

**UNIJUI – UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO
DO RIO GRANDE DO SUL**

DEFEM - Departamento de Física, Estatística e Matemática

CURSO DE MESTRADO EM MODELAGEM MATEMÁTICA

ANDRÉ SANDMANN

**MODELAGEM MATEMÁTICA DOS CONDICIONANTES TÉCNICOS,
ECONÔMICOS E FINANCEIROS DE UMA UNIDADE DE PRODUÇÃO
AGROPECUÁRIA COM BOVINOCULTURA DE LEITE.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

IJUÍ, RS, BRASIL, 2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ANDRÉ SANDMANN

**MODELAGEM MATEMÁTICA DOS CONDICIONANTES TÉCNICOS,
ECONÔMICOS E FINANCEIROS DE UMA UNIDADE DE PRODUÇÃO
AGROPECUÁRIA COM BOVINOCULTURA DE LEITE.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

IJUÍ, RS, BRASIL, 2009

ANDRÉ SANDMANN

**MODELAGEM MATEMÁTICA DOS CONDICIONANTES TÉCNICOS,
ECONÔMICOS E FINANCEIROS DE UMA UNIDADE DE PRODUÇÃO
AGROPECUÁRIA COM BOVINOCULTURA DE LEITE.**

**Dissertação de Mestrado apresentada ao
Curso de Pós-graduação *Strictu Senso* em
Modelagem Matemática, como requisito para
obtenção de título de Mestre em Modelagem
Matemática. Departamento de Física,
Estatística e Matemática (DeFEM) da
Universidade Regional do Noroeste do estado
do Rio Grande do Sul (RS),**

Orientador: Prof^o Dr. Benedito Silva Neto

IJUÍ, 30 DE JANEIRO DE 2009

UNIJUI – UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

DeFEM - DEPARTAMENTO DE FÍSICA, ESTATÍSTICA E MATEMÁTICA

DeTEC – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA

**MODELAGEM MATEMÁTICA DOS CONDICIONANTES TÉCNICOS,
ECONÔMICOS E FINANCEIROS DE UMA UNIDADE DE PRODUÇÃO
AGROPECUÁRIA COM BOVINOCULTURA DE LEITE.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Modelagem Matemática - área de concentração: Sistemas Agrários, aprovada pela seguinte banca examinadora:

Elaborada por

André Sandmann

Orientador: Prof. Dr. Benedito Silva Neto

Prof. Dra. Fabiane Avena de Oliveira

UNIJUI

Prof. Dr. Antonio Aprigio
UTFPR/MEDIANEIRA/PR

Ijuí, (RS), janeiro de 2009.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida.

Aos meus pais, por estarem ao meu lado nos momentos mais difíceis, agradeço pelo seu amor, orgulho e por sempre me incentivarem a querer mais e mais.

A minha filha, pelo amor e mensagens de carinho dispensadas a mim, mesmo com minha constante ausência.

As minhas irmãs, por estarem presentes nos momentos mais lindos e mais difíceis de minha caminhada.

Aos meus alunos Eduardo, Luciana e Maurício, pelo companheirismo, pela compreensão, carinho, paciência, enfim, pela significativa presença deles nestes dois anos de pesquisa. Não tenho palavras para agradecê-los.

A minha madrinha Noemi, por sempre me por em suas orações.

A uma pessoa muito especial que passou por minha vida, Francieli.

A Geni e aos professores que contribuíram para o desenvolvimento desse projeto.

A professora Lurdes Alexius, pelas sugestões e correções.

A minha grande amiga, Dinorá da Costa pelo carinho e compreensão.

Ao meu orientador Prof. Dr. Benedito Silva Neto, por dar-me oportunidade da realização deste trabalho, pela sua compreensão das minhas ausências, pelos conselhos e pelo compartilhamento de seu conhecimento.

“É importante conceber procedimentos democráticos que permitam realmente levar em conta os interesses [...] das diferentes classes, camadas e categorias sociais das quais se espera uma participação ativa. Essas não devem mais ser consideradas como simples executoras de projetos, elaborados sem seu conhecimento, mas devem ser integradas aos projetos desde a sua concepção inicial.”

(Marc DUFUMIER. Op cit.)

RESUMO

O estudo teve como objetivo geral apresentar um modelo que auxilie na tomada de decisões na atividade leiteira, contribuindo, assim, para uma melhoria da condição econômica de pequenos agricultores, devido a descapitalização enfrentada por muitos. Para isso, buscou-se conhecer a dinâmica do sistema de produção agropecuário, por meio de entrevistas e análise de uma unidade de produção agropecuária. Essa abordagem permitiu levantar dados que auxiliaram na investigação e análise da agropecuária, a fim de formular modelos matemáticos que possibilitassem a elaboração de alternativas de desenvolvimento pertinentes à realidade onde se pretende intervir. A partir das entrevistas, realizaram-se os cálculos econômicos e do balanço energético das pastagens da unidade em questão e, por meio de uma revisão bibliográfica, chegou-se aos coeficientes zootécnicos referentes ao rendimento das pastagens, bem como seus potenciais energéticos. Com esses dados, elaborou-se o modelo básico através do qual buscou-se otimizar o resultado econômico mínimo mensal. O modelo desenvolvido, nessa dissertação, procura representar as condições de um pequeno agricultor descapitalizado, para o qual o custo de oportunidade do capital circulante e a estabilidade da renda, no decorrer do ano, são de grande importância. Foram realizadas simulações, considerando-se a maximização do resultado econômico anual e do resultado econômico mensal. Percebeu-se que a primeira revela um resultado econômico anual melhor do que a segunda, porém, com variações acentuadas, devido a uma queda na produção leiteira durante alguns meses do ano, o que leva o agricultor a uma grave desestabilidade financeira nesses períodos. A redistribuição da área, em relação ao sistema de produção atual, associada à maximização do resultado econômico anual, denuncia uma expressiva restrição financeira por parte do agricultor, o que corrobora para a obtenção de um baixo desempenho de sua unidade de produção agropecuária. Concluiu-se, com as simulações e resultados, que o sistema de produção apresentado pelo modelo que maximiza o resultado econômico mínimo mensal é mais adequado a este agricultor, pois demonstra uma estabilidade mensal financeira e a necessidade de capital circulante mais acessível, principalmente, nos meses em que se tem maiores restrições nas pastagens.

Palavras-chave: Modelo Matemático, Programação Linear, Desenvolvimento Agrário.

ABSTRACT

The study has like general objective to show a model that assists in taking decisions at Milky activity, contributing, thus, to a better economic condition of small agriculturists, had the decapitalization faced for many of them. For this searched to know the dynamics of the farming system of production, through interviews and analyses of a unit of farming production. This boarding assisted in the inquiry and analysis of the farming one, in order to formulate mathematical models that they made possible the elaboration pertinent alternatives of development the reality where if it intend to intervine. Starting at the interviews, the economic calculations and the energy rocking of the pastures of the unit in question had been fulfilled so, through a bibliographical revision, we got the zootecnic coefficients about the income of the pastures, as well, its energy potentials. With all of this, the basic model was elaborated through which one searched to optimize the monthly minimum economic result. The developed model, in this text looks for represent the conditions of a small agriculturist with no money, which the cost of chance of the liquid capital and stability of the income, during the year, has great importance. Simulations had been done, considering the highest of the annual and monthly economic result. Then, realized that the first show an annual economic result better than the second, however, with accented variations, had to a fall in the milk production during some months of the year, taking the agriculturist to a serious financial no stability in some periods. The redistribution of the area, in relation to the system of current production, associated to the maximization of the annual economic result, it denounces an expressive financial restriction from the agriculturist, what corroborate to have a short performance from his agropecuarist production unit. It is concluded, with all the simulations and results, that the sistem of production showed for the model that miximize the monthly minimum economic result is the best to this agriculturist, therefore demonstrate a monthly financial stability and the necessity of accessible liquid capital, mainly, in the months where it has greaters restrictions in the pastures.

Keywords: Mathematic Model, Linear Programming, Agrarian Development

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
SUMÁRIO.....	ix
LISTA DE SIMBOLOS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
INTRODUÇÃO.....	01
1. REVISÃO DE LITERATURA.....	04
1.1 MODELOS DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA.....	04
1.2 FORMULAÇÃO DS RESTRIÇÕES.....	11
1.2.1. RESTRIÇÕES DE SUPERFÍCIE.....	11
1.2.2. RESTRIÇÕES DE MÃO-DE-OBRA.....	12
1.2.3. RESTRIÇÕES DE MÁQUINAS, EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES.....	12
1.2.4. RESTRIÇÕES DE ROTAÇÃO DE CULTURAS.....	13
1.2.5. RESTRIÇÕES DE FERTILIDADE DO ECOSISTEMA.....	13
1.2.6. RESTRIÇÃO DE CAPITAL CIRCULANTE.....	14
1.2.7. RESTRIÇÃO DE ALIMENTAÇÃO DE ANIMAIS.....	14
1.2.7.1. A OTIMIZAÇÃO DA BOVINOCULTURA DE LEITE NA UNIDADE DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA.....	15
1.2.7.1.1. DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO LEITEIRO.....	17
1.2.7.1.2. RESTRIÇÕES DE ALIMENTAÇÃO DE BOVINOS DE LEITE.....	17
1.2.8. RESTRIÇÕES DE LIGAÇÃO.....	18
2. METODOLOGIA.....	19
2.1 LINGO 4.0.....	19
2.2 PROCEDIMENTO GERAL DA PESQUISA.....	20
2.2.1 CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DE PRODUÇÃO.....	20
2.3 DESCRIÇÃO DO MODELO QUE SERÁ UTILIZADO PARA ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE LEITE EM UMA UPB.....	22
2.4 DESCRIÇÃO DO MODELO	27
2.4.1. FUNÇÃO OBJETIVO.....	27
2.4.2. PARÂMETROS DE ENTRADA.....	30
2.4.3. RESTRIÇÕES.....	33
2.4.3.1. SUPERFÍCIE.....	33
2.4.3.2. ALIMENTAÇÃO DOS BOVINOS DE LEITE.....	34
2.4.3.3. MÃO-DE-OBRA.....	37
2.4.3.4. LIGAÇÕES.....	39
2.5. COERÊNCIA DO MODELO COM A SITUAÇÃO ATUAL.....	44
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES DAS SIMULAÇÕES.....	47
3.1. SISTEMA DE PRODUÇÃO PROPOSTO NAS SOLUÇÕES DOS MODELOS... ..	47
CONCLUSÃO.....	55
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA... ..	56
ANEXOS	61

LISTA DE SÍMBOLOS

TABELA DE SÍMBOLOS	
VL	VACA LEITEIRA
VS	VACA SECA
AV	AVEIA
AZ	AZEVEM
SOR	SORGO FORRAGEIRO
MIL	MILHETO
MI	MILHO
MIF	MILHO FORRAGEM
AVER	AVEIA VERÃO
L	LEITE
CANA	CANA-DE-AÇUCAR
RC	RAÇÃO
HC	HORAS TRABALHO PARA CANA
HMIF	HORAS TRABALHO PARA MILHETO FORRAGEM
HSOR	HORAS TRABALHO PARA SORGO
HCE	HORAS TRABALHO PARA CAPIM ELEFANTE
KC	CAPITAL CIRCULANTE
KCA	CAPITAL CIRCULANTE ANUAL
R	RAÇÃO
J	CUSTO DE OPORTUNIDADE SOBRE O CAPITAL CIRCULANTE
PL	PREÇO LEITE
RAV	RENDIMENTO AVEIA
RAVER	RENDIMENTO AVEIA VERÃO
RAZ	RENDIMENTO AZEVÉM
SIL	SILAGEM
SILVS	SILAGEM VACA SECA
SILVL	SILAGEM VACA LEITEIRA
SILT	SILAGEM TOTAL
SILTF	SILAGEM TERNEIRA
CANVS	CANA VACA SECA
CANVL	CANA VACA LEITEIRA
PROTPOT	PROTEINA POTREIRO
PROTCE	PROTEINA CAPIM ELEFANTE
PROTMI	PROTEINA MILHETO
PROTSOR	PROTEINA SORGO
PROTAV	PROTEINA AVEIA
PROTAZ	PROTEINA AZEVEM
PROTSIL	PROTEINA SILAGEM
PROTR	PROTEINA RAÇÃO
PROTMIL	PROTEINA MILHO
PROTCANA	PROTEINA CANA
PROTMIF	PROTEINA MILHETO FORRAGEM
PROTAVER	PROTEINA AVEIA VERÃO
PROTVV	PROTEINA PARA MANUTENÇÃO MENSAL DE VACA SECA
PROTVL	PROTEINA PARA MANUTENÇÃO MENSAL DE VACA LEITEIRA
PROTN	PROTEINA PARA MANUTENÇÃO MENSAL DE NOVILHA
PROTTF	PROTEINA PARA MANUTENÇÃO MENSAL DE TERNEIRA
ENPOT	ENERGIA POTREIRO
ENCE	ENERGIA CAPIM ELEFANTE
ENMI	ENERGIA MILHETO
ENSOR	ENERGIA SORGO
ENAV	ENERGIA AVEIA
ENAZ	ENERGIA AZEVEM

ENSIL	ENERGIA SILAGEM
ENR	ENERGIA RAÇÃO
ENMIL	ENERGIA MILHO
ENCANA	ENERGIA CANA-DE-AÇUCAR
ENMIF	ENERGIA MILHETO FORRAGEM
ENAVER	ENERGIA AVEIA VERÃO
ENVL	ENERGIA METABOLIZÁVEL PARA VACA LEITEIRA
ENVS	ENERGIA METABOLIZÁVEL PARA VACA SECA
ENN	ENERGIA METABOLIZÁVEL PARA NOVILHA
ENT	ENERGIA METABOLIZÁVEL PARA NOVILHA
RENDPOT	RENDIMENTO POR HECTAR ANUAL DE POTREIRO
RENDCE	RENDIMENTO POR HECTAR ANUAL DE CAPIM ELEFANTE
RENDMI	RENDIMENTO POR HECTAR ANUAL DO MILHETO
RENDSOR	RENDIMENTO POR HECTAR ANUAL DO SORGO
RENDAV	RENDIMENTO POR HECTAR ANUAL DA AVEIA
RENDAZ	RENDIMENTO POR HECTAR ANUAL DO AZEVEM
RENDMIL	RENDIMENTO POR HECTAR ANUAL DO MILHO
RENDCANA	RENDIMENTO POR HECTAR ANUAL DA CANA
RENDMIF	RENDIMENTO POR HECTAR ANUAL DO MILHO FORRAGEM
RENDAVER	RENDIMENTO POR HECTAR ANUAL DA AVEIA VERÃO
SILAG	SILAGEM
SAUTOTALV	SUPERFÍCIE DE AREA UTIL TOTAL NO VERÃO
SAUTOTALI	SUPERFÍCIE DE AREA UTIL TOTAL NO INVERNO
WFAM	TRABALHO REALIZADO POR FAMÍLIA
COPK	CUSTO OPORTUNIDADES SOBRE O CAPITAL CIRCULANTE
REANUAL	RESULTADO ECONÔMICO ANUAL
SAUQ	SUPERFÍCIE DE AREA ÚTIL NO VERAQ
SAUF	SUPERFÍCIE DE AREA ÚTIL NO INVERNO
SAL	SUPERFÍCIE DE AREA ÚTIL
RACAN	RAÇÃO ANUAL
REA	RESULTADO ECONÔMICO ANUAL

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Solução do modelo, situação atual e solução do modelo .	página 48
------------------	---	--------------

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 01	Energia Metabolizável Disponível ao Rebanho no Sistema de Produção	45
Figura 02	Simulações sobre os Resultados econômicos mensais.	49
Figura 03	Simulações sobre a produção de leite mensal.	
Figura 04	Simulações com Resultados sobre o Capital Circulante.	50
Figura 05	Impacto do Custo de Oportunidade sobre o Resultado Econômico mensal.	51
Figura 06	Impacto do Custo de Oportunidade sobre o Resultado Econômico anual.	53

INTRODUÇÃO

O agricultor, em se tratando de produção agropecuária, deve trabalhar com os recursos de que dispõe, ainda que restritos. Dessa forma, a sua propriedade precisa seguir um programa cujo custo de produção seja baixo, a fim de que a renda seja a melhor possível. Há, no mercado, “softwares” de alta confiabilidade e baixo custo, o que faz da programação matemática um instrumento interessante e eficiente para o planejamento das atividades agropecuárias.

Nos dias atuais, métodos estatísticos orientam a tomada de decisões, porém, muitas vezes, não são passíveis de aplicação, haja vista as dificuldades de se estimar distribuições de probabilidade para resultados de algumas atividades. Exemplificando, a bovinocultura de leite. O objetivo deste trabalho foi, portanto, apresentar um modelo de programação matemática, a fim de que o agricultor, aplicando-o em sua propriedade, possa obter o melhor resultado quanto à produção de leite.

Modelagem Matemática é uma nova direção científica que usa amplamente a Matemática e a Computação Científica e está orientada para o aproveitamento de métodos matemáticos avançados, na busca de soluções para problemas atuais nas áreas de Matemática, Física, Engenharias, Ciências Agrárias, Economia, Ciências da Saúde e Meio Ambiente, Biologia, Química, Ciências da Computação, entre outras.

A Modelagem Matemática usa esta ciência para representar sistemas do mundo real, a fim de resolver problemas com perguntas e respostas. O processo de modelagem pode ser compreendido como:

- Definição do sistema, identificando suas características importantes;
- Construção do modelo, baseado nas equações que descrevem as características importantes;
- Funcionamento do modelo;
- Confrontação dos resultados do modelo com os dados da realidade.

Em diversas áreas de produção, existe a escassez de certo produto ou matéria-prima, dada a sua dificuldade de produção e/ou obtenção. Isto gera problemas para o emprego de recursos escassos, de forma eficiente e eficaz. Busca-se, portanto, através da modelagem matemática, maximizar ou minimizar uma quantidade (lucro, custo, receita, número de produtos, entre outros) o que depende de um ou mais destes recursos escassos.

Para sobreviver e crescer, em um mercado de forte concorrência, duas condições são fundamentais: a eficiência produtiva e a eficiência gerencial. Na busca de eficiência, o produtor tem que selecionar os animais adequados para a produção requerida, levando em consideração o tamanho do animal, a aptidão leiteira, o potencial genético, a raça, os recursos disponíveis como pastagem, água, entre outros. O teor de nutrientes assimiláveis, os custos e preços relativos dos insumos, etc, necessitam ser constantemente monitorados. A modelagem matemática e a informática são poderosos instrumentos de gestão moderna e ferramentas indispensáveis nos processos de monitoramento, tomada de decisão e busca de solução nos vários segmentos da cadeia produtiva do leite.

A discussão sobre sistemas de produção de leite e a viabilidade econômica do agronegócio do leite no Brasil não chegam a se aprofundar suficientemente nas questões relativas à eficiência produtiva e gerencial, pois as conclusões, quando da tomada de decisões, quase sempre envolvem interesses pessoais em detrimento dos benefícios da sociedade, nos vários níveis, tanto no público quanto no privado. (EMBRAPA, 2008)

O modelo de produção de leite é definido pelo mercado de lácteos e preços de energia, custos financeiros, remuneração de mão-de-obra, custos de insumos, e, principalmente, preços de grãos, uma vez que estes irão compor as formulações de rações concentradas para as vacas leiteiras. O preço do leite e, principalmente, suas oscilações devem indicar um sistema de produção que seja mais flexível e suporte as condições impostas pelo mercado.

