

XVI ECOPAR

Encontro de Economia Paranaense

V International Meeting on Economic Theory and Applied Economics

II Jornada Internacional de Comunicação Científica

MAXIMIZAÇÃO ECONÔMICA EM UNIDADES AGROPECUÁRIAS NO ENTORNO DO LAGO DE ITAIPU COM REUTILIZAÇÃO DE EFLUENTES

ECONOMIC MAXIMIZATION IN AGRICULTURAL UNITS AROUND ITAIPU LAKE WITH EFFLUENT REUSE

MAXIMIZACIÓN ECONÓMICA EN UNIDADES AGROPECUARIAS EN LOS ALREDEDORES DEL LAGO DE ITAIPU CON REUTILIZACIÓN DE EFLUENTES

André Sandmann¹

Aldino Normelio Brun Polo²

Marcos Roberto Portolan³

José Airton Azevedo dos Santos⁴

Área Temática: Economia Agrícola e do Meio Ambiente

JEL Code: C45

Resumo: Este estudo desenvolve um modelo matemático para maximizar o resultado econômico de unidades agropecuárias, alinhando-se à legislação ambiental sobre a reutilização de resíduos da bovinocultura de leite, avicultura e suinocultura na produção de grãos e pastagens, na região do lago de Itaipu, Paraná. Utilizando dados de uma unidade agrícola piloto, coletados por meio de entrevistas e análises dos resíduos, o modelo foi formulado no software LINGO 4.0. O modelo maximiza o resultado econômico anual e otimiza o uso da área útil e dos resíduos. O estudo alcançou o reuso total dos efluentes da suinocultura, a utilização dos dejetos bovinos na própria unidade, e sugeriu a comercialização das camas de frango como adubo orgânico devido ao seu alto valor agregado e fácil manejo.

Palavras-chave: modelo matemático; proteína animal e vegetal; impactos ambientais.

Abstract: This study develops a mathematical model to maximize the economic outcome of agricultural units, aligning with environmental legislation regarding the reuse of waste from dairy cattle farming, poultry farming, and pig farming in the production of grains and pastures in the Itaipu Lake region, Paraná. Using data from a pilot agricultural unit, collected through interviews and waste analysis, the model was formulated using LINGO 4.0 software. The model maximizes the annual economic result and optimizes the use of the useful area and generated waste. The study achieved total reuse of pig farming effluents, utilization of dairy cattle waste within the unit, and suggested the commercialization of chicken litter as organic fertilizer due to its high added value and easy handling.

Keywords: mathematical model, animal and plant protein, environmental impacts.

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR; Brasil; <https://orcid.org/0000-0001-8662-4321>; sandmann@utfpr.edu.br.

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR; Brasil; <https://orcid.org/0009-0000-2969-274X>; aldinopolo@alunos.utfpr.edu.br.

³ Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR; Brasil; <https://orcid.org/0009-0005-7024-1066>; mrp1985cvel@gmail.com.

⁴ Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR; Brasil; <https://orcid.org/0000-0002-2568-5734>; airton@utfpr.edu.br.



XVI ECOPAR

Encontro de Economia Paranaense

V International Meeting on Economic Theory and Applied Economics

II Jornada Internacional de Comunicação Científica

Resumen: Este estudio desarrolla un modelo matemático para maximizar el resultado económico de unidades agropecuarias, alineándose con la legislación ambiental sobre la reutilización de residuos de la producción de leche de ganado bovino, la avicultura y la porcicultura en la producción de granos y pastos en la región del lago de Itaipu, Paraná. Utilizando datos de una unidad agrícola piloto, recopilados mediante entrevistas y análisis de residuos, el modelo fue formulado con el software LINGO 4.0. El modelo maximiza el resultado económico anual y optimiza el uso del área útil y de los residuos generados. El estudio logró la reutilización total de los efluentes de la porcicultura, la utilización de los desechos bovinos dentro de la unidad, y sugirió la comercialización de la cama de pollo como fertilizante orgánico debido a su alto valor agregado y fácil manejo.

Palabras-clave: modelo matemático, proteína animal y vegetal, impactos ambientales.

Introdução.

