

DOUGLAS FAORO

**MODELO DE PROGRAMAÇÃO MULTIOBJETIVO DE UM SISTEMA DE
PRODUÇÃO LEITEIRA – CONSIDERANDO OBJETIVOS DE
SUSTENTABILIDADE**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

IJUÍ, RS, BRASIL

2009

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

DOUGLAS FAORO

**MODELO DE PROGRAMAÇÃO MULTIOBJETIVO DE UM SISTEMA DE
PRODUÇÃO LEITEIRA – CONSIDERANDO OBJETIVOS DE
SUSTENTABILIDADE**

DOUGLAS FAORO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Modelagem Matemática, da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ), como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Modelagem Matemática.

IJUÍ, AGOSTO – 2009

UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

DeFEM – DEPARTAMENTO DE FÍSICA, ESTATÍSTICA E MATEMÁTICA

DeTEC – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM MATEMÁTICA

A comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação

**MODELO DE PROGRAMAÇÃO MULTIOBJETIVO DE UM SISTEMA DE
PRODUÇÃO LEITEIRA – CONSIDERANDO OBJETIVOS DE
SUSTENTABILIDADE**

Elaborada por

DOUGLAS FAORO

Como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Modelagem Matemática

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Jorge Luiz Berto (Orientador/DEAg)

Prof. Dr. Gustavo Martins da Silva (EMBRAPA/Bagé/RS)

Prof. Dr. Paulo Sérgio Sausen (DeTEC)

Ijuí, Agosto de 2009.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado o dom da vida e da inteligência, fazendo-se presente em todos os momentos, sejam eles bons ou ruins.

A toda minha família, que soube me entender nos momentos difíceis por quais passei, principalmente a minha esposa Daniela, meus filhos Millena e Lucas que souberam entender quando de minha ausência e momentos de estresse, e pela força e motivação que sempre me deram não deixando que meu ânimo caísse, meu muito obrigado. Ao restante da família que de algum momento prestaram auxílio, obrigado.

Ao Professor Dr. Jorge Luiz Berto por todos seus ensinamentos e dedicação. Agradeço pela confiança e paciência, muito obrigado.

Ao professor Alcione Rafael Pavan pelo apoio técnico prestado.

A SETREM (Sociedade Educacional Três de Maio) pelo apoio e incentivo prestado.

A UNIJUÍ, pelo oferecimento do curso e qualificação do mesmo e pela oportunidade, obrigado.

MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE TABELAS.....	8
LISTA DE QUADROS.....	10
LISTA DE ACRÔNIMOS	11
RESUMO.....	15
ABSTRACT	16
INTRODUÇÃO	17
I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
1.1 SUSTENTABILIDADE NA AGRICULTURA	19
1.2 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE NA AGRICULTURA	22
1.2.1 Sistema de Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária (Sistema Ambitec)	24
1.2.2 APOIA-NovoRural	25
1.2.3 IDEA	28
1.2.4 Síntese	30
1.3 MODELOS DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA MULTIOBJETIVO.....	31
1.3.1 Método de otimização hierárquico (Hierarchical optimization method).....	33
1.3.2 Método ϵ -restrito, (método de negociação) (Trade-Off Method).....	34
1.3.3 Método da ponderação dos objetivos (Weighting objectives method) ou Soma Ponderada	35
II – MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
2.1. DESCRIÇÃO DA UNIDADE DE PRODUÇÃO E DOS OBJETIVOS A SEREM OTIMIZADOS	37
2.2 FORMALIZAÇÃO MATEMÁTICA DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE.....	39
2.3. DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA DO MODELO	39

2.4. PRINCIPAIS RESTRIÇÕES ESTRUTURADAS NO MODELO	44
III – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
3.1. CENÁRIO 1 - DESEMPENHO DO SISTEMA QUANDO A SOLUÇÃO SÓ CONSIDERA A OTIMIZAÇÃO DA RENDA.....	49
3.2. CENÁRIO 2 - ATRIBUINDO PESO DIFERENTES DE ZERO PARA FUNÇÕES QUE PROCURAM INCORPORAR ASPECTOS RELATIVOS A SUSTENTABILIDADE	52
3.3. CENÁRIO 3 - MANTENDO OS MESMOS PESOS QUE A SIMULAÇÃO 1 DO CENÁRIO 2, PORÉM LIMITANDO A QUANTIDADE DE ANIMAIS EM 42	54
3.4. CENÁRIO 4 - LIBERANDO ÁREA DE INVERNO PARA TIFTON E QUANTIDADE DE ANIMAIS LIMITADA EM 42	57
3.5. CENÁRIO 5 - MANTIDO CENÁRIO 4 PORÉM MUDADO A RESPOSTA AO NITROGÊNIO DA PASTAGEM DE TIFTON.....	58
3.6. CENÁRIO 6 - MUDANDO A FUNÇÃO DOS GASES	60
CONCLUSÃO.....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXO A-MODELO DE PROGRAMAÇÃO NÃO LINEAR	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Estrutura de Impactos Ambientais do Segmento Agropecuária - Aspectos, Indicadores e Componentes, Ambitec - Agro.	25
---	-----------

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Os indicadores da escala de sustentabilidade agroecológica	29
Tabela 2.1. Condição inicial do arquétipo das unidades de produção com atividade leiteira em pequena escala sem tração mecânica presentes no município de Jóia – RS segundo Schwerz, 2006.....	38
Tabela 2.2. Concentração de energia metabólica (Kcal/kg de matéria seca) estimada a partir da digestibilidade da forragem.....	46
Tabela 2.3. Valores de energia metabólica (EM) e proteína bruta (PB) nos alimentos concentrados	46
Tabela 2.4. Coeficientes da equação linear que estima a concentração de proteína bruta (PB%) na matéria seca das pastagens ingeridas pelos animais a partir da variável independente dose de N.....	46
Tabela 2.5. Valores de intercepto e coeficiente angular para a produção de matéria seca das pastagens a partir da variável independente dose de nitrogênio aplicado como fertilizante.....	47
Tabela 2.6. Valores correspondentes as exigências nutricionais dos animais.....	48
Tabela 2.7. Valores dos custos com insumos utilizados nas pastagens e de alguns custos de insumos utilizados pelos animais, exceto de alimentos.....	48
Tabela 2.8. Preço médio pago ao leite para os produtores empregados no modelo	48
Tabela 3.1. Desempenho do sistema quando a solução só considera a otimização da renda	50
Tabela 3.2. Atribuindo peso diferentes de zero para funções que procuram incorporar aspectos relativos a sustentabilidade	52
Tabela 3.3. Mantendo os mesmos pesos porém limitando a quantidade de animais em	55

Tabela 3.4. Liberando área de Tifton para o inverno e quantidade de animais limitada em 42	57
Tabela 3.5. Mantido cenário 4 porém mudado o coeficiente e intercepto do tifton	58
Tabela 3.6. Mudando a formulação dos gases	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 - Dimensões e indicadores de impacto ambiental do Sistema APOIA-NovoRural e unidades de medida utilizadas para caracterização em levantamentos de campo e laboratório.....	26
Quadro 1.2 - Componentes da sustentabilidade dos Sistemas Agrícolas no método IDEA.	28

LISTA DE ACRÔNIMOS

AIA - Avaliação de Impacto Ambiental;

AGV - ácidos graxos voláteis;

APOIA-Novo Rural - Avaliação Ponderada de Impacto Ambiental de Atividades do Novo Rural;

AREAARREND – Área arrendada (ha);

AREAINVERNO – Área de pasto no inverno (ha);

AREAPAST – Área de pastagem (ha);

AREAPASTMES – Área de pasto no mês (ha);

AREATOTPAST – Área total de pasto (ha);

AREAVERAO – Área de pasto no verão (ha);

AVAZARREND – Aveia/azevém arrendado (ha);

AVAZCOMUM – Aveia/azevém comum;

AVAZLONGO – Aveia/azevém ciclo longo;

AZLONGO – Azevém ciclo longo;

CH₄ - metano;

CH₂ - gás carbônico;

CI – Consumo intermediário;

COEFAR - Coeficiente angular de rendimento do N;

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente;

CONJUNTOAREAPASTO – Conjunto de área de pasto;

CUSTOCONCENTRADO – Custo do concentrado consumido (R\$);

CUSTOFARLOSOJA – Custo do farelo de soja consumido (R\$);

CUSTOMILHO – Custo do milho consumido (R\$);

CUSTOPASTOS – Custo do pasto ingerido (R\$);

CUSTOSILAGEM – Custo da silagem ingerida (R\$);
 CUSTOSPAST – Custo total do pasto ingerido(R\$);
 CUSTOVARIPAST – Custo variável do pasto ingerido (R\$);
 DIASNOMES – Número de dias no mês (d);
 DIGPASTMES – Digestibilidade do pasto no mês;
 DISPMESPASTI – Disponibilidade do pasto de inverno (kg/ha);
 DISPOMESPASTV – Disponibilidade do pasto de verão (kg/ha);
 DISPOPASTMES – Disponibilidade do pasto no mês (kg/ha);
 EMF (Fator de emissão de metano);
 ENCONCENTRADO – Energia metabolizável do concentrado (Mcal/kg);
 ENGESTMED – Energia média necessária para a gestação (Mcal/kg);
 ENINGFARSOJAVLDIA – Energia ingerida do farelo de soja por vaca leiteira ao dia (Mcal/kg);
 ENMEDGERALINGPASTMES – Energia média geral ingerida do pasto no mês (Mcal/kg)
 ENMETLEITE – Energia necessária para produção de um litro de leite (Mcal/L);
 ENMETLEITENL – Energia metabolizável do leite produzido não linear (Mcal/L);
 ENMETMANT – Energia metabolizável necessária para manutenção da vaca (Mcal/d);
 ENMILHO - Energia metabolizável do grão do milho (Mcal/kg);
 ENPASTMESING – Energia do pasto ingerido no mês (Mcal/kg);
 ENSILAGEM – Energia metabolizável da silagem (Mcal/kg);
 FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura;
 IDEA - Indicador de Durabilidade de Propriedades Agrícolas;
 INCRA - Instituto de Colonização e Reforma Agrária;
 IPCC - *Intergovernmental Panel ou Climate change*;
 INGCONMES- Ingestão de concentrado no mês (kg);
 INGCONVLDIA – Ingestão de concentrado por vaca leiteira por dia (kg/d/VL);
 ING FARSOJA – Ingestão de farelo de soja (kg);
 ING FARSOJAVLDIA – Ingestão de farelo de soja por vaca leiteira por dia (kg/dia/VL);
 INGMAX – Ingestão máxima média (kg);
 INGMILHO – Ingestão de milho (kg);
 INGMILHOVLDIA – Ingestão de milho por vaca leiteira por dia (kg/d/VL);
 INGPASTTOTMES – Ingestão de pasto total no mês (kg);

INGPASTVLDIAMES – Ingestão de pasto por vaca leiteira dia/mês;
 INGRELDISP – Ingestão relativa disponível de pastagem (kg);
 INGRLMEDGERALPAST – Ingestão relativa média geral de pasto (kg);
 INGSILAGTOTLMES – Ingestão total de silagem no mês (kg);
 INGSILAVLDIA – Ingestão de silagem por vaca leiteira por dia (kg);
 INTERCR – Intercepto de rendimento
 J – Juros (R\$);
 MS – Matéria Seca;
 MCF - fator conversão de metano;
 N – Nitrogênio (kg);
 NCUST – Custo do nitrogênio (R\$);
 NIVSBCON – Nível de substituição do concentrado;
 NIVSBSIL – Nível de substituição da silagem;
 NMAX – Nitrogênio máximo;
 NVL – Número de vaca leiteira;
 PASTOFERTADO – Pasto ofertado (kg);
 PASTOFERTADOMES - Pasto ofertado no mês (kg);
 PB –Produção bruta (kg/kg/MS);
 PBCICLO – Proteína bruta do ciclo (kg);
 PBGESTMED – Proteína bruta média para vaca em gestação;
 PBINGFARSOJAVLDIA – Proteína bruta ingerida de farelo de soja por vaca leiteira por dia (kg/d);
 PBLEITE – Proteína bruta para produção de um litro de leite (kg/L);
 PBMANT – Proteína bruta necessária para manutenção da vaca (kg/d);
 PBEDIAGERALINGPASTMES – Proteína bruta média geral ingerida de pasto no mês (kg);
 PBMILHO – Proteína bruta do grão de milho (kg);
 PBPASTMESING – Proteína do pasto ingerido no mês (kg);
 PBSILAGEM – Proteína bruta da silagem (kg/kg de MS);
 POLEITEVLMES – Potencial de leite produzido por vaca leiteira no mês (L/mês);
 PRECOLEITE – Preço do litro de leite (R\$/L);
 PRODLEITEPOTLINEAR - Produção de leite potencial linear;
 PRODTOTALLEITEMES – Produção total de leite no mês (L/mês);