O modelo desenvolvido nessa dissertação procura representar as condições de um pequeno agricultor descapitalizado; para o modelo, o custo de oportunidade do capital circulante e a estabilidade da renda, no decorrer do ano, são de grande importância.

Assim, o objetivo geral desse trabalho é apresentar um modelo que auxilie na tomada de decisões na atividade leiteira, contribuindo, dessa forma, para uma melhoria da condição econômica de pequenos agricultores.

Para isso, buscou-se a formulação dos objetivos econômicos e das restrições que condicionam a função objetivo, bem como verificar a viabilidade técnica e econômica de uma UPA na produção de leite e comparar o rendimento da produção de leite com outras atividades.

A dissertação se divide em três capítulos. No primeiro, faz-se uma revisão bibliográfica sobre Modelos de Programação e sua aplicação à análise da produção de leite, descrevendo a Programação Matemática e a formulação das restrições, quais sejam: Restrições de mão-de-obra, de máquinas, equipamentos e instalações, rotação de culturas, fertilidade do ecossistema, capital circulante, alimentação de animais. Descrevem-se ainda os itens: A otimização da bovinocultura de leite na UPA, determinação do rendimento leiteiro, restrições de alimentação de bovinos de leite e restrições de ligação.

No segundo capítulo, desenvolveu-se a metodologia da pesquisa onde descreveu-se o programa utilizado (LINGO 4.0), procedeu-se à coleta de dados de uma UPA, por meio de entrevistas com o produtor, a fim de verificar a realidade da unidade de produção quanto aos resultados econômicos obtidos na atividade, disponibilidade de mão-de-obra, e outras informações relevantes. Descreveu-se o modelo que será utilizado. Fez-se a determinação de coeficientes e geração dos modelos de programação matemática baseados nos dados coletados. Foram feitas ainda simulações dos modelos matemáticos encontrados.

No terceiro capítulo, encontram-se os resultados e discussões dos cálculos da propriedade agrícola, bem como das simulações e divulgaram-se os resultados encontrados no modelo em questão.

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1 MODELOS DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA

A Programação Matemática compreende Programação Linear (PL) e Programação Não Linear (PNL). Nesta dissertação usaremos programação linear, que será apresentada a seguir.

Em Matemática, problemas de Programação Linear (PL) são problemas de otimização nos quais a função-objetivo e as restrições são todas lineares. Por várias razões, a Programação Linear é uma importante área da otimização. Muitos problemas práticos em pesquisa operacional podem ser expressos como problemas de programação linear. Algoritmos para resolução de vários tipos de problemas de otimização funcionam resolvendo problemas de PL como sub-problemas. Historicamente, idéias da programação linear inspiraram muitos dos conceitos centrais de teoria da otimização, tais como *dualidade*, *decomposição*, e a importância da *convexidade* e suas generalizações.

Segundo Bassanezi (1994), a Modelagem Matemática é um processo dinâmico de busca de modelos adequados, que sirvam de protótipos de alguma entidade. Segundo O'Sheas e Berry,

“A Modelagem Matemática é o processo de escolher características que descrevem adequadamente um problema de origem não matemático, para chegar a colocá-lo numa linguagem matemática. A Modelagem é um processo iterativo em que o estágio de validação freqüentemente leva a diferenças entre previsões baseadas no modelo e na realidade. (O'SHEAS e BERRY, 1982, p.06).

Segundo Silva Neto & Oliveira (2007), a produção de leite e a viabilidade econômica do agronegócio do leite, no Brasil, envolvem muitos fatores; dentre eles, pode-se citar aqueles

relacionados à produção, ao animal, alimentos, insumos, entre outros. Muitas decisões devem ser tomadas antes mesmo de iniciar a produção. Por exemplo, se a produção será extensiva ou intensiva; a primeira utiliza mais terra e tem rendimento por área menor, enquanto a segunda usa menos terra com rendimento por área maior. O rendimento por hectare é um fator de extrema relevância desde o início e em todas as etapas da produção. Antes de iniciar a produção de leite, outro fator importante na tomada de decisão é a comparação da produtividade com outras atividades agropecuárias; a busca de competitividade deve ser uma preocupação constante do produtor.

Para Prado (1999, p.15), a programação linear é um ramo da pesquisa operacional que permite estabelecer a mistura ótima de diversas variáveis, segundo uma função linear de efetividade e satisfazendo a um conjunto de restrições lineares para estas variáveis. Conforme o autor, pesquisa operacional é uma ciência que objetiva ferramentas quantitativas ao processo de tomada de decisão, visando alcançar os melhores resultados (PRADO, 1999, p.9).

A técnica de programação linear foi consolidada por George Dantzig, em 1947, segundo assevera Silva Neto & Oliveira (2007), quando aquele procurava desenvolver uma técnica de otimização para militares, por meio do desenvolvimento do método simples, capaz de resolver certos problemas sobre logística. Dada à complexidade dos cálculos matemáticos, esta técnica foi difundida com o surgimento do computador. Atualmente Programação Linear é aplicada em diversas áreas.

As premissas a serem estabelecidas para a criação do modelo matemático são:

- Definir as variáveis do problema;
- Definir a função-objetivo: expressão matemática para a qual se deseja otimizar por meio da melhor combinação das variáveis básicas (maximização ou minimização);
- Definir o conjunto de restrições. Segundo Horngren, Foster e Datar (2000, p.286), “Uma restrição é uma inequação ou igualdade que deve ser satisfeita pelas variáveis de um modelo matemático”.

SILVA NETO & OLIVEIRA (2007) a programação matemática pode ser uma ferramenta interessante no auxílio à tomada de decisão, sendo, porém, pouco utilizada, principalmente

em UPA. Por outro lado, há uma grande disponibilidade de *softwares* bastante robustos e confiáveis.

Conforme o LINGO, existem duas situações nas quais uma solução ótima não pode ser encontrada. Primeiro, se as restrições se contradizem (por exemplo, $x \geq 2$ e $x \leq 1$) logo, a região factível é vazia e não pode haver solução ótima, já que não pode haver solução nenhuma. Neste caso, a PL é dita *inviável*.

Geometricamente, as restrições lineares definem um poliedro convexo, que é chamado de *conjunto dos pontos viáveis*. Uma vez que a função-objetivo é também linear, todo ótimo local é automaticamente um ótimo global. A função-objetivo ser linear também implica que uma solução ótima pode apenas ocorrer em um ponto da fronteira do conjunto de pontos viáveis.

Alternativamente, o poliedro pode ser ilimitado na direção da função-objetivo (por exemplo: maximizar $x_1 + 3x_2$ sujeito a $x_1 \geq 0$, $x_2 \geq 0$, $x_1 + x_2 \geq 10$), neste caso, não existe solução ótima, uma vez que soluções arbitrariamente grandes da função-objetivo não podem ser construídas, e o problema é dito *ilimitado*.

Fora estas duas condições patológicas (que são freqüentemente eliminadas por limitações dos recursos inerentes ao problema que está sendo modelado), o ótimo é sempre alcançado num vértice do poliedro. Entretanto, o ótimo nem sempre é único: é possível ter um conjunto de soluções ótimas cobrindo uma aresta ou face do poliedro, ou até mesmo o poliedro todo (Esta última situação pode ocorrer se a função-objetivo for uniformemente igual a zero).

O uso de ferramentas matemáticas na abordagem sistêmica de UPAs permite que se teste a coerência de sua estrutura e do seu funcionamento, de forma metódica e rigorosa. Neste sentido, destacam-se os métodos de otimização, os quais, ao indicarem como utilizar os recursos disponíveis, da forma economicamente mais vantajosa, atribuem um sentido prospectivo à análise.

Uma UPA pode ser interpretada como um conjunto de recursos mobilizados para a obtenção de um resultado econômico por meio de atividades agropecuárias. Tais atividades, além de competir, em menor ou maior grau, por recursos, podem ser complementares ou

suplementares entre si. A ênfase na consideração das limitações de recursos e a definição precisa das diversas relações que as atividades de uma unidade de produção mantêm entre si é que caracterizam a noção de sistema de produção.

Ainda segundo SILVA NETO & OLIVEIRA (2007), uma das noções à aplicação de ferramentas matemáticas na abordagem sistêmica de unidade de produção agropecuária que, muitas vezes, gera problemas é a noção de atividade. Como se sabe, a Matemática não lida diretamente com conteúdos, mas apenas com quantidades e símbolos (normalmente usados quando não sabemos, ou não queremos atribuir uma quantidade definida a uma variável). Por exemplo, de um ponto de vista matemático, a variável “produção de leite” não tem relação com espécies de animais que não sejam leiteiros, mas sim com um conjunto de números (quantidades) que definem o que é uma UPA na produção de leite. Tais quantidades podem ser insumos, horas de trabalho, rendimento físico, preço, etc, os quais, quantificados monetariamente, determinam um certo resultado econômico, dada uma certa quantidade de recursos disponíveis. Assim, é comum uma unidade de produção especializada na produção de leite possuir várias atividades.

No caso de uma unidade de produção, por exemplo, pode-se considerar a possibilidade de se maximizar a soma de uma medida linear do resultado econômico (margem bruta, por exemplo) de diferentes atividades sujeitas a restrições de área, mão-de-obra e equipamentos.

Enfim, é importante salientar que a PM é um instrumento de análise tipicamente de médio e longo prazo da unidade de produção, devendo ser usada mais para seu planejamento estratégico do que para sua gestão cotidiana. Isso porque, restrições como rotação de culturas, e variáveis como a dimensão de um rebanho leiteiro ou as relacionadas à definição de sistemas forrageiros não podem ser adequadamente analisados, pensando-se apenas no curto prazo.

Muitas das relações entre as atividades presentes em uma unidade de produção agropecuária são não-lineares. A otimização do capital fixo, a otimização, considerando o risco por meio da minimização da variável dos resultados econômicos, a consideração das relações entre o crescimento de pastagens e o seu consumo pelos animais, a variação da capacidade de ingestão de alimentos por bovinos em função de sua quantidade e qualidade são alguns exemplos bem conhecidos, entre muitos outros, de relações não lineares entre atividades relacionadas à produção agropecuária. Além disto, de uma maneira geral, quanto

mais desagregado for um modelo de programação, ou seja, quanto mais detalhadas forem consideradas as atividades, maior será a necessidade de recorrer a relações não lineares para a sua formulação. A formulação de modelos de unidades de produção por meio de relações lineares implica, portanto, uma considerável simplificação de sua realidade.

Por outro lado, a ausência de preocupação em limitar a formulação de relações não lineares na representação de unidades de produção, por meio da Programação Matemática, leva rapidamente à obtenção de modelos computacionalmente insolúveis ou com soluções extremamente instáveis. Neste sentido, a aplicação da programação não linear na modelagem de unidades de produção agropecuária deve ser restrita à inclusão de um número limitado de relações não lineares em modelos que devem ser, essencialmente, de programação linear.

De acordo com SILVA NETO & OLIVEIRA (2007), a maneira como usualmente os problemas de PL são formulados (resultados econômicos na função-objetivo e restrições relativas aos recursos disponíveis) é denominada problema primal. A maioria dos pacotes computacionais de Programação Matemática, além do nível ótimo das atividades, também fornece na solução o custo marginal de substituição das atividades que não integram a base ótima obtida. Assim, quando uma solução aponta que uma atividade não é interessante de ser praticada economicamente, o programa indica o quanto que a introdução (forçada) de uma unidade desta atividade na solução provocaria de queda no resultado da função-objetivo.

De acordo com a formulação utilizada por Puccini & Pizzolato(1987), a todo problema de PL, denominado primal, a saber,

$$\text{Maximizar } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Sujeito às restrições:

$$a_{11}x_1 + a_{21}x_2 + \dots + a_{n1}x_n \leq b_1$$

$$a_{12}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{n2}x_n \leq b_2$$

....

$$a_{1m}x_1 + a_{2m}x_2 + \dots + a_{nm}x_n \leq b_m$$

pode-se obter outro problema, denominado problema Dual, ou seja,

$$\text{Minimizar } D = b_1 y_1 + b_2 y_2 + \dots + b_m y_m$$

$$a_{11} y_1 + a_{21} y_2 + \dots + a_{m1} y_m \geq c_1$$

$$a_{12} y_1 + a_{22} y_2 + \dots + a_{m2} y_m \leq c_2$$

....

$$a_{1n} y_1 + a_{2n} y_2 + \dots + a_{mn} y_m \leq c_n$$

Assim, a transformação de um problema em sua forma primal para a forma dual tem as seguintes características:

- a) se a função-objetivo do primal é de maximização, a do dual é de minimização;
- b) se as restrições do primal são do tipo $<$, as do dual são do tipo $>$;
- c) os coeficientes dos recursos disponíveis (restrições) do primal são os coeficientes da função-objetivo do dual;
- d) os coeficientes da função-objetivo do primal são coeficientes das restrições do dual;
- e) o número de restrições do primal é igual ao número de variáveis do dual;
- f) o número de variáveis do primal é igual ao número de restrições do dual;
- g) os resultados totais das funções objetivo do dual e do primal têm o mesmo valor.

A solução do problema dual, além de apresentar algumas vantagens computacionais (economia de memória), também possui uma interpretação econômica importante. Assim, enquanto que os valores das variáveis da solução do problema primal correspondem ao nível ótimo das atividades, o valor das variáveis da solução dual fornece a produtividade marginal dos recursos disponíveis. Em outras palavras, a solução do problema dual fornece o quanto aumentaria o resultado da função-objetivo, se houvesse a disponibilidade de uma unidade a mais do recurso em questão (correspondente a uma restrição do problema primal).

Conforme Silva Neto & Oliveira (2007), para que possamos formular um problema de PL, este tem que conter exclusivamente relações lineares que se traduzem em alguns requisitos (ou limitações) que devem ser respeitados:

- a) **Divisibilidade:** os valores das variáveis dependentes (ou seja, aquelas cujo valor inicialmente é desconhecido e compõe a solução do problema) podem ser números fracionários. Em geral, esta limitação não é muito séria, podendo ser adotados

valores aproximados, quando a adoção de números fracionários for absurda (criar 3,4 vacas, por exemplo);

- b) Proporcionalidade: as atividades devem ser linearmente proporcionais à escala de produção. Por exemplo, o resultado econômico de cinco hectares de uma cultura deve ser exatamente cinco vezes maior do que o de um hectare dessa cultura. Isto pode parecer óbvio, mas, de maneira geral, quando um resultado econômico inclui despesas fixas (não proporcionais à escala) em seu cálculo, esta linearidade não é observada. Assim, medidas de resultado econômico como a renda agrícola e o valor agregado não podem ser utilizados na PL. No lugar destas medidas, pode-se utilizar a margem bruta e o valor agregado bruto, respectivamente, porém, assumindo-se de que a solução do problema não afetará a composição das despesas fixas;
- c) Aditividade: as atividades de um modelo de PL devem ser totalmente independentes, isto é, não pode haver interações entre elas que afetem a linearidade de suas relações. Sempre que houver interações entre variáveis, pode-se considerá-las como atividades diferentes; por exemplo, se uma cultura em rotação com outra apresenta um rendimento físico maior, deve-se modelar esta cultura em duas atividades: na presença e na ausência da outra cultura (outra forma de modelá-la é impor que esta cultura só seja cultivada em rotação com a outra).

A formulação da função-objetivo em problemas de PL exige a linearidade da expressão. Muitas medidas de resultado econômico comumente utilizadas são não-lineares. Por exemplo, a utilização da renda ou do valor agregado por unidade de superfície de uma dada cultura varia segundo a sua área total, devido as despesas não proporcionais incluídas no seu cálculo. Tais medidas não devem, portanto, figurar na função-objetivo de problemas de PL. Dentre as medidas de resultado econômico cujo valor por unidade de superfície não depende da área total, estão a margem bruta e o valor agregado. No entanto, muitas vezes é importante eleger medidas formuladas “ad hoc” para o problema (“margens de contribuição”). Isto porque o que interessa na solução de um problema de PL não é o resultado econômico obtido em si, mas o quanto ele contribui para o resultado econômico global da unidade de produção (contanto que todas as outras despesas não variem).

1.2 FORMULAÇÃO DAS RESTRIÇÕES

Podemos observar, basicamente, dois tipos de restrições em problemas de Programação Matemática. As restrições externas correspondem às limitações físicas impostas à dimensão do sistema pela disponibilidade de recursos externos. Em uma unidade de produção, tais recursos correspondem, em geral, à superfície de terra, à mão-de-obra, às máquinas, equipamentos e instalações e ao capital circulante. Estes recursos são considerados externos porque sua quantidade é fixa, isto é, ela não pode ser alterada ao longo do ciclo de produção representado pelo modelo. As inequações que representam as restrições externas sempre possuem, no seu lado direito, um número que expressa a quantidade disponível do recurso (ou uma variável cujo valor é fixo). Em geral, todos os coeficientes das variáveis deste tipo de variação são positivos (ou do mesmo sinal). E as restrições internas correspondem a recursos que são gerados no interior da unidade de produção ou podem ser adquiridos no seu exterior (SILVA NETO & OLIVEIRA, 2007).

A seguir, alguns comentários sobre os principais grupos de restrições normalmente utilizadas para a modelagem de UPAs.

1.2.1 Restrições de Superfície

Em um modelo de programação matemática, é importante representar a forma como a terra pode ser usada e quais são os tipos de terra relevantes. Assim, devem-se distinguir as atividades que são concorrentes por uma mesma gleba de terra daquelas que, devido a sua época de crescimento, não concorrem entre si pela mesma superfície. Quanto ao tipo da terra, muitas vezes existem glebas que podem ser específicas para certas atividades, como, por exemplo, terras baixas (várzeas) que são usadas para a cultura do arroz, ou para certas pastagens, entre outros (SILVA NETO & OLIVEIRA, 2007).

É importante salientar que, muitas vezes, duas atividades podem ser concorrentes por área apenas na época de colheita de uma delas ou de plantio da outra. Neste caso,

rigorosamente, não há uma restrição quanto à superfície, mas apenas de algum outro recurso relacionado às operações de plantio e colheita como, por exemplo, equipamentos ou mão-de-obra, se algum for limitante.

1.2.2 Restrições de Mão-de-Obra

Uma dificuldade na modelagem do uso da mão-de-obra em unidades de produção decorre do fato de que, em algumas operações de trabalho executado, não é linearmente proporcional à escala de produção. Por exemplo, o trabalho requerido para a condução de um rebanho bovino até uma pastagem não é linearmente proporcional ao número de animais. Neste caso, esta operação não pode ser formulada em modelos de programação linear, devendo-se reservar “a priori” uma certa quantidade da mão-de-obra disponível para esta operação (SILVA NETO & OLIVEIRA, 2007).

Este tipo de restrição está presente em quase todos os modelos de unidades de produção agropecuária. Na medida em que as atividades agrícolas exigem o emprego de trabalho humano, a disponibilidade de mão-de-obra, muitas vezes, se constitui, ao lado da superfície, em uma das principais restrições de recursos em unidades de produção agropecuárias.

1.2.3 Restrições de Máquinas, Equipamentos e Instalações

São semelhantes às restrições do trabalho. No caso de máquinas e equipamentos, na medida em que as operações agrícolas exigem o seu uso, a disponibilidade pode ser um limitante à escala de produção. Muitas vezes o número de horas exigido para efetuar uma operação com um determinado equipamento corresponde ao número de horas do trabalho exigido pela operação.