A urbanização crescente mundialmente impulsionou a necessidade de produção e distribuição em larga escala de alimentos, resultando na formação de sistemas agropecuários industriais e no movimento dessas mercadorias do campo para as cidades (CORTEZ e ORTIGOZA, 2009). No contexto brasileiro, o desenvolvimento do agronegócio tem sido motivado pela demanda por produção em escala industrial, gerando uma quantidade significativa de resíduos que podem causar danos ambientais substanciais e afetar a qualidade de vida (SANDMANN e BARROS, 2010).

A sustentabilidade das unidades de produção agropecuária (UPAs) emerge como um princípio orientador, buscando equilibrar a geração e a absorção de resíduos dentro do próprio ciclo produtivo. No entanto, muitos criadores enfrentam desafios para investir em infraestrutura adequada para o tratamento de efluentes (Junior et al., 2009). Uma UPA é conceituada como um conjunto de recursos destinados a alcançar resultados econômicos através de atividades agropecuárias, cujas interações e restrições configuram o sistema de produção (SANDMANN e BARROS, 2010).

Para competir eficazmente e crescer no mercado atual, os produtores devem garantir tanto eficiência produtiva quanto gerencial. Isso inclui a seleção criteriosa dos animais e a otimização dos recursos disponíveis como pastagens, água e insumos, cujos custos e preços devem ser continuamente monitorados (SILVA NETO e FIGUEIREDO, 2009).

A Região da Tríplice Fronteira (Brasil, Paraguai e Argentina), conhecida por sua fertilidade e recursos hídricos abundantes, apresenta um setor agrícola promissor, composto predominantemente por pequenos produtores familiares organizados em cooperativas (JUNIOR ET AL., 2009). No entanto, a exploração intensiva dos recursos naturais nessa região tem gerado problemas ambientais sérios, como contaminação por agrotóxicos, erosão do solo e perda de biodiversidade (BELUSSO e SERRA, 2006).

Para mitigar esses impactos, é essencial conciliar trabalho, meio ambiente e lucratividade, garantindo que os resultados econômicos sejam alcançados sem comprometer a sustentabilidade ambiental. A modelagem matemática se apresenta como uma ferramenta crucial para resolver desafios econômicos e ambientais complexos (IDEHARA, 2011).

A modelagem matemática, segundo Biembengut e Hein (2003), envolve três etapas principais: interação com o problema, matematização do problema e interpretação da solução. Dentro desse contexto, a programação linear, conforme Lachtermacher (2009), oferece métodos para maximizar



XVI ECOPAR

Encontro de Economia Paranaense

V International Meeting on Economic Theory and Applied Economics

II Jornada Internacional de Comunicação Científica

ou minimizar funções lineares sujeitas a diversas restrições, adequadas para modelar as complexidades das UPAs (Silva Neto & Oliveira, 2007).

Este estudo visa examinar a extensão dos impactos ambientais na região adjacente ao lago de Itaipu e avaliar a viabilidade de utilizar biomassa residual como fonte de energia a partir dos resíduos e efluentes gerados pelas atividades agropecuárias. O modelo desenvolvido representa uma UPA de médio porte, integrando avicultura, bovinocultura de leite, suinocultura, produção de grãos e pastagens, com o objetivo de analisar os impactos da cadeia produtiva e explorar oportunidades econômicas através da coleta e uso eficiente de resíduos, além de comparar sistemas de culturas associadas para maximizar os benefícios econômicos e ambientais.

Procedimentos Adotados.

Este estudo empregou um modelo matemático para avaliar a viabilidade econômica e ecológica de uma unidade de produção agropecuária (UPA) piloto, focando nas práticas de bovinocultura de leite, avicultura e suinocultura, e na utilização dos resíduos dessas atividades na produção de grãos e pastagens. A UPA está localizada em propriedade de base familiar na região do entorno do lago de Itaipu, Oeste do Paraná.

Para construir o modelo, foram realizadas entrevistas com os proprietários para compreender a dinâmica da cadeia produtiva de grãos e proteína animal, além de obter coeficientes zootécnicos relevantes (produção de volumosos, grãos, distribuição de mão de obra, entre outros), considerando os aspectos técnicos, econômicos e financeiros. Além das entrevistas, foram conduzidas revisões na literatura especializada para embasar os dados.