PRODTOTALLEITEVLMES – Produção total de leite por vaca leiteira no mês(L/mês);

PROLEITEPOTNL – Produção de leite por vaca leiteira mensal não linear (L/mês);

PROPORFOL – Proporção de folha da pastagem (kg);

PUP – Proporção de uso da pastagem (kg);

PV – Peso vivo (kg);

RA – Renda do agricultor (R\$);

RANUALPAST – Renda anual da pastagem (R\$);

RBLEITE – Renda bruta do leite (R\$);

RBLEITEMES – Renda bruta do leite no mês (R\$);

RENDPASTTMES – Rendimento das pastagens no mês (R\$);

RESIDUO – Resíduo da pastagem (kg);

S – Salários (R\$);

SAU – Superfície agrícola útil (ha);

SAUTI – Superfície agrícola útil de inverno (ha);

SAUTV – Superfície agrícola útil de verão (ha);

TXACUM – Taxa de acúmulo da pastagem ;

UdP – Unidade de produção;

UTf – Unidade de trabalho familiar;

VA – Valor agregado (R\$);

VAB – Valor agregado bruto (R\$);

C.V. – Coeficiente de Variação;

U.A. – Unidade de área;

VL – Vaca leiteira;

RESUMO

Atualmente o tema sustentabilidade dos processos produtivos tem ganhado espaço de destaque na sociedade. Esse assunto tem estimulado importantes debates nas áreas que envolvem a produção agropecuária e vem desafiando os pesquisadores a abordarem essa temática em diferentes níveis. A presente dissertação procurou incorporar alguns aspectos do debate em um modelo de programação matemática não linear de um arquétipo de sistema agropecuária com produção leiteira do município de Jóia (RS). O programa matemático desenvolvido é multiobjetivo e dentre as funções encontram-se o desempenho econômico, o custo produtivo, a produção de gases de efeito estufa e a perda de solos por processos erosivos. A partir das informações sobre sua estrutura e funcionamento do arquétipo estabeleceram-se um conjunto de alternativas factíveis para que fosse possível aumentar a sustentabilidade do sistema. Essas alternativas consideraram o aumento da atividade leiteira, o emprego de maiores níveis de adubação, alimentação concentrada e suplementos volumosos, além da possibilidade de escolha de diferentes pastagens. O método eleito para considerar os multiobjetivos foi o de ponderação dos objetivos (*Weighting Objectives Method*). As simulações foram realizadas com programa LINGO 10. Os resultados indicaram que ao se considerar os aspectos de sustentabilidade, houve efeito sobre as escolhas indicadas pelo modelo, ainda mais evidentes quando se impôs limites no aumento do número de animais que poderiam compor o sistema. De uma situação inicial de uso intensivo de alimentos concentrados, suplemento volumoso e adubação, quando se considerou apenas a renda como objetivo, o modelo passou a considerar fortemente o uso de pastagens permanentes, com menor emprego de alimentos conservados e menores níveis de uso de adubação nas pastagens. Dessa forma, evidenciou-se que a consideração de multiobjetivos pode determinar alterações significativas na combinação dos fatores de produção em sistema de produção leiteira.

Palavras chave: Modelagem Matemática, modelos multicritérios, sustentabilidade.

ABSTRACT

Currently the subject about the sustainability of production processes has gained prominence in the society area. This subject has stimulated important debates in the areas surrounding the agricultural production and is challenging researchers to address this topic in different levels. This dissertation sought to incorporate some aspects of the debate in a mathematical programming model of a nonlinear system archetype of dairy farming with the city of Jewelry (RS). The mathematical program is developed and among the multi-objective functions are economic performance, the cost of production, the production of greenhouse gases and loss of soil by erosion. From the information on its structure and operation we established a set of feasible alternatives to it be possible to increase the income system. These alternatives consider the increase in dairy, the use of higher levels of fertilization, concentrated food and large supplements, beyond the choice of different pastures. The method chosen to consider the multiobjective was to weighting the objectives (Weighting objectives method). The simulations were performed with LINGO 10 program. The results indicated that when we considering the other sustainability aspects there was effect about the choices indicated by the model, these were even more evident when it imposed limits on increasing the number of animals that could compose the system. From a intensive situation use of concentrates feed and large supplement, elevation use of fertilizer when we considering only the income as a goal the model has strongly consider the use of permanent pasture, with less use of preserved foods and low use of fertilizer in pastures. Thus, it showed that the consideration of multiobjective can determine significant changes in the factors production combination in dairy production system.

Keywords: Mathematical Modeling, multi-models, sustainability

INTRODUÇÃO

O crescimento da atividade leiteira nos sistemas de produção agrícolas da Região Noroeste do Rio Grande do Sul decorre em parte das alterações do cenário da produção de grãos que passa a ocorrer a partir dos anos oitenta. Com o passar dos tempos a produção de grãos nas unidades de produção familiares vem perdendo força devido às elevações dos custos de produção e principalmente à queda dos preços dos grãos, além das incertezas do comportamento do mercado e das incertezas climáticas. Essa situação passou a tornar a atividade leiteira atrativa, apesar de demandar maior quantidade de trabalho. O principal elemento é a possibilidade de agregar maior renda por unidade de área nas unidades de produção familiar.

Essa evolução auxiliou o estado do RS a se tornar o terceiro maior produtor de leite do Brasil, só perdendo para o estado de Minas Gerais e Goiás, o que mostra que os produtores gaúchos estão de fato encontrando estratégias para aumentar sua produção e também a qualidade do leite produzido.

A atividade leiteira, além de fornecer alimentos de alta qualidade nutricional, tornou-se um importante elemento social na medida em que tem contribuído para evitar a evasão rural de importante fração de agricultores familiares. Outro fenômeno recente é o surgimento de unidades produtivas cada vez mais especializadas na produção de leite.

Mesmo na atividade leiteira vem ocorrendo a redução do número de produtores e a pressão para isso tem aumentado nos últimos anos. Isso decorre das novas exigências de quantidade e qualidade do leite a ser entregue e da perda de poder de troca do leite, principalmente determinado pela redução dos preços pagos pela indústria.

Além das diferentes possibilidades técnicas que têm sido desenvolvidas, há uma diversidade importante de formas e condições de produção do leite nas diferentes regiões e unidades de produção. Essa diferença se deve a fatores ambientais, sociais, econômicos e culturais, por isso, não há uma forma universal que garanta resultados econômicos ótimos.

Existem recursos tecnológicos que podem responder de forma mais adequada aos condicionantes estabelecidos. Isso remete à necessidade de conhecer as condições de produção para que se possa avaliar o conjunto de tecnologias que poderiam ser recomendadas aos diferentes sistemas produtivos. Contudo, há que se desenvolver ferramentas que possam auxiliar na escolha das combinações e modos de produção que podem ser propostos. Isso se torna mais importante quando se passa a considerar mais de um objetivo, e não somente o aumento da renda. No cenário atual, onde se tem discutido sobre a sustentabilidade dos processos produtivos, a elaboração de modelos que possam auxiliar nas decisões torna-se imprescindível para sistematizar as informações e os modelos conceituais e simular as diferentes possibilidades, ou, então, indicar as escolhas em distintos cenários e possibilidades.

O desafio posto para essa dissertação foi o de elaborar um modelo de programação matemático não linear multiobjetivo para auxiliar na escolha de combinações de alternativas tecnológicas que possam aumentar a sustentabilidade de um sistema produtivo familiar com atividade leiteira.

I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 SUSTENTABILIDADE NA AGRICULTURA

As grandes discussões sobre agricultura sustentável iniciaram por volta da década de 20 na Europa e nos Estados Unidos envolvendo movimentos filiados ao que se passou a denominar de agricultura alternativa. Estes movimentos surgiram a partir da crítica aos grandes problemas que a agricultura convencional apresentava, dentre esses se destacavam-se os problemas energéticos, econômicos, ambientais e sociais. Segundo Ehlers (1999), ao longo da evolução dos debates se podem caracterizar quatro vertentes de pensamento na agricultura alternativa: Biodinâmica, Orgânica, Biológica e Natural. Um dos elementos que permite diferenciar cada uma dessas correntes é basicamente o foco de preocupação que cada um tem frente ao meio ambiente e ao grau de intervenção do homem. Todas essas correntes têm em comum o objetivo de desenvolver uma agricultura socialmente justa, equilibrada e economicamente viável. Para se atingir esse objetivo se opunham ao uso de agroquímicos e orientam para o emprego de adubações orgânicas, o entendimento das complexas relações biológicas e o uso dessas relações para estabelecer certos patamares de equilíbrio que permitam a produção, como os controles biológicos, rotação de culturas, dentre outras.

O debate sobre os problemas do desenvolvimento sustentável não se restringem à agricultura, constitui-se num amplo debate sobre os riscos dos processos adotados pela humanidade. Esse debate passa a estabelecer as noções de sustentabilidade do processo de desenvolvimento. Na literatura foram sendo registrados vários conceitos de sustentabilidade. Oficialmente o conceito de sustentabilidade foi usado pela primeira vez em 1979, em uma reunião na Assembleia Geral das Nações Unidas. Após intensos debates, a primeira ministra da Noruega Gro Brundland, em 1987 publica o documento Nosso Futuro Comum, onde ficou definido o conceito clássico de desenvolvimento sustentável: ...“é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”.... Outros conceitos de sustentabilidade foram desenvolvidos por vários autores (EHLERS, 1999:103, MOREIRA, 1999:196, ROMEIRO, 1998:248.).

Segundo Gomes (2004) a sustentabilidade pode ser dividida em dois grupos: social e ambiental. A sustentabilidade ambiental estaria ligada com o pensamento tradicional, a

preservação, ou aprimoramento da base de recursos, principalmente para as gerações futuras, sendo o desafio reduzir a insustentabilidade do estilo de vida. Sustentabilidade social se refere não somente ao que o ser humano pode ganhar, mas a maneira como pode ser mantida decentemente sua qualidade de vida.

Na agricultura a sustentabilidade, sob o ponto de vista agroecológico (CAPORAL; COSTABEBER, 2004), é aquela que, tendo como base uma compreensão holística dos agroecossistemas, seja capaz de atender, de maneira integrada, aos seguintes critérios: a) baixa dependência de insumos comerciais; b) uso de recursos renováveis localmente acessíveis; c) utilização dos impactos benéficos ou benignos do meio local; d) aceitação e/ou tolerância as condições locais, antes que a dependência da intensa alteração ou tentativa de controle sobre o meio ambiente; e) manutenção a longo prazo da capacidade produtiva; f) preservação da diversidade biológica e cultural; g) utilização do conhecimento e da cultura da população local; e h) produção de mercadorias para consumo interno e para exportação.

Os objetivos a serem alcançados pela agricultura sustentável tem sido apontados como sendo (VEIGA, 1994:7):

- a manutenção por longo prazo dos recursos naturais e da produtividade agrícola;
- o mínimo de impactos adversos ao ambiente;
- retorno de informações ou sugestões adequadas aos produtores;
- otimização da produção com mínimo de insumos externos;
- satisfação das necessidades humanas de alimentos e renda;
- atendimento das necessidades sociais das famílias e das comunidades rurais.