No caso das instalações, em geral, apenas a capacidade máxima é utilizada. Por exemplo, pode-se considerar que um rebanho leiteiro não pode possuir mais de 50 vacas em

lactação devido ser este o número máximo de animais que podem ser ordenhados com as instalações disponíveis (SILVA NETO & OLIVEIRA, 2007).

1.2.4 Restrições de Rotação de Culturas

Segundo Silva Neto & Oliveira (2007), a definição de uma atividade depende não apenas da espécie cultivada, seu itinerário técnico, rendimento, etc, mas também da cultura precedente, a qual pode exercer um efeito considerável sobre o rendimento obtido (especialmente quando este for considerado no médio e longo prazo).

Em geral, em uma rotação, apenas uma cultura depende do cultivo precedente de uma outra para manter o seu rendimento, sendo que o inverso não é verdadeiro. Por exemplo, dados experimentais indicam que, na região noroeste do RS, o milho deve ser cultivado pelo menos uma vez a cada dois ou três anos para que o rendimento da soja possa ser mantido. O inverso, porém, parece não ser verdadeiro, podendo-se cultivar o milho continuamente sem que isso provoque grandes problemas no seu rendimento (o que é pouco comum na região, devido a outros motivos)

1.2.5 Restrições de Fertilidade do Ecossistema

Evidencia-se, na medida em que a produção agropecuária significa uma “exportação” de nutrientes retirados do solo, que estes precisam ser repostos para que o nível dos rendimentos não diminua. Em certos casos, pode ser interessante considerar alternativas de reposição dos nutrientes ao solo com diferentes custos (tanto monetário quanto no uso de mão-de-obra e equipamentos), especialmente quando existem, na unidade de produção, atividades de produção animal que disponibilizam dejetos que podem ser utilizados como adubo. Neste caso são formuladas restrições de fertilidade ao solo.

Tais restrições, internas, implicam o cálculo da necessidade da atividade de cada um dos nutrientes considerados relevantes (normalmente NPK) e da disponibilidade efetiva destes

proporcionada por cada uma das alternativas de adubação (tipos de adubos considerados – químicos e orgânicos) após a sua adição ao solo (SILVA NETO & OLIVEIRA, 2007).

1.2.6 Restrição de Capital Circulante

Implica uma simulação, mesmo que simplificada, do “fluxo de caixa” da unidade de produção, o que pode se mostrar bastante difícil em certos casos.

Atividades que exigem maior quantidade de capital para serem praticadas podem se mostrar menos interessantes, ou mesmo, impraticáveis, mesmo quando seu resultado econômico for elevado.

1.2.7. Restrição de Alimentação de Animais

A formulação de restrições relacionadas à alimentação de bovinos, visando à produção de leite, assim como a otimização como um todo deste tipo de produção, apresenta uma série de dificuldades. Em geral, também são incluídas restrições que asseguram que certas proporções entre as quantidades de certos tipos de alimentos devem ser respeitadas (SILVA NETO & OLIVEIRA, 2007).

Um dos tipos de modelagem da alimentação animal, a definição de rações de custo mínimo para animais de corte, constitui-se numa aplicação clássica da programação linear. A minimização da função-objetivo é submetida a restrições, expressando que a disponibilidade de cada nutriente considerado relevante, fornecido pelos diferentes alimentos que podem compor a ração, deve ser superior à necessidade dos animais. Este tipo de problema inclui também restrições, expressando que a satisfação da necessidade de nutrientes pelos animais não deva levá-los a ingerir uma quantidade de alimentos acima de sua capacidade de ingestão.

1.2.7.1 A Otimização da Bovinocultura de Leite na Unidade de Produção Agropecuária

Especificamente, em relação à bovinocultura de leite, Silva Neto & Oliveira (2007) salienta algumas particularidades na aplicação da programação matemática. Assim, a distribuição das áreas de diferentes pastagens, perenes e temporárias, a quantidade de concentrados a ser adquirida fora da unidade de produção, a área destinada à produção de volumosos (silagem e feno) e de concentrados (grãos) de distribuição livre, assim como a sua distribuição ao longo do ano, a dimensão do rebanho, o rendimento de leite por vaca (e, portanto o tipo de animal a ser criado), a produção de leite ao longo do ano, entre outras, são atividades cujo nível ótimo normal pode figurar na solução de problemas de programação matemática envolvendo a produção de leite.

O autor salienta ainda que uma característica importante destes problemas é que eles tratam da estruturação do sistema de produção a médio ou longo prazo. Isto porque vários anos são necessários para que se possa atingir a dimensão previamente definida de um rebanho de leite ou de um sistema forrageiro. Assim, mesmo que o agricultor compre todas as vacas necessárias, ainda ele terá que aguardar algum tempo para que as outras categorias do rebanho (novilhas e vacas secas) atinjam o número planejado. No que diz respeito às forragens, vários anos podem ser necessários para que pastagens perenes possam ser plenamente utilizadas.

Não há sentido em procurar otimizar uma produção de leite com dados que não sejam adequados para o planejamento a médio ou longo prazo. Assim, além de uma criteriosa análise dos preços, procurando definir qual seria o preço normal para o leite e dos insumos, também é necessário que se considere um rebanho em equilíbrio reprodutivo para a formulação do problema de PM.

De acordo com SILVA NETO & OLIVEIRA (2007), um rebanho é dito em equilíbrio reprodutivo quando o número de animais em cada categoria (terneiros, novilhas, vacas em lactação e vacas secas) não varia ao longo dos anos. Isto significa que o número de animais vendidos ou consumidos (principalmente vacas de descartes e terneiros) e o número de animais que morrem a cada ano compensam, de forma exata, número de novilhas que, ao dar cria, se transformem em vacas, e o número de animais que nascem e são retidos no rebanho (terneiras). Nestas condições, a partir de alguns índices zootécnicos característicos do rebanho

(proporção entre vacas em lactação e vacas secas, taxa de mortalidade e idade da primeira cria das vacas), pode-se definir a proporção entre o número de animais de cada categoria em relação às demais.

Ao considerarmos um rebanho em equilíbrio reprodutivo, admitimos implicitamente que o número de vacas em lactação é, em termos médios, a longo prazo, o mesmo em cada mês do ano, exceto se o intervalo entre partos das vacas for exatamente de dois meses e o período de lactação de dez meses, ou seja, se considerarmos que cada vaca tem uma cria por ano, sempre no mesmo mês. Tal intervalo entre os partos corresponde a 100% de natalidade e 83% de vacas em lactação em relação ao total, o qual é um índice muito difícil de ser alcançado. Por isso, em problemas de PM o número de vacas em lactação por mês pode ser considerado constante, o que facilita consideravelmente a formulação.

1.2.7.1.1. Determinação do Rendimento Leiteiro

Por meio da programação matemática, pode-se otimizar a produção de leite e o número de vacas em lactação e, portanto, o rendimento obtido por vaca (SILVA NETO & OLIVEIRA, 2007).

O procedimento utilizado para relacionar a produção e o número de vacas parte do princípio de que estas têm uma capacidade limitada de ingestão de alimentos e, portanto, de produção de leite, o qual estará diretamente relacionada com o teor de energia e nutrientes dos alimentos.

SILVA NETO & OLIVEIRA (2007), considerando 2 vacas: vaca A, pesando 400 kg, com uma capacidade de ingestão de alimentos 2,3 kg de MS/100 e B, pesando 500 kg, com uma capacidade de ingestão de 3 kg de MS/100, a vaca A tem uma capacidade de ingestão de 9,2 kg de matéria seca, enquanto a vaca B, 15 kg de matéria seca. Supondo que essa matéria seca apresenta valor energético, expresso como Nutrientes Digestíveis totais (NDT), de 60 %, temos: a vaca A irá ingerir 5,52 kg de NDT, e a vaca B irá ingerir 9 kg de NDT.

Considerando agora que a capacidade de manutenção das vacas seja igual, de 3,7 kg de NDT, então a vaca A tem sobra para a produção de leite de 1,82 kg de NDT, e a vaca B tem sobra de 5,3 kg de NDT.

A energia necessária para a produção de 1 kg de leite com 4 % de gordura é de 0,33 kg de NDT, assim temos:

Para a vaca A: $(1,82/0,33) = 5,5$ kg de leite

Para a vaca B: $(5,3/0,33) = 16,06$ kg de leite.

1.2.7.1.2. Restrições de Alimentação de Bovinos de Leite

Segundo Silva Neto & Oliveira (2007), para que se possa limitar a produção de leite por vaca, as restrições de alimentação do gado devem ser divididas entre restrições que envolvem as categorias do rebanho que não produzem leite.

Dentre as restrições de alimentação de gado de leite, incluem-se aquelas relacionadas à necessidade e disponibilidade de energia e nutrientes. Muitas vezes, apenas as restrições relacionadas à energia são formuladas, devido a energia ser a principal determinante da dieta dos bovinos. Restrições relativas à necessidade e a disponibilidade de proteínas também são comuns, sendo especialmente importantes, quando alimentos muito pobres neste nutriente estão disponíveis (como a mandioca e a silagem, por exemplo).

Temos também as restrições que limitam a quantidade de matéria seca capaz de ser ingerida. Embora a capacidade de ingestão de matéria seca dos bovinos seja variável, dependendo do tipo, da qualidade e da quantidade de pastagem disponível, assim como da idade do animal e, especialmente, do estágio de lactação que se encontra cada vaca, em geral utiliza-se um índice geral médio (de 3%) relacionado apenas ao peso vivo dos animais. Este procedimento se justifica pelo fato de se considerar que, pela razão do rebanho estar em equilíbrio reprodutivo, há um número constante de vacas em cada estágio de lactação ao longo do ano.

Enfim, como os bovinos são ruminantes, devem também ser incluídas restrições que determinam um mínimo de volumosos a ser ingerido pelos animais. Este mínimo em geral é fixado em 50% da capacidade de ingestão.

1.2.8. Restrições de Ligação

A modelagem da alimentação de bovinos de leite implica a formulação de uma série de restrições de ligação. Assim, a produção de leite de cada mês do ano, que pode variar de acordo com o teor de energia e de nutrientes dos alimentos, deve ser ligada a uma variável que expresse o total de leite produzido no ano, o qual determinará a receita total obtida com o leite (SILVA NETO & OLIVEIRA, 2007). O mesmo deve ser feito em relação à silagem e à ração fornecidas mensalmente aos animais (vacas em lactação e animais não produtivos, separadamente). Além disso, um conjunto de restrições deve ser formulado para assegurar que a área equivalente à quantidade total de cada pastagem apreendida pelos animais não seja superior à área total disponível de cada pastagem, em cada mês do ano (vacas em lactação e animais não produtivos, separadamente).

2. METODOLOGIA

Neste capítulo é realizada uma descrição do software utilizado para a formulação do modelo. São descritos os procedimentos gerais da pesquisa, assim como da unidade de produção modelada para, após, descrever-se a formulação do modelo utilizado.

Para a interpretação da unidade de produção agropecuária e caracterização dos elementos relevantes à obtenção de resultados, foram realizadas entrevistas junto ao agricultor. A partir do modelo básico elaborado foram sendo inseridos os dados referentes a UPA em questão, assim foi possível criar-se um modelo que melhor representasse esta propriedade.

2.1 LINGO 4.0

O “software” LINGO, depois de compilar o modelo, mostra um relatório de solução, na qual se encontra o resultado ótimo da função-objetivo e o número de variáveis, junto a respostas apresentadas em três colunas. Na primeira consta os nomes das variáveis (“Variable”) e cujos valores se encontram na coluna central (“Value”). A última coluna é denominada “Reducet Cost” para cada variável do problema. A redução de custo de uma variável pode ser interpretada como a penalidade (positiva ou negativa), ou seja, é necessário pagar para introduzir uma unidade daquela variável na solução.

Na segunda parte do relatório, coluna à esquerda (“Row”), são apresentados nomes, desde que tenham sido atribuídos, ou seja, destacados entre colchetes ou número de linhas do programa. O “Slack” ou “Surplus”, na coluna central, indica o excesso ou folga em restrições. A coluna à direita, designada “Dual Price”, pode ser compreendida como a quantia pela qual a função objetivo melhoraria/pioraria, quando o lado direito das restrições é aumentado ou diminuído em uma unidade.

Observação: salienta-se que o ponto final (.) corresponde à vírgula (número não inteiro) e o asterisco (*) corresponde à operação de multiplicação.

2.2 PROCEDIMENTO GERAL DA PESQUISA

Inicialmente elaborou-se o modelo básico cuja descrição formal está no item 2.3. Elaborado o modelo básico, realizaram-se entrevistas com o agricultor que possui, em sua propriedade, a bovinocultura de leite. Para tanto, buscou-se orientação junto à COPEQ - Cooperativa de pequenos agricultores de leite da Linha Gramado, Panambi – RS. A COPEQ intermediou a indicação sobre propriedades cujos agricultores estariam dispostos a cooperar para o desenvolvimento deste trabalho. Na ocasião, dialogou-se sobre a expansão do mercado de leite na região. Realizaram-se visitas a uma unidade de produção, a fim de se coletarem dados a serem incluídos no modelo. Posteriormente, procederam-se a alguns ajustes no modelo e realizou-se a parametrização do mesmo.

A seguir, faz-se a abordagem da caracterização da unidade de produção, por meio de entrevista e descrição formal do modelo, descrevendo-se as etapas de construção e validação do mesmo.

2.2.1 Caracterização da Unidade de Produção

Para a realização deste trabalho, ancorado em pesquisas bibliográficas, fez-se um contato junto a COPEQ – Cooperativa de pequenos agricultores de Linha Gramado Panambi – RS, realizando visitas e entrevistas junto à cooperativa e ao agricultor.

A indicação da propriedade em estudo foi feita pela Cooperativa, sendo levado em consideração, para a escolha da unidade de produção, um produtor associado à mesma e que deposita nela a sua produção de leite. O agricultor foi entrevistado duas vezes em sua UPA. Este possui suas atividades agrícolas mais voltadas para a produção leiteira, destinando apenas uma pequena área da sua propriedade para a produção de grãos no verão.

Para a elaboração do modelo, extraíram-se os dados a partir de entrevistas com o produtor que, a priori, reside há 20 anos nesta propriedade localizada no interior de Linha Gramado – Panambi RS.

A unidade de produção em estudo possui 11 hectares no total, assim distribuídos: 0,5 hectare para reserva florestal, 0,25 hectare para moradia; o restante é destinado ao plantio de milho e pastagens. Destes, no verão, 1 hectare é destinado a subsistência, sendo que, no inverno, não há área destinada à subsistência. O trabalho é familiar e composto de três pessoas (pai, mãe e filha) totalizando, aproximadamente, 450 horas de trabalho mensal.

Características desta unidade de produção:

➤ Capital de exploração:

A unidade de produção considerada dispõe das seguintes instalações, maquinarias e equipamentos:

- Casa de moradia;
- Galpão para maquinário e semente medindo 100m² de madeira;
- Pocilga mista medindo 50 m²;
- Sala de leite, ordenha coletiva, com 84m², mista;
- Um Trator 72 CTB 1000;
- Pé-de-pato;
- Uma carreta agrícola de 1 ton;
- Uma grade;
- Um triturador;
- Um resfriador a granel com capacidade para 300 litros;
- Uma ordenhadeira de leite SUL INOX;

➤ Superfície Agrícola útil (SAU):

A SAU é formada por 9,25 hectares no verão e 10,25 no inverno.

➤ Atividades:

Atividades de Verão:

- Milheto;
- Milho Forragem;
- Milho Grão (rebanho);
- Milho Grão (venda);
- Aveia de Verão;

Atividades de Inverno:

- Pastagem de Aveia + Azevém (consorciado)

Atividades Permanentes:

- Potreiro
- Capim Elefante;
- Cana-de-açúcar;
- Bovinocultura de leite

➤ *Composição do rebanho:*

- 7 vacas em lactação
- 5 vacas secas
- 2 novilhas (1 a 2 anos)
- 5 novilhas (0 a 1 ano)
- 1 bezerro (consumo)

2.3 DESCRIÇÃO DO MODELO ELABORADO PARA ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE LEITE EM UMA UPA.

O modelo permite a simulação e otimização de sistemas de produção baseados nas características de UPAs, típicas do noroeste do RS, com bovinocultura de leite e produção de grãos. O modelo prevê um sistema de criação de bovinos de leite no qual consta a dimensão do rebanho e as categorias animais, o sistema forrageiro, a oferta de silagem e de ração; também considera sistemas de cultura a partir das atividades como: soja, milho, trigo e colza, bem como as rotações dessas e de outras culturas. A otimização da produção de leite é baseada no balanço de energia. O modelo permite a atribuição de quantidades fixas de proteína, por cabeça, por categoria animal e também por litro de leite. Permite a otimização da utilização da terra e do trabalho, selecionando as atividades de acordo com os equipamentos e instalações existentes.

O modelo possui dados de entrada dos dados referentes aos coeficientes da função-objetivo; coeficientes das restrições de área, trabalho, energia, capacidade de ingestão dos animais, ingestão de volumosos; proporção entre as culturas nas rotações e potencial genético das vacas. Foram introduzidas algumas restrições para fixar a quantidade de ração por animal e ração por litro de leite, segundo a sua categoria, em função de que não foi possível formular todas as restrições de proteína, porque isso excederia o limite permitido pela versão do aplicativo utilizada. Outros dados de entrada que o modelo possui são de resultados, os quais fornecem os resultados numéricos como margem bruta total, obtida na solução ótima, unidade animal por categoria do rebanho, áreas das pastagens e de grãos, rendimento leiteiro e produção anual, produtividade marginal, custo marginal de substituição e análise de sensibilidade. Também possui dados de entrada que descrevem alguns resultados graficamente, como a composição do resultado econômico fornecido pelas atividades, a distribuição da área utilizada, a produção leiteira ao longo do ano e o sistema de alimentação.

O modelo desenvolvido pode ser descrito como:

Maximizar R_M

Sujeito a

$$Cx \geq R_M$$

$$Kx = g$$

$$Ax \leq 0$$

$$Bx \leq b$$

Onde:

C = matriz envolvendo os resultados econômicos mensais menos o custo de oportunidade sobre o capital circulante;

K = matriz das restrições do capital circulante;

g = vetor coluna relativo ao capital circulante;

x = vetor coluna das atividades do sistema de produção (animais, pastagens, culturas, concentrados, etc.);

A : matriz envolvendo as restrições de alimentação dos bovinos;

B : matriz das restrições de superfície e mão-de-obra; Assim, esta matriz comporta restrições com formulações muito diferentes. Por isso sua descrição será feita no detalhamento da formulação do modelo, objeto da próxima seção.

b : as variáveis do vetor coluna b referem-se às restrições técnicas de mão-de-obra e superfície, as quais pôde-se definir como variáveis independentes, pois entra-se com estes dados no modelo. Enquanto que, para as demais restrições, a otimização das variáveis envolvidas dos coeficientes técnicos são encontradas após a otimização. Isto faz com que o modelo apresente um alto grau de liberdade, já que as únicas variáveis independentes são o trabalho e a superfície disponíveis.

A partir das matrizes C , A , B e K , temos os seguintes conjuntos de restrições:

Matriz C:

$$Cx \geq R_M$$

$$cx_t - Jg_t \geq R_M \quad (t= 1, 2, \dots, 12)$$

onde:

Cx = matriz envolvendo os resultados econômicos mensal menos o custo de oportunidade sobre o capital circulante;

J = custo de oportunidade.

cx_t = vetor da margem bruta relativo ao sistema de produção no mês t ;

g_t = montante do capital circulante no mês t indicado pela solução, cujo custo de oportunidade (3% ao ano) é debitado da função objetivo no processo de otimização.

