemática é uma ferramenta eficaz, pois fornece uma análise de problemas complexos, permitindo a simulação de cenários e a avaliação das possíveis consequências das decisões, reduzindo riscos, otimizando o uso de recursos naturais e insumos, minimizando desperdícios e maximizando a produtividade. Essa abordagem melhora a eficiência econômica e promove práticas agrícolas mais responsáveis. Este estudo contribui para a compreensão e aprimoramento das técnicas de otimização na gestão agropecuária.

Palavras-chave: Modelagem Matemática. Sistema de Produção. Bovino de Corte. Proteína Animal e Vegetal.

Abstract

The present study aimed to develop a mathematical model for a small agricultural production unit in the western Paraibano, with the goal of maximizing economic outcomes. The rapid technological and scientific advancements of recent decades have enabled the development of specialized software for modeling and solving optimization problems. These software tools have become essential for supporting decision-making in operational management. The work was conducted on a rural property located in the interior of the municipality of Alagoa Nova, Paraíba. To achieve this, it was necessary to understand the dynamics of the agricultural





production system of the property by using interviews, questionnaires, and cost estimates. This procedure allowed for the collection of data that aided in the investigation and analysis of the production unit, resulting in the formulation of a mathematical model and the development of alternative development strategies adapted to the reality of the rural property. Based on the collected data, economic calculations were performed using LINGO software, taking into account the intake of forage by the cattle of the unit. Technical, financial, surface, and labor constraints were established. It was found that mathematical modeling is an effective tool, as it provides an analysis of complex problems, allows for scenario simulation, and evaluates the potential consequences of decisions, reducing risks, optimizing the use of natural resources and inputs, minimizing waste, and maximizing productivity. This approach improves economic efficiency and promotes more responsible agricultural practices. This study contributes to the understanding and enhancement of optimization techniques in agricultural management.

Keywords: Mathematical Modeling. Production System. Beef Cattle. Animal and Plant Protein.

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo desarrollar un modelo matemático para una pequeña unidad de producción agropecuaria en el oeste paraibano con el fin de maximizar el resultado económico. El rápido avance tecnológico y científico de las últimas décadas ha permitido el desarrollo de software especializado en modelar y resolver problemas de optimización. Estos softwares se han convertido en herramientas esenciales para apoyar la toma de decisiones en la gestión de operaciones. El trabajo se llevó a cabo en una propiedad rural ubicada en el interior del municipio de Alagoa Nova, Paraíba. Para ello, fue necesario comprender la dinámica del sistema de producción agropecuaria de la propiedad, utilizando entrevistas, cuestionarios y estimaciones de costos. Este procedimiento permitió recolectar datos que ayudaron en la investigación y análisis de la unidad de producción, resultando en la formulación de un modelo matemático, permitiendo la elaboración de alternativas de desarrollo adaptadas a la realidad de la propiedad rural. A partir de los datos recolectados, se realizaron cálculos económicos utilizando el software LINGO, considerando la ingestión de forraje por parte del ganado bovino de la unidad. Se establecieron restricciones técnicas, financieras, de superficie y de mano de obra. Se constató que la modelización matemática es una herramienta eficaz, ya que proporciona un análisis de problemas complejos, permitiendo





la simulación de escenarios y la evaluación de las posibles consecuencias de las decisiones, reduciendo riesgos, optimizando el uso de recursos naturales e insumos, minimizando desperdicios y maximizando la productividad. Este enfoque mejora la eficiencia económica y promueve prácticas agrícolas más responsables. Este estudio contribuye a la comprensión y mejora de las técnicas de optimización en la gestión agropecuaria.

Palabras clave: Modelización Matemática. Sistema de Producción. Ganado de Carne. Proteína Animal y Vegetal.

Introdução

A estimativa do crescimento populacional é de alcançar 9,7 bilhões de pessoas em 2050, antes de atingir o pico de cerca de 10,4 bilhões durante a década de 2080, o que impulsiona o setor agropecuário a aumentar sua produtividade em busca de garantir a segurança alimentar-global (ONU, 2022).

A produção agropecuária nacional é estratégica para a segurança alimentar mundial, a geração de biocombustíveis e o uso na indústria farmacêutica, além de contribuir para a economia interna e de exportação, destacando o país como uma das maiores potências agrícolas, diante dos excelentes resultados no agronegócio (Landau *et al.*, 2020).

Nesse contexto, a agricultura familiar emerge como uma das atividades rurais mais relevantes no agronegócio brasileiro (Oliveira & Bertolini, 2022). Segundo o último censo agropecuário, realizado em 2017, aproximadamente 86,4% dos empreendimentos rurais são classificados como agricultura familiar (IBGE, 2017). Com a família desempenhando papéis centrais na gestão e no trabalho, a agricultura familiar é uma categoria heterogênea, variando em termos de renda, tamanho da propriedade, condições de acesso à terra, e grau de especialização ou diversificação da produção (Troian *et al.*, 2020). No entanto, apesar de sua significativa participação na produção nacional, os agricultores familiares ainda enfrentam desafios relacionados à adequação dos sistemas de produção à capacidade de investimento, ao tamanho das propriedades e ao tipo de mão-de-obra empregada, resultando em inconsistências financeiras (Deus *et al.*, 2021; Bressan & Ramos, 2020). Portanto, é essencial buscar o uso eficiente das áreas disponíveis e da mão de obra familiar (Gasparin *et al.*, 2023).

Recomenda-se a utilização de modelos baseados em programação linear para resolver problemas relacionados à produção agrícola (Arenales *et al.*, 2015). Esses modelos fornecem





soluções mais eficientes, maximizando lucros e minimizando custos (Bressan & Ramos, 2020; Donato *et al.*, 2021).