Para atingir os objetivos do que se tem definido como agricultura sustentável seria necessário (GOMES, 2004:8; GLIESSMAN, 2000: 53/54):

- que os efeitos negativos sejam mínimos sobre o ambiente, sem liberar substâncias tóxicas ou nocivas na atmosfera, água superficial ou subterrânea;
- preservar e recompor a fertilidade, prevenir a erosão e manter a saúde ecológica do solo;
- usar água de maneira que permitisse a recarga dos depósitos aquíferos e satisfizer as necessidades hídricas do ambiente e das pessoas;
- depender, principalmente, de recursos de dentro do agroecossistemas, incluindo comunidades próximas, ao substituir insumos externos por ciclagem de nutrientes, melhor conservação e uma base ampliada de conhecimento ecológico;
- trabalhar para valorizar e conservar a diversidade biológica, tanto em paisagens silvestres quanto em paisagens domesticadas;
- garantir igualdade de acesso a práticas, conhecimento e tecnologias agrícolas adequados e possibilitar o controle local dos recursos agrícolas.

Para que se possa avançar na construção de uma agricultura sustentável a FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura) e o INCRA (Instituto de Colonização e Reforma Agrária) recomendam a implementação de uma política científica e tecnológica adequada aos desafios da sustentabilidade na agricultura especialmente em sistemas integrando agricultura e pecuária, em produtos tradicionais e nos produtos

dependentes de muita mão de obra. Ainda apontam a necessidade de reestruturações dos serviços de extensão rurais, a promoção da integração vertical agricultura-pecuária, o incentivo à rotação de culturas, à indução de práticas de controle integrado de pragas, maior utilização da adubação orgânica, conservação do solo, práticas culturais como cobertura verde, e principalmente desenvolver e apoiar a utilização de sistemas agro-florestais (FAO/INCRA, 1994:10-11).

Para a operacionalização de uma agricultura sustentável Haveria a necessidade de (LOPES, 1994:98):

- ✓ uma combinação de cultivos mais diversificada, não de monoculturas, mas de lavouras com pecuária e pastagens, com plantação de feno e gramíneas com leguminosas combinadas, como o cultivo de aveia e cevada;
- ✓ uma redução, em todos os países, principalmente nos países industrializados, dos subsídios das políticas públicas, hoje dirigidos a cultivos que têm impactos adversos ao meio ambiente, em benefício de cultivos que têm impacto benigno ao meio ambiente;
- ✓ um redirecionamento dos incentivos ao uso de insumos predatórios, pois se há externalidades ou efeitos colaterais no seu uso, estas devem ser corrigidas com tributação.

A partir dos desafios relacionados anteriormente e em especial da necessária diversificação dos processos produtivos e das produções, integração de atividades vegetais e animais e o trabalho em menor escala, a produção agrícola familiar pode ser vista como um grande potencial para o desenvolvimento da agricultura sustentável (CARMO, 1998:231).

Considerando que os caminhos apontados para uma agricultura sustentável indicam o aumento da complexidade dos sistemas produtivos, torna-se fundamental o desenvolvimento de mecanismos que possibilitem verificar os impactos atuais dos sistemas e das proposições que estão em curso, ou aquelas que estão sendo formuladas frente aos multiobjetivos da sustentabilidade. Isso nos coloca o desafio de elaborar modelos que integrem certo grau da complexidade dos sistemas agrícolas associados ao desenvolvimento de parâmetros e indicadores que expressem o sentido ou grau de sustentabilidade que se encontram os sistemas e que as proposições permitem alcançar.

Os parâmetros podem ser entendidos como aspectos estruturadores do conjunto da vida social e da natureza e os indicadores evidenciadores da capacidade de sobrevivência e reprodução do pequeno produtor rural nas comunidades estudadas (MARZALL, 1999). Como exemplo poderíamos citar o financiamento agrícola, que seria o parâmetro, e o acesso dos produtores a esse financiamento o indicador.

Entretanto a existência de parâmetro ou indicador em um sistema não pode ser considerada fator suficiente para defini-lo como sustentável ou não sustentável, fazendo-se necessário observá-lo em contexto mais abrangente, qualificando sua relevância e suas

interações, sendo necessário conhecer o conjunto de elementos do objeto estudado. Nesse nível é que a modelagem matemática pode contribuir de maneira definitiva para a compreensão e tomada de decisão frente as escolhas possíveis e o grau de inteligibilidade da situação.

1.2 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE NA AGRICULTURA

De acordo com Deponti, Eckert e Azambuja (2002), o termo indicador origina-se do latim “indicare”, verbo que significa apontar. Na língua portuguesa o termo indicador está relacionado com “indica, revela, sugere, propõe, aconselha” dentre outros. Atualmente o termo tem sido usado para informações que possam sugerir o estado atual e o sentido de um sistema. Poderia se afirmar que seria uma medida carregada de significação. Nesse sentido, há que se dizer que o indicador depende da compreensão que temos de determinado sistema e dos aspectos que se pretende observar. Dessa forma, os indicadores são dependentes do contexto e emergirão e sucumbirão com a compreensão que se tem desse contexto. Além disso, há que se considerar os aspectos práticos do uso dos indicadores, ou seja, a facilidade de gerar a informação e interpreta-las. Isso poderia explicar em parte as inúmeras propostas de indicadores.

Marzal (2000) considerou que o desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade está ainda em seu início. Alertou sobre a necessidade de se entender a sustentabilidade e como caracterizá-la. E sugeriu que as propostas de indicadores devem ainda ser testadas, corrigidas e adaptadas a novas realidades. Paralelamente, há a necessidade de estudos da realidade em si, buscando entender as interações que ocorrem nos diferentes sistemas, com e sem a intervenção humana, determinando também os aspectos efetivamente relevantes para a avaliação e monitoramento da sustentabilidade, permitindo a construção de conjuntos eficazes de indicadores. E alerta sobre o fato que os indicadores seriam componentes, em última análise, de modelos interpretativos da realidade social ou visões de mundo.

De qualquer forma, um indicador para ser aceito deveria conter algumas características como (DEPONTI; ECKERT; AZAMBUJA, 2002):

- ser significativo para a avaliação do sistema;
- ter validade, objetividade e consistência;
- ter coerência e ser sensível a mudanças no tempo e no sistema;
- ser centrado em aspectos práticos e claros, fácil de entender e que contribua para a participação da população local no processo de mensuração;
- permitir enfoque integrador, ou seja, fornecer informações condensadas sobre aspectos do sistema;

- ser de fácil mensuração, baseado em informações facilmente disponíveis e de baixo custo;
- permitir ampla participação dos atores envolvidos na sua definição;
- permitir a relação com outros indicadores, facilitando a interação entre eles.

Para que a escolha dos indicadores sejam coerentes com os propósitos da avaliação é necessário que se tenha clareza sobre alguns pontos importantes: - O que avaliar? – Por que avaliar? De que elementos constam a avaliação? – De que maneira serão expostos, integrados e aplicados os resultados da avaliação para o melhoramento do perfil dos sistemas analisados? (DEPONTI; ECKERT; AZAMBUJA, 2002).

De acordo com as respostas das perguntas anteriores é que vai se definir o tipo de indicador recomendado para o monitoramento do sistema proposto. Mas a formulação das próprias questões requer que se elabore previamente um modelo interpretativo do sistema ao qual se quer inferir seu sentido. Por isso, qualquer avanço sobre essa discussão requer a definição e contextualização do objeto, ou melhor, o modelo de apreensão do sistema ao qual se deseja avaliar. Nesse trabalho o sistema que se quer avaliar é a unidade de produção agropecuária, ou melhor, o seu grau de sustentabilidade.

No que se refere à sustentabilidade de um agroecossistema, Nolasco (1999), apoiado em Jesus (2003), diz que indicadores básicos podem ser considerados: produtividade, estabilidade, conservação da água, capacidade do sistema resistir a pragas e doenças, ciclagem do carbono, diversidade cultural, recursos externos e capacidade de produzir receita.

Para Altieri (2000), a sustentabilidade de sistemas camponeses deveria considerar a manutenção da capacidade produtiva do agroecossistema, conservação dos recursos naturais e da biodiversidade, o fortalecimento das organizações sociais para, assim, diminuir pobreza e elevar a qualidade de vida, aumentando a organização das comunidades locais, preservando suas tradições, costumes e garantindo participação no processo de desenvolvimento.

Os indicadores devem assumir uma série de características para que cumpram de maneira efetiva a função a que foram propostos. Devem fornecer informações importantes e significativas para a avaliação de um sistema e ao mesmo tempo devem ser sensíveis as mudanças de tempo e espaço que podem ocorrer. Estes devem ser aplicados em amplos sistemas, para que se possam fazer comparações, análise de maneira integrada com outros indicadores, possibilitando uma visão mais complexa do sistema. Dentro do possível esses indicadores devem ser objetivos, claros e centrados realmente no atributo sustentabilidade que se quer avaliar.

A seguir seguem algumas proposições sobre indicadores de sustentabilidade em agroecossistemas.

1.2.1 Sistema de Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária (Sistema Ambitec)

Oficialmente a definição de impacto ambiental está descrita na resolução do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), n. 1, de 23 de janeiro de 1986, conforme Diário Oficial da União, Brasília, 17 fev. 1986, como sendo qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente, afetam: I – a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II – as atividades sociais e econômicas; III – a biota; IV – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V – a qualidade dos recursos ambientais (MIRRA, 1998).

Considerando essa definição e a necessidade de medir o efeito de proposições técnicas sobre os sistemas de produção agropecuários a EMBRAPA Meio Ambiente desenvolveu um sistema de avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária denominado AMBITEC (RODRIGUES; CAMPANHOLA; KITAMURA, 2002; e IRIAS et al., 2004). O AMBITEC se propõe a avaliar os impactos ambientais de inovação tecnológica agropecuária, segundo os objetivos de desenvolvimento sustentável (IRIAS, et al., 2004).

O AMBITEC é composto de três etapas. A primeira etapa refere-se ao processo onde ocorre o levantamento e coleta de dados gerais sobre a tecnologia e sobre o agronegócio ao qual se aplica. A segunda etapa é onde se aplicam os questionários em forma de entrevistas individuais coletando informações sobre os indicadores de impacto, todos em plataforma Excel, obtendo-se os resultados quantitativos dos impactos, coeficientes, índices, entre outros. (a presente plataforma está disponível no endereço eletrônico <http://www.cnpma.embra.br/servicos>). A terceira etapa consiste na análise e interpretação destes índices, podendo ainda incluir novas proposições para que se consiga minimizar os impactos negativos e ao mesmo tempo potencializar os impactos positivos, contribuindo assim para o desenvolvimento sustentável (IRIAS, et al., 2004).

De maneira simplificada o AMBITEC se baseia numa matriz de aspectos que, partindo de um nível superior de agregação, dizem respeito à eficiência da tecnologia em relação aos agroquímicos, energia e recursos naturais, à conservação ambiental, incluindo os efeitos da tecnologia sobre a atmosfera, à capacidade produtiva do solo, à água e à biodiversidade e, por fim, em relação à recuperação ambiental. Cada um desses aspectos são fracionados (Figura 1.1) em indicadores aos quais se inferem valores a partir da situação inicial e de grandezas proporcionais de modificação determinada pela técnica, ponderadas por coeficientes de impacto e de escala espacial do efeito (RODRIGUES et al., 2002).