Matriz K:

$Kx = g$, restrições de capital circulante.

Assim,

$$Kx_t = g_t;$$

Onde

Kx_t = capital circulante necessário para o desenvolvimento das atividades x no mês t ;

g_t = montante de capital circulante no mês t indicado pela solução, cujo custo de oportunidade (3% ao ano) é debitado na função objetivo (cenários) no processo de otimização.

Pressupõe-se aqui que o agricultor só aplica o capital circulante se este lhe der certo retorno. Este grupo de restrições foi incluído devido ao custo de oportunidade dos recursos financeiros, os quais o agricultor tem a opção de utilizar para adquirir bens de consumo. A negligência desse custo de oportunidade leva muitas vezes os modelos de programação

matemática a indicar a aplicação de doses muito elevadas de certos insumos, como ração, sem que isso proporcione efeitos significativos no resultado econômico, o que torna tais doses inaceitáveis pelos agricultores. Como, nesse trabalho, a alternativa de uso do montante disponível para o capital circulante é o gasto em consumo, foi fixado um valor para o custo de oportunidade bastante baixo, de 3% ao ano.

Matriz A:

$Ax \leq 0$ (restrições para alimentação dos bovinos):

As restrições que seguem referem-se as quantidades alimentos necessários ao bom desempenho do rebanho subtraindo-se as quantidades produzidas no sistema de produção em questão, distribuídas durante os doze meses do ano. Ressalta-se aqui que o montante relativo a alimentação do rebanho e dos animais leiteiros produzidas na UPA precisam ser superiores ou iguais as necessidades destes.

$$le_t + ve_t - ave_t \leq 0 \quad (t = 1, 2, \dots, 12)$$

$$re_t - are_t \leq 0$$

$$lp_t + vp_t - avp_t \leq 0$$

$$rp_t - arp_t \leq 0$$

$$imv_t - avm_t \geq 0$$

$$im_t - arm_t \geq 0$$

$$\rho imv_t - avm_t \leq 0$$

$$\rho imr_t - arm_t \leq 0$$

onde:

le_t = energia necessária para a produção do leite no mês t ;

ve_t = energia necessária para manutenção das vacas sem lactação no mês t ;

ave_t = energia disponível nos alimentos para as vacas sem lactação no mês t ;

re_t = energia necessária para manutenção dos animais não produtivos no mês t ;

are_t = energia disponível nos alimentos para os animais não produtivos no mês t ;

lp_t = proteína necessária para produção do leite no mês t ;cc

vp_t = proteína necessária para manutenção das vacas em lactação no mês t ;

avp_t = proteína disponível nos alimentos para as vacas em lactação no mês t ;

rp_t = proteína necessária para manutenção dos animais não produtivos no mês t ;

arp_t = proteína disponível nos alimentos para os animais não produtivos no mês t ;

imv_t = capacidade de ingestão de matéria seca pelas vacas em lactação no mês t ;

avm_t = matéria seca contida nos alimentos para as vacas em lactação no mês t ;

im_t = capacidade de ingestão de matéria seca dos animais não produtivos no mês t ;
 arm_t = matéria seca contida nos alimentos para os animais não produtivos no mês t ;
 imv_t = ingestão de volumosos pelas vacas em lactação no mês t ;
 avm_t = matéria seca contida nos alimentos volumosos para as vacas em lactação no mês t ;
 imr_t = ingestão de volumosos dos animais não produtivos no mês t ;
 arm_t = matéria seca contida nos alimentos volumosos dos animais não produtivos no mês t ;
 ρ = proporção mínima de volumosos na dieta (que é igual a 50% da capacidade de ingestão).

As restrições de mão- de- obra e superfície:

Matriz B :

$Bx \leq b$, restrições de superfície e de mão-de-obra, as únicas limitadas por um $b > 0$.

$\sum h x w_t < x w_t$; a quantidade de horas necessárias para a manutenção da produção da UPA em cada mês do ano deve ser menor ou igual as horas de trabalho disponíveis pelo agricultor;

$$\sum x_t < SAU$$

Onde:

$\sum h x w_t$ = soma de horas de mão-de-obra;

SAU = Superfície Agrícola Útil;

O modelo prevê ainda restrições relativas a rotações de culturas e ligação entre restrições, as quais devem ser formuladas de acordo com as especificidades da unidade de produção e, no caso do sistema de quotas, da agroindústria compradora do leite (SILVA NETO & OLIVEIRA, 2007).

2.4 DESCRIÇÃO DO MODELO

O modelo matemático é formado por um conjunto de equações cuja finalidade é descrever o sistema produtivo de uma unidade de produção de grãos e bovinocultura de leite.

Estas equações, matematicamente, estruturam-se na forma de um modelo de programação matemática, a qual abrange a programação linear e se divide em três partes: função objetivo, conjunto de restrições e um conjunto de condições de não-negatividade para as n variáveis de escolha.

De outro modo, pode-se dizer que a otimização sujeita-se a restrições, isto é, os valores das variáveis de decisão, maximizadores da função objetivo estabelecida, são induzidos a satisfazer certas restrições técnicas e comportamentais; e as restrições de não-negatividade são impostas pelo fato de que valores negativos não teriam significado físico algum.

A partir da realidade constatada na unidade de produção, tornou-se possível formular o problema, por meio da abstração. Assim, relacionou-se esta realidade com a matemática, criando o modelo e encontrando a solução do mesmo. Dessa forma, o modelo foi validado com os dados coletados da realidade.

A obtenção dos dados para serem trabalhados de forma a construir o modelo matemático deu-se através do cálculo econômico feito para a propriedade, utilizando o “software EXCEL”. O modelo segue o seguinte: parte-se da programação, na qual formula-se o modelo básico, o qual apresenta a situação de escolha de alternativas de produção.

A descrição do modelo, como formulado no programa LINGO 4.0, está exposta sucintamente como segue no sub item a seguir.

2.4.1. FUNÇÃO OBJETIVO

Considerou-se, para a elaboração da função objetivo,

- Preço para o leite;

- Custo por animal por categoria (vaca leiteira, vaca seca, novilhas e terneira) incluindo medicamento, sal comum, sal mineral e inseminação artificial;
- Consumo intermediário por hectare para as pastagens (silagem, aveia + azevém, cana-de-açúcar, aveia de verão, capim elefante, sorgo forrageiro, milho e milho forragem);
- Valor agregado bruto por hectare para o plantio da cultura do milho grão.

Tem-se então: a produção de leite, vacas de descarte, cultura do milho, exceto os gastos de todas as categorias de animais, o que deve gerar o resultado econômico sem perda.

Ressalta-se que todos estes elementos têm valores de 2008, considerados pelo próprio agricultor.

Nesta assume-se que o agricultor procura maximizar a renda mensal mínima, ou seja,

$$\text{Função Objetivo} \longrightarrow \text{MAX} = \text{REM};$$

REM relaciona a matriz do resultado econômico mensal mínimo com o custo de oportunidade de capital circulante mínimo. A função objetivo é multicritério, o que nos dá o resultado econômico mensal menos o custo de oportunidade, buscando fazer o melhor possível considerando doze variáveis, como segue:

$$[\text{RREANUAL}] \quad 574 * \text{MILHO} + \text{PL} * \text{L} + 4 * \text{PV} * \text{VD} - (35) * \text{VL} - 14 * \text{VS} - 6 * \text{N} - 8 * \text{TF} - 10 * \text{POT} - 640 * \text{MI} - 120 * \text{AV} - 120 * \text{AZ} - 0.5 * \text{R} - 686 * \text{MIL} - 100 * \text{CANA} - 547 * \text{AVER} - 890 * \text{MIF} - 100 * \text{CE} - 200 * \text{SOR} - 900 * \text{SIL} = \text{REA};$$

Observação: os coeficientes numéricos que aparecem tanto nas equações acima quanto nas que seguem foram obtidas com as entrevistas junto ao agricultor. Assim temos, 574 e o resultado econômico obtido pelo agricultor por hectare de destinado a venda; 4 é o preço do kg de animais destinados ao descarte (venda); 35, 14, 6, 8 são os custos referentes a sal mineral e medicamentos necessários ao bem desempenho do rebanho no decorrer do ano; assim como os demais coeficientes são relativos aos custo de produção das pastagem destinadas ao rebanho e animais leiteiro e também aos custos do kg de ração.

!Resultado Econômico Mensal;

$$[\text{REJAN}] \quad \text{PL} * \text{LJAN} + (4 * \text{PV} * \text{VD}) / 12 - (35 * \text{VL} + 14 * \text{VS} + 6 * \text{N} + 8 * \text{TF}) / 12 - 0.5 * \text{RJAN} - 455 * \text{SIL} - \text{J} * \text{KC1} \geq \text{REM};$$

[REFEV] $PL * LF_{EV} + (4 * PV * VD) / 12 - (35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 - 0.5 * R_{FEV} - J * KC2 \geq$
 REM;
 [REMAR] $PL * LMAR + (4 * PV * VD) / 12 - (35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 - 0.5 * R_{MAR} - J * KC3 \geq$
 REM;
 [REABR] $PL * LABR + (4 * PV * VD) / 12 - (35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 - 0.5 * R_{ABR} - J * KC4 \geq$
 REM;
 [REMAI] $PL * LMAI + (4 * PV * VD) / 12 - (35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 - 0.5 * R_{MAI} -$
 $241 * MILHO + 1260 * MILHO - 241 * MIL - 120 * AV - 120 * AZ - J * KC5 \geq$ REM;
 [REJUN] $PL * LJUN + (4 * PV * VD) / 12 - (35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 - 0.5 * R_{JUN} - J * KC6 \geq$
 REM;
 [REJUL] $PL * LJUL + (4 * PV * VD) / 12 - (35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 - 0.5 * R_{JUL} - J * KC7 \geq$
 REM;
 [REAGO] $PL * LAGO + (4 * PV * VD) / 12 - (35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 - 0.5 * R_{AGO} - J * KC8 \geq$
 REM;
 [RESET] $PL * LSET + (4 * PV * VD) / 12 - (35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 - 0.5 * R_{SET} - 445 * MIF -$
 $J * KC9 \geq$ REM;
 [REOUT] $PL * LOUT + (4 * PV * VD) / 12 - (35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 - 0.5 * R_{OUT} - 10 * POT -$
 $305.5 * AVER - 400.5 * MI - 445 * SIL - J * KC10 \geq$ REM;
 [RENOV] $PL * LNOV + (4 * PV * VD) / 12 - (35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 - 0.5 * R_{NOV} - 100 * CANA -$
 $100 * CE - 200 * SOR - J * KC11 \geq$ REM;
 [REDEZ] $PL * LDEZ + (4 * PV * VD) / 12 - (35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 - 0.5 * R_{DEZ} - 242.5 * MI -$
 $445 * MILHO - 445 * MIF - 445 * MIL - 241.5 * AVER - J * KC12 \geq$ REM;

! RESULTADO ECONOMICO EM CADA MES;

[RREJAN] $PL * LJAN + (4 * PV * VD) / 12 - (35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 - 0.5 * R_{JAN} - 455 * SIL$
 = REM1;
 [RREFEV] $PL * LF_{EV} + (4 * PV * VD) / 12 - (35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 - 0.5 * R_{FEV} =$ REM2;
 [RREMAR] $PL * LMAR + (4 * PV * VD) / 12 - (35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 - 0.5 * R_{MAR} =$ REM3;
 [RREABR] $PL * LABR + (4 * PV * VD) / 12 - (35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 - 0.5 * R_{ABR} =$ REM4;
 [RREMAI] $PL * LMAI + (4 * PV * VD) / 12 - (35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 - 0.5 * R_{MAI} -$
 $241 * MILHO + 1260 * MILHO - 241 * MIL - 120 * AV - 120 * AZ =$ REM5;
 [RREJUN] $PL * LJUN + (4 * PV * VD) / 12 - (35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 - 0.5 * R_{JUN} =$ REM6;
 [RREJUL] $PL * LJUL + (4 * PV * VD) / 12 - (35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 - 0.5 * R_{JUL} =$ REM7;
 [RREAGO] $PL * LAGO + (4 * PV * VD) / 12 - (35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 - 0.5 * R_{AGO} =$ REM8;
 [RRESET] $PL * LSET + (4 * PV * VD) / 12 - (35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 - 0.5 * R_{SET} - 445 * MIF$
 = REM9;
 [RREOUT] $PL * LOUT + (4 * PV * VD) / 12 - (35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 - 0.5 * R_{OUT} - 10 * POT -$
 $305.5 * AVER - 400.5 * MI - 445 * SIL =$ REM10;
 [RRENOV] $PL * LNOV + (4 * PV * VD) / 12 - (35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 - 0.5 * R_{NOV} - 100 * CANA -$
 $100 * CE - 200 * SOR =$ REM11;
 [RREDEZ] $PL * LDEZ + (4 * PV * VD) / 12 - (35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 - 0.5 * R_{DEZ} -$
 $242.5 * MI - 445 * MILHO - 445 * MIF - 445 * MIL - 241.5 * AVER =$ REM12;

@FREE (REM1) ; @FREE (REM2) ; @FREE (REM3) ; @FREE (REM4) ; @FREE (REM5) ; @FREE (REM6) ; @FR
 EE (REM7) ; @FREE (REM8) ; @FREE (REM9) ; @FREE (REM10) ; @FREE (REM11) ; @FREE (REM12) ;

[RENDAN] REM1 + REM2 + REM3 + REM4 + REM5 + REM6 + REM7 + REM8 + REM9 +
 REM10 + REM11 + REM12 = REANUAL;

!Capital Circulante;

[KCJAN] $(35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 + 0.5 * R_{JAN} + 455 * SIL =$ KC1;
 [KCFEV] $(35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 + 0.5 * R_{FEV} =$ KC2;
 [KCMAR] $(35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 + 0.5 * R_{MAR} =$ KC3;
 [KCABR] $(35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 + 0.5 * R_{ABR} =$ KC4;
 [KCAI] $(35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 + 0.5 * R_{MAI}$
 $+ 241 * MILHO + 241 * MIL + 120 * AV + 120 * AZ =$ KC5;
 [KCJUN] $(35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 + 0.5 * R_{JUN} =$ KC6;
 [KCJUL] $(35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 + 0.5 * R_{JUL} =$ KC7;
 [KCAGO] $(35 * VL + 14 * VS + 6 * N + 8 * TF) / 12 + 0.5 * R_{AGO} =$ KC8;

$[KCSET] (35*VL+14*VS+6*N+8*TF)/12 + 0.5*RSET + 445*MIF = KC9;$
 $[KCOUT] (35*VL+14*VS+6*N+8*TF)/12 + 0.5*ROUT + 10*POT + 305.5*AVER+400.5*MI + 445*SIL = KC10;$
 $[KCNOV] (35*VL+14*VS+6*N+8*TF)/12 + 0.5*RNOV+100*CANA+100*CE+200*SOR = KC11;$
 $[KCDEZ] (35*VL+14*VS+6*N+8*TF)/12 + 0.5*RDEZ + 242.5*MI+445*MILHO+445*MIF+445*MIL+241.5*AVER = KC12;$
 $[KCATOT] KC1+KC2+KC3+KC4+KC5+KC6+KC7+KC8+KC9+KC10+KC11+KC12 = KCA;$
 $[KCANUAL] 35*VL+14*VS+6*N+8*TF+0.5*R+10*POT+643*MI+120*AV+120*AZ+686*MILHO+686*MIL+100*CANA+547*AVER+2*445*MIF+100*CE+200*SOR+900*SIL = KC;$

Logo, para a obtenção do maior resultado econômico possível, levando-se em conta o resultado econômico mínimo (do pior mês) que o agricultor possa suportar, considera-se o sistema produtivo envolvendo fatores tecnológicos, econômicos e financeiros.

Os custos inserem-se na função objetivo do modelo como: preços para o leite e insumos, consumo intermediário para pastagens e concentrados e valor agregado bruto para as culturas.

2.4.2. PARÂMETROS DE ENTRADA

No modelo, consideram-se os seguintes parâmetros de entrada, cujos dados foram obtidos a partir de entrevistas e revisão bibliográfica:

a) Relação vaca em lactação e total de vacas:

Segundo SILVA NETO & OLOVEIRA (2007),

$RVLVT = 0.7;$

b) Taxa de mortalidade

$MORT = 0.02;$

c) Superfície e mão-de-obra disponíveis

$[SAUTOTALV] SAUV = 9.25;$ (superfície total de área útil no verão)

$[SAUTOTALI] SAUI = 10.25;$ (superfície total de área útil no inverno).

$[WFAM] WF = 450;$ (horas de trabalho familiar)

Observação: A diferença entre a SAUV e a SAUI é que, no verão, um hectare de terra é destinado à subsistência familiar.

d) Potencial de rendimento das vacas:

Esta restrição faz com que o modelo busque uma solução onde a produção de leite não ultrapasse 12 litros de leite por vaca por dia (não foi necessária usar essa restrição nas simulações, ou seja, a variável leite manteve-se livre).

![POTVL] L - 12*360*VL <= 0;!potencial de rendimento por vaca/dia,

e) Preço pago pelo litro de leite, valor do quilograma de gado vivo na venda das vacas de descarte e custo de cada categoria de animal na propriedade.

Os dados que seguem foram obtidos através das entrevistas realizadas junto ao agricultor em questão.

```
!LEITE;
[PRECO_LEITE] PRELEITE = 0.51; !R$/L;
[PRECOVD]     PREVD     = 4; !R$/KG DE PESO VIVO;
[CUSTOANOVL] CVL = 35 ;!R$/CABECA;
[CUSTOANOV]  CVS = 14; !R$/CABECA;
[CUSTOANON]  CN  = 6; !R$/CABECA;
[CUSTOANOTF] CTF = 8; !R$/CABECA;
```

f) Rendimento e qualidade das forragens (teores médios):

Rendimento em kg/ha e custo/há em reais, de cada forrageira e o milho grão da propriedade em estudo; bem como o valor pago pelo agricultor ao quilograma de ração consumida pelos animais.

```
!RENDIMENTO E CUSTO ANUAL POR HECTAR;
RENDPOT = 100;
CUSTOPOT = 10; !R$/HECTARE;
RENDCE = 5000;
CUSTOCE = 100; ! R$/HECTARE;
RENDMI = 4000;
CUSTOMI = 640; ! R$/HECTARE;
RENDSOR = 4000;
CUSTOSOR = 200; ! R$/HECTARE;
RENDAV = 4000;
CUSTOAV = 120; ! R$/HECTARE;
RENDAZ = 4500;
CUSTOAZ = 120; ! R$/HECTARE;
SILAG = 8200;
CUSTOSIL = 900; ! R$/HECTARE;
RENDMIL = 3000;
CUSTOMIL = 686; ! R$/HECTARE;
RENDCANA = 5000;
CUSTOCANA = 100; ! R$/HECTARE;
RENDMIF = 4000;
CUSTOMIF = 890; ! R$/HECTARE;
RENDAVER = 4500;
CUSTOAVER = 547; ! R$/HECTARE;
```

g) Teores de energia de cada forrageira conforme dados obtidos a partir da bibliografia consultada:

! TEORES DE ENERGIA;

ENPOT = 1.6;
 ENCE = 2;
 ENMI = 1.8;
 ENSOR = 2;
 ENAV = 2;
 ENAZ = 1.8;
 ENSIL = 2.3;
 ENR = 3;
 ENMIL = 3;
 ENCANA = 2;
 ENMIF = 1.8;
 ENAVER = 1.8;

h) Teores de proteína de cada forrageira conforme dados obtidos a partir da bibliografia consultada:

! PROTEINA;

PROTPOT = 0.07;
 PROTCE = 0.15;
 PROTMI = 0.12;
 PROTSOR = 0.16;
 PROTAV = 0.16;
 PROTAZ = 0.14;
 PROTSIL = 0.08;
 PROTR = 0.16;
 PROTMIL = 0.08;
 PROTCANA = 0.03;
 PROTMIF = 0.09;
 PROTAVER = 0.08;

i) Peso médio de cada animal ao nascer, em kg

[PESONASC] PNASC = 50;

j) Peso médio de cada vaca existente na propriedade, em kg

[PVACA] PV = 350;

k) Coeficiente de ingestão de matéria seca, correspondente a 3% do peso do animal.