No contexto da aplicação da programação linear para otimizar a produção agrícola, este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo de otimização econômica de uma produção agropecuária familiar. Utilizando a programação linear, busca-se maximizar o lucro e minimizar os custos da produção. Assim, por meio da elaboração de um modelo matemático, pretende-se mostrar diferentes cenários possíveis que favoreçam a renda do produtor familiar, fornecendo resultados que auxiliem na tomada de decisão para obter uma produção otimizada.

Referencial Teórico

2.1 Sistema de Produção de Proteína Animal, Grãos e Pastagens

A pecuária brasileira está entre as atividades mais importantes tanto em âmbito social quanto econômico. Ela está presente em grande parte dos municípios brasileiros, apresentando uma ampla variedade de raças, sistema produção, índices de produção, sistemas de nutrição e comercialização, que se adequam conforme as regiões e o mercado consumidor (Oliveira *et al.*, 2017). Nos últimos anos, a pecuária brasileira progrediu frente aos avanços da produção e alcançou grandes mercados internacionais, consagrando o Brasil como um dos maiores produtores de carne bovina (ABIEC, 2021).

A utilização do confinamento na terminação de bovinos é cada vez mais comum nas propriedades (Oliveira *et al.* 2021), sendo a forma mais prática e rápida de contornar o problema causado pelo período das secas, através do fornecimento de dietas ricas em proteína e energia com o objetivo final de alcançar um alto desempenho no ganho de peso e acabamento do bovino (Melo, 2024).

A silagem de milho é um pilar de grande importância na pecuária brasileira, desempenhando um papel notório na alimentação animal, sendo o volumoso mais utilizado no sistema de confinamento de engorda devido à sua alta produção energética por unidade de área. Esta prática agrícola, que envolve a fermentação e conservação de forragens, não só garante a disponibilidade contínua de alimento de alta qualidade para os rebanhos, mas também serve como um amortecedor contra as flutuações sazonais, especialmente durante os períodos de seca e escassez de pastagens naturais (Brondani, 1995; Scheler e Cavichioli, 2021).





A BRS Capiáu é uma cultivar de capim-elefante (*Cenchrus purpureus*) de propagação vegetativa para uso sob corte. Sua principal aplicação é na produção de silagem e/ou picado verde a ser fornecido no cocho para animais em sistemas de produção de leite e carne bovina. Tendo em vista suas características e qualidade, a cultivar é mais viável quando comparada a outras forrageiras. Esse potencial de produção representa cerca de três vezes a produção de biomassa obtida com as culturas do milho e do sorgo. Devido à alta produtividade do BRS Capiáu, a silagem produzida com este capim apresenta menores custos de produção por hectare (Pereira *et al.*, 2016).

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.)] é uma importante fonte de proteína de baixo custo para a alimentação humana, principalmente por pequenos produtores das regiões Norte e Nordeste do Brasil. Nos últimos anos, essa cultura tem se expandido para a região Centro-Oeste do país, recebendo maior importância econômica (Xavier *et al.*, 2020; Uchôa *et al.*, 2020). Conhecido popularmente como ‘feijão de corda’ no Nordeste, sua produtividade ainda é extremamente baixa nessa região (EMBRAPA, 2020). Vários fatores contribuem para essa baixa produtividade. Embora seja uma espécie tolerante à seca quando comparada a outras culturas, é afetada pela baixa ocorrência de chuvas, pelo baixo emprego de tecnologia, pela utilização de cultivares com potencial genético reduzido e, principalmente, pela ocorrência de doenças e pragas (Athayde Sobrinho, 2016; Silva, Rocha, Menezes Junior, 2016).

A batata-doce (*Ipomoea batatas*) é uma hortaliça/tubérculo que se destaca na agricultura e no mercado por ser de fácil manuseio, cultivo e produção. Além disso, possui um ciclo produtivo curto e grande facilidade de adaptação aos mais diversos solos, além de resistência a pragas, funcionando como matéria-prima na elaboração de subprodutos alimentícios (Amaro *et al.*, 2019; EMBRAPA, 2021).

2.2 Modelagem Matemática Aplicada à Agropecuária

Desde meados do século XX, o desenvolvimento de modelos de otimização de sistemas de produção agropecuários tem despertado a curiosidade dos cientistas. A escolha das culturas mais adequadas, suas respectivas áreas cultivadas, o padrão tecnológico, o número e as categorias de animais, considerando recursos escassos (terra, equipamentos, mão de obra, insumos, etc.), é o problema central desses modelos, segundo Gameiro *et al.* (2010).

De acordo com Belfiore e Fávero (2013), o processo de modelagem pode ser dividido em várias etapas. A primeira é a identificação do problema, onde são definidos os objetivos a





serem atingidos. Na fase de desenvolvimento, são determinadas as variáveis e as relações matemáticas. A etapa de solução envolve a aplicação de métodos matemáticos para resolver o modelo. O processo de validação assegura que as conclusões obtidas são aplicáveis ao problema real. Em seguida, ocorre a fase de implementação do modelo. Finalmente, a avaliação final consiste em verificar se os objetivos foram cumpridos.

Segundo Hillier e Lieberman (2013), os softwares de modelagem facilitam a formulação eficiente de modelos matemáticos de grande escala, utilizando bancos de dados para formular restrições de forma automatizada. Além disso, esses programas agilizam tarefas de gerenciamento, como a conversão de dados em parâmetros e a análise das soluções geradas pelos modelos.

No trabalho de Bressan, Reghim e Stiegelmeier (2019), as autoras empregaram a Programação Linear para a formulação matemática de problemas de produção agrícola. Os estudos de caso apresentados envolvem a maximização dos lucros de uma produção agrícola e de uma propriedade de reflorestamento, buscando a eficácia no planejamento da rotação de culturas em uma propriedade rural.

Metodologia

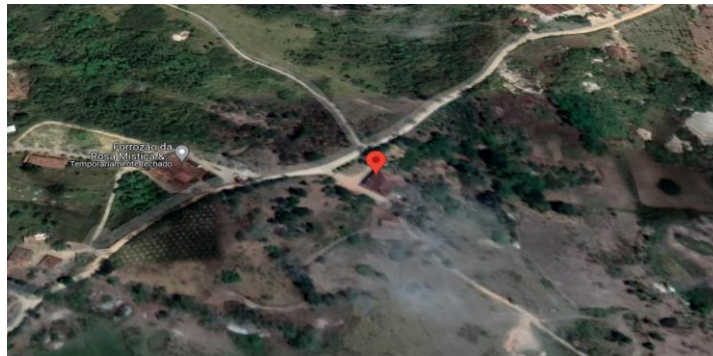
3.1 Unidade de Produção Agropecuária (UPA)

A pesquisa foi realizada no período de maio a junho de 2024, em uma propriedade rural de pequeno porte, onde se realizou a coleta de dados. A UPA (Unidade de Produção Agropecuária) estudada está localizada no município de Alagoa Nova, Paraíba, Brasil, situada pelas coordenadas geográficas 7°03'25,5" latitude S, 35°48'51,4" longitude W e altitude média de 530 m (Figura 1). O clima do município de Alagoa Nova é classificado, de acordo com Köppen, como As' - clima equatorial quente e úmido, com estação chuvosa iniciando-se em janeiro e terminando em agosto, de outono a inverno, e estiagem no verão e primavera, podendo se alongar até setembro. A pluviosidade média nesses meses é em torno de 175 mm, com média anual de 1317 mm. O relevo é escavado, típico de brejo de altitude, distribuído entre serras e vales, se dividindo em escarpas serranas e domínios de morros e serras baixas. A mesma foi selecionada, por atender às principais especificações de uma pequena propriedade agro familiar.



Figura 1

Localização da UPA de Alagoa Nova- Paraíba.



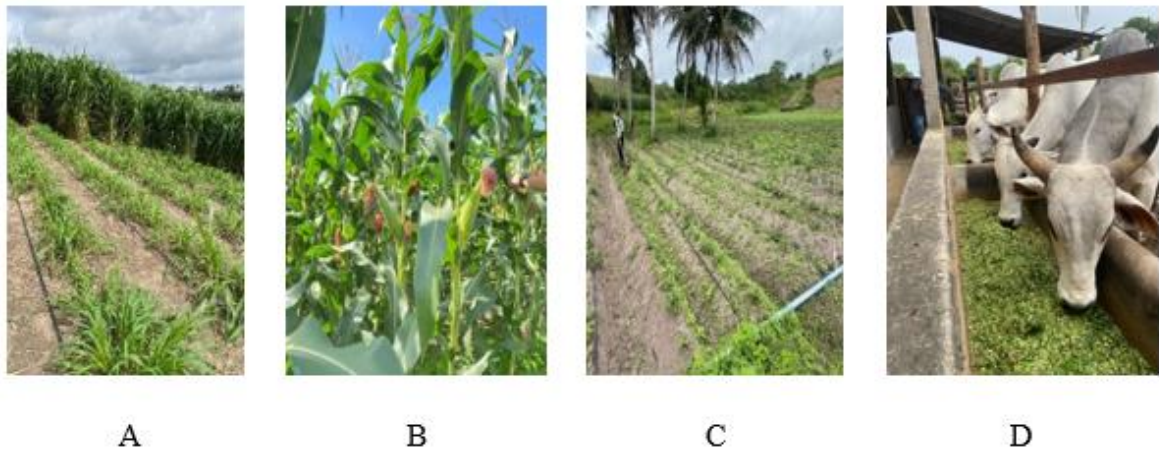
Fonte: Google Maps (2024).

A Unidade de Produção Agropecuária (UPA) escolhida possui uma área total de 12 hectares, dos quais 6 hectares são atualmente utilizados para a produção agrícola, cultivando milho, BRS Capiacu, feijão-caupi e batata-doce. A propriedade conta ainda com 1 hectare destinado à produção de proteína animal (bovinocultura de corte), 0,5 hectare para moradia e 2,5 hectares reservados para preservação ambiental.

A área irrigada para o cultivo de BRS Capiacu (Figura 2^a) é de 0,5 hectare, com uma produção média de 60 toneladas por hectare. O milho é cultivado em uma área de 3 hectares (Figura 2B), sendo destinado tanto para venda em espigas quanto para silagem, com uma produção de 30.000 espigas e 350 sacas de 30 kg de silagem por hectare. O feijão e a batata-doce (Figura 2C) são cultivados em áreas de 1,5 hectare e 1 hectare, respectivamente, com uma produção de 1.200 kg/hectare de feijão e 14.000 kg/hectare de batata-doce. Para a atividade pecuária, utiliza-se 1 hectare, onde são criadas aproximadamente 10 cabeças de bovino de corte da raça Nelore (Figura 2D).

Figura 2

Produção agropecuária da propriedade em estudo



Fonte: Autores (2024)

3.2 Procedimentos Gerais da Pesquisa

Inicialmente, foram realizadas visitas à propriedade em estudo e entrevistas com o proprietário para obter uma interpretação detalhada da Unidade de Produção Agropecuária (UPA) e caracterizar os elementos relevantes para a obtenção dos resultados. Além disso, foram feitas pesquisas bibliográficas para complementar as informações sobre dados técnicos da produção agropecuária. Após a coleta de dados, procedeu-se com a análise das informações e o desenvolvimento de um modelo matemático destinado a otimizar o resultado econômico da UPA, integrando lavoura e pecuária.

Para a modelagem, foram analisados os principais coeficientes financeiros relacionados à produção de proteína animal (bovino de corte) e vegetal (BRS Capiacu, feijão-caupi, batata-doce e milho), além dos principais coeficientes zootécnicos, como a produção e ingestão de volumoso e grãos, e a distribuição da mão de obra. Também foram considerados os condicionantes técnicos, econômicos e financeiros. A técnica utilizada para modelar o problema foi a Programação Linear, inserida na área do conhecimento denominada Pesquisa Operacional. O modelo de otimização foi desenvolvido com o objetivo de maximizar o resultado econômico da produção agropecuária da UPA em estudo.



3.2.1 Formulação do modelo matemático

A partir dos dados obtidos, foi desenvolvido um modelo de otimização agropecuária, para o qual foi necessário realizar a identificação das variáveis e, posteriormente, formular a função objetivo e as restrições. No contexto de otimização, as seguintes definições são importantes: Função objetivo é a função matemática que se deseja minimizar ou maximizar. Variáveis de decisão são as variáveis independentes presentes na função objetivo. Restrições são os limites impostos ao sistema ou estabelecidos pelas leis naturais que governam o comportamento do sistema, aos quais as variáveis de decisão estão sujeitas. As restrições podem ser de igualdade (equações) ou de desigualdade (inequações) (Secchi, 2001; Silva, 2017).

As variáveis do modelo elaborado abordam a produção agropecuária, a alimentação da bovinocultura de corte, a oferta de fósforo pela bovinocultura e a necessidade desse nutriente na produção agrícola, a superfície de área útil e a mão-de-obra. A função objetivo no modelo inclui os custos com a produção agrícola, com o fornecimento de fósforo, com a produção de bovinos de corte e com a mão-de-obra, além das entradas econômicas com a venda dos produtos agrícolas e dos bovinos de corte. O modelo é baseado em um conjunto de restrições relacionadas à atividade pecuária e à atividade agrícola, a fim de maximizar o resultado econômico anual. Propõe-se a redistribuição das principais atividades produtivas da propriedade, como a redistribuição da Superfície de Área Útil (SAU) destinada à produção agrícola, a mão-de-obra e o fornecimento de nutrientes.

O modelo matemático de otimização desta pesquisa foi processado utilizando o software LINGO. Os resultados do modelo demonstram um melhor desempenho dos principais fatores que influenciam a produtividade agropecuária na UPA em questão. Através da otimização desses fatores, o modelo identifica o cenário que gera o melhor resultado econômico para a unidade. Os resultados foram avaliados e ajustados para garantir a consistência com a proposta original, relacionando a realidade constatada na unidade de produção com o modelo matemático, validando os dados coletados a partir do sistema atual investigado. O objetivo dessa verificação foi proporcionar um nível de confiança aceitável nos resultados obtidos.

Para validar o modelo, foram fixadas algumas restrições que relacionam as variáveis dependentes e independentes, demonstrando a situação atual do sistema de produção modelado. Foram fixados 10 bovinos de corte por lote ($GADO1 = 10$; $GADO2 = 10$; $GADO3$





= 10), 0,5 hectare para a área destinada à produção de capiaçu (PASTO = 0,5) e 6,0 hectares para a área total utilizada pelo proprietário (SAU = 6 ha).

3.2.2 Software Lingo LINGO 21

O LINGO é uma ferramenta abrangente, projetada para tornar a construção e resolução de modelos de otimização linear, não linear, quadrático e inteiro mais rápida, fácil e eficiente. A linguagem de modelagem do LINGO permite expressar modelos de maneira direta e intuitiva, usando somatórios e variáveis subscritas, da mesma forma que se faria com lápis e papel. Isso torna os modelos mais fáceis de construir, entender e manter (Lingo Systems Inc., 2021).

O software de programação matemática é uma ferramenta fundamental para a pesquisa operacional como estratégia para a tomada de decisão. O modelo matemático foi desenvolvido na plataforma LINGO 21, que consiste em um conjunto de equações para descrever o sistema produtivo das unidades de produção agrícola, incluindo produção animal e vegetal. As equações foram estruturadas na forma de um modelo de programação matemática, que utiliza a técnica da programação linear e se divide em três partes: função objetiva, restrições e um conjunto de condições de não negatividade para as variáveis de escolha (Lingo Systems Inc., 2021).

Resultados e Discussões

O modelo de otimização, elaborado conforme o procedimento descrito acima, foi utilizado para analisar as possibilidades de melhoria da renda do produtor, a fim de auxiliá-lo em como investir melhor seu capital econômico. Assim, este tópico apresenta os principais resultados e discussões relativos às soluções propostas pelo modelo para o sistema de produção animal e vegetal.

A partir dos dados financeiros fornecidos pelo agricultor, foi calculado o rendimento líquido da situação atual da propriedade, resultando em um valor anual de aproximadamente R\$172.230,00. Com o modelo desenvolvido e as restrições impostas para validação, foi obtido um resultado econômico anual de aproximadamente R\$204.210,00. Comparando os dois valores, verifica-se uma diferença de 15,6%. Dessa forma, o modelo pode ser considerado





representativo, pois apresenta uma diferença menor que 20%, conforme o valor encontrado por Sandmann e Barros (2010).

As simulações estão apresentadas na Tabela 1, na qual se verificam os valores propostos pelo modelo para cada variável e a situação atual da propriedade.

Tabela 1

Resultados da otimização do modelo (REA) e da situação atual (observada).

Variável	Descrição	Unidade	Modelo (REA)	Situação observada
REA	Resultado econômico anual	R\$	872.395,2	172.230
SAL	Superfície de Área Útil	hectare	12	6
W	Mão-de-obra total por temporada (3 meses)	hora	1.408	1.248
WC	Mão-de-obra contratada por temporada (3 meses)	hora	784	624
SIL1	Primeiro plantio de milho	hectare	11,97	3
SIL2	Segundo plantio de milho	hectare	12	3
SIL3	Terceiro plantio de milho	hectare	11,97	0
SIL4	Quarto plantio de milho	hectare	12	3
FEIJAO1	Primeiro plantio de feijão	hectare	0,03	1,5
FEIJAO3	Terceiro plantio de feijão	hectare	0,03	0
BATATA1	Primeiro plantio de batata doce	hectare	0	1
PASTO	Plantio de BRS Capiçu	hectare	0	0,5
GADO1	Lote 1 de bovinos de corte	cabeças	131	10
GADO2	Lote 2 de bovinos de corte	cabeças	131	10
GADO3	Lote 3 de bovinos de corte	cabeças	131	10
GADO	Quantidade total de bovinos no ano	cabeças	393	30
SILC1	Silagem destinada ao consumo do plantio 1	hectare	11,97	2
SILV1	Silagem destinada a venda do plantio 1	hectare	0	1
SILC2	Silagem destinada ao consumo do plantio 2	hectare	11,97	2
SILV2	Silagem destinada a venda do plantio 2	hectare	0,03	1
SILC3	Silagem destinada ao consumo do plantio 3	hectare	11,97	0
SILV3	Silagem destinada a venda do plantio 3	hectare	0	0
SILC4	Silagem destinada ao consumo do plantio 4	hectare	0	2
SILV4	Silagem destinada a venda do plantio 4	hectare	12	1

Fonte: Autores (2024)

Pode-se observar na Tabela 1 que o resultado econômico anual, obtido pela função objetivo ($MAX = REA$), foi de R\$872.395,20. Esse resultado foi alcançado mediante a soma dos rendimentos de cada mês, resultantes dos cálculos econômicos envolvendo as entradas e saídas financeiras. Esse valor difere da realidade econômica da propriedade, visto que o modelo busca a melhor distribuição das condições de contorno que envolvem a produção agropecuária, ou seja, a otimização no uso da superfície de área útil e o aumento no rebanho bovino.

Nesse contexto, o modelo indica que a UPA tem a capacidade de produzir silagem de milho para suprir a necessidade de ingestão de volumoso de um rebanho anual de 393 bovinos





de corte, dividido em três lotes iguais de 131 bovinos, considerando um período de engorda de 120 dias. Isso representa um valor 13 vezes maior do que o sistema produtivo atual da propriedade (10 bovinos). Para isso, o modelo propõe o uso de 11,97 hectares para o plantio de milho duas vezes ao ano e de 12,00 hectares para outras duas vezes ao ano, considerando o ciclo vegetativo de 90 dias para essa cultura, o que representa 100% da superfície de área útil (SAU). Duas vezes ao ano, o modelo sugere o plantio de feijão em 0,03 hectares, complementando os plantios de milho que não utilizariam 100% da SAU.

O plantio de milho proporciona ao agricultor a venda de espigas de milho e a venda ou consumo de silagem. Dessa forma, o modelo sugere o consumo de toda a silagem produzida em três ciclos para suprir a necessidade de volumoso do rebanho bovino e a venda de toda a silagem no quarto ciclo, promovendo uma entrada de R\$60.000,00. A venda das espigas de milho ocorre duas vezes ao ano, gerando uma entrada anual de R\$360.000,00. Segundo Pereira *et al.* (2007), a silagem de milho (*Zea mays* L.) é o principal alimento volumoso em sistemas de produção animal em confinamento. Além disso, em outros sistemas de produção, a silagem de milho pode ser utilizada durante os períodos de escassez de pastagens.

Além disso, observa-se na Tabela 1 que o modelo (REA) não sugeriu o plantio de batata-doce e do capim (BRS Capiapu) na área disponível. Isso pode ser entendido, pois o modelo busca encontrar o melhor resultado econômico, o que foi obtido com o aumento do rebanho bovino e a produção de milho e feijão. Dessa forma, a silagem de milho é suficiente para suprir a quantidade de volumoso necessária na alimentação dos bovinos de corte, e o retorno financeiro obtido por esse cenário seria o mais favorável para o produtor.

Dessa forma, entende-se que o aumento do rebanho bovino e o plantio de milho em toda a área disponível foram as soluções indicadas pelo modelo para maximizar a renda anual da UPA. Para isso, seria necessário contratar aproximadamente 3.136 horas de mão de obra por ano, totalizando um custo com mão de obra de R\$19.505,92. Somando com a mão-de-obra familiar (8 horas por dia), a necessidade anual seria de 5.632 horas de trabalho para atender à demanda da produção agropecuária proposta para a propriedade em estudo.

Na bovinocultura de corte, há uma geração diária significativa de rejeitos. Com base nos dados fornecidos pelo proprietário, os bovinos são comprados com peso médio de 350 kg e vendidos com peso médio de 500 kg. Durante o período de engorda de 120 dias (4 meses) indicado, a produção de rejeito bovino seria de 2.400 kg por boi, sendo que cada quilo de rejeito contém 0,004 kg de fósforo (Cassol *et al.*, 2001). Dessa forma, seriam acumulados cerca de 9,6 kg de fósforo por bovino de corte confinado, que seriam destinados à produção





agrícola da propriedade. Diante da quantidade de bovinos proposta pelo modelo (393 bovinos), a quantidade anual total de fósforo fornecido pelo rejeito bovino seria de aproximadamente 3.772,8 kg. Logo, seria necessário comprar 3.902,1 kg desse nutriente para suprir a necessidade de fósforo na produção agrícola proposta. Por isso, seriam gastos R\$83.116,25 com a compra de adubo químico.

Entende-se que o principal benefício da aplicação de resíduos na produção agrícola é o suprimento de nutrientes essenciais para as culturas, sobretudo os macronutrientes. Nesse contexto, a utilização de esterco é uma alternativa amplamente adotada para o suprimento de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, em áreas de agricultura familiar na região semiárida e agreste do Nordeste brasileiro (Assis Carneiro & Vieira, 2020).

Em busca de aproximar a realidade da região e do produtor ao resultado da otimização econômica do modelo proposto, foi estabelecida a quantidade de 30 bovinos de corte por lote, totalizando 90 bovinos por ano, conforme orientação do produtor quanto à quantidade possível de compra de bovinos e ao fornecimento de bovinos nas proximidades da área de produção. As simulações para essas restrições estão apresentadas na Tabela 2, na qual se verificam os valores propostos pelo modelo para cada variável.

Tabela 2

Resultados da otimização do modelo com restrição (REAR) de bovino de corte (30 bovinos) e da situação atual (observada).

Variável	Descrição	Unidade	Modelo (REAR)	Situação observada
REA	Resultado econômico anual	R\$	463.826,7	172.230
SAL	Superfície de Área Útil	hectare	12	6
W	Mão-de-obra total por temporada (3 meses)	hora	624	1.248
WC	Mão-de-obra contratada por temporada (3 meses)	hora	0	624
SIL1	Primeiro plantio de milho	hectare	2,7	3
SIL2	Segundo plantio de milho	hectare	12	3
SIL3	Terceiro plantio de milho	hectare	2,7	0
SIL4	Quarto plantio de milho	hectare	12	3
FEIJAO1	Primeiro plantio de feijão	hectare	9,3	1,5
FEIJAO3	Terceiro plantio de feijão	hectare	9,3	0
BATATA1	Primeiro plantio de batata doce	hectare	0	1
PASTO	Plantio de BRS Capiçu	hectare	0	0,5
GADO1	Lote 1 de bovinos de corte	cabeças	30	10
GADO2	Lote 2 de bovinos de corte	cabeças	30	10
GADO3	Lote 3 de bovinos de corte	cabeças	30	10
GADO	Quantidade total de bovinos no ano	cabeças	90	30
SILC1	Silagem destinada ao consumo do plantio 1	hectare	2,7	2
SILV1	Silagem destinada a venda do plantio 1	hectare	0	1
SILC2	Silagem destinada ao consumo do plantio 2	hectare	2,7	2





SILV2	Silagem destinada a venda do plantio 2	hectare	9,3	1
SILC3	Silagem destinada ao consumo do plantio 3	hectare	2,7	0
SILV3	Silagem destinada a venda do plantio 3	hectare	0	0
SILC4	Silagem destinada ao consumo do plantio 4	hectare	0	2
SILV4	Silagem destinada a venda do plantio 4	hectare	12	1

Fonte: Autores (2024)

Nesse contexto, obteve-se o resultado econômico anual otimizado de R\$463.826,70. Com essa restrição, o modelo propõe a produção de silagem de milho para suprir a necessidade do rebanho bovino de 90 bovinos de corte, considerando um período de engorda de 120 dias. Assim, é indicado o uso de 2,7 hectares para dois plantios de milho ao longo do ano, além de 9,3 hectares destinados ao plantio de feijão, para complementar o uso de 100% da SAU. Em outros dois plantios de milho no ano, seria utilizada toda a área (12 hectares). Dessa forma, além da silagem para consumo animal, haveria a venda de silagem de milho, espigas de milho e feijão. Observa-se também que o modelo (REAR) não indica o plantio de batata-doce e do capim (BRS Capiacu) na área disponível.

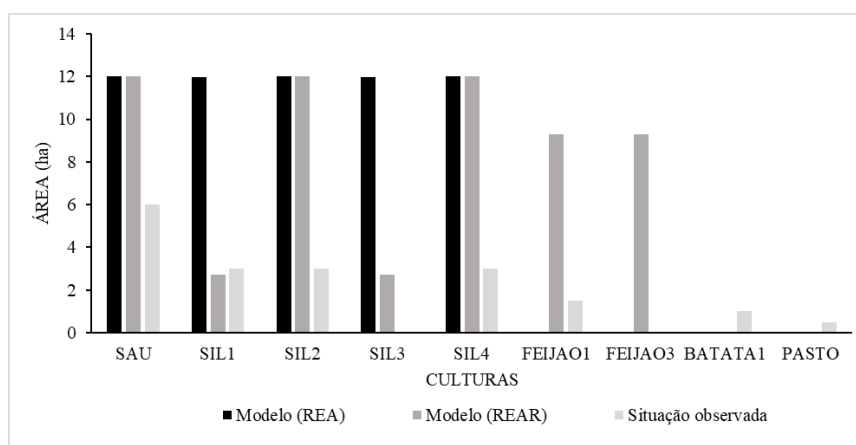
Logo, diante da quantidade de bovinos imposta, o plantio de milho e de feijão foi a solução sugerida pelo modelo a fim de maximizar o resultado econômico anual da propriedade. Nesse cenário, é observado que apenas a mão-de-obra familiar seria suficiente para suprir a necessidade de horas de trabalho na produção agropecuária. Além disso, a quantidade anual de fósforo fornecida pelo rejeito bovino seria de aproximadamente 864 kg, sendo necessário comprar 4.779,4 kg desse nutriente para suprir a demanda de fósforo na produção agrícola. Dessa forma, seriam gastos R\$101.801,80 com a compra de adubo químico.

Na Figura 3, observa-se os resultados das simulações em relação à quantidade de terra (ha) destinada às principais culturas produzidas na UPA em estudo, comparando os modelos apresentados acima: o modelo de maximização do resultado econômico (REA), o modelo de maximização do resultado econômico com restrição na quantidade de bovinos de corte (REAR) e a situação atual da propriedade.



Figura 3

Distribuição da SAU nas simulações apresentadas em cada modelo.



Legenda: SAU - Superfície de Área Útil; SIL1 - primeiro plantio de milho; SIL2 - segundo plantio de milho; SIL3 - terceiro plantio de milho; SIL4 - quarto plantio de milho; FEIJAO1 - primeiro plantio de feijão; FEIJAO3 - terceiro plantio de feijão; BATATA1 - plantio de batata doce; PASTO - plantio de capim (BRS Capiçu); Modelo (REA) - modelo de resultado econômico anual; Modelo (REAR) - modelo de resultado econômico anual com restrição de bovino de corte.

Fonte: Autores (2024)

Observa-se ainda na Figura 3 que o modelo REA apresenta a melhor conjuntura possível para a SAU da propriedade, visando o melhor resultado econômico anual. Contudo, diante da dificuldade de aquisição de bovinos de corte em quantidades maiores que 30 bovinos por lote, o modelo REAR representa o melhor resultado econômico para as restrições impostas, investindo não apenas na produção de milho e silagem, mas também na produção de feijão. Em ambas as situações, é observada uma melhor distribuição da SAU e, consequentemente, um resultado econômico mais favorável em comparação com a situação atual da UPA. Isso ocorre porque o proprietário ainda não utiliza toda a área disponível, empregando apenas 50% da SAU (6 ha), o que justifica também o baixo resultado econômico anual em relação aos modelos apresentados.

Conclusão

Diante dos resultados fornecidos pelo modelo matemático para a otimização econômica de uma unidade agropecuária no oeste paraibano, conclui-se que o modelo propõe uma maximização dos resultados econômicos e uma adequada destinação da Superfície de Área Útil (SAU) para atender às necessidades específicas da UPA. Além disso, o modelo



promove a sustentabilidade ambiental ao utilizar rejeito bovino para fornecer fósforo na produção agrícola.

Para alcançar a maximização da renda anual do proprietário, o modelo indica a necessidade de aumentar o rebanho bovino para 131 bovinos de corte por lote e destinar 100% da SAU ao plantio de milho. Com isso, o modelo sugere o aproveitamento total do rejeito bovino para suprir parte da demanda de fósforo das culturas. Observa-se que a mão-de-obra, a superfície de área útil e o balanço de fósforo foram os fatores que mais impactaram os resultados na simulação.

No modelo com restrição de bovinos de corte, que visa aproximar a realidade do produtor, foi observada uma nova distribuição da SAU. O plantio de feijão duas vezes ao ano foi recomendado para otimizar o uso da área disponível e maximizar o resultado econômico anual.

Para trabalhos futuros, sugere-se monitorar esta UPA ou investigar propriedades similares para a implementação do modelo e a inclusão de custos e variáveis adicionais que não foram abordados nesta análise.

Referências

- ABIEC. (2019). Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. Perfil da pecuária no Brasil. Disponível em: <https://www.abiec.com.br/wp-content/uploads/Beef-Report2022_atualizado_jun2022.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- Amaro, G. B., Talamini, V., Fernandes, F. R., da Silva, G. O., & Madeira, N. R. (2019). Desempenho de cultivares de batata-doce para rendimento e qualidade de raízes em Sergipe. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.14, n.1, 2019.
- Arenales, M., Armentano, V., Morabito, R., & Yanasse, H. (2015). Pesquisa operacional: para cursos de engenharia. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Assis Carneiro, R. S., & Vieira, C. R. (2020). Produção de mudas de espécies florestais em substrato contendo esterco de aves ou esterco bovino. *Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde*, 24(4), 386-395.
- Athayde Sobrinho, C. (2016). Principais doenças do feijão-caupi no Brasil. In: BASTOS, E.A. (Ed.). A cultura do feijão-caupi no Brasil. Teresina: Embrapa Meio-Norte. (p. 44-66).
- Barbosa, J. C. (2001). Modelagem na Educação Matemática: contribuições para o debate teórico. *Reunião anual da ANPED*, 24(2001), 01-15.
- Belfiore, P.; Fávero, L.. (2013). *Pesquisa operacional para cursos de engenharia* (Vol. 1).





Elsevier Brasil.

- Bressan, G. M., Reghim, D. C. L., & Stiegelmeier, E. W. (2019). Modelagem matemática de problemas agrícolas utilizando programação linear. *CQD-Revista Eletrônica Paulista de Matemática*. (p. 12–23). Edição Iniciação Científica.
- Brondani, I., Restle, J., & Pascoal, L. (1995). Alimentos volumosos. *RESTLE, J., BRONDANI, IL, PASCOAL, LL, et al. Curso sobre confinamento de bovinos de corte. Santa Maria: UFSM*, 1-14.
- Cassol, P. C., Gianello, C., & Costa, V. E. U. (2001). Frações de fósforo em estrumes e sua eficiência como adubo fosfatado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25, 635-644.
- Deus, C. D., Carvalho, M. L. D. S., Narciso, V., Shikida, P. F. A., Lucas, M. R., & Henriques, P. D. (2021). O bem-estar dos agregados familiares rurais em Timor-Leste: uma abordagem baseada na programação linear etnográfica. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 59(1), e238878.
- EMBRAPA - ARROZ E FEIJÃO. Dados de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*L.), feijão caupi (*Vigna unguiculata*(L.) Walp) e de arroz (*Oryza sativa*L.), estratificados por safras e sistema de plantio, no Brasil, Regiões e Estados da Federação. 2020. Disponível em: <http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>. Acesso em 25 jun. 2023.
- EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema de Produção: Sistema de Produção de Batata-Doce. Brasília – DF: Embrapa Hortaliça, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalicas/batata-doce/cultivares>. Acesso em: 27 Jun. 2024.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2019. Milho - Caracterização e Desafios Tecnológicos, Série desafios do agronegócio brasileiro (NT2).
- Gameiro, A. H., Caixeta Filho, J. V., & Barros, C. S. D. (2010). Modelagem matemática para o planejamento, otimização e avaliação da produção agropecuária. *SANTOS, MV et al. Novos desafios da pesquisa em nutrição e produção animal. Pirassununga: Editora D*, 5.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2013). *Introdução à pesquisa operacional*. McGraw Hill Brasil. 9 ed. Porto Alegre.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2017). Área destinada à colheita, quantidade produzida e valor da produção da lavoura permanente. <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1613>.
- Karmakar, S., Laguë, C., Agnew, J., & Landry, H. (2007). Integrated decision support system (DSS) for manure management: A review and perspective. *Computers and Electronics in*





Agriculture, 57(2), 190-201.

Landau, E. C. *et al.* Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: cenário histórico, divisão política, características demográficas, socioeconômicas e ambientais. Brasília, DF. **Embrapa**, 2020.

LINGO 21 - Software de modelagem de otimização para programação linear, não linear e inteira. Disponível:< <https://www.lindo.com/index.php/products/lingo-and-optimization-modeling>>. Acesso: 17/06/2024.

Melo, M. C. D. S. R. (2024). Diferentes modelos de produção em bovinocultura de corte, com ênfase em confinamento e semiconfinamento: revisão bibliográfica. (*Trabalho de conclusão de curso*). Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia.

Oliveira, A. R. D. (2017). Dietas para bovinos com diferentes fontes de nitrogênio e carboidratos. *Brazilian Journal of Development*, 25-55.

Oliveira, J. F. A., Jakelaitis, A., Cabral Filho, S. L. S., Silva, C. J. D., Guimarães, K. C., Pereira, L. S., ... & Oliveira, G. S. D. (2021). Silage quality from intercropping corn and soybean managed with inoculant *Azospirillum brasilense* and nitrogen fertilization. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 22, e2122092021.

Oliveira, W. C., & Bertolini, G. R. F. (2022). Uma revisão sistemática sobre a contribuição das cooperativas para a sustentabilidade da agricultura familiar. *Research, Society and Development*, 11(2), e43411226098-e43411226098.

ONU – Organização das Nações Unidas. População mundial chegará a 8 bilhões em novembro de 2022. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/189756-populacao-mundial-chegara-8-bilhoes-em-novembro-de-2022>. Acesso em: 12 de jun. 2024.

Pereira, A. V., Ledo, F. D. S., Morenz, M. J. F., Leite, J. L. B., Brighenti, A. M., Martins, C. E., & Machado, J. C. (2016). BRS Capiaçú: cultivar de capim-elefante de alto rendimento para produção de silagem. (Embrapa Gado de Leite. Comunicado Técnico 79).

Pereira, A. V., Ledo, F. D. S., Morenz, M. J. F., Leite, J. L. B., Brighenti, A. M., Martins, C. E., & Machado, J. C. (2016). BRS Capiaçú: cultivar de capim-elefante de alto rendimento para produção de silagem. **Agriñula: Jurnal Agroteknologi Dan Perkebunan**, 43-60.

Pereira, E. S., Mizubuti, I. Y., Pinheiro, S. M., Villarroel, A. B. S., & Clementino, R. H. (2007). Avaliação da qualidade nutricional de silagens de milho (*Zea mays*, L). *Revista Caatinga*, 20(3), 8-12.

Sandmann, A., & Barros, M. (2010). Modelagem matemática dos condicionantes técnicos, econômicos e financeiros de uma unidade de produção agropecuária com bovinocultura de leite. *Medianeira: Edição do autor*.





- Sandmann, A., *et al.* (2013). Maximização econômica em unidade produtiva agropecuária com reutilização dos efluentes gerados. (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Campina Grande.
- Scheler, E. D.; CAVICHIOLI, F.A. (2021) Viabilidade de silagem de milho para o gado leiteiro. **Revista Interface Tecnológica**, v. 18, n. 1, p. 265–275.
- Secchi, A. R.. Otimização de Processo. Porto Alegre: Cpgeq, 2001. 165 p.
- ROCHA, M. D. M., & de MENEZES JUNIOR, J. A. (2016). Socioeconomia. In: BASTOS, E. A. p. 6-12. (Ed.). A cultura do feijão-caupi no Brasil. Teresina: Embrapa Meio-Norte.
- Silva, M. C. R. (2017). Otimização de um processo de produção de linguças frescas utilizando o software ARENA®.
- Troian, A., Troian, A., Oliveira, S. V. D., & Pereira, J. C. (2020). Desempenho dos municípios do Rio Grande do Sul na execução dos recursos do PNAE com a agricultura familiar. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 58, e204558.
- Uchôa, M. R., Bastos, R. L. G., Albiero, D., Fernandes, F. R. B., Cavalcante, R., Silvestre, F. E. R., ... & dos Santos, V. C. (2020). Influência da rotação de trabalho de uma trilhadora estacionária na qualidade do feijão Caupi. *Brazilian Journal of Development*, 6(4), 19678-19688.
- Xavier, F. A. M., Moraes, J. G. L., Silva, M. L. S., de Matos Neto, R. B., de Oliveira Firmino, D., Marques, G. V., & Bleicher, E. (2020). Comportamento de genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp., Fabaceae) sob infestação de *Empoasca* sp. (Hemiptera: Cicadellidae) e *Liriomyza* sp. (Diptera: Agromyzidae) em Redenção, Ceará, Brasil. *Paubrasilia*, 3(1), 18-23.

Received: 09.03.2024

Accepted: 09.23.2024