O modelo foi desenvolvido utilizando a plataforma *LINGO* 4.0, conforme o fluxograma apresentado na Figura 1, incorporando um conjunto abrangente de restrições relacionadas às práticas agropecuárias e às regulamentações ambientais, especialmente no que se refere ao manejo dos efluentes gerados. O objetivo principal foi otimizar a distribuição das atividades da UPA, incluindo a alocação de área útil para produção agrícola, o uso de mão de obra familiar e a gestão dos nutrientes disponíveis.

Os dados de entrada para o modelo foram coletados principalmente por meio de entrevistas diretas com os agricultores e utilização de planilhas do *Software Excel* para estruturar os custos dos principais sistemas de produção da UPA piloto. Isso incluiu custos relacionados à produção de proteína animal (suínos, bovinos de leite, aves), culturas agrícolas (soja, milho, aveia, pastagens), bem como insumos associados como sementes, medicamentos e mão de obra.

Os parâmetros de entrada foram validados com base em dados obtidos de entrevistas, análises laboratoriais e revisão bibliográfica, utilizando fontes como Silva Neto e Oliveira (2007), Valadares Filho et al. (2012), Coelho (2007) e EMBRAPA (2009) para assegurar a precisão dos coeficientes utilizados no modelo.

A modelagem matemática foi estruturada em três partes principais: a função objetivo, um conjunto de restrições e condições de não-negatividade para as variáveis de decisão. A função objetivo foi formulada para maximizar a rentabilidade econômica da UPA, considerando a venda de produtos como leite, carne de descarte, grãos e subprodutos. Foram desenvolvidas duas funções objetivas distintas: uma para maximizar a renda anual e outra para otimizar a renda no mês de pior resultado econômico.



XVI ECOPAR

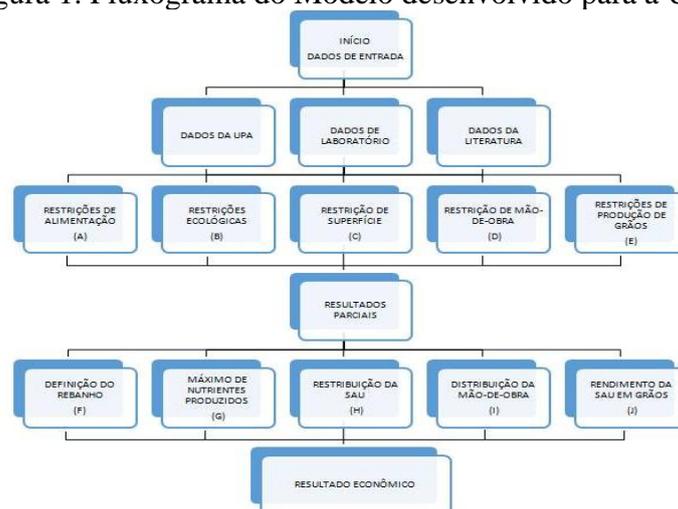
Encontro de Economia Paranaense

V International Meeting on Economic Theory and Applied Economics

II Jornada Internacional de Comunicação Científica

As restrições incluíram a disponibilidade de superfície de área útil, mão de obra disponível, capacidade de absorção de nutrientes pelas culturas e limitações ambientais relacionadas ao tratamento de efluentes. Essas restrições foram formalizadas em inequações que garantiram a conformidade com as práticas agropecuárias sustentáveis e as normativas ambientais vigentes. Por fim, o modelo foi validado com dados simulados e ajustado para refletir as condições reais da UPA estudada, proporcionando insights sobre como melhorar a eficiência produtiva e econômica, ao mesmo tempo em que se mantém a sustentabilidade ambiental.

Figura 1. Fluxograma do Modelo desenvolvido para a UPA.



A Figura 1 ilustra a estrutura formal do modelo desenvolvido, destacando os dados de entrada, as restrições aplicadas, os resultados intermediários e o resultado econômico final, com implicações para a cadeia produtiva analisada.

Este estudo contribui para o entendimento das complexidades envolvidas na gestão sustentável de UPAs em áreas de base familiar, oferecendo um método robusto para otimizar a produção agropecuária sob um viés econômico e ambiental integrado.

Resultados e discussão.

Os dados coletados nas entrevistas com o agricultor sobre os condicionantes econômicos e financeiros resultaram em um rendimento líquido anual de R\$ 142.681,00 para a situação atual da propriedade, equivalente a uma média mensal de R\$ 11.890,08.

O modelo desenvolvido gerou um rendimento econômico anual de R\$ 174.275,00. Comparando esse valor com a situação atual, observa-se um aumento de 18%. Esse incremento está alinhado com os resultados de Sandmann e Barros (2010), que desenvolveram um modelo para unidades de produção agropecuária de pequeno porte. A diferença entre os resultados do modelo e a situação atual pode ser atribuída à precisão na estimativa do consumo de alimentos pelos animais e possíveis superestimações na produção de grãos e pastagens.

O modelo de programação foi utilizado para analisar como as soluções propostas poderiam melhorar a renda do produtor, com ênfase na sustentabilidade ambiental do sistema de produção.

XVI ECOPAR

Encontro de Economia Paranaense

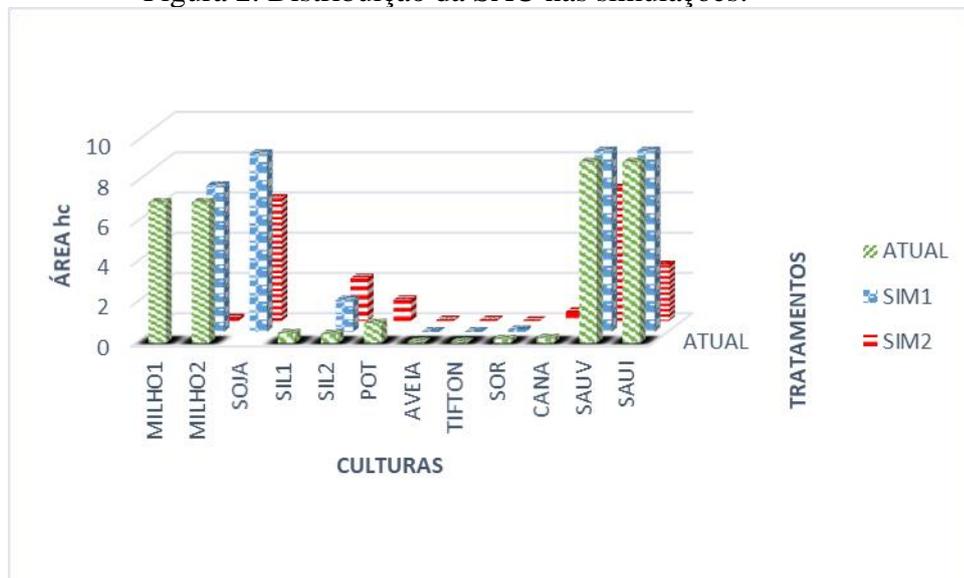
V International Meeting on Economic Theory and Applied Economics

II Jornada Internacional de Comunicação Científica

Na simulação maximizando o resultado econômico anual (REA), o modelo alcançou um rendimento econômico de R\$ 259.186,30. Na simulação para maximização do resultado econômico mensal (REM), o rendimento foi de R\$ 234.650,30. Em contraste, na situação atual, o rendimento econômico foi de R\$ 142.681,00. Esses resultados indicam que a otimização do modelo pode gerar ganhos significativos, principalmente devido à melhor gestão da superfície da área útil e ao aumento do rebanho bovino.

A distribuição otimizada das culturas e a gestão eficiente dos recursos naturais foram cruciais nas simulações. Por exemplo, na simulação REM, houve uma utilização parcial da superfície da área útil, aproveitando 75,67% no verão e 44% no inverno, demonstrando a adaptação às condições de mão de obra disponível e às demandas nutricionais das culturas, lincadas a produção de rejeitos da cadeia produtiva de proteína animal. A figura 1 apresenta a distribuição da superfície de área útil nas simulações.

Figura 2. Distribuição da SAU nas simulações.



A gestão dos nutrientes, especialmente nitrogênio (N) e fósforo (P), mostrou-se crítica nas simulações. O modelo demonstrou uma distribuição equilibrada desses nutrientes de acordo com as necessidades das culturas, garantindo não apenas o máximo aproveitamento dos recursos disponíveis, mas também o cumprimento das normas ambientais vigentes.

Os resultados do modelo indicam que a adoção das estratégias propostas pode resultar em melhorias substanciais na rentabilidade econômica da UPA, além de promover práticas agrícolas mais sustentáveis e conformes com as regulamentações ambientais. Recomenda-se que a propriedade implemente medidas para otimizar o uso de recursos naturais, melhorar a gestão de nutrientes e adequar-se às normativas ambientais, o que não apenas aumentará a eficiência produtiva, mas também contribuirá para a conservação ambiental a longo prazo.

Considerações Finais.

XVI ECOPAR

Encontro de Economia Paranaense

V International Meeting on Economic Theory and Applied Economics

II Jornada Internacional de Comunicação Científica

As simulações com os modelos REA e REM na Unidade de Produção Agropecuária (UPA) analisada demonstraram eficiência na gestão dos dejetos oriundos da cadeia produtiva de proteína animal, alcançando reúso total dos efluentes de suínos e de bovinos. Essas práticas além de promoverem sustentabilidade ambiental otimizaram recursos como mão de obra disponível e área útil cultivável. A adaptação às limitações de mão de obra foi crucial, especialmente na função objetivo 2, que atingiu índices ideais de utilização de nitrogênio e fósforo, mesmo sem explorar toda a Superfície Agrícola Útil (SAU). No entanto, na função objetivo 1, apesar de atingir o ótimo de fósforo com uso total da SAU, o nitrogênio dos resíduos não foi suficiente para suprir as necessidades das culturas. Essas conclusões destacam a importância do planejamento estratégico e de práticas sustentáveis para maximizar eficiência produtiva e atender normas ambientais, fortalecendo a viabilidade econômica e o compromisso com a sustentabilidade ambiental na região.

Referências

Araújo, I. S.; Oliveira, J. L. R.; Alves, R. G. C. M.; Filho, P. B.; Costa, R. H. R. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v.16, p.745–753, 2012.

Belusso, D.; Serra, E. **Revista Agrária**, n. 4, p.20-39, 2006.

Biembengut, M. S.; Hein, N. *Modelagem matemática no ensino*. São Paulo: Contexto, 2003.
Coelho, A. M. **Embrapa Milho e Sorgo**. Circular Técnica, 96, 2007.

Cortez, A. T. C.; Ortigoza, S. A. G. *Da produção ao consumo: impactos socioambientais no espaço urbano*. São Paulo: Editora UNESP, 2009. EMBRAPA. *Manual de análises Químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 2.ed. Brasília: **EMBRAPA Informações Tecnológicas**, 2009.

Idehara, S. J.; Rodrigues, R. C. *Otimização da Alimentação Bovina através de Programação Linear*. Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, 2011.

Junior, C.; Libânio, J. C.; Galinkin, M.; Oliveira, M. M. **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e Ambientais**. Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, 2009.

Lachtermacher, G. *Pesquisa operacional*. 4ª edição. São Paulo: Person, 2009.

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

Silva Neto, B.; Figueiredo, J. W. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 47, p. 857-882, 2009.

Silva Neto, B.; Oliveira, A. **A Programação Matemática na Análise de Sistemas de Produção Agropecuária**. Parte I. Ijuí: UNIJUI, 2007.



XVI ECOPAR

Encontro de Economia Paranaense

V International Meeting on Economic Theory and Applied Economics

II Jornada Internacional de Comunicação Científica

Souza, P. M.; Ferreira, V. R.; Ponciano, N. J.; Brito, M. N. **Pesqui. Oper.**, vol.28, no.1, Rio de Janeiro, 2008.

Valadares Filho, S. C.; Machado, P. A. S.; Chizzotti, M. L.; Amaral, H. F. **BR-CORTE 1.0**. Disponível em www.brcorte.ufv.br. Acesso em 02/08/2013.