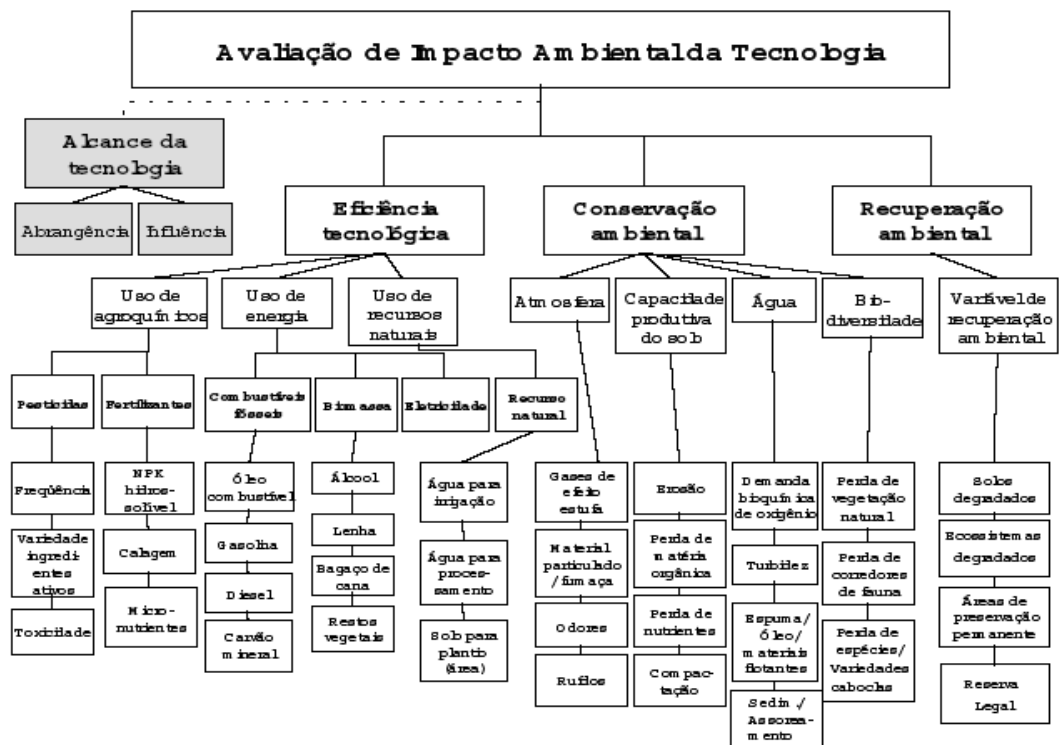


Figura 1.1 - Estrutura de Impactos Ambientais do Segmento Agropecuária - Aspectos, Indicadores e Componentes, Ambitec - Agro.

Fonte: Rodrigues; Campanhola; Kitamura, 2002.

O AMBITEC avalia parcialmente a sustentabilidade do sistema no que tange aos aspectos ambientais, desconsiderando os demais aspectos relativos à sustentabilidade, mesmo quando se considera um nível de agregação que poderia ser uma unidade de produção agropecuária. Alguns dos indicadores podem ser facilmente obtidos, como é o caso do uso de insumos, porém, há indicadores que exigiriam medições em escalas de tempo relativamente grandes, como seria o caso da perda de nutriente e matéria orgânica do solo, ou mesmo perda de biodiversidade. Contudo, poderia se usar modelos de balanços a partir de variáveis que pudessem inferir os efeitos sobre os indicadores usados. No caso da MO (matéria orgânica) do solo, poderia se considerar o nível de resíduo de matéria orgânica vegetal e animal depositada sobre o solo anualmente e a dinâmica de perda desse componente; sobre a perda de nutrientes, poderia se utilizar balanços para estimar esse indicador. Dessa forma, poderia se superar alguns dos limites para uma análise com modelos matemáticos.

1.2.2 APOIA-NovoRural

Conforme Rodrigues e Campanhola (2003) o sistema APOIA-Novo Rural (Avaliação Ponderada de Impacto Ambiental de Atividades do Novo Rural) é composto por um conjunto de matrizes formuladas de forma que os indicadores sejam valorizados, considerando cinco

dimensões: ecologia da paisagem, qualidade dos compartimentos ambientais, valores socioculturais, valores econômicos e gestão e administração.

O sistema é composto por 62 indicadores (Quadro 1.1), compostos a partir de uma revisão da AIA (Avaliação de Impacto Ambiental). A AIA é um instrumento fundamental de caráter preventivo da política do ambiente e como tal reconhecido inicialmente pela Lei de Bases do Ambiente, em vigor desde 1987, que foi concebida para tentar diminuir os problemas de impactos ambientais.

Grande parte das informações é colhida com os proprietários ou responsáveis pelas unidades de produção e são obtidas diretamente com auxílio de um questionário, outras são colhidas através de uma avaliação sensorial. O aplicador do questionário deve ser uma pessoa que tenha bastante clareza e objetivizar de modo a eliminar a subjetividade na coleta das informações.

Pode ser avaliada a qualidade da água no local que está sendo aplicado o questionário com o uso de um kit ou simplesmente levadas a laboratório para uma análise. As matrizes de avaliação são construídas e desenvolvidas no Excel de forma a gerar automaticamente os indicadores e seus atributos expressando de forma rápida e objetiva gráficos comparativos.

Quadro 1.1 - Dimensões e indicadores de impacto ambiental do Sistema APOIA-NovoRural e unidades de medida utilizadas para caracterização em levantamentos de campo e laboratório.

Dimensões e indicadores		Unidades de medida obtidas em campo e laboratório
Dimensão Ecologia da Paisagem		
1. Fisionomia e conservação dos habitats naturais	•	Porcentagem da área da propriedade
2. Diversidade e condições de manejo das áreas de produção	•	Porcentagem da área da propriedade
3. Diversidade e condições de manejo das atividades confinadas (agrícolas/não-agrícolas e de confinamento animal)	•	Porcentagem da renda da propriedade, excluídas atividades não confinadas
4. Cumprimento com requerimento da reserva legal	•	Porcentagem da área averbada como reserva legal na propriedade
5. Cumprimento com requerimento de áreas de preservação permanente	•	Porcentagem da área da propriedade
6. Corredores de fauna	•	Área (ha) e número de fragmentos
7. Diversidade da paisagem *	•	Índice de Shannon-Wiener (dado)
8. Diversidade produtiva *	•	Índice de Shannon-Wiener (dado)
9. Regeneração de áreas degradadas *	•	Porcentagem da área da propriedade
10. Incidência de focos de doenças endêmicas	•	Número de criadouros
11. Risco de extinção de espécies ameaçadas	•	Número de (sub)populações ameaçadas
12. Risco de incêndio	•	Porcentagem da área atingida pelo risco
13. Risco geotécnico	•	Número de áreas influenciadas
Dimensão Qualidade dos Compartimentos Ambientais		
Atmosfera		
14. Partículas em suspensão/fumaça	•	Porcentagem do tempo de ocorrência
15. Odores	•	Porcentagem do tempo de ocorrência
16. Ruídos	•	Porcentagem do tempo de ocorrência
17. Óxidos de carbono	•	Porcentagem do tempo de ocorrência
18. Óxidos de enxofre	•	Porcentagem do tempo de ocorrência
19. Óxidos de nitrogênio	•	Porcentagem do tempo de ocorrência
20. Hidrocarbonetos	•	Porcentagem do tempo de ocorrência
Água superficial		
21. Oxigênio dissolvido *	•	Porcentagem de saturação de O ₂
22. Coliformes fecais *	•	Número de colônias/100 ml
23. DBO ₅ *	•	Miligrama/litro de O ₂
24. pH *	•	pH

Continuação do quadro 1.2

25. Nitrato *	• Miligrama NO ₃ /litro
26. Fosfato *	• Miligrama P ₂ O ₅ /litro
27. Sólidos totais *	• Miligrama sólidos totais/litro
28. Clorofila a *	• Micrograma clorofila/litro
29. Condutividade *	• Micro ohm/cm
30. Poluição visual da água	• Porcentagem do tempo de ocorrência
31. Impacto potencial de pesticidas	• Porcentagem da área tratada
Água subterrânea	
32. Coliformes fecais *	• Número de colônias/100 ml
33. Nitrato *	• Miligrama NO ₃ /litro
34. Condutividade *	• Micro ohm/cm
Solo	
35. Matéria orgânica	• Porcentagem de matéria orgânica
36. pH *	• pH
37. P resina *	• Miligrama P/dm ³
38. K trocável *	• Milimol de carga/dm ³
39. Mg (e Ca) trocável *	• Milimol de carga/dm ³
40. Acidez potencial (H + Al) *	• Milimol de carga/dm ³
41. Soma de bases *	• Milimol de carga/dm ³
42. Capacidade de troca catiônica *	• Milimol de carga/dm ³
43. Soma de bases *	• Porcentagem de saturação
44. Potencial de erosão	• Porcentagem da área
Dimensão Valores Socioculturais	
45. Acesso à educação *	• Número de pessoas
46. Acesso a serviços básicos	• Acesso a serviços básicos (1 ou 0)
47. Padrão de consumo	• Acesso a bens de consumo (1 ou 0)
48. Acesso a esporte e lazer	• Horas dedicadas
49. Conservação do patrimônio histórico, artístico, arqueológico e espeleológico	• Número de monumentos/eventos do patrimônio
50. Qualidade do emprego	• Porcentagem dos trabalhadores
51. Segurança e saúde ocupacional	• Número de pessoas expostas
52. Oportunidade de emprego local qualificado	• Porcentagem do pessoal ocupado
Dimensão Valores Econômicos	
53. Renda líquida do estabelecimento	• Tendência de atributos da renda (1 ou 0)
54. Diversidade de fontes de renda	• Proporção da renda domiciliar
55. Distribuição de renda	• Tendência de atributos da renda (1 ou 0)
56. Nível de endividamento corrente	• Tendência de atributos da renda (1 ou 0)
57. Valor da propriedade	• Proporção da alteração de valor
58. Qualidade da moradia	• Proporção dos residentes
Dimensão Gestão e Administração	
59. Dedicação e perfil do responsável	• Ocorrência de atributos (1 ou 0)
60. Condição de comercialização	• Ocorrência de atributos (1 ou 0)
61. Reciclagem de resíduos	• Ocorrência de atributos (1 ou 0)
62. Relacionamento institucional	• Ocorrência de atributos (1 ou 0)

(*) Indicador expresso em duas medidas, quais sejam, índice de impacto e variação percentual, proporcional, ou relativa; cada qual com seu respectivo valor de utilidade.

Fonte: Rodrigues e Campanhola (2003).

A vantagem de usar este método é que o mesmo consiste em uma forma mais abrangente, suficiente para aplicação em campo na avaliação de impacto de atividades agropecuárias. O mesmo integra dimensões ecológicas, sociais e econômicas. É um método simples e consiste principalmente na participação direta dos produtores ou responsáveis. Por usar uma plataforma do Excel a mesma se torna de fácil acesso e um menor custo e principalmente de fácil operação, comparando a outros programas que fazem este tipo de trabalho (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003). Um dos requisitos para a eficácia do método é referente a coleta das informações confiáveis antes e depois da utilização, significa dizer que qualquer atividade pode ser avaliada.

1.2.3 IDEA

Para esse sistema os indicadores são instrumentos que permitirão a avaliação em uma unidade de produção e determinará o nível ou condição em que esta propriedade deverá ser mantida para que seja sustentável. Estes indicadores serão empregados para operacionalizar conceitos e definir padrões. No quadro 1.2 pode-se perceber como se divide os componentes da sustentabilidade.

Este método foi estabelecido na França, por uma equipe multidisciplinar. Ele foi destinado a professores, responsáveis pelas escolas agrícolas e agricultores que estivessem a fim de melhorias em suas propriedades tornando-as auto-sustentáveis.

O método Indicador de Durabilidade de Propriedades Agrícolas (IDEA) é relativamente fácil de colocar em prática e também muito simples, pois foi elaborado de forma pedagógica e não avalia somente se a unidade é sustentável ou não, permite também um trabalho de acompanhamento na propriedade para que a mesma discuta conceitos de sustentabilidade através de debates entre outras formas através de cada indicador sugerindo as maneiras mais simples para cada situação local para que a propriedade melhore seu índice de sustentabilidade.

Quadro 1.2 - Componentes da sustentabilidade dos Sistemas Agrícolas no método IDEA.

Sustentabilidade Agroecológica	Sustentabilidade Sócio-Territorial	Sustentabilidade Econômica
33% Práticas Agrícolas	34% Ética e Desenvolvimento Humano	25% Eficiência
34% Organização do espaço	33% Emprego e Serviço	20% Transmissibilidade
33% Diversidade	33% Qualidade dos Produtos	25% Independência
		30% Viabilidade

Fonte: Vilain (2000).