[COEFINGMS] CIMS = 0.03;

2.4.3. Restrições

Todo sistema de produção tem - em um dado momento no tempo - pelo menos uma restrição que limita a performance do sistema (a organização em questão) em relação a seus objetivos. Essas restrições podem ser classificadas como restrições internas e restrições externas, ou de mercado. Para gerir a performance do sistema, a restrição deve ser identificada e administrada corretamente. A seguir, constam as restrições relacionadas ao modelo elaborado.

2.4.3.1. Superfície

A superfície agrícola considerada útil é de 9,25 para o verão e 10,25 para o inverno. No Rio Grande do Sul, região noroeste do Estado, os cultivos de verão podem ser iniciados a partir de setembro, e os cultivos de inverno, em março. Essas culturas possibilitam a sobreposição na oferta de pastagens entre estas estações. No modelo, esta sobreposição não acontece. Dessa forma, quando a pastagem que se inicia atinge níveis de rendimento elevado esta passa a ser usada. Então, com o término da estação fria e o início da estação quente, haverá azevém em condições de uso para pastejo, mas não é usado e fica como matéria seca para o plantio do milho. Assim distribuídos, não há vazios forrageiros, pois ocorrem períodos de safra e entressafras, quer dizer, períodos em que as forragens apresentam maiores taxas de crescimento e, conseqüentemente, maior rendimento de pasto.

O somatório das superfícies agrícolas utilizadas pelo agricultor deve ser menor ou igual à área disponível total, a qual dispõe de cerca de 9,25 hectares de superfície agrícola útil no verão e 10,25 hectares no inverno, divididas em superfície agrícola útil no verão com as atividades: milho, milheto, milho forragem e aveia de verão. No inverno, atividade como: aveia + azevém consorciados. Salienta-se ainda que o agricultor desenvolve algumas atividades permanentes em sua propriedade tais como: capim elefante, sorgo forrageiro, cana-de-açúcar, potreiro e subsistência.

[SAUTOTALV] SAUV = 9.25;

[SAUTOTALI] SAUI = 10.25;

[SAUQ] MILHO+POT+CE+MI+SOR+SIL+MIL+CANA+AVER+MIF<=SAUV;

[SAUF] POT+CE+AV+AZ+CANA<=SAUI ;
 [SAUT] SAUV+SAUI = SAUT ;

2.4.3.2. Alimentação dos Bovinos de Leite

Tal restrição permite o balanço energético, proporção de concentrado e outros, compreendendo a quantidade e a qualidade do alimento. Tem-se um conjunto que assegura a quantidade de elementos indispensáveis na alimentação dos animais. Isto é feito mensalmente para as Vacas em Lactação (VL) e rebanho não produtivo (REB), respeitando a capacidade de ingestão dos animais.

As restrições de alimentação se dividem em:

(a) Necessidade de energia:

I. Vacas em Lactação (VL):

A soma da necessidade de energia para a produção do leite com a necessidade de manutenção das vacas em lactação, deve ser menor ou igual ao rendimento de energia disponível nas pastagens mais a energia disponível na ração e no milho grão.

Exemplo:

[ENERGI AVLJAN] 1.15 * LJAN + ENVL * VL - ENPOT * POTJANVL * RENDPOTJAN -
 ENSIL * SILJANVL * SILAG - ENCE * CEJANVL * RENDCEJAN - ENMI * MIJANVL * RENDMIJAN -
 ENSOR * SORJANVL * RENDSORJAN - ENMIL * MILJANVL * RENDMIL - ENR * RJANVL -
 ENMIF * MIFJANVL * RENDMIFJAN - ENCANA * CANAJANVL * RENDCANA -
 ENAVER * AVERJANVL * RENDAVERJAN <= 0 ;

II. Animais não produtivos (REB):

A soma da necessidade de energia para a manutenção das Vacas Secas, Novilhas e Terneiras deve ser menor ou igual ao rendimento de energia disponível nas pastagens mais a energia disponível na ração e no milho grão.

Exemplo:

!ENERGIA VS ;
 [ENERGI AVS JAN] ENVL * VS - ENPOT * POTJANVS * RENDPOTJAN - ENSIL * SILJANVS * SILAG -
 ENCE * CEJANVS * RENDCEJAN - ENMI * MIJANVS * RENDMIJAN - ENSOR * SORJANVS * RENDSORJAN -

ENMIL*MILJANVS*RENDMIL-ENR*RJANVS-ENMIF*MIFJANVS*RENDMIFJAN-
ENCANA*CANAJANVS*RENDCANA-ENAVR*AVERJANVS*RENDAVERJAN<=0;

!ENERGIA N;

[ENERGIANJAN] ENN*N-ENPOT*POTJANN*RENDPOTJAN-ENSIL*SILJANN*SILAG-
ENCE*CEJANN*RENDCEJAN-ENMI*MIJANN*RENDMIJAN-ENSOR*SORJANN*RENDSORJAN-
ENMIL*MILJANN*RENDMIL-ENR*RJANN-ENMIF*MIFJANN*RENDMIFJAN-
ENCANA*CANAJANN*RENDCANA-ENAVR*AVERJANN*RENDAVERJAN<=0;

!ENERGIA TERNEIRA;

[ENERGIATFJAN] ENT*TF-ENPOT*POTJANTF*RENDPOTJAN-ENSIL*SILJANTF*SILAG-
ENCE*CEJANTF*RENDCEJAN-ENMI*MIJANTF*RENDMIJAN-ENSOR*SORJANTF*RENDSORJAN-
ENMIL*MILJANTF*RENDMIL-ENR*RJANTF-ENMIF*MIFJANTF*RENDMIFJAN-
ENCANA*CANAJANTF*RENDCANA-ENAVR*AVERJANTF*RENDAVERJAN<=0;

(b) Proteína bruta:

I) Vacas em lactação:

A soma da necessidade de proteína bruta para a produção do leite (necessidade de proteína bruta para a manutenção das vacas em lactação) devem ser menores ou iguais ao rendimento da proteína bruta disponível nas pastagens mais a proteína bruta disponível na ração e no milho grão.

!PROTEINA VL;

[PROTEINAVLJAN] 0.084*LJAN+PROTVL*VL-PROTPOT*POTJANVL*RENDPOTJAN-
PROTSIL*SILJANVL*SILAG-PROTCE*CEJANVL*RENDCEJAN-PROTMI*MIJANVL*RENDMIJAN-
PROTSOR*SORJANVL*RENDSORJAN-PROTMIL*MILJANVL*RENDMIL-PROTR*RJANVL-
PROTMIF*MIFJANVL*RENDMIFJAN-PROTCANA*CANAJANVL*RENDCANA-
PROTAVER*AVERJANVL*RENDAVERJAN
<=0;

II) Animais não produtivos:

A soma da necessidade de proteína bruta para a manutenção das vacas secas, novilhas e terneiras deve ser menor ou igual ao rendimento da proteína bruta disponível nas pastagens; mais a proteína bruta disponível na ração e no milho grão.

!PROTEINA VS;

[PROTEINAVSJAN] PROTVS*VS-PROTPOT*POTJANVS*RENDPOTJAN-
PROTSIL*SILJANVS*SILAG-PROTCE*CEJANVS*RENDCEJAN-PROTMI*MIJANVS*RENDMIJAN-
PROTSOR*SORJANVS*RENDSORJAN-PROTMIL*MILJANVS*RENDMIL-PROTR*RJANVS-
PROTMIF*MIFJANVS*RENDMIFJAN-PROTCANA*CANAJANVS*RENDCANA-
PROTAVER*AVERJANVS*RENDAVERJAN
<=0;

!PROTEINA N;

```
[ PROTEINANJAN ]  PROT*N-PROTPOT*POTJANN*RENDPOTJAN-PROTSIL*SILJANN*SILAG-
PROTCE*CEJANN*RENDCEJAN-PROTMI*MIJANN*RENDMIJAN-PROTSOR*SORJANN*RENDSORJAN-
PROTMIL*MILJANN*RENDMIL-PROTR*RJANN-PROTMIF*MIFJANN*RENDMIFJAN-
PROTCANA*CANAJANN*RENDCANA-PROTAVER*AVERJANN*RENDAVERJAN
<=0;
```

```
!VOLUMOSOS N;
[VOLUMOSOSNJAN] MVN*0.03*30*PN*N-POTJANN*RENDPOTJAN-SILJANN*SILAG-
CEJANN*RENDCEJAN-MIJANN*RENDMIJAN-SORJANN*RENDSORJAN-MIFJANN*RENDMIFJAN-
CANAJANN*RENDCANA-AVERJANN*RENDAVERJAN<=0;
```

(c) Capacidade de ingestão de matéria seca:

Conjunto que garante a capacidade de ingestão de matéria seca mínima para cada animal, a fim de que sejam respeitadas as fases de lactação e não lactação. Segundo SILVA NETO & OLIVEIRA (2007), esta capacidade deve ser de 3 % do peso vivo do animal.

I) Vacas em lactação:

A soma dos alimentos utilizados para a alimentação das vacas produtivas deve ser menor ou igual ao peso da vaca em lactação.

```
!INGESTAO VL;
```

```
[ INGESTAOVLJANEI ] 0.03*30*PV*VL-POTJANVL*RENDPOTJAN-SILJANVL*SILAG-
CEJANVL*RENDCEJAN-MIJANVL*RENDMIJAN-SORJANVL*RENDSORJAN-MILJANVL*RENDMIL-
RJANVL-MIFJANVL*RENDMIFJAN-CANAJANVL*RENDCANA-AVERJANVL*RENDAVERJAN
>=0;
```

II) Animais não produtivos:

Da mesma forma, a soma dos alimentos utilizados para a alimentação dos animais deve ser menor ou igual ao peso da vaca seca, novilhas e terneiras.

```
!INGESTAO VS;
```

```
[ INGESTAOVSJAN ] 0.03*30*PV*VS-POTJANVS*RENDPOTJAN-SILJANVS*SILAG-
CEJANVS*RENDCEJAN-MIJANVS*RENDMIJAN-SORJANVS*RENDSORJAN-MILJANVS*RENDMIL-
RJANVS-MIFJANVS*RENDMIFJAN-CANAJANVS*RENDCANA-AVERJANVS*RENDAVERJAN>=0;
```

```
!INGESTAO N;
```

```
[ INGESTAONJAN ] 0.03*30*PN*N-POTJANN*RENDPOTJAN-SILJANN*SILAG-
CEJANN*RENDCEJAN-MIJANN*RENDMIJAN-SORJANN*RENDSORJAN-MILJANN*RENDMIL-RJANN-
MIFJANN*RENDMIFJAN-CANAJANN*RENDCANA-AVERJANN*RENDAVERJAN>=0;
```

```
!INGESTAO TERNEIRA;
```

[INGESTAOTFJAN] 0.03*30*PT*TF-POTJANTF*RENDPOTJAN-SILJANTF*SILAG-
CEJANTF*RENDCEJAN-MIJANTF*RENDMIJAN-SORJANTF*RENDSORJAN-MILJANTF*RENDMIL-
RJANTF-MIFJANTF*RENDMIFJAN-CANAJANTF*RENDCANA-AVERJANTF*RENDAVERJAN>=0;

(d) Ingestão de volumosos:

A metade da capacidade de ingestão das vacas deve ser de alimentos volumosos, logo, é colocada da seguinte forma:

I) Vacas em Lactação:

O somatório dos alimentos utilizados para a alimentação das vacas produtivas deve ser menor ou igual à metade da capacidade de ingestão da vaca em lactação.

!VOLUMOSOS VL;
[VOLUMOSOSVLJAN] MVVL*0.03*30*PV*VL-POTJANVL*RENDPOTJAN-SILJANVL*SILAG-
CEJANVL*RENDCEJAN-MIJANVL*RENDMIJAN-SORJANVL*RENDSORJAN-
MIFJANVL*RENDMIFJAN-CANAJANVL*RENDCANA-AVERJANVL*RENDAVERJAN<=0;

II) Animais não produtivos:

O somatório de alimentos utilizados para a alimentação para os animais não produtivos do rebanho de leite deve ser maior ou igual à metade da capacidade de ingestão da Vaca Seca, Terneiros e Novilhas.

!VOLUMOSOS VS;
[VOLUMOSOSVSJAN] MVVS*0.03*30*PV*VS-POTJANVS*RENDPOTJAN-SILJANVS*SILAG-
CEJANVS*RENDCEJAN-MIJANVS*RENDMIJAN-SORJANVS*RENDSORJAN-
MIFJANVS*RENDMIFJAN-CANAJANVS*RENDCANA-AVERJANVS*RENDAVERJAN<=0;

!VOLUMOSOS N;
[VOLUMOSOSNJAN] MVN*0.03*30*PN*N-POTJANN*RENDPOTJAN-SILJANN*SILAG-
CEJANN*RENDCEJAN-MIJANN*RENDMIJAN-SORJANN*RENDSORJAN-MIFJANN*RENDMIFJAN-
CANAJANN*RENDCANA-AVERJANN*RENDAVERJAN<=0;

!VOLUMOSOS TERNEIRA;
[VOLUMOSOSTFJAN] MVTF*0.03*30*PT*TF-POTJANTF*RENDPOTJAN-SILJANTF*SILAG-
CEJANTF*RENDCEJAN-MIJANTF*RENDMIJAN-SORJANTF*RENDSORJAN-
MIFJANTF*RENDMIFJAN-CANAJANTF*RENDCANA-AVERJANTF*RENDAVERJAN<=0;

2.4.3.3. Mão-de-Obra

O somatório do número de horas de cada atividade trabalhada deve ser menor ou igual ao número de Unidades de trabalho Homem existente na unidade de produção, que é de duas pessoas adultas.

Consideremos o trabalho mensal (nos referimos a horas de trabalho) de todas as atividades usadas na referida propriedade.

Da mesma forma podem-se estabelecer as atividades numa ordem mensal de trabalho, onde em cada mês é colocado o tempo para cada atividade trabalhada. Por exemplo, em setembro ocorre o plantio do milho silagem e, no mês de janeiro, é feito o corte do mesmo, e, quando a mão-de-obra existente na propriedade não é o suficiente, há a necessidade da contratação de mais mão-de-obra para auxiliar no desenvolvimento do trabalho, o que não acontece em todos os meses. Também é calculado um tempo para isso e é levado em conta o número de pessoas envolvidas no processo, ou seja, o número de horas utilizadas para todas as atividades daquele mês considerado não pode ultrapassar à carga horária já limitada por duas pessoas.

```
! TRABALHO;
[ WJANEIRO ] 16*VL+6*SIL+3*MI+
HC*( CANAJANVL+CANAJANVS+CANAJANN+CANAJANTF )+HCE*( CEJANVL+CEJANVS+CEJANN+CEJ
ANTF )+HMIF*( MIFJANVL+MIFJANVS+MIFJANN+MIFJANTF )+HSOR*( SORJANVL+SORJANVS+SOR
JANN+SORJANTF )<=WF;
[ WFEVEREIRO ]
16*VL+HC*( CANAFEVVL+CANAFEVVS+CANAFEVN+CANAFEVTF )+HCE*( CEFEVVL+CEFEVVS+CEFE
VN+CEFEVTF )+HMIF*( MIFFEVVL+MIFFEVS+MIFFEVN+MIFFEVTF )+HSOR*( SORFEVVL+SORFEV
VS+SORFEVN+SORFEVTF )<=WF;
[ WMARCO ]
16*VL+HC*( CANAMARVL+CANAMARVS+CANAMARN+CANAMARTF )+HCE*( CEMARVL+CEMARVS+CEMA
RN+CEMARTF )+HMIF*( MIFMARVL+MIFMARVS+MIFMARN+MIFMARTF )+HSOR*( SORMARVL+SORMAR
VS+SORMARN+SORMARTF )<=WF;
[ WABRIL ] 16*VL+3*AV+3*AZ+HC*( CANAABRVL+CANAABRVS+CANAABRN+CANAABRTF )+HCE*( CE
ABRVL+CEABRVS+CEABRN+CEABRTF )+HMIF*( MIFABRVL+MIFABRVS+MIFABRN+MIFABRTF )+HSO
R*( SORABRVL+SORABRVS+SORABRN+SORABRTF )<=WF;
[ WMAIO ] 16*VL+3*AV+3*AZ+HC*( CANAMAIVL+CANAMAIVS+CANAMAIN+CANAMAITF )+HCE*( CEM
AIVL+CEMAIVS+CEMAIN+CEMAITF )<=WF;
[ WJUNHO ] 16*VL+HC*( CANAJUNVL+CANAJUNVS+CANAJUNN+CANAJUNTF )<=WF;
[ WJULHO ] 16*VL+HC*( CANAJULVL+CANAJULVS+CANAJULN+CANAJULTF )<=WF;
[ WAGOSTO ] 16*VL+HSOR*SOR+HC*( CANAAGOVVL+CANAAGOVVS+CANAAGON+CANAAGOTF )<= WF;
[ WSETEMBRO ] 16*VL+HC*( CANASETVL+CANASETVS+CANASETN+CANASETTF )+HSOR*( SORSETVL
+SORSETVS+SORSETN+SORSETTF )<=WF;
[ WOUTUBRO ] 16*VL+3*MI+4*SIL+POT+3*AVER+HC*( CANAOUTVL+CANAOUTVS+CANAOUTN+CANA
OUTTF )+HCE*( CEOUTVL+CEOUTVS+CEOUTN+CEOUTTF )+HMIF*( MIFOUTVL+MIFOUTVS+MIFOUTN
+MIFOUTTF )+HSOR*( SOROUTVL+SOROUTVS+SOROUTN+SOROUTTF )<=WF;
```

```
[WNOVEMBRO] 16*VL+HC*(CANANOVVL+CANANOVVS+CANANOVN+CANANOVTF)+
HCE*(CENOVVL+CENOVVS+CENOVN+CENOVTF)+HMIF*(MIFNOVVL+MIFNOVVS+MIFNOVN+MIFNOV
TF)+HSOR*(SORNOVVL+SORNOVVS+SORNOVN+SORNOVTF)<=WF;
[WDEZEMBRO]16*VL+2.5*MI+2.5*AVER+HC*(CANAEZVL+CANAEZVS+CANAEZVN+CANAEZTF)
)+HCE*(CEDEZVL+CEDEZVS+CEDEZVN+CEDEZTF)+HMIF*(MIFDEZVL+MIFDEZVS+MIFDEZVN+MIFD
EZTF)+HSOR*(SORDEZVL+SORDEZVS+SORDEZVN+SORDEZTF)<=WF;

[HORASCANA] HC = 40;!HORAS POR HECTARE DE CANA;
[HORASMIF] HMIF = 18;
[HORASOR] HSOR = 18;
[HORASCE] HCE = 18;
```

2.4.3.4. Ligações

I - Ligação de Leite Mensal e Anual:

Faz com que a quantidade de leite produzida em cada mês forme a produção total anual de leite.

```
!LEITE;
[LEITE]L=LJAN+LFEV+LMAR+LABR+LMAI+LJUN+LJUL+LAGO+LSET+LOUT+LNOV+LDEZ;
```

II - Ligação de Alimentos de Distribuição Livre

São alimentos que podem ser distribuídos aos animais durante todos os meses do ano, de acordo com as suas necessidades. Ou seja, alimentos que são levados ao animal e que podem ser armazenados durante o ano.

(a) Ligação da ração mensal e anual

Faz com que a quantidade de ração consumida em cada mês do ano pelas vacas em lactação e o rebanho (novilhas, terneiros) formem a quantidade de ração consumida anualmente.

```
!RACAO;
[RCVL]
RJANVL+RFEVVL+RMARVL+RABRVL+RMAIVL+RJUNVL+RJULVL+RAGOVL+RSETVL+ROUTVL+RNOVV
L+RDEZVL=RVL;
[RCVS]
RJANVS+RFEVVS+RMARVS+RABRVS+RMAIVS+RJUNVS+RJULVS+RAGOVVS+RSETVS+ROUTVS+RNOVV
S+RDEZVS=RVS;
[RCN]
RJANN+ RFEVN+ RMARN+ RABRN+ RMAIN+ RJUNN+ RJULN+ RAGON+ RSETN+ ROUTN+
RNOVN+ RDEZN=RN;
[RCTF]
RJANTF+RFEVTF+RMARTF+RABRTF+RMAITF+RJUNTF+RJULTF+RAGOTF+RSETTF+ROUTTF+RNOVT
F+RDEZTF=RTF;
```

```
!RACAO TOTAL;
[RACAOT] RVL+RVS+RN+RTF=R;
```

(b) Ligação da silagem mensal e anual:

Faz com que a quantidade de silagem consumida em cada mês pelas vacas em lactação e o rebanho constituem a quantidade anual de silagem consumida.

```
!SILAGEM VACA LEITEIRA;
[SILAGEMVL]
SILJANVL+SILFEVVL+SILMARVL+SILABRVL+SILMAIVL+SILJUNVL+SILJULVL+SILAGOVL+SIL
SETVL+SILOUTVL+SILNOVVL+SILDEZVL=SILVL;
```

```
!SILAGEM VS;
[SILAGEMVS]
SILJANVS+SILFEVVS+SILMARVS+SILABRVS+SILMAIVS+SILJUNVS+SILJULVS+SILAGOVVS+SIL
SETVS+SILOUTVS+SILNOVVS+SILDEZVS=SILVS;
```

```
!SILAGEM N;
[SILAGEMN]
SILJANN+SILFEVN+SILMARN+SILABRN+SILMAIN+SILJUNN+SILJULN+SILAGON+SILSETN+SIL
OUTN+SILNOVN+SILDEZN=SILN;
```

```
!SILAGEM TF;
[SILAGEMTF]
SILJANTF+SILFEVTF+SILMARTF+SILABRTF+SILMAITF+SILJUNTF+SILJULTF+SILAGOTF+SIL
SETTF+SILOUTTF+SILNOVTF+SILDEZTF=SILTF;
```

```
!SILAGEM TOTAL;
[SILGAEMTOTAL] SILVL+SILVS+SILN+SILTF=SIL;
```

(c) Ligação de cana-de-açúcar mensal e anual:

Faz com que a quantidade consumida de cana-de-açúcar em cada mês pelas vacas em lactação e o rebanho formem a quantidade anual desta pastagem consumida.

```
!CANA VACA LEITEIRA;
[CANVL]
CANAJANVL+CANAFEVVL+CANAMARVL+CANAABRVL+CANAMAIVL+CANAJUNVL+CANAJULVL+CANA
GOVL+CANASETVL+CANAOUTVL+CANANOVVL+CANADEZVL=CANAVL;
```

```
!CANA VS;
[CANVS]
CANAJANVS+CANAFEVVS+CANAMARVS+CANAABRVS+CANAMAIVS+CANAJUNVS+CANAJULVS+CANA
GOVS+CANASETVS+CANAOUTVS+CANANOVVS+CANADEZVS=CANAVS;
```

```
!CANA N;
[CANN]
CANAJANN+CANAFEVN+CANAMARN+CANAABRN+CANAMAIN+CANAJUNN+CANAJULN+CANAAGON+CAN
ASETN+CANAOUTN+CANANOVN+CANADEZN=CANAN;
```

```
!CANA TF;
```

[CANTF]
 CANAJANTF+CANAFEVTF+CANAMARTF+CANAABRF+CANAMAITF+CANAJUNTF+CANAJULTF+CANAA
 GOTF+CANASETTF+CANAOUETF+CANANOVTF+CANAEZTF=CANATF ;

!CANA TOTAL ;
 [CANAGAEMTOTAL] CANAVL+CANAVS+CANAN+CANATF=CANA ;

(d) Ligação de milho grão mensal e anual;

Faz com que a quantidade consumida de milho em cada mês pelas vacas em lactação e o rebanho formem a quantidade anual deste alimento consumido.

!MILHO GRAO VACA LACTACAO ;
 [MILHOGRAOVL]
 MILJANVL+MILFEVVL+MILMARVL+MILABRVL+MILMAIVL+MILJUNVL+MILJULVL+MILAGOVL+MIL
 SETVL+MILOUTVL+MILNOVVL+MILDEZVL=MILVL ;

!MILHO GRAO VS ;
 [MILHOGRAOVS] MILJANVS+MILFEVVS+MILMARVS+MILABRVS+MILMAIVS+MILJUNVS+MILJULVS
 +MILAGOVVS+MILSETVS+MILOUTVS+MILNOVVS+MILDEZVS=MILVS ;

!MILHO GRAO N ;
 [MILHOGRAON] MILJANN+MILFEVN+MILMARN+MILABRN+MILMAIN+MILJUNN+MILJULN+MILAGON
 +MILSETN+MILOUTN+MILNOVN+MILDEZN=MILN ;

!MILHO GRAO TF ;
 [MILHOGRAOTF] MILJANTF+MILFEVTF+MILMARTF+MILABRTF+MILMAITF+MILJUNTF+MILJULTF
 +MILAGOTF+MILSETTF+MILOUTTF+MILNOVTF+MILDEZTF=MILTF ;

!MILHO GRAO TOTAL ;
 [MILHOGRAOT] MILVL+MILVS+MILN+MILTF=MIL ;

(e) Ligação entre as categorias de animais:

As categorias de animais do rebanho foram definidas segundo SILVA NETO & OLIVEIRA (2007), a partir dos seguintes índices zootécnicos para Vacas em Lactação/Vacas Total:

- **Índice de Natalidade:** 70%
- **Índice de Mortalidade anual:** 2%`
- **Idade para a 1ª cria:** 2 anos

A partir destes índices zootécnicos, as categorias de animais devem obedecer às seguintes ligações:

```

!LIGACAO ENTRE AS CATEGORIAS DO REBANHO;
[VLVS]      0.3*VL - 0.7*VS <= 0;
[VLTERNEIRAS] 0.5*VL - TF<=0;
[VLNOVILHAS] 0.49*VL - N<=0;
[VLVD]      VD - 0.48*VL <=0;
[MORTALIDADE] MORT=0.02;

```

Observação: as relações acima referem-se as ligações entre as categorias de animais do rebanho e em lactação.

```

PV=350;
PS=350;
PN=236;
PT=79;

```

(f) Ligação entre a área total e a área consumida das pastagens:

Para o milheto, capim elefante, cana-de-açúcar, sorgo, aveia+azevém, aveia de verão, milho forragem e potreiro, tem-se que o somatório destas pastagens consumidas por todas as categorias nos devidos meses deve ser menor ou igual ao somatório relativo à pastagem total disponível naquele mês.

Por exemplo:

```

!LIGACAO PASTAGENS;
!POTREIRO;
[POTREIROJAN]  POTJANVL+POTJANVS+POTJANN+POTJANTF-POT<=0;
[POTREIROFEV]  POTFEVVL+POTFEVVS+POTFEVN+POTFEVTF-POT<=0;
[POTREIROMARC] POTMARVL+POTMARVS+POTMARN+POTMARTF-POT<=0;
[POTREIROABRI] POTABRVL+POTABRVS+POTABRN+POTABRTF-POT<=0;
[POTREIROMAI]  POTMAIVL+POTMAIVS+POTMAIN+POTMAITF-POT<=0;
[POTREIROJUN]  POTJUNVL+POTJUNVS+POTJUNN+POTJUNTF-POT<=0;
[POTREIROJUL]  POTJULVL+POTJULVS+POTJULN+POTJULTF-POT<=0;
[POTREIROAGOS] POTAGOVL+POTAGOVVS+POTAGON+POTAGOTF-POT<=0;
[POTREIROSETEM] POTSETVL+POTSETVS+POTSETN+POTSETTF-POT<=0;
[POTREIROOUT]  POTOUTVL+POTOUTVS+POTOUTN+POTOUTTF-POT<=0;
[POTREIRONOV]  POTNOVVL+POTNOVVS+POTNOVN+POTNOVTF-POT<=0;
[POTREIRODEZ]  POTDEZVL+POTDEZVS+POTDEZN+POTDEZTF-POT<=0;

```

```

!CAPIM ELEFANTE;
[CELJAN]  CEJANVL+CEJANVS+CEJANN+CEJANTF-CE<=0;
[CELFEV]  CEFEVVL+CEFEVVS+CEFEVN+CEFEVTF-CE<=0;
[CELMAR]  CEMARVL+CEMARVS+CEMARN+CEMARTF-CE<=0;
[CELABRI] CEABRVL+CEABRVS+CEABRN+CEABRTF-CE<=0;
[CELMAIO] CEMAIVL+CEMAIVS+CEMAIN+CEMAITF-CE<=0;
[CELJUN]  CEJUNVL+CEJUNVS+CEJUNN+CEJUNTF-CE<=0;
[CELJUL]  CEJULVL+CEJULVS+CEJULN+CEJULTF-CE<=0;
[CELAGO]  CEAGOVL+CEAGOVVS+CEAGON+CEAGOTF-CE<=0;
[CELSET]  CESETVL+CESETVS+CESETN+CESETTF-CE<=0;
[CELOUT]  CEOUTVL+CEOUTVS+CEOUTN+CEOUTTF-CE<=0;
[CELNOV]  CENOVVL+CENOVVS+CENOVN+CENOVTF-CE<=0;
[CELDEZ]  CEDEZVL+CEDEZVS+CEDEZN+CEDEZTF-CE<=0;

```

!MILHETO;

[MILHETOJAN] MIJANVL+MIJANVS+MIJANN+MIJANTF-MI<=0;
[MILHETOFEV] MIFEVVL+MIFEVVS+MIFEVN+MIFEVTF-MI<=0;
[MILHETOMAR] MIMARVL+MIMARVS+MIMARN+MIMARTF-MI<=0;
[MILHETOABR] MIABRVL+MIABRVS+MIABRN+MIABRTF-MI<=0;
[MILHETOMAI] MIMAIVL+MIMAIVS+MIMAIN+MIMAITF-MI<=0;
[MILHETOJUN] MIJUNVL+MIJUNVS+MIJUNN+MIJUNTF-MI<=0;
[MILHETOJUL] MIJULVL+MIJULVS+MIJULN+MIJULTF-MI<=0;
[MILHETOAGO] MIAGOVL+MIAGOVVS+MIAGON+MIAGOTF-MI<=0;
[MILHETOSET] MISETVL+MISETVS+MISETN+MISSETF-MI<=0;
[MILHETOOUT] MIOU TVL+MIOU TVS+MIOU TN+MIOU TTF-MI<=0;
[MILHETONOV] MINOVVL+MINOVVS+MINOVN+MINOVTF-MI<=0;
[MILHETODEZ] MIDEZVL+MIDEZVS+MIDEZN+MIDEZTF-MI<=0;

!MILHO FORRAGEM;

[MILHOFORJAN] MIFJANVL+MIFJANVS+MIFJANN+MIFJANTF-MIF<=0;
[MILHOFORFEV] MIFFEVVL+MIFFEVVS+MIFFEVN+MIFFEVTF-MIF<=0;
[MILHOFORMAR] MIFMARVL+MIFMARVS+MIFMARN+MIFMARTF-MIF<=0;
[MILHOFORABR] MIFABRVL+MIFABRVS+MIFABRN+MIFABRTF-MIF<=0;
[MILHOFORMAI] MIFMAIVL+MIFMAIVS+MIFMAIN+MIFMAITF-MIF<=0;
[MILHOFORJUN] MIFJUNVL+MIFJUNVS+MIFJUNN+MIFJUNTF-MIF<=0;
[MILHOFORJUL] MIFJULVL+MIFJULVS+MIFJULN+MIFJULTF-MIF<=0;
[MILHOFORAGO] MIFAGOVL+MIFAGOVVS+MIFAGON+MIFAGOTF-MIF<=0;
[MILHOFORSET] MIFSETVL+MIFSETVS+MIFSETN+MIFSETTF-MIF<=0;
[MILHOFOROUT] MIFOUTVL+MIFOUTVS+MIFOUTN+MIFOUTTF-MIF<=0;
[MILHOFORNOV] MIFNOVVL+MIFNOVVS+MIFNOVN+MIFNOVTF-MIF<=0;
[MILHOFORDEZ] MIFDEZVL+MIFDEZVS+MIFDEZN+MIFDEZTF-MIF<=0;

!SORGO;

[SORGOJAN] SORJANVL+SORJANVS+SORJANN+SORJANTF-SOR<=0;
[SORGOFEV] SORFEVVL+SORFEVVS+SORFEVN+SORFEVTF-SOR<=0;
[SORGOMAR] SORMARVL+SORMARVS+SORMARN+SORMARTF-SOR<=0;
[SORGOABR] SORABRVL+SORABRVS+SORABRN+SORABRTF-SOR<=0;
[SORGOMAI] SORMAIVL+SORMAIVS+SORMAIN+SORMAITF-SOR<=0;
[SORGOJUN] SORJUNVL+SORJUNVS+SORJUNN+SORJUNTF-SOR<=0;
[SORGOJUL] SORJULVL+SORJULVS+SORJULN+SORJULTF-SOR<=0;
[SORGOAGO] SORAGOVL+SORAGOVVS+SORAGON+SORAGOTF-SOR<=0;
[SORGOSET] SORSETVL+SORSETVS+SORSETN+SORSETTF-SOR<=0;
[SORGOOUT] SOROUTVL+SOROUTVS+SOROUTN+SOROUTTF-SOR<=0;
[SORGONOV] SORNOVVL+SORNOVVS+SORNOVN+SORNOVTF-SOR<=0;
[SORGODEZ] SORDEZVL+SORDEZVS+SORDEZN+SORDEZTF-SOR<=0;

!AVEIA;

[AVEIAJAN] AVJANVL+AVJANVS+AVJANN+AVJANTF-AV<=0;
[AVEIAFEV] AVFEVVL+AVFEVVS+AVFEVN+AVFEVTF-AV<=0;
[AVEIAMAR] AVMARVL+AVMARVS+AVMARN+AVMARTF-AV<=0;
[AVEIAABR] AVABRVL+AVABRVS+AVABRN+AVABRTF-AV<=0;
[AVEIAMAI] AVMAIVL+AVMAIVS+AVMAIN+AVMAITF-AV<=0;
[AVEIAJUN] AVJUNVL+AVJUNVS+AVJUNN+AVJUNTF-AV<=0;
[AVEIAJUL] AVJULVL+AVJULVS+AVJULN+AVJULTF-AV<=0;
[AVEIAAGO] AVAGOVL+AVAGOVVS+AVAGON+AVAGOTF-AV<=0;
[AVEIASET] AVSETVL+AVSETVS+AVSETN+AVSETTF-AV<=0;
[AVEIAOUT] AVOUTVL+AVOUTVS+AVOUTN+AVOUTTF-AV<=0;
[AVEIANOV] AVNOVVL+AVNOVVS+AVNOVN+AVNOVTF-AV<=0;
[AVEIADEZ] AVDEZVL+AVDEZVS+AVDEZN+AVDEZTF-AV<=0;

!AVEIA VERA0;

[AVEIAVERAOJAN] AVERJANVL+AVERJANVS+AVERJANN+AVERJANTF-AVER<=0;
[AVEIAVERA0FEV] AVERFEVVL+AVERFEVVS+AVERFEVN+AVERFEVTF-AVER<=0;

```

[ AVEIAVERAOMAR ]  AVERMARVL+AVERMARVS+AVERMARN+AVERMARTF-AVER<=0 ;
[ AVEIAVERAOABR ]  AVERABRVL+AVERABRVS+AVERABRN+AVERABRTF-AVER<=0 ;
[ AVEIAVERAOMAI ]  AVERMAIVL+AVERMAIVS+AVERMAIN+AVERMAITF-AVER<=0 ;
[ AVEIAVERAOJUN ]  AVERJUNVL+AVERJUNVS+AVERJUNN+AVERJUNTF-AVER<=0 ;
[ AVEIAVERAOJUL ]  AVERJULVL+AVERJULVS+AVERJULN+AVERJULTF-AVER<=0 ;
[ AVEIAVERAOAGO ]  AVERAGOVL+AVERAGOVVS+AVERAGON+AVERAGOTF-AVER<=0 ;
[ AVEIAVERAOSET ]  AVERSETVL+AVERSETVS+AVERSETN+AVERSETTF-AVER<=0 ;
[ AVEIAVERAOOUT ]  AVEROUTVL+AVEROUTVS+AVEROUTN+AVEROUTTF-AVER<=0 ;
[ AVEIAVERAONOV ]  AVERNOVVL+AVERNOVVS+AVERNOVN+AVERNOVTF-AVER<=0 ;
[ AVEIAVERAODEZ ]  AVERDEZVL+AVERDEZVS+AVERDEZN+AVERDEZTF-AVER<=0 ;
!AZEDEM;
[ AZEDEM ]          AZJANVL+AZJANVS+AZJANN+AZJANTF-AZ<=0 ;
[ AZEDEMFEV ]      AZFEVVL+AZFEVVS+AZFEVN+AZFEVTF-AZ<=0 ;
[ AZEDEM ]          AZMARVL+AZMARVS+AZMARN+AZMARTF-AZ<=0 ;
[ AZEDEMABR ]      AZABRVL+AZABRVS+AZABRN+AZABRTF-AZ<=0 ;
[ AZEDEMMAI ]      AZMAIVL+AZMAIVS+AZMAIN+AZMAITF-AZ<=0 ;
[ AZEDEM ]          AZJUNVL+AZJUNVS+AZJUNN+AZJUNTF-AZ<=0 ;
[ AZEDEM ]          AZJULVL+AZJULVS+AZJULN+AZJULTF-AZ<=0 ;
[ AZEDEM ]          AZAGOVL+AZAGOVVS+AZAGON+AZAGOTF-AZ<=0 ;
[ AZEDEM ]          AZSETVL+AZSETVS+AZSETN+AZSETTF-AZ<=0 ;
[ AZEDEM ]          AZNOVVL+AZNOVVS+AZNOVN+AZNOVTF-AZ<=0 ;
[ AZEDEM ]          AZDEZVL+AZDEZVS+AZDEZN+AZDEZTF-AZ<=0 ;

```

2.5. COERÊNCIA DO MODELO COM A SITUAÇÃO ATUAL

Conforme descrito anteriormente, a unidade de produção analisada apresenta um nível de capitalização relativamente baixo, com instalações em más condições e maquinário agrícola insuficiente. Além disso, os rendimentos físicos alcançados são relativamente baixos para a região, especialmente no que diz respeito à produção de leite, os quais apresentam as vacas em lactação com uma média de 10litros/dia. Assim, sofrendo fortes restrições de capital e sendo manejado de forma pouco eficiente pelo agricultor. O sistema de produção escolhido apresenta um moderado grau de liberdade para o seu funcionamento, o que o torna interessante para o teste de modelos de programação matemática.

O agricultor possui 11 hectares de terra, dispondo duas unidades de trabalho (o próprio agricultor, sua esposa e uma filha; neste trabalho foram consideradas uma unidade como 208 horas de trabalho mensais). A partir de entrevistas com o agricultor, foram coletados dados técnicos (como a quantidade de trabalho demandada pelas atividades, as características do rebanho, a quantidade de insumos utilizados para cada atividade, os rendimentos físicos obtidos, etc.) e econômicos (preços de insumos e produtos). Além disso, nas entrevistas, foram discutidas algumas características em relação ao manejo das culturas em seu sistema de produção.

Por meio do “software EXCEL”, levando em conta os dados coletados nas entrevistas com o agricultor, conforme anexo 3, foi constatado um resultado econômico mensal de R\$ 616,00, sendo que o rendimento leiteiro é de aproximadamente 2100 litros mensais. Isto nos leva a crer que o agricultor apresenta acentuada restrição financeira.

Com as informações contidas na bibliografia e com auxílio das entrevistas chegamos a figura 01 que demonstra a energia disponível ao rebanho no sistema atual.

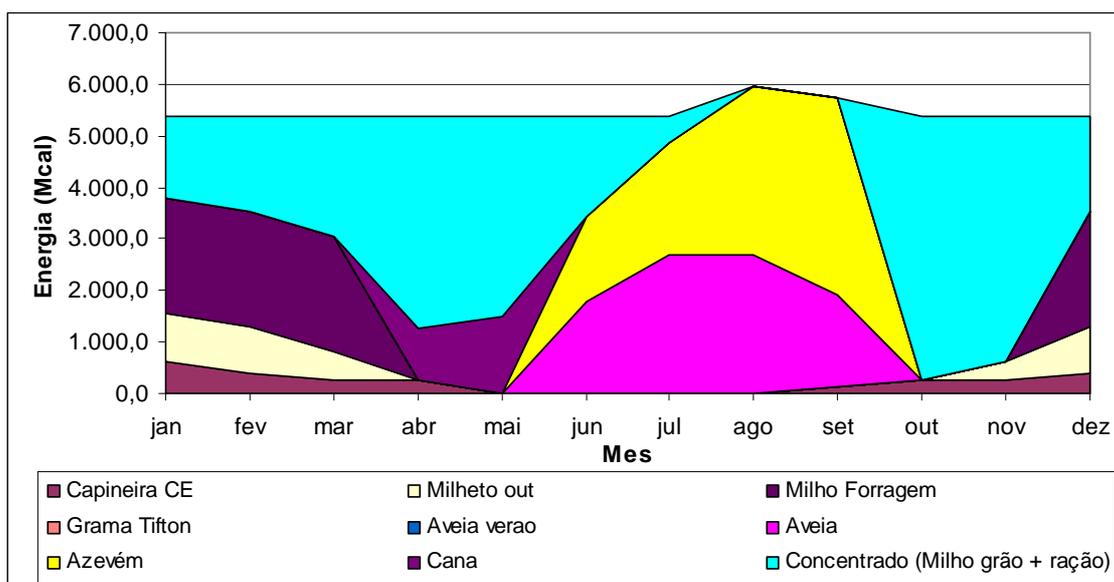


FIGURA 01: Energia Metabolizável Disponível ao Rebanho no Sistema de Produção. Fonte: dados da pesquisa.

A figura 01 apresenta o balanço de energia, onde a necessidade do rebanho é de 7450 Mcal. Mas o sistema atual consegue atingir apenas 5393 Mcal. Sendo que, neste gráfico, a distribuição de energia foi ajustada para minimizar sua variação mensal, a fim de que esta seja o mais estável possível. Este déficit de energia do sistema atual em relação a necessidade dos animais deve-se provavelmente, a falta de registros do agricultor bem como algumas alternativas referentes a alimentação tais como pastagem em beiras de estrada e empréstimo de volumosos entre agricultores vizinhos.

Enfim, no modelo em questão, foram fixadas algumas restrições que envolvem as variáveis independentes e dependentes no modelo, os quais refletem, na realidade, a situação atual do sistema de produção modelado.

Pôde-se constatar, na solução do Modelo, o resultado econômico anual de R\$ 8.790,92, cujo valor pode ser comparado com o valor agregado calculado no “software Excel”, de R\$ 6.470,90, o que pode ser considerado como um referencial de aproximação. Porém observamos que a quantidade mínima de volumosos necessária à manutenção das categorias do rebanho não foram atingidas pelo modelo, o que nos leva a crer que, em alguma época do ano, o agricultor dispõe de algum alimento alternativo que não foi possível de ser levantado durante as entrevistas, devido à falta de registros mensais, bem como à complexidade do sistema produtivo.

Pôde-se constatar a aproximação dos resultados, no entanto o modelo é mais rígido quanto ao uso das áreas e à quantidade de volumosos a ser ingerida pelas categorias do rebanho. O agricultor faz, na realidade, um aproveitamento maior da área durante o ano. Isto porque várias possibilidades de escalonamento das semeaduras realizadas pelo agricultor não foram consideradas no modelo, de forma a evitar que este se torne muito extenso e complicado. A capacidade de ingestão no modelo considerado é menor do que a apurada no balanço energético do rebanho observado. Estas diferenças entre o modelo e as observações tornam o mesmo menos representativo da unidade de produção específica observada, mas dá uma margem de segurança maior para a viabilidade da solução indicada pelo mesmo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO DAS SIMULAÇÕES

O modelo de programação, elaborado conforme o procedimento descrito acima, foi utilizado para analisar as possibilidades de melhoria da renda do produtor.

Para tanto, foram analisadas as conseqüências das soluções propostas pelo modelo sobre o sistema de produção; estes resultados são apresentados e discutidos a seguir.

3.1. SISTEMA DE PRODUÇÃO PROPOSTO NAS SOLUÇÕES DOS MODELOS

Para a realização deste trabalho, mantivemos os dados coletados referentes ao sistema de produção, pois a UPA em questão apresenta resultados econômicos mensais muito baixos. Apesar das necessidades energéticas não terem sido respeitadas, isto não é um problema muito grave, pois o modelo criado é mais conservador, o que nos dá uma margem de manobra grande.

Foram realizadas simulações, utilizando o “software LINGO 4.0”. Na primeira, a função objetivo buscou maximizar o resultado econômico mensal mínimo (REM), o que possibilita ao agricultor garantir, ao longo do ano, uma renda mensal estável. Na segunda simulação, a função objetivo buscou maximizar o resultado econômico anual (REA), o que deu ao agricultor um resultado econômico anual maior, tanto sobre a primeira simulação, quanto sobre o sistema atual.

Na **tabela 01**, apresentam-se os níveis das atividades no sistema de produção atual e segundo as soluções obtidas nas simulações. Pode-se observar que, de uma maneira geral, os sistemas de produção indicados pelas simulações diferem entre si e em relação ao sistema atual. Em outras palavras, caso se realizassem as mudanças indicadas por qualquer uma das simulações, o agricultor obteria diferentes tipos de sistema de produção em relação ao que pratica atualmente, o qual se caracteriza pela escassez de fontes de alimentação para o gado e pela manutenção de uma superfície pouco significativa de milho.

TABELA 01. Solução da situação atual (observada) e do modelo (REM e REA) .

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	UNIDADE	SOLUÇÃO		
			MODELO (REM)	MODELO (REA)	SITUAÇÃO OBSERVADA
REA	Resultado econômico anual	Reais	19.984,13	30.704,29	6.470,90
REND/DIA/VL	rendimento de leite p/dia p/vaca	Reais	5,20	9,43	5,46
VL	Vacas em lactação	Cabeças	13	18	7
VS	Vacas secas	Cabeças	6	8	5
VD	Vacas descarte	Cabeças	7	9	1
TF	Terneiros	Cabeças	7	9	5
N	Novilhas	Cabeças	7	9	2
MILHO	Milho	Hectare	1,40	0	2,50
POT	Potreiro	Hectare	0	0	0,50
R	Ração	Kg	28.727,54	41.854,60	9.000,00
AV	Aveia	Hectare	4,50	6,35	5,50
AZ	Azevém	Hectare	0	0	4,00
MI	Milheto	Hectare	0	0	1,00
CE	Capim elefante	Hectare	3,10	0	0,00
SOR	Sorgo forrageiro	Hectare	1,66	5	0,25
MIF	Milho forragem	Hectare	0	0,34	2,00
CANA	Cana	Hectare	2,60	3,90	0,25
AVER	Aveia de verão	Hectare	0	0	1,00
MIL	Milho grão	Hectare	0,43	0	3,00
SAUV	área disponível verão	Hectare	9,25	9,25	9,25
SAUI	Área disponível inverno	Hectare	10,25	10,25	10,25
KC	Capital Circulante	Reais	17.748,00	24.274,20	11.407,90

FONTE: Dados da Pesquisa.

Considerando-se a maximização do resultado econômico anual (MAX=REA), pode-se observar que este apresenta um resultado econômico anual de R\$30.704,29 que é maior tanto em relação ao sistema atual, cujo resultado econômico anual é de R\$6.470,90, quanto em relação à otimização, considerando o resultado econômico mensal mínimo (MAX=REM) cujo resultado econômico anual é de R\$19.984,13; este último por sua vez, apresenta resultados melhores do que o sistema atual. Quando se leva em conta o a maximização do sistema de produção, otimizando o resultado econômico anual, verifica-se uma quantidade de ração e um capital circulante superior ao indicado pelo sistema atual e pela otimização do resultado econômico mensal. Este último será abordado mais detalhadamente nas figuras que seguem.

Na busca de uma compreensão melhor dos resultados obtidos nas simulações, segue a Figura 02, que nos dá um comparativo entre os resultados econômicos mensais entre as mesmas.

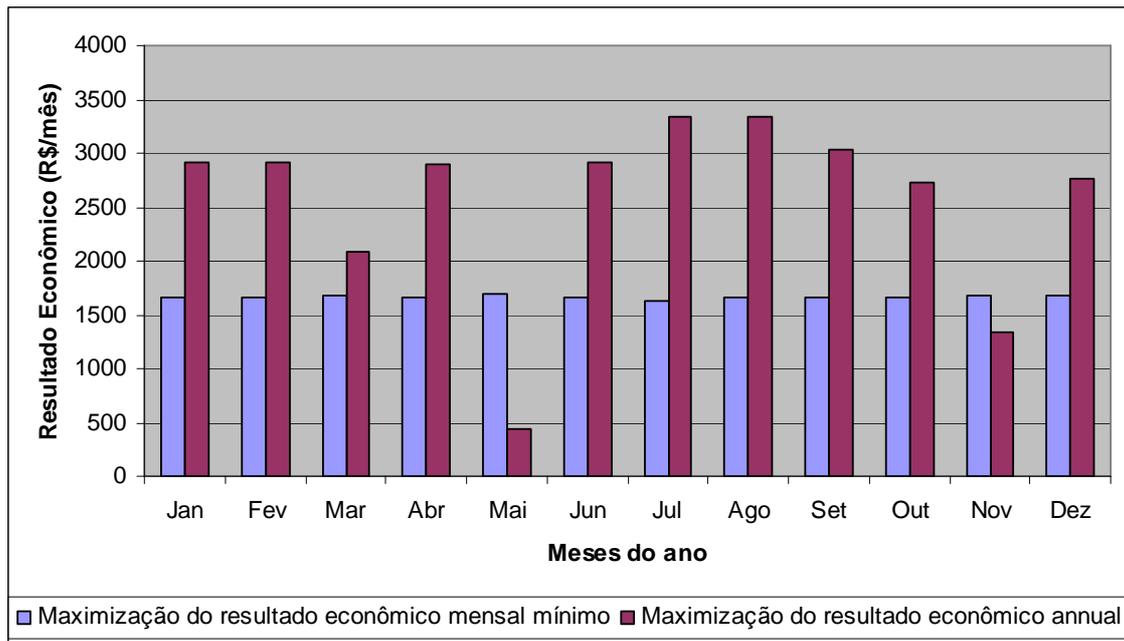


FIGURA 02: Simulações sobre os resultados econômicos mensais.

O que podemos observar na figura 02 é que há uma estabilidade nos resultados econômicos mensais na simulação que maximiza o resultado econômico mensal mínimo (REM), porém os resultados econômicos mensais da segunda simulação (REA), são, na maioria dos meses, bem superiores aos da primeira. No REA o resultado econômico mensal mais baixo é de R\$ 434,14, no mês de maio, enquanto que, no REM, os resultados econômicos com índices mais baixos ocorre no mês de julho e é de R\$ 1630,6.

Para melhor compreensão os motivos que levam o resultado econômico no mês de maio ser abaixo dos demais em relação às simulações, procedeu-se à elaboração da Figura 03 que apresenta a produção de leite mensal de acordo com as simulações.

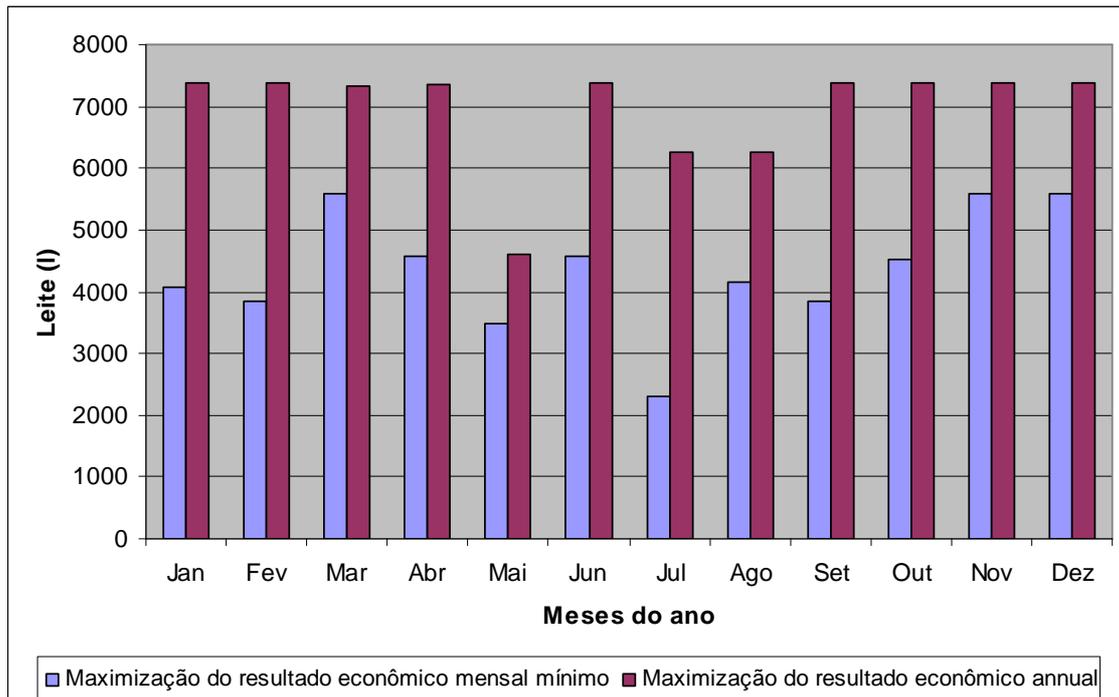


FIGURA 03: Simulações sobre a produção de leite mensal.

Tem-se no mês de maio o plantio de aveia e azevém. Nesse período ocorre a escassez de pastagem para as vacas em lactação, levando a uma queda na produção de leite; isso acarreta, conforme a Figura 03, uma necessidade de capital circulante expressiva, na simulação que considera o resultado econômico anual/REA.

A Figura 03 apresenta os resultados das simulações em relação ao capital circulante necessário à manutenção do sistema produtivo no decorrer dos meses do ano.

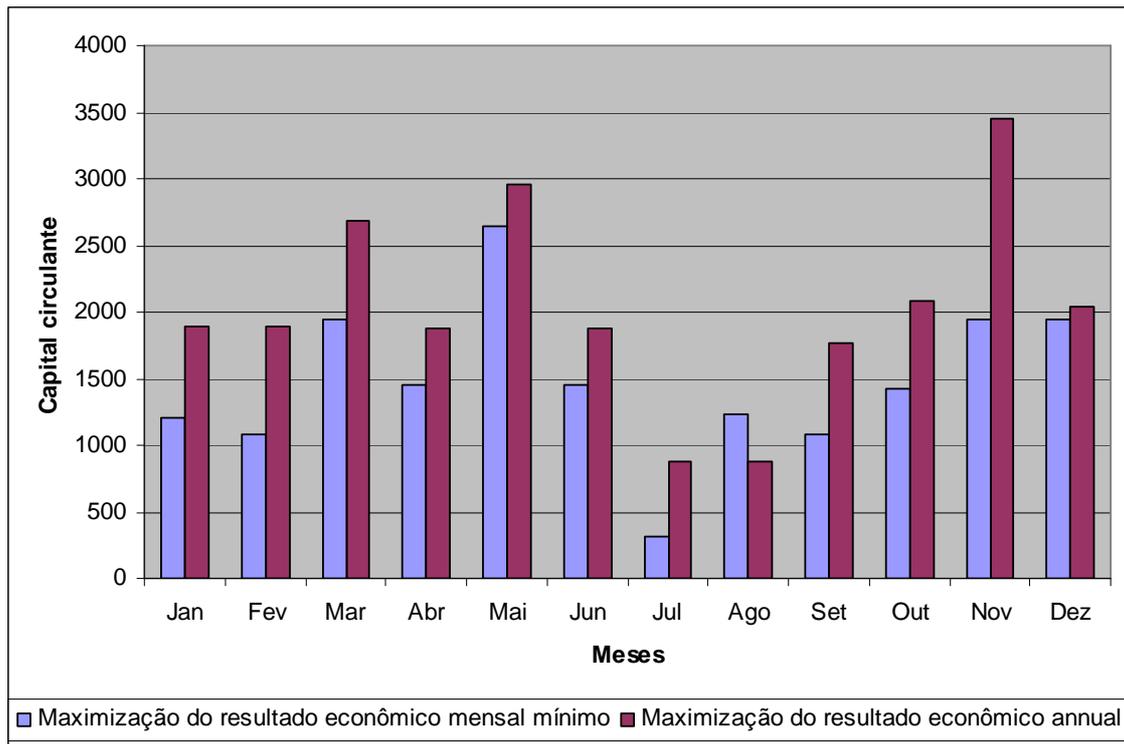


FIGURA 04: Simulações sobre o capital circulante.

Pode-se observar que a solução do modelo considerado (a que considera a maximização do resultado econômico mensal), em relação ao capital circulante, tem oscilações menores do que o sistema, considerando a maximização do resultado econômico anual, o que gera, em alguns meses do ano, uma instabilidade no sistema de produção e que pode ser um ponto negativo ao controle financeiro do agricultor. Tem-se no mês de maio uma expressiva necessidade de capital circulante, confrontando com uma baixa produção leiteira, o que demonstra um resultado econômico mensal bem abaixo dos demais meses do ano na segunda simulação (REA). Estes resultados indicam que as decisões do produtor são tomadas, levando em consideração as restrições financeiras. Tal fato indica que ele não considera apenas a maximização do resultado econômico que poderá ser obtido, mas o resultado que ele poderá ter em uma dada época do ano. Deste comportamento é que resulta uma área de milho, no sistema atual, maior do que a indicada pelos modelos considerados.

Pode-se observar nos modelos considerados que o rebanho é relativamente maior que o presente no sistema atual, devido a um melhor aproveitamento da área em pastagem, o que proporciona maior quantidade de volumosos, assegurando-se, assim, o mínimo de volumosos e possibilitando um número maior de vacas em lactação ao longo do ano. Com isso, seguindo

a relação: $[VLVD] VD - 0.48*VL \leq 0$; o número de vacas para descarte (venda) será superior do que presente no sistema de produção atual.

Pela **tabela 01** observa-se que a solução do modelo que maximiza o resultado econômico anual, no que tange ao rendimento diário, por vaca leiteira, em relação ao sistema atual e o modelo que maximiza o resultado econômico mensal, é maior. Isso ocorre, por vários motivos, dentre eles: o aumento do rebanho que o modelo faz, na busca por um resultado econômico anual melhor; e o fato de não ser considerada uma estabilidade financeira mensal.

Considerando-se a restrição financeira do agricultor, sabe-se que, para um desenvolvimento do modelo cujo resultado econômico fosse satisfatório, seria necessário que o mesmo dispusesse de recursos mínimos para tanto. Em outra comparação, entre a solução geral do modelo considerado e a situação atual, observa-se, na **tabela 01**, que o modelo pode contribuir para melhorar a organização atual da unidade de produção. Entretanto, a utilidade do modelo está mais na discussão de orientações estratégicas para o planejamento das atividades do que na adoção estrita dos níveis das atividades descritas pela solução ótima.

Então, podemos concluir que a solução ótima do modelo pode ser utilizada como uma forma de orientação geral para a melhoria do sistema de produção, pois, em relação ao sistema atual praticado pelo agricultor, o modelo sugere um aumento no número de vacas em lactação e também propõe ao produtor uma diminuição das áreas de milho para o comércio, de aveia de inverno, de milho grão, devido ao aumento no consumo da ração, bem como desconsidera o cultivo de potreiro, milheto, milho forragem, azevém e aveia de verão, considerando o cultivo de capim elefante associado, bem como o aumento de área para outras pastagens permanentes como: sorgo forrageiro e a cana-de-açúcar.

Pressupõe-se que o agricultor só aplica capital circulante se este lhe der certo retorno. No modelo o grupo de restrições relativo ao capital circulante foi incluído devido ao custo de oportunidade dos recursos financeiros próprios, os quais o agricultor tem a opção de utilizar para adquirir bens de consumo. A negligência desse custo de oportunidade leva, muitas vezes, os modelos de programação matemática a indicar a aplicação de doses muito elevadas de certos insumos, como a ração, sem que isto proporcione efeitos significativos no resultado econômico, o que torna tais doses inaceitáveis pelos agricultores. Como neste trabalho a

alternativa de uso do montante disponível para o capital circulante é gasto em consumo, foi fixado um valor para o custo de oportunidade bastante baixo, de 3% ao ano.

O custo de oportunidade refere-se ao que a estimativa de retorno financeiro que o agricultor espera ter ao aplicar uma quantidade em dinheiro no sistema de produção que poderia ser utilizado para bens de consumo familiar.

Para entender-se o impacto do custo de oportunidade sobre o resultado econômico anual, foi verificado o efeito do custo de oportunidade do capital circulante sobre o resultado econômico e a quantidade de capital circulante indicados pela solução do modelo de maximização do resultado econômico mensal mínimo. Este efeito é mostrado na Figura 5.

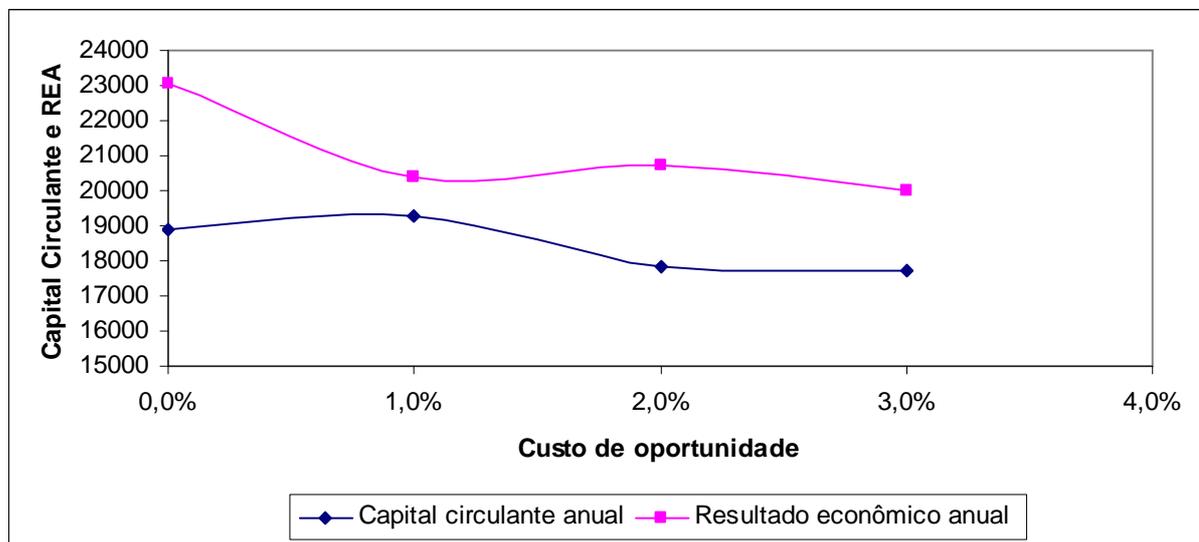


FIGURA 05: Impacto do custo de oportunidade sobre o resultado econômico mensal.
Fonte: Dados da Pesquisa.

Pode-se observar na Figura 5 que, conforme o custo de oportunidade atribuído pelo agricultor aumenta, tanto o capital circulante a ser investido no sistema de produção, quanto o resultado econômico anual sofrem uma leve diminuição. Neste caso, observou-se que a quantidade de ração consumida pelo rebanho sofreu uma suave queda com o aumento do custo de oportunidade atribuído pelo agricultor sobre o capital circulante. A diminuição da ração está associada a uma redistribuição das pastagens.

Procedeu-se também à verificação do efeito do custo de oportunidade do capital circulante sobre o resultado econômico e a quantidade de capital circulante indicados pela solução do modelo de maximização do resultado econômico anual, o qual é mostrado na Figura 5.

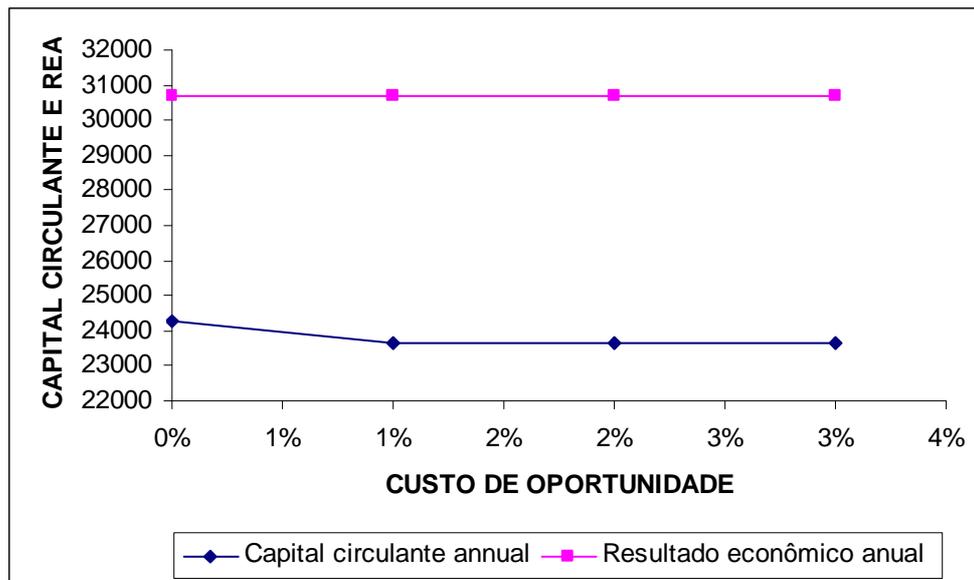


FIGURA 06: Impacto do custo de oportunidade sobre o resultado econômico anual.
FONTE: Dados da pesquisa

Observa-se na Figura 6, acima, que, conforme o retorno mínimo esperado pelo agricultor, tanto o capital circulante a ser investido no sistema de produção, quanto o resultado econômico anual praticamente não sofrem alteração. Verifica-se que o capital circulante sofre uma suave diminuição, tornando-se constante quando o custo de oportunidade varia de 1% a 3%.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta dissertação permitiram as seguintes conclusões:

- o modelo de maximização do resultado econômico mínimo mensal foi adequado para análise de alternativas para uma UPA descapitalizada;
- o modelo de maximização do resultado econômico anual proporcionou soluções de difícil aplicação devido às variações mensais do resultado econômico.

Observou-se nas simulações que o modelo que maximiza o resultado econômico mínimo mensal dá ao agricultor uma estabilidade financeira no decorrer dos meses, com um capital circulante relativamente baixo, enquanto que o modelo de maximização do resultado econômico anual proporciona ao agricultor, no mês de maio, um resultado econômico muito baixo, exigindo um capital circulante muito alto, cuja aplicação dificilmente seria viável ao agricultor devido a sua descapitalização.

A atividade animal, neste caso o leite, propicia resultados econômicos por unidade de superfície superiores aos apresentados pela atividade vegetal (neste caso, o milho). Nas simulações detectou-se que, quanto menor a área de milho utilizada, maior o resultado econômico mensal mínimo. Com a liberação da área que deixa de ser cultivada com milho, aumenta a atividade leiteira. Ou seja, o leite é uma atividade técnica e economicamente viável para unidades de produção com superfície agrícola pequena. Mesmo assim, caso o agricultor queira introduzir modificações no seu atual sistema de produção, incrementando a produção de leite, poderá enfrentar dificuldades de natureza financeira, ou seja, haveria necessidade de um capital que, por vezes, não lhe é acessível.

Para finalizar, conseguimos, com o presente trabalho, definir um sistema de produção conforme o modelo acima mencionado, que, através das simulações e resultados acerca do sistema de produção apresentado pelo modelo que maximiza o resultado econômico mensal mínimo, o qual se mostrou mais adequado a este agricultor, pois possibilita uma estabilidade mensal financeira e uma necessidade de capital circulante mais acessível, principalmente nos meses em que se tem maiores restrições nas pastagens. Desse modo, pode-se construir outros modelos com outros objetivos para introdução de novas atividades na agricultura. Pode-se, também, elaborar procedimentos que permitam a avaliação e análise de outros resultados.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, L.E. de. Introdução a pesquisa Operacional. Rio de Janeiro: LTC, 1990.277p.

ANDRADE, E. L. **Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e Modelos para Análise de Decisão**, 2º ed. LTC, Rio de Janeiro, 2000.

BASSO, David ; SILVA NETO, B. ; BERTO, Jorge Luiz . Otimização da produção de leite em função da qualidade dos alimentos nas condições do Noroeste do Rio Grande do Sul. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 137-147, 2002.

BASSO, David ; SILVA NETO, B. . Controvérsias sobre profissionalização e desenvolvimento na agricultura: o caso da produção de leite no Rio Grande do Sul. Indicadores Econômicos Fee, Porto Alegre, v. 26, n. 4, p. 232-246, 1999.

BASSANEZI, R. C. **A modelagem como estratégia de ensino-aprendizagem**. Campinas: Unicamp, 1990.

_____. Modeling as a teaching-learning strategy. **For the Learning of Mathematics**, v.14, pp.31-35, 1994.

BERRY, J. S. et al. (eds) (1984) **Teaching and Applying Mathematical Modelling**. John Wiley & Sons, New York.

BERRY, John; O'SHEA, Tim. **Assessing Mathematical Modelling**. In: International Journal of Mathematical Education Science and Tecnology. V13, n6, 1982. p. 06.

BIEMBENGUT, Maria Salett. **Qualidade de Ensino de Matemática na Engenharia: uma proposta metodológica e curricular**. Florianópolis: UFESC, 1997. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas.

CAVALCANTE, Cristiano Alexandre Virgínio; ALMEIDA, Adiel Teixeira de. Modelo multicritério de apoio à decisão para o planejamento de manutenção preventiva utilizando

CHECKLAND, p. **Systems thinking, systems practice**. Chinchester: John Wiley & Sons, 1989. 330 p.

D'AMBRÓSIO, Ubiratan. **Da realidade à ação: reflexão sobre educação e matemática.** Campinas:

Summus/Unicamp, 1986.

DENT, J. B.; BLACKIE, M. J. **Systems simulation in agriculture.** London: Applied Science Publishers, 1979. 180 p.

DOSI, G.; EGIDI, M. **Substantive and procedural uncertainty: Na exploration of economic behaviours in changing environments.** *Evolutionary Economics*, v1, p. 145-168, 1992.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, Disponível em:

http://www.embrapa.br/linhas_ação/alimentos/produção_animal/ Acesso em 16/01/08.

FARRELL, R. A.; PEARSON, C. J.; CAMPBELL, L. C. Relational databases for the design and construction of maintainable decision support systems in agriculture. **Agricultural Systems**, Barking, v. 38, p. 411- 423, 1992.

HORNGREN, C. T.; FOSTER, G.; DATAR, S. M. **Contabilidade de custos.** 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 286 p.

KAPUR, J. N. **The Art of Teaching, the of Mathematical.** In: I. J. M. G. S. T., n12, 1982.

KINALSKI, Nivia Maria ; BERTO, Jorge Luiz ; SILVA NETO, B. . Planejamento de um sistema de produção leiteira a partir da modelagem matemática.. In: VIII Jornada de Pesquisa da UNIJUÍ, 2003, Ijuí. VIII Jornada de Pesquisa da UNIJUÍ. Ijuí : UNIJUÍ, 2003. p. 406-407.

KINALSKI, Nivea M ; BERTO, Jorge Luiz ; SILVA NETO, B. . Modelagem da produção de vacas leiteiras com utilização de pastagem e silagem de milho. *Tema*, São José do Rio Preto, v. 6, n. 2, p. 249-259, 2005.

MODELLING MTHEMATICAL . Disponível em <
<http://www.eequalsmcsquared.auckland.ac.nz/sites/emc2/tl/math-physics/math-modelling.cfm>
 >. Acesso em: 15 out. 2006.

MATHEMATICAL MODEL. Disponível em:
 <http://en.wikipedia.org/wiki/Mathematical_model>. Acesso em 07 set 2006.

MODELS MATHEMATICAL Disponível
 em:<<http://www.indiana.edu/~hmathmod/modelmodel.html> > Acesso em 16 out 2006.

MODELLING MATHEMATICAL. Disponível em: < <http://www.red-scientific.co.uk/mathematical-modelling>> Acesso em 20 out 2006.

PORTELA, J. N. ; VIÉGAS, J. ; NEUMANN, P. S. ; SILVA NETO, B. ; LAURENTINO, L. D. . Análise econômica de sistemas de produção com bovinocultura de leite da depressão central do Rio Grande do Sul. Ciência Rural, Santa Maria - RS, v. 32, n. 5, p. 855-861, 2002.

PRADO, Darci. **Programação Linear**. Belo Horizonte: DG, 1999. 9-15 p.

PUCCINI, Abelardo de L.; PIZZOLATO, Nelio D. Programação Linear. Rio de Janeiro, São Paulo; São Paulo: LTC, 1987.

RETZLAFF, Eliani. **Modelagem Matemática da Incerteza em Sistemas de Produção Agropecuária com Bovinocultura de Leite**. 2000. 98 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí 2000.

SILVA NETO, Benedito; OLIVEIRA, Angélica de; UNIJUI. Biblioteca Universitária. **A Programação Matemática na Análise de Sistemas de Produção Agropecuária**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2006. 44p. (Coleção cadernos Unijuí. Série 3: Agricultura e Desenvolvimento, Parte I)

SILVA NETO, Benedito; OLIVEIRA, Angélica de; INIJUI. Biblioteca Universitária. **A Programação Matemática na Análise de Sistemas de Produção Agropecuária**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2006. 60p. (Coleção cadernos Unijuí. Série 4: Agricultura e Desenvolvimento, Parte II)

SILVA NETO, B. ; SCHNEIDER, Mariane . Modelo de simulação de sistema de pastejo rotativo e contínuo de azevém (*Lolium multiflorum* LAM.) na bovinocultura. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1272-1277, 2006.

SILVA NETO, Benedito; OLIVEIRA, Angélica de. *A Programação Matemática na Análise de Sistemas de Produção Agropecuária, Parte I*. Ed. UNIJUÍ – Ijuí, 2007.

SILVA NETO, B. ; BASSO, David . A Produção de leite como estratégia de desenvolvimento para o Rio Grande do Sul.. *Desenvolvimento Em Questão*, Ijuí, v. 5, p. 53-72, 2005.

SILVA NETO, B. ; BASSO, David . MILK PRODUCTION AND RURAL DEVELOPMENT. In: VI International PENSA Conference Sustainable Agri-food and Bioenergy Chains/Networks Economics and Management, 2007, Ribeirão Preto. Proceedings of the 6th PENSA Conference: sustainable agri-food and bioenergy chains/networks economics and management, 2007.

SILVA NETO, B. . ESTUDO DAS POSSIBILIDADES TECNICO-ECONOMICAS DA PRODUCAO DE LEITE EM PEQUENAS E MEDIAS PROPRIEDADES DO MUNICIPIO DE IJUI. In: II ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE SISTEMAS DE PRODUCAO, 1995, LONDRINA, PR, BRASIL. Anais do II Encontro da Sociedade Brasileira de Sistemas de Produção. Londrina : Instituto Agrônômico do Paraná, 1995. v. 1. p. 102-112.

SILVA NETO, Benedito; PRESTES DE LIMA, Arlindo Jesus; BASSO, David. **Desenvolvimento em Questão**. Ed. Unijuí, ano 1, n. 2, p. 123-149, jul./dez. 2003.

SIMON, H. A. **Theories of decision- making in economics and behavioral science**. *The American Economic Review*, v.49, n. 3, p. 253-283, Jun, 1959.

_____ **Comportamento Administrativo**, 1. ed. Em português, FGV, Rio de Janeiro: 1965.

_____ **Bounded Rationality in Social Science: Today and Tomorrow.** *Mind & Society*, (1): p. 25-39, 2000.

STERNBERG, R. J. **Psicología cognitiva.** Porto Alegre: Artes Médicas, 2000.

TABLAS DE DECISIÓN BAJO INCERTIDUMBRE Disponível em:
<<http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0191-03/incertidumbre.htm>> Acesso em: 19 dez. 2006.

www.cnpgl.embrapa.br/jornaleite.php?id=374. EMBRAPA, visitado em 03/12/2007 às 17:20.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)