



## 48ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia

*O Desenvolvimento da Produção Animal e a Responsabilidade Frente a Novos Desafios*

Belém - PA, 18 a 21 de Julho de 2011



### **Determinação do número ótimo de trabalhadores em propriedade leiteira com aplicação de modelo matemático de planejamento integrado da produção**

Augusto Hauber Gameiro<sup>1</sup>, Cleber Damião Rocco<sup>2</sup>, José Vicente Caixeta-Filho<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Professor Doutor do Departamento de Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ), Universidade de São Paulo (USP). E-mail: [gameiro@usp.br](mailto:gameiro@usp.br)

<sup>2</sup>Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR). E-mail: [cleberrocco@yahoo.com.br](mailto:cleberrocco@yahoo.com.br)

<sup>3</sup>Professor Titular do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP). E-mail: [jvcaixet@esalq.usp.br](mailto:jvcaixet@esalq.usp.br)

**Resumo:** Este trabalho apresenta os resultados da aplicação de modelo matemático de otimização para a determinação do número ótimo de trabalhadores em uma propriedade leiteira. A técnica de programação linear foi utilizada para a modelagem do problema e o modelo foi implementado na linguagem GAMS e resolvido pelo CPLEX. O modelo foi aplicado a uma propriedade de alta tecnologia, localizada no município de Carmo do Paranaíba MG. O modelo determina o número ótimo de animais, de hectares de culturas a serem cultivados para a produção de forragens, a composição das dietas de modo a suprir as necessidades das diferentes categorias animais, o volume de concentrados e suplementos a serem adquiridos no mercado, visando à maximização do lucro em um período de planejamento de 5 anos. Os resultados indicaram que entre 8 e 11 trabalhadores, a propriedade atingiria praticamente os mesmos níveis de lucro máximo. O oitavo trabalhador seria aquele com a última contribuição marginal significativamente positiva, de modo que este seria o número recomendado. Com esse número, a quantidade ideal de vacas em produção seria de 148 animais. O modelo mostrou-se bastante eficiente e permite conclusões importantes para o planejamento e gestão da produção, especialmente em relação aos efeitos da integração entre as culturas vegetais e produção animal na propriedade.

**Palavras-chave:** bovinocultura de leite, planejamento, administração, otimização, programação linear

#### **Determination of the optimum number of workers in a dairy farm using mathematical model to integrated production planning**

**Abstract:** This paper presents the outcomes of using an optimization mathematical model to determine the optimal number of works in a dairy farm. The linear programming was employed to model the problem, and the model was computationally implemented on GAMS syntax, as solved by CPLEX. The model was performed on a high technology farm in Carmo do Paranaíba city, state of Minas Gerais, Brazil. The model determines the optimum number of animals, the hectares to be grown with different crops to forage production, the feed composition to supply the animal nutritional requirements, and the volume of concentrate to purchase at spot market, aiming to maximization the farm's profit along 5-year period of planning horizon. The results indicated that among 8 to 11 workers, the farm would reach its same or higher levels of profit. The eighth worker would be the last to have significantly positive marginal contribution to profit, thus being the recommended number of workers. Having 8 workers, the optimal number of cows in production would be 148 animals. The model was very efficient, allowing many important conclusions for the management and production planning, specifically relative to the effects of crop-livestock integration in the farm.

**Keywords:** dairy production, farm planning, management, optimization, linear programming

#### **Introdução**

O avanço da ciência animal, a necessidade de planejamento minucioso visando à rentabilidade da produção agropecuária e as pressões por técnicas menos impactantes ao meio ambiente aumentam significativamente a complexidade dos sistemas produtivos (Gameiro et al., 2010). Diante dessa complexidade, uma possível solução é tentá-la compreender por meio de representações simplificadas de



## 48ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia

*O Desenvolvimento da Produção Animal e a Responsabilidade Frente a Novos Desafios*

Belém – PA, 18 a 21 de Julho de 2011



sua realidade. Tais representações podem ser caracterizadas por modelos matemáticos, que procuram correlacionar fenômenos, evidenciando as relações de causa e efeito relevantes (Caixeta Filho, 2001). A ciência voltada à resolução de problemas complexos por meio de modelagem matemática é a Pesquisa Operacional.

Azevedo Filho & Neves (1988) afirmam que a Pesquisa Operacional, e em especial a Programação Linear – uma de suas principais técnicas –, pode ser aplicada à solução de diversos problemas na agricultura, tais como: otimização de rações e dietas, planejamento de fazendas e empresas agroindustriais, otimização de transporte e localização espacial, análise e planejamento de experimentos, planejamento regional, inter-regional e política agrícolas, e planejamento florestal. Em relação à aplicação em planejamento de fazendas e empresas agroindustriais, os autores identificam 81 trabalhos elaborados por autores brasileiros, sendo cinco na década de 1960, 47 trabalhos na década de 1970 e 29 na década de 1980. Mais recentemente, o trabalho de Silva Neto & Oliveira (2009) é um dos poucos disponíveis na literatura brasileira específica de Zootecnia. Os autores desenvolveram modelagem de otimização sob condição de incerteza para a avaliação econômica de sistemas de integração lavoura-pecuária de leite. Os princípios da modelagem e diversas aplicações a casos práticos são apresentados nessa obra.

### Material e Métodos

Seguindo a classificação de método de pesquisa proposto por Bertrand e Fransoo (2002), esta é uma pesquisa quantitativa com aplicação de modelagem empírico-prescritiva. A aplicação do modelo de Programação Linear proposto ocorreu a partir de indicadores zootécnicos de uma propriedade rural localizada em Carmo do Paranaíba MG. O processamento do modelo ocorreu com o *software* GAMS (*General Algebraic Modeling System*) (McCarl, 2010).

A Programação Linear é uma das principais técnicas da Pesquisa Operacional. É amplamente utilizada devido à relativa simplicidade de modelagem matemática a ser solucionada, à disponibilidade de diversos algoritmos no mercado e à possibilidade de encontrar solução ótima e única (quando existente) para sistemas complexos. O modelo matemático a ser resolvido por técnicas de Programação Linear é normalmente composto, como sugere o nome, por equações e/ou inequações lineares. Há uma função objetivo linear que deve ser maximizada ou minimizada respeitando um conjunto de equações e/ou inequações também lineares denominadas restrições (Gameiro et al., 2010).

O modelo aqui proposto tem como objetivo maximizar a soma do lucro mensal em um período de 60 meses (5 anos), em função da quantidade ótima de animais em cada categoria (vacas em lactação, secas, bezerras, novilhas) e da quantidade de hectares a serem cultivadas de cada lavoura (milho para silagem, milho para grão, soja, sorgo, tifton, alfafa e cana de açúcar) em cada safra. A receita da fazenda é composta pela venda de leite, de animais (vacas de descarte, bezerros machos etc.) e de soja em grão. Os custos são compostos pela sua parcela variável (concentrados, medicamentos, sêmen, fertilizantes, sementes, defensivos, óleo diesel etc.) e fixa (depreciação de máquinas, implementos e benfeitorias, salários dos trabalhadores, serviço veterinário, taxas diversas). O único custo não considerado foi o de remuneração da terra (própria). Apesar disso, optou-se por usar a denominação de “lucro” para a diferença entre a receita total e os custos descritos. Para evitar viés financeiro, desconsiderou-se o valor do dinheiro no tempo (considerou-se a taxa de desconto nula). A propriedade na qual foi aplicado o modelo dispõe de 142 vacas holandesas em produção, com produtividade média de 27 litros de leite por vaca/dia. A área disponível para culturas irrigadas é de 22,1 hectares, para culturas de sequeiro de 32 hectares e de pastagem (Tifton) de 8,4 hectares. A capacidade máxima de animais em produção é de 154 cabeças. A pesquisa de campo para levantamento dos dados na propriedade foi realizada durante os anos de 2009 e 2010.

### Resultados e Discussão

Os resultados são sucintamente apresentados na Tabela 1. O lucro médio mensal da propriedade eleva-se – ainda que de forma decrescente – com o emprego de um trabalhador adicional até o número de 8 pessoas. A coluna denominada “contribuição marginal” representa a variação marginal no lucro em função do emprego de trabalhadores: o efeito que um trabalhador adicional causa sobre o lucro médio mensal. O lucro máximo, porém, poderia ser obtido com o emprego de 10 trabalhadores, muito embora a



## 48ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia

*O Desenvolvimento da Produção Animal e a Responsabilidade Frente a Novos Desafios*

Belém - PA, 18 a 21 de Julho de 2011



diferença entre o emprego de 8, 9, 10 ou 11 trabalhadores seja praticamente desprezível. A partir de então, observa-se uma deseconomia de escala em função da restrição do número máximo de vacas em produção que a propriedade suporta, que é de 154 animais (definido pelos estábulos e sala de ordenha).

Tabela 1. Comparação entre o lucro médio mensal, a contribuição marginal dos trabalhadores e o número de vacas em produção, em função do número de trabalhadores empregados na propriedade

Trabalhadores (número de pessoas)	Lucro médio mensal* (R\$/mês)	Contribuição marginal (R\$/mês)	Vacas em produção (animais)
4	5.664,75	-	83
5	10.278,71	4.613,96	101
6	13.851,29	3.572,58	117
7	16.947,62	3.096,33	132
8	18.033,85	1.086,23	148
9	18.004,16	-29,69	146
10	18.066,16	62,00	152
11	17.995,23	-70,93	154
12	17.403,66	-591,57	154
13	16.745,10	-658,56	154
14	16.029,28	-715,82	154
15	15.211,86	-817,42	154
16	14.331,21	-880,65	154

\*Soma total dos lucros mensais dividida por 60 meses.

Fonte: dados da pesquisa

### Conclusões

O oitavo trabalhador seria aquele com a última contribuição marginal significativamente positiva, de modo que este seria o número recomendado de trabalhadores na propriedade do estudo de caso. Com esse número, a quantidade ideal de vacas em produção seria de 148 animais. O modelo mostrou-se bastante eficiente, além de permitir uma série de conclusões para o planejamento e gestão da produção, especialmente em relação aos efeitos da integração entre as culturas vegetais e produção animal na propriedade.

### Literatura citada

AZEVEDO FILHO, A.J.B.V.; NEVES, E.M. Pesquisa Operacional na Agricultura Brasileira. **Mini-curso**. 11ª. Reunião da Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada à Computação. Botucatu, 09 a 10 de junho de 1988.

BERTRAND, J.W.M. & FRANSOO, J.C. Modelling and simulations: operations management research methodologies using quantitative modelling. **International Journal of Operations & Production Management**, v.22, n.2, p.241-264, 2002.

CAIXETA FILHO, J.V. **Pesquisa Operacional: Técnicas de Otimização Aplicadas a Sistemas Agroindustriais**. São Paulo, Editora Atlas, 2001.

GAMEIRO, A.H.; CAIXETA FILHO, J.V.; BARROS, C.S. Modelagem matemática para o planejamento, otimização e avaliação da produção agropecuária. In: **Novos Desafios para a Pesquisa em Nutrição e Produção Animal**. Pirassununga: Editora 5D, 2010.

MACCARL, B.A. **GAMS User Guide**: version 23.3, 777p. 2010. Disponível em: <<http://www.gams.com/dd/docs/bigdocs/gams2002/mccarlgamsuserguide.pdf>>

SILVA NETO, B.; OLIVEIRA, A. **Modelagem e planejamento de sistemas de produção agropecuária**: manual de aplicação da programação matemática. Ijuí: Ed. Unijuí, 2009. 288p.