Segundo Vieira (2005) o método IDEA comporta três escalas de sustentabilidade independentes e não cumulativas: a escala de sustentabilidade agroecológica, a socioterritorial e a econômica. E estas estão subdivididas em três ou quatro componentes, reagrupando, cada uma, uma série de indicadores, conforme demonstrado no quadro 1.2.

Segundo Vilain (2000), o método IDEA foi enriquecido por idéias que surgiram depois de dois anos de uso intensivo no ensino agrícola, bem como reflexão de numerosos grupos de agricultores da França que utilizaram esta ferramenta. Muitos estudos e relatórios de estágio onde o objetivo principal era estudar e analisar o método contribuíram para o seu aperfeiçoamento naquele país. Ele foi testado levando em conta alguns itens como: robustez, sensibilidade e pertinência. Além disso existe a facilidade na utilização dos indicadores, no

que diz respeito à reprodutividade, clareza dos cálculos e pela forma simples em coletar os dados e informações necessárias.

O componente sustentabilidade agroecológica engloba indicadores envolvendo a capacidade de autonomia da propriedade em relação às energias e materiais. Segundo Lesama (2006) a tabela 1.1 se refere aos indicadores da escala de sustentabilidade agroecológica.

Tabela 1.1 - Os indicadores da escala de sustentabilidade agroecológica

Componente	Indicador	Valor Máximo	
Diversidade	Diversidade animal	15	Limitado ao máximo de 33 unidades
	Diversidade das culturas anuais	15	
	Diversidade das culturas perenes	15	
Organização do Espaço	Distribuição das parcelas	10	Limitado ao máximo de 33 unidades
	Dimensão das parcelas	8	
	Carga animal	10	
Práticas Leiteiras	Gestão superfícies forrageiras	3	Limitado ao máximo de 34 unidades
	Leite forrageiro	12	
	Produção leiteira	8	
	Reprodução	12	
Práticas Agrícolas	Saúde animal	5	Limitado ao máximo de 33 unidades
	Fertilização	12	
	Utilização dos estercos	4	
	Pesticidas	12	
	Bem estar animal	5	
	Proteção dos solos	5	

Fonte: Lesama (2006).

O componente de sustentabilidade sócio-territorial consiste em indicadores que consideram as dimensões sociais que favoreçam o desenvolvimento humano, a qualidade de vida, a ética, o emprego e o desenvolvimento local, cidadania e a coerência da cooperativa (Tabela 1.2).

Tabela 1.2. Os indicadores da escala de sustentabilidade sócio-territorial

Componente	Indicador	Valor Máximo	
Qualidade dos produtos e territórios	Higiene e qualidade dos alimentos	12	Limitado ao máximo de 33 unidades
	Integração Social	12	
	Valorização dos produtos	9	
Emprego e Serviços	Relações de trabalho	6	Limitado ao máximo de 33 unidades
	Contribuição ao emprego	12	
	Formação	16	
	Intensidade de trabalho	13	
Ética e desenvolvimento e cooperativo	Ética da cooperativa	5	Limitado ao máximo de 34 unidades
	Tipo de serviços cooperativos	12	
	Contribuição da cooperativa	9	
	Assistência Técnica	9	

Fonte: Lesama (2006).

De acordo com a tabela 1.3, a sustentabilidade econômica de aborda as práticas e o comportamento dos agricultores, sob um ângulo econômico.

Tabela 1.3. Os indicadores da escala de sustentabilidade econômica

Componente	Indicador	Valor Máximo	
Viabilidade	Viabilidade econômica	20	Limitado ao
	Taxa de especialização econômica	10	máximo de 30 unidades
Independência	Autonomia Financeira	15	Limitado ao
	Sensibilidade Financeira	15	máximo de 25 unidades
Eficiência	Eficiência	25	Limitado ao máximo de 25 unidades

Fonte: Lesama (2006).

1.2.4 Síntese

Cada um dos três sistemas considerados: Sistema Ambitec, APOIA Novo Rural e IDEA tem abordagens diferentes. Enquanto o AMBITEC se restringe aos impactos ambientais, os demais procuram considerar os aspectos sócio-culturais e econômicos. O APOIA – novo rural procura ser abrangente e dar conta das questões postas pela legislação. O IDEA tem uma abordagem associada com as práticas agrícolas. Essas diferenças são determinantes na escolha, definição, apresentação e quantificação dos indicadores.

Em particular, o AMBITEC apresenta uma proposição de estabelecer grandezas relativas a uma situação inicial. Essa abordagem possibilita determinar o estado e a evolução do sistema em relação a um ponto de partida de referência e mais que estabelecer um ponto de sustentabilidade, estabelece uma evolução ou involução frente a determinadas condições.

Para o objetivo que foi estabelecido nessa dissertação não há como empregar um dos sistemas, porém, há como levar em conta alguns indicadores. Para tal deve se considerar que o nível de agregação que se pretende trabalhar é um sistema produtivo, em especial um sistema de criação. Nesse sentido, muito dos indicadores sócio-culturais devem ser adaptados. Como exemplo, caso se deseje considerar esses aspectos sócio-culturais em um modelo de programação matemática multicritério cujo nível de abordagem fosse um subsistema do sistema de produção ou o próprio sistema de produção, então poderia se tomar como indicador o tempo de ocupação da mão de obra familiar e a renda por unidade de trabalho familiar. Esses dois indicadores estariam associados a duas condições importantes para as pessoas dos sistemas manterem atividade social mais intensa, o restante estaria na dependência de fatores externos ao sistema.

Outros indicadores podem ser adaptados por meio de modelos que poderiam estimá-los. Esse é o caso da produção de gases de efeito estufa, principalmente no que se refere à produção de metano em bovinos. Outros indicadores poderiam ser redefinidos baseado em balanços, como a deposição de matéria orgânica sobre os solos e o balanço dos principais minerais demandados pelas plantas. A preservação do ambiente pode ser representada por um conjunto de regras que deveriam ser atendidas, baseadas na legislação ambiental. Essas adaptações podem não representar com segurança o estado e o sentido da sustentabilidade, mas permitirá certamente uma oportunidade de discussão sobre a evolução possível de

sistemas produtivos frente a restrições ou imposições em relação a uma sustentabilidade mais ampla.

1.3 MODELOS DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA MULTIOBJETIVO

A presente dissertação propõe o desenvolvimento de um modelo de programação matemática não linear multiobjetivo que possibilite avaliar o impacto das noções de sustentabilidade na determinação das escolhas técnicas de um tipo de sistema agropecuário com atividade leiteira. Nesse contexto se faz necessário discutir o conceito de otimização e o processo de decisão dos produtores rurais. Otimizar consiste em encontrar uma ou mais soluções viáveis que correspondem a valores extremos de um único objetivo ou mais condicionados por um conjunto de fatores de um sistema (OLIVEIRA, 2005).

Nesse sentido, é necessário que se tenha clareza sobre os objetivos a serem otimizados e uma interpretação matemática desses objetivos e do funcionamento do sistema, pelo menos daquelas relações consideradas como determinantes para o sistema. Esse fato já indica que o que se quer não é a representação fiel do sistema, mas explicitar a compreensão que se tem do sistema como ponto de partida. A segunda questão é que normalmente quem decide não faz isso considerando um único objetivo e nem mesmo considerando uma condição ótima, mas busca uma condição satisfatória (ARROYO, 2002).

A formulação de um problema de otimização que considere mais que um objetivo em geral não apresenta uma solução única, o que fez surgir o conceito de Ótimo de Pareto. Segundo Osyczka (1981), o Ótimo de Pareto é um conjunto de soluções não inferiores, isto é, soluções para as quais não existem maneiras de melhorar algum critério sem piorar pelo menos outro critério. É claro que a solução será escolhida dentre este conjunto, mas, ainda assim, existem várias opções para a escolha. O conceito deste ótimo foi formulado por Vilfredo Pareto em 1896, sendo muito importante para a análise multi-critério. O critério para uma solução compor o conjunto Ótimo de Pareto pode ser representado simplificadaamente da seguinte forma:

✓ Uma solução x_1 , domina a uma solução x_2 , se:

x_1 é pelo menos igual a x_2 , em todos os objetivos

x_1 é superior x_2 em pelos menos um objetivo

A programação matemática multiobjetivo (adequada a problemas contínuos, onde o conjunto de alternativas possíveis é infinitamente grande) ou multicritério (adequada para problemas discretos de seleção, ordenamento, classificação de algumas alternativas) pode ser entendida como uma forma de programação matemática linear e/ou não linear, cujos resultados expressam um conjunto de vetores pertencentes a uma região de eficiência

aceitável definida a partir do conjunto de funções objetivos e condicionadas por um conjunto de restrições (MORAIS, 2006).

Alguns dos objetivos escolhidos para o problema podem ter relações conflituosas entre si, ou seja, divergirem. Isso, acrescido dos múltiplos vetores da região de eficiência aceitável determina a necessidade de uma intervenção do decisor na escolha da solução. Em geral essa escolha é feita a partir de uma escala de preferência do decisor e, por isso, não faz sentido falar em um ponto ótimo universalmente aceito, mas num ótimo ponderado pela preferência do decisor (MORAIS, 2006).

Dessa forma, é possível identificar dois aspectos nesse método multiobjetivo, a busca de soluções e a tomada de decisões (ARROYO, 2002). O primeiro refere-se ao aspecto de otimização direcionando a soluções Pareto-ótimas. O segundo envolve a seleção de um critério para a solução do conjunto Pareto-ótimo. Estes métodos podem ser separados em pelo menos três tipos:

O primeiro é chamado de Métodos a-priori, onde o decisor participa antes do processo de busca de soluções. O segundo, Métodos a-posteriori, nestes a decisão é feita logo após a busca de soluções; considera-se todos os objetivos de mesma importância, ao final tem-se um conjunto de soluções consideradas pareto-ótimas e a partir disto o decisor seleciona a melhor solução de acordo com o problema apresentado. E o terceiro é denominado de métodos iterativos, no qual o decisor intervêm durante o processo de acordo com seu interesse (ARROYO, 2002).

Segundo Oliveira (2005), não existem métodos universais capazes de resolver com eficácia todos os problemas de otimização. Alguns métodos indicados para uma classe ou solução de determinados problemas, podem não terem bom desempenho em outras aplicações.

De acordo com Arroyo (2002), um problema de otimização multi-objetivo pode ser definido da seguinte forma:

$$\text{Minimizar (ou Maximizar)} \quad z = f(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_r(x))$$

$$\text{Sujeito a} \quad g(x) = (g_1(x), g_2(x), \dots, g_p(x)) \leq b$$

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X$$

$$z = (z_1, z_2, \dots, z_r) \in Z$$

onde, x é o vetor decisão, z é o vetor objetivo, X denota o espaço de decisões, e $Z = f(X)$ é a imagem de X denominada espaço objetivo.

As restrições $g(x) \leq b$, $b \in \mathbb{R}^p$ e o espaço X determinam o conjunto das soluções factíveis: $X^* = \{ x \in X : g(x) \leq b \}$.

Na otimização de um único objetivo f , o espaço objetivo factível é completamente ordenado, o que significa que, dados quaisquer dois elementos $\mathbf{x}, \mathbf{y} \in \mathbf{X}^*$ é sempre verdade que $f(\mathbf{x}) \geq f(\mathbf{y})$ ou $f(\mathbf{x}) \leq f(\mathbf{y})$. O objetivo é encontrar a solução (ou soluções) que forneça o mínimo (ou máximo) valor de f (ARROYO, 2002).

De acordo com Oliveira (2005), existe uma diferença fundamental entre otimização de um único objetivo e multi-objetivo que não pode ser ignorada: para objetivos conflitantes, cada objetivo corresponde a uma solução ótima diferente. Assim dependendo do problema, para se ter maior êxito em um objetivo tem-se, muitas vezes, que sacrificarmos outros. Em otimização multi-objetivo o número de soluções ótimas aumenta por causa da negociação entre os objetivos conflitantes que são importantes em determinado momento.

O método multiobjetivos vem se apresentando como um procedimento mais adequado quando se quer avaliar situações considerando a noção de sustentabilidade. Nessa noção está implícita uma multiplicidade de objetivos e/ou critérios que devem compor uma decisão. É por isso que a programação multiobjetivo será empregada nesta dissertação.

Contudo, há vários modos para se desenvolver um modelo de programação multiobjetivos, alguns desses métodos são apresentados a seguir de tal forma que se possa justificar a escolha de um deles.

1.3.1 Método de otimização hierárquico (Hierarchical optimization method)

Este método foi proposto por Walz (1967) e considera a situação na qual o critério pode ser ordenado em termos de importância. Seja a numeração de 1 a K que reflete esta ordem, no sentido que o primeiro critério é mais importante e o k -ésimo critério é menos importante. Minimiza-se cada função objetivo separadamente, adicionando em cada passo uma nova restrição escrita como FO (Função Objetivo) limitada por um acréscimo ou decréscimo ξ_{h_j} previamente adotado (OLIVERA, 2005).

Encontra-se:

Próximo passo:

$$f_{j-1}(\mathbf{x}) \leq \left(1 \pm \frac{\xi_{h_{j-1}}}{100} \right) f_{j-1}(\mathbf{x}^{j-1}), \text{ para } j = 2, 3, \dots, l.$$

O sinal positivo representa às funções que estão sendo minimizadas e o sinal negativo as funções que estão sendo maximizadas. E o $\xi_{h,j-1}$ Coeficiente para os acréscimos ou decréscimos das funções em %.

E assim vai se seguindo os passos até que se chegue ao ponto desejado, se depois de seguir todos os passos o resultado ainda não for satisfatório, repete-se os cálculos em cada passo trocando os valores para $\xi_{h,j}$.

1.3.2 Método ε -restrito, (método de negociação) (Trade-Off Method)

Segundo Oliveira (2005), existem várias versões do método de negociação com o objetivo de buscar soluções mais eficientes. Algumas variações do método de negociação foram propostas por Haimes e Hall (1974), Oppenheimer (1978), Sakawa (1981) e Musselman e Tavalage (1980). Normalmente, classifica-se um método na categoria da negociação se o conceito de trocar valor de uma função objetivo por outro valor da função é usado para determinar o próximo passo na busca da solução.

Em muitos casos o conceito acima é utilizado através da minimização de uma das funções objetivo, considerando as outras como restrições flexíveis. Desse modo, este método também é chamado método restrito ou método ε -restrito.

Este método é baseado na minimização do objetivo de maior prioridade sujeito a limitação dos outros objetivos. Sendo f_1 o objetivo de maior importância.

$$\begin{array}{ll} \text{Minimizar} & f_1(x) \\ \text{Sujeito a} & f_i(x) \leq \varepsilon_i, \quad i=2, \dots, r \\ & x \in X^* \end{array}$$

Onde ε_i são limitantes superiores dos objetivos f_i , $i=2, \dots, r$.

Variando os limites ε_i , é possível gerar o conjunto de Pareto-ótimo, mesmo quando o espaço objetivo é não convexo.

1.3.3 Método da ponderação dos objetivos (Weighting objectives method) ou Soma Ponderada

O método da ponderação dos objetivos ou soma ponderada vem recebendo muito mais atenção dos pesquisadores e vários modelos particulares com este método vêm sendo utilizado, pois os problemas de multi-critérios são substituídos por problemas de otimização escalar através da criação de uma função do tipo:

$$f(x) = \sum_{i=1}^k w_i f_i(x)$$

onde w são grandezas (coeficientes de ponderação) que expressam peso proporcional do fator na decisão, sendo

$$\sum_{i=1}^k w_i = 1$$

Para métodos numéricos que comparam grandezas de diferentes dimensões (peso, valor monetário...) é fundamental que se transforme as funções objetivos em grandezas adimensionais.

Ao observar um grau importante de semelhança entre o Método da Soma Ponderada e o sistema AMBITEC, isso nos sugere que seja um procedimento metodológico adequado para a tarefa dessa dissertação. A ponderação de objetivos e indicadores poderia criar cenários importantes para o debate dos efeitos que a sustentabilidade poderia ter sobre os atuais sistemas de produção. Dessa forma, optou-se por esse método para buscar as soluções possíveis de diferentes cenários de sustentabilidade em um sistema de criação leiteiro.

II – MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho toma por base as informações e o modelo de programação não linear desenvolvido por Schwerz (2006) em sua dissertação sobre a avaliação de algumas inovações tecnológicas para um tipo de sistema de produção de leite no município de Jóia – RS. A função objetivo nesse modelo foi a margem bruta do sistema produtivo, frente a alternativas de inovações tecnológicas. As inovações tecnológicas testadas estavam relacionadas com a escolha de plantas forrageiras, o nível de uso de insumos (nitrogênio), o nível de remoção da pastagem. Algumas das condições que condicionavam as escolhas foram o nível de ingestão de pasto, o nível de ingestão de silagem e concentrado como suplementos e, por fim, o número de vacas no rebanho.

No modelo de Schwerz (2006) os dados obtidos foram originários de entrevistas em sistemas de produção do município de Jóia (RS). As informações possibilitaram descrever um dos sistemas predominantes entre um conjunto de produtores e a avaliação desse sistema possibilitou estabelecer a condição inicial do arquétipo representativo dos sistemas produtivos e possíveis alternativas a serem testadas para atingir resultados de renda maior.

Esta dissertação está sendo proposta para que se possa considerar na função objetivo mais que a maximização da renda, incorporando outras funções que permitam avaliar outras dimensões da sustentabilidade, principalmente ambiental e de risco. Dessa forma, a formulação inicial do problema é alterada e se passa a construir um modelo multiobjetivo. Considerando que essa construção exige a formulação de novas condições para expressar os balanços que permitem atingir os demais objetivos, que não apenas o resultado econômico, o modelo foi alterado. Além dessas alterações, foi necessário proceder simplificações para reduzir o número de condições não lineares, na medida em que a versão e licença do pacote computacional disponível apresentava limites ao número dessas condições (Lingo 10.0).

A seguir serão descritas o conjunto de variáveis, parâmetros, equações e inequações empregadas para desenvolver o modelo no pacote computacional Lingo. Parte das informações sobre esses parâmetros estão descritos na dissertação de Schwerz (2006) e poderão ser consultadas no anexo A dessa dissertação.

2.1. DESCRIÇÃO DA UNIDADE DE PRODUÇÃO E DOS OBJETIVOS A SEREM OTIMIZADOS

Schwerz (2006) descreve um arquétipo de unidade de produção com atividade leiteira no município de Jóia RS no ano de 2005. Descreve essa unidade produtiva como tendo uma superfície agrícola total de 30 ha, com superfície útil de 26 ha e o número de vacas em atividade produtiva de 21 (Tabela 2.1 e 2.2). A combinação das atividades executadas inclui o cultivo de uma pequena área com grama tifton, cultivo anual com milho na estação quente do ano e aveia e azevém de ciclo curto na estação fria. Considerando a inexistência de tração mecânica para as operações agrícolas, esses produtores arrendam parte importante da área para terceiros, que cultivam soja e semeiam as pastagens de estação fria para ser usadas pelo rebanho leiteiro. Como suplemento volumoso essas unidades dispõem de uma pequena área com cultivo de cana ou de milho, desse último fazem silagem. Como suplemento concentrado utilizam concentrados comprados já balanceados ou farelos, em quantidades diárias médias de 2 kg por dia por vaca em produção, podendo chegar a 3 kg nos períodos de forte restrição de pastagens. Como meta de renda esses produtores têm assinalado a necessidade de, pelo menos dobrá-la, assegurando que os custos não se elevem muito, que a oferta de nutrientes para as vacas seja mais equilibrada no decorrer do ano e que se desenvolvam condições que garantam maior sustentabilidade ambiental, como a preservação do solo.

Como Schwerz (2006) organizou o modelo para verificar o desempenho econômico de alternativas consideradas possíveis de serem admitidas por esse tipo de produtor, a função objetivo otimizou o rendimento econômico do sistema. Essa, sem dúvida, era o primeiro requisito dos produtores para formular as proposições. A questão que se propõe agora é incorporar outras dimensões de sustentabilidade para avaliar as mesmas inovações. A primeira diz respeito ao fato de que o aumento do uso de insumos externos determinaria uma maior dependência da unidade de produção, além de gerar indiretamente exigências ambientais e aumentar os riscos financeiros, isso pelo fato de que o aumento de custos aproxima esses do rendimento bruto e torna o sistema mais arriscado frente a alterações das relações de preços. Considerando o que foi afirmado anteriormente e o fato dos produtores terem manifestado essa preocupação, é que se definiu que um componente que entraria na otimização seria o custo de produção.

Outro elemento que foi ressaltado pelos produtores foi o de manter e, em muitos casos, melhorar a capacidade de produção do sistema agropecuários a partir das condições do solo. Isso foi interpretado como a necessidade de considerar o efeito dos manejos sobre a perda de condição produtiva do solo. Como no modelo já estava incluído o uso de insumos para a manutenção de um balanço de fertilidade, então se considerou que um importante elemento para ser empregado na otimização seria o fato das atividades agrícolas e dos manejos usados determinarem diferentes níveis de perda de solo (erosão).

Por fim, para considerar um elemento de interesse mais geral na manutenção da condição ambiental foi decidido incluir na função de otimização a produção de gases de efeito

estufa. Como há uma forte pressão social sendo feita para que haja uma redução da produção desses gases e considerado que os ruminantes são importantes contribuintes para a produção de metano e, indiretamente, óxido nitroso (IPCC, 2006), esses elementos foram incorporados ao modelo de programação matemática.

Inicialmente as equações que estimam a grandeza desses novos indicadores propostos para avaliarem os aspectos econômicos (custo) e ambientais (perda de solo, produção de gases de efeito estufa) foram empregados para calcular essas grandezas levando em consideração a situação inicial representada pelo arquétipo (Tabela 2.1).

Tabela 2.1. Condição inicial do arquétipo das unidades de produção com atividade leiteira em pequena escala sem tração mecânica presentes no município de Jóia – RS segundo Schwerz, 2006

Fator	Valor	Unidade
Número de vacas no rebanho	21	Animais
Área de arrendamento para terceiros	16	ha
Área máxima de silagem	1,5	ha
Área mínima de pastagem anual	2	ha
Área total disponível	26	ha
Nível máximo de concentrado	2	kg/d/VL
Nível máximo de adubação (N)	35	kg/ha
Resultado econômico – valor agregado bruto	23.871,00	R\$
Renda bruta do leite	37.587,42	R\$
Produção anual de leite	91670	litros
Rendimento de leite por vaca	11,96	L/d/VL
Área em arrendamento	16	ha
Área de silagem	1,5	ha
Área de tifton Tifton (nível de N)	6,5 (35)	ha(kg)
Área de milho (nível de N)	2,0 (35)	ha(kg)
Área de Sorgo (nível de N)	5,7(0)	ha(kg)
Área de aveia e azevém (nível de N)	ha(kg)	16 (13,1)
Área de aveia e azevém (nível de N)	3,5 (35)	ha(kg)
Ingestão de concentrados	2,16	kg/d/VL
Ingestão de silagem	2,7	kg/d/VL
Custo total inicial	13.716,00	R\$
Perda estimada de solo total*	154	Toneladas
Produção total de gases de efeito estufa (CH ₄ e N ₂ O)*	32922	kg

*Valores estimados

2.2 FORMALIZAÇÃO MATEMÁTICA DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

A escolha de indicadores de sustentabilidade para serem empregados em um modelo de programação matemática de um sistema agropecuário, além de considerar a relevância do indicador, tem que considerar a possibilidade de estimar grandezas que permitam avaliá-lo. Não é tarefa dessa dissertação caracterizar finamente cada indicador. O desafio é empregar alguns indicadores de sustentabilidade apresentados como relevantes em métodos de avaliação da sustentabilidade de sistemas agropecuários. Eleitos alguns indicadores, se procede a escolha de submodelos que possam estimar grandezas que permitam os avaliar e incorporar num modelo de programação matemática. Nesse sentido, alerta-se que não serão procedidas avaliações prévias dos submodelos, mas os submodelos serão escolhidos pela sua adequação ao grau de agregação do modelo geral e as principais variáveis empregadas.

Nessa dissertação foram usadas somente quatro funções objetivos, correspondendo a 4 indicadores de sustentabilidade: renda relativa, custo relativo, produção de gases relativa por litro de leite e a perda de solo relativa, em um arquétipo que representa uma unidade de produção agropecuária de pequeno porte com atividade leiteira.

2.3. DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA DO MODELO

O objetivo deste trabalho é verificar as possibilidades de elevar o resultado econômico de uma unidade de produção tendo como objetivo maximizar a renda (valor agregado bruto), porém levando em conta a minimização dos custos, da produção de gases de efeito estufa e da erosão (perda de solo). Para formular o problema empregou-se um procedimento de modelagem matemática não linear com função multi-objetivo, em que essa foi formulada pelo método da soma ponderada de um conjunto de funções como expresso em E.1

$$\text{Max}(\sum_{i=1}^k w_i f_i(x)) \quad , \text{ onde} \quad (E.1)$$

w_i é o peso da variável que expressa a grandeza do objetivo na decisão, ($\sum w_i$ deve ser igual a 1).

$f_i(x)$ é a função que estabelece a grandeza que expressa o valor relativo ao objetivo que considera o “grau de sustentabilidade parcial”.

A primeira função que compõe o conjunto de funções objetivos é a da renda. Essa função determina uma grandeza relativa à renda inicial do sistema de produção. Isso foi adotado por considerar que a sustentabilidade é um processo e não um valor em absoluto e pelo fato de estabelecer grandezas de diferentes ordens (unidades de medidas) em uma única função e tornar isso intelegível. Desta forma, a função de renda nada mais é do que a renda simulada pelo modelo segundo as combinações de recursos escolhidas, dividida pela renda inicial do sistema de produção nas condições iniciais observadas (Tabela 2.1). A expressão

utilizada no modelo para denominar essa relação foi “r” (RRENDA) e foi expressa como descrito na equação 2;

$$r = \frac{R}{R_0} \quad (E.2)$$

Onde:

r= renda relativa estimada

R= valor estimado de renda

R_0 = renda inicial (Tabela 2.1)

O valor de R\$ 23.871,00 (Tabela 2.1 resultado VAB) é a renda do sistema de produção na condição inicial em que foi observado. O valor da renda atual (R_0) é calculada pela soma da renda obtida com o arrendamento de áreas para terceiros para o plantio de soja no verão e a renda bruta da produção leiteira menos o custo relativo ao uso de insumos no processo produtivo (SCHWERZ, 2006):

$$R = R_a.AA + R_l - C \quad (E.3)$$

Onde:

R=Renda

R_a = Renda arrendamento

AA= Arrendamento

R_l = Renda bruta do leite

C=Custos

$$R_l = L_j * P_l_j$$

Onde:

L_j = produção de leite total no mês;

P_l_j = preço do leite no mês.

$$C = \sum (N_p * a_p) + \sum (a_p * CI_p) + \sum (I_c * P_c) + \sum (a_s * CI_s) + (CI_v * V) \quad E.4$$

Onde:

N_j = quantidade de nitrogênio usado na pastagem (p) ;

a_p = area de pastagem (p);

CI_p = custo intermediário de pastagem (p);

I_c = ingestão de concentrados;

P_c = preço do concentrado ingerido;

a_s = área de silagem;

CI_s = custo intermediário da silagem;

CI_v = Custo intermediário por vaca;

V = número de vacas.

As outras três funções incluídas na função objetivo assumem valores negativos, isso porque o aumento de suas grandezas relativas não é desejável ao sistema, ou seja, reduzem o grau de sustentabilidade. Dentre essas se encontram as funções relativas aos custos de produção (“c” ou RCUSTOS), aos gases de efeito estufa (“g” ou RGASES) e a perda de solo (“s” ou REROSAO).

Na composição dos custos entram os insumos para a pastagem, os concentrados para os bovinos e um custo proporcional a cada animal referente a manutenção de sua saúde e dos gastos não proporcionais à área (E.4).

A função “c” (RCUSTOS, E.5) procura estabelecer o efeito do aumento dos custos. Ela foi expressa como uma grandeza relativa aos custos por litro de leite que o produtor apresentou na situação inicial em que foi observado e os custos estimados pela simulação, expresso da seguinte forma:

$$c=(C/L)/(C_0/L_i) \quad (E.5)$$

Onde:

c= custos relativos

C= custos atuais

L= produção de leite atual

C_0 = custos iniciais

L_i = produção inicial de leite

Os custos atuais (C) são os custos estimados pelo modelo a partir da simulação, nestes encontram-se os custos de produção da silagem, custo dos alimentos concentrados utilizados, custos dos insumos utilizados nos pastos e os custos de insumos empregados diretamente a cada vaca leiteira (R\$ 170, neste entram os custos de sal mineral, fármacos entre outros, SCHWERZ, 2006). A produção de leite atual também é uma variável calculada pelo modelo a partir do número de vacas e do alimento consumido por essas.

A função “g” (RGASES, produção relativa de gases de efeito estufa) é a relação entre a produção estimada de gases de efeito estufa no arranjo inicial do processo produtivo como observado (Tabela 2.1) e a estimativa obtida pela solução de cada cenário obtida pelas simulações. Ambas estimativas foram obtidas a partir de funções descritas no IPCC (2006) para óxido nitroso (E.7 a E.9) e por Blaxter e Clapperton (1965 apud FREER et al., 2008) para a estimativa de metano produzido no sistema digestório de bovinos (E.6). O valor estimado da produção dos gases é em kg e são somados, após isso, os valores são divididos respectivamente pela produção de leite em cada situação, inicial e do cenário e, por sua vez, esses valores são divididos para dar o valor relativo da produção de gases de efeito estufa (g).

$$MT (MJ)=0,0184I*((13*7,52*M/D)+(L+1)*(23,7-3,36*M/D) \quad (E.6)$$

Onde

M/D = concentração de energia metabolizável na MS dos alimentos (MJ/kg);

I – é a ingestão de MS de alimentos sólidos (kg);

L = nível de ingestão relativa acima da manutenção;

Ao se dividir o resultado pelo valor de 55,65, que é a energia (MJ) contida em 1 kg de metano obtém-se o valor de kg de metano.

Já a origem do óxido nitroso não decorre da produção direta dos bovinos, mas do fato desses liberarem para o ambiente fontes de N que podem gerar esse gás. fontes agrícolas de N_2O se originam de dois processos, o primeiro inclui a ação microbiana sobre o N aportado

ou existente no solo pelos processos de nitrificação e denitrificação, o segundo é a partir de processos de combustão de biomassa e de combustíveis fósseis. Nesse trabalho será considerado apenas a emissão de óxido nitroso do nitrogênio do solo. Essa emissão pode ser dividida em dois tipos, direta e indireta. As emissões diretas são aquelas que decorrem do efeito microbiano imediatamente sobre o N adicionado ao solo ou existente, enquanto o efeito indireto ocorre sobre o N que lixívia e escorre superficialmente no solo, bem como aquele que é fruto de volatilização e que irão gerar em algum outro momento óxido nitroso (IPCC, 2006).

Segundo o IPCC (2006) as equações que podem ser empregadas para estimar a emissão de N₂O são:

$$N_2O \text{ (kg)} = 0,7857 * ((Ns + No) * EF1) + (Nan * EF2) \quad (E.7)$$

onde:

EF1 = fator de emissão para emissão de N₂O de N adicionado em cultivos = 0,01;

EF2 = fator de emissão para emissão de N₂O para dejetos de bovinos sobre pastagens = 0,02;

As fontes do nitrogênio alocado ao solo podem ser muitas, porém no presente trabalho serão consideradas apenas três fontes:

Ns - fonte de nitrogênio sintético;

No – fonte de nitrogênio orgânico animal;

Nan – fonte de nitrogênio originária das excreções animais sobre as pastagens;

Estimativa para emissões indiretas;

Volatilização:

$$N_2O \text{ vol (kg)} = 0,7857 * ((Ns * FvolS) + (No + Nan) * FvolO) * EF_4 \quad (E.8)$$

onde

FvolS = fração volatilizada do Ns = 0,1;

FvolO = fração volatilizada de No = 0,2;

EF₄ = Fator de emissão de N₂O do N volatilizado = 0,01;

Lixiviação e escurimento:

$$N_2O = 0,7857 * (Ns + No + Nan) * Flix * EF_5 \quad (E.9)$$

Onde

Flix = 0,3;

EF₅ = 0,0075;

A estimativa dos gases de efeito estufa, óxido nitroso e metano, foram estimadas a partir das equações E5 a E8. Para se obter a informação sobre a quantidade de nitrogênio excretado pelos animais em cada mês foi multiplicado a quantidade do alimento consumido pela concentração respectiva de nitrogênio e subtraído o produto da quantidade de leite produzido pela concentração de nitrogênio no leite. O nitrogênio de origem sintética é o somatório do nitrogênio adicionado em cada cultura. Já a concentração de energia metabólica no alimento ingerido (M/D) foi obtida a partir do somatório do produto das quantidades de cada alimento ingerido pela concentração respectiva de energia metabólica, dividido pelo total de matéria seca ingerida pelo animal.

A função que estima a perda de solo (E10) é dada pela equação segundo Bertoni et al. (1975, E.10).

$$E \text{ (t.ha}^{-1}\text{)} = R * K * LS * M * P \quad (\text{E.10})$$

onde:

R – erosividade das chuvas

K – erodibilidade do solo

LS – Fator declividade e comprimento da rampa

CS – forma de uso e manejo

PC – práticas conservacionistas

- Fatores de erodibilidade do solo

$$K = 0,0437 \cdot g^{0,5} - 0,035 \cdot f - 0,011 \cdot d$$

Onde:

g=silte (silte + h) (silte em g/g)

f= teor de Fe₂O₃ extraído por ácido sulfúrico (g/g)

d= teor de Al₂O₃ extraído por ácido sulfúrico (g/g)

h= teor de areia fina 0,2-0,05 mm (g/g)

O valor de erodibilidade do solo foi estimado em 0,013379.

- Fator da rampa – declividade (L) e comprimento (S)

$$L = (\lambda/22,1)^m$$

Onde m para o RS = 0,67

λ = comprimento da rampa (m)

S = 16,8 sen θ (%decliv) – 0,5 para declividades maiores que 9%

O valor do fator da ranpa foi estimado em 4,37 para 200m.

- Fator de cobertura do solo (CS): para este fator foram empregados os seguintes valores por cultura.

Para cultura de milho 0,0827

Para cultivos perenes (frutíferas) 0,135

Pastagens degradadas 0,05

Pastagens sem manejo 0,01

Pastagens bem manejadas 0,001

- Fator de práticas conservacionistas (CS)

Plantio morro abaixo = 1

Rotacionado = 0,75

Plantio em contorno = 0,5

Cordão de vegetação permanente = 0,2

- Fator R – Chuvas

$R = \Sigma EL \text{ (MJ/ha*mm/ano)}$

$EL \text{ mensal} = 67,355 (r^2/P)^{0,85}$

p = precipitação mensal (mm)

P= precipitação anual (mm)

R = 6400 (MJ/ha*mm/ano)

Os valores de “g” e “s” são valores relativos, que relacionam o valor final dividido pelo valor inicial da grandeza considerada. O valor da perda de solo é a perda total final dividida pela perda estimada pelo modelo na condição otimizada. Já o valor dos gases é dividido pela produção de leite, respectivamente, na situação inicial e na condição otimizada.

O valor dos pesos de cada função objetivo (w) será definido pelo modelador no momento das simulações esse fato permite criar diferentes cenários e verificar o impacto dessas alterações nas combinações que o modelo indicaria como ótimas.

2.4. PRINCIPAIS RESTRIÇÕES ESTRUTURADAS NO MODELO

O modelo foi desenvolvido considerando que a unidade de tempo para realizar os balanços nutricionais foi o mês e, com isso, foram considerados 12 meses para compor um ano agrícola.

A restrição a área das unidades de produção foi estabelecida a partir da área útil a ser destinada as vacas em atividade produtiva da propriedade e esta foi assumida como sendo de 23,5 hectares no verão e 21 hectares no inverno. Foi tomado o cuidado para não deixar que nesta área houvesse sobreposição de culturas. Essa restrição foi estabelecida pela inequação, onde a soma das áreas das culturas de cada estação de cultivo deve ser menor que a área disponível (E.11, E.12).

$$A_v \geq \sum a_v \quad (\text{E. 11})$$

(ou REATOTPAST(1)+AREATOTPAST(2)+AREATOTPAST(3)+AREASILAGEM+AREAAARREND;)

$$A_i \geq \sum a_i \quad (\text{E. 12})$$

(ou AREAINVERNO >= AREATOTPAST(1)+AREATOTPAST(4)+AREATOTPAST(5)+AREATOTPAST(6)+AREATOTPAST(7);)

Onde:

A_v = área de verão,

A_i = área de inverno,

a_v = áreas das culturas de verão;

a_i = áreas das culturas de inverno, mais a área de tifton que continua ocupando a área no inverno – cultura permanente.

Para condicionar que a superfície de uma pastagem fosse a maior superfície utilizada dessa pastagem em qualquer dos meses do ano foi estabelecido uma condição de ligação escrita como segue:

$$a_i \geq a_{ij}, \quad (\text{E.13})$$

onde:

a = é a área utilizada pela pastagem i no período de seu desenvolvimento;

i = é o tipo de pastagem;

j = é o mês do ano.

As restrições referentes ao balanço nutricional dos animais consideram a capacidade de ingestão e o balanço de energia e proteína das exigências dos animais e da oferta desses nutrientes nos alimentos. Neste modelo essas restrições foram simplificadas para reduzir o nível de funções e variáveis não lineares. Dessa forma, se partiu do fato de que os animais têm uma capacidade máxima de ingestão, o que limita a ingestão de alimentos expressa pelo somatório da ingestão dos alimentos (E.14). Outra restrição foi constituída pela limitação da ingestão de alimentos concentrados que deve ser no máximo metade da matéria seca ingerida pelo animal (E. 15).

$$\sum I_{ij} \leq I_{\text{máx}} \quad (\text{E.14})$$

$$\sum I_{v,j} \geq \sum I_{c,j} \quad (\text{E.15})$$

Onde,

$I_{\text{máx}}$ = capacidade de ingestão máxima em matéria seca das vacas (ingestão de uma vaca vezes o número de vacas*30 dias);

I = ingrediente ou alimento da dieta;

i = tipo de alimento ou ingrediente da dieta;

v = volumosos, pastos silagem;

c = concentrado;

j = mês;

O balanço dos nutrientes, ou seja, da exigência do animal e oferta de nutrientes pelos alimentos foram formulados na E 16. As exigências consideram a demanda para manutenção, para prenhez e para produção de leite. A demanda de nutrientes para produção de leite é determinada pela exigência de cada nutriente para produzir um litro de leite, multiplicada pela quantidade de leite produzido. A quantidade de leite produzido é determinada pelo modelo a partir da sobra dos nutrientes após ter coberto as necessidades de manutenção e gestação dos animais.

$$\sum_i (I_{ij} \cdot Cn_{ij}) \geq \sum D_j \quad (E.16)$$

Onde,

I = ingrediente ou alimento da dieta;

Cn = concentração de dado nutriente;

D = demanda de nutriente total;

j = mês

i = alimento

$$D = 30 \cdot V \cdot (Dm + Dg + (La \cdot D1) + (Lb + D2))$$

Onde,

Dm = demanda de um dado nutriente para manutenção de uma vaca;

Dg = demanda de dado nutriente para gestação de uma vaca;

$D1$ = demanda de dado nutriente para a produção de um litro de leite

La = litros de leite produzidos por uma vaca na primeira fase linear de demanda;

Lb = só registrada para a segunda fase de demanda de energia, quando a vaca faz uma partição para as reservas;

$D1$ = demanda do nutriente para 1 litro de leite na primeira fase;

$D2$ = só registrada para a segunda fase para energia quando a vaca passa a desviar parte da energia para a formação de reservas.

$$L1 = La + Lb;$$

A energia necessária para produzir leite foi dividida em duas partes, uma com demanda energética menor e outra maior. A primeira corresponde à demanda para produção de leite quando o animal não desvia parte dos nutrientes para a formação de tecidos de reserva. A segunda equivale à demanda energética para produção de leite a partir do momento em que a produção de leite se aproxima da produção potencial do animal e esse desvia parte da energia para compor tecido de reserva, isso só para a demanda de energia.

A concentração de energia das pastagens foi estimada a partir da digestibilidade $((-1,47 + 17,2 \cdot (\text{DIGPASTMES}/100))/4,184)$ os resultados estão expressos na tabela 2.3. para

cada pastagem em cada mês. Para os demais alimentos estão na tabela 2.5, conjuntamente com o valor de proteína bruta.

Tabela 2.2. Concentração de energia metabólica (Kcal/kg de matéria seca) estimada a partir da digestibilidade da forragem

PASTAGENS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Tifton	2,197	2,197	2,115	1,910	1,663	0,000	0,000	0,000	2,321	2,321	2,280	2,239
Milheto	2,197	2,115	1,869	1,786	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,362
Sorgo	2,156	2,074	1,951	1,786	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,280	2,239
Aveia e azevém em área arrendada	0,000	0,000	0,000	0,000	2,609	2,526	2,444	2,280	1,869	1,786	0,000	0,000
Aveia e azevém	0,000	0,000	0,000	0,000	2,609	2,526	2,444	2,280	1,869	1,786	0,000	0,000
Aveia e azevém ciclo longo	0,000	0,000	0,000	0,000	2,609	2,526	2,444	2,362	2,280	1,951	0,000	0,000
Azevém ciclo longo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,609	2,526	2,444	2,033	0,000	0,000

Fonte: adaptado de Schwertz, 2006

Tabela 2.3. Valores de energia metabólica (EM) e proteína bruta (PB) nos alimentos concentrados

Alimento	EM (Kcal/kg de MS)*	PB (kg/kg de MS)*
Silagem de milho	2,2	0,06
Concentrado comercial	3	0,22
Farelo de soja	2,9	0,44
Milho, grão	3	0,09

Fonte: Schwertz, 2006. *MS = matéria seca

Considerando que a concentração de proteína das pastagens é alterada pela disponibilidade de nitrogênio no solo, então a concentração de proteína nos pastos foi estimada a partir de uma equação linear ($PB = a + bN$) cuja coeficientes encontram-se na tabela 2.4.

Tabela 2.4. Coeficientes da equação linear que estima a concentração de proteína bruta (PB%) na matéria seca das pastagens ingeridas pelos animais a partir da variável independente dose de N

Pastagem	Intercepto	Coeficiente angular
Tifton	9	0,03
Milheto	9,05	0,0303
Sorgo	9,05	0,0303
Aveia e Azevém arrendado	13	0,03
Aveia e Azevém comum	13	0,03
Aveia e Azevém ciclo longo	13	0,03
Azevém ciclo longo	13	0,03

Fonte: Schwertz, 2006.

A disponibilidade de matéria seca de pastagens também é dependente da adubação, nesse caso relacionada ao nível de adubação nitrogenada. A equação que expressa essa relação é a equação da reta e os coeficientes estão descritos na tabela 2.5. Essa não é a melhor forma de expressar a relação entre a produção de massa e a adubação nitrogenada, uma vez que a partir de um determinado valor de N a relação não é mais linear. Para evitar esse erro se estabeleceu um limite máximo no emprego de N, procurado assegurar que não se atingiria essa fase não linear da relação. Esse limite foi de 300 kg por hectare para as culturas de verão e de 150 para as culturas de inverno.

Tabela 2.5. Valores de intercepto e coeficiente angular para a produção de matéria seca das pastagens a partir da variável independente dose de nitrogênio aplicado como fertilizante

Pasto	Coeficiente (kg)	Intercepto (kg)
Tifton	30	7000
Milheto	30	6700
Sorgo	30	6700
Aveia e azevém em área de arrendamento	22	4000
Aveia e azevém	22	4000
Aveia e azevém ciclo longo	22	4000
Azevém ciclo longo	22	4000

Fonte: Schwerz, 2006.

Nem toda matéria seca de pasto disponibilizada às vacas pode ser ingerida, ou seja, há perdas e rejeição de parte da matéria seca da pastagem. Nessa dissertação foi assumido que da matéria seca disponibilizada as vacas poderiam ingerir no máximo 60%, ou seja, a proporção de uso da pastagem disponível (PUP) foi de 0,6 multiplicado pelo valor de matéria seca de pastagem por área de cada pastagem. Para expressar a demanda de cada pastagem em relação ao consumo das vacas foi formulada a inequação E.17. Essa expressão relaciona a ingestão de pasto potencialmente que a vaca disporia para consumir em cada mês.

$$\sum (D_{ij} \cdot 0,6 \cdot A_{ij}) \geq I_{pj} \cdot V \cdot 30 \quad (E.17)$$

Onde:

D = disponibilidade de pasto;

a = área do pasto;

I_p = ingestão de pasto;

0,6 = proporção de pasto que pode ser ingerido do disponível;

i = tipo de pasto;

j = mês.

As informações sobre as exigências dos animais (Tabela 2.6), dos custos de instalação e manutenção das pastagens, bem como do custo de outros insumos usados diretamente para os animais (Tabela 2.7) e os preços pagos aos produtores por litro de leite entregue a indústria são os mesmos empregados por Schwerz (2006).

Tabela 2.6. Valores correspondentes as exigências nutricionais dos animais

Fator	Valor	Unidade
Energia metabolizável necessária para a manutenção da vaca	17,5	Mcal/d
Energia média necessária para a gestação	2,256	Mcal/kg
Energia necessária para a produção de um litro de leite	1,24	Mcal/L
Energia metabolizável do leite produzido não linear	3	Mcal/L
Proteína bruta necessária para a manutenção da vaca	0,386	kg/d
Proteína bruta média para vaca em gestação	0,186	kg/d
Proteína bruta para produção de um litro de leite	0,09	kg/L
Ingestão de matéria seca máxima	17,8	kg
Produção de leite máxima da primeira fase linear	17	L/mês
Produção de leite máxima da segunda fase	3	L/mês

Fonte: Schwerz, 2006.

Tabela 2.7. Valores dos custos com insumos utilizados nas pastagens e de alguns custos de insumos utilizados pelos animais, exceto de alimentos.

Custos pastagens e animais	R\$
Tifton	0
Milheto	87,5
Sorgo	197,5
Aveia e azevém em área de arrendamento	0
Aveia e azevém	102
Aveia e azevém ciclo longo	142
Azevém ciclo longo	127
Custo por vaca (animal)	170

Fonte: Schwerz, 2006.

Tabela 2.8. Preço médio pago ao leite para os produtores empregados no modelo

Meses	Preço R\$/L
Janeiro	0,45
Fevereiro	0,46
Março	0,47
Abril	0,48
Maio	0,48
Junho	0,48
Julho	0,48
Agosto	0,42
Setembro	0,38
Outubro	0,38
Novembro	0,37
Dezembro	0,36

Fonte: EMBRAPA, 2005.

III – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão descritos alguns cenários e as respostas geradas pelo modelo, seguidas de breves discussões de acordo com algumas considerações e restrições. Todas as soluções dos cenários que serão especificados a seguir foram obtidas no programa Lingo 10.0. Os resultados obtidos são valores máximos locais, uma vez que se optou por não empregar o dispositivo de ótimo global existente no programa.

3.1. CENÁRIO 1 - DESEMPENHO DO SISTEMA QUANDO A SOLUÇÃO SÓ CONSIDERA A OTIMIZAÇÃO DA RENDA

Neste cenário se considerou apenas como critério de otimização a renda relativa que o produtor poderia obter. Dessa forma atribuíram-se peso zero (w) para as funções de produção de gases de efeito estufa, de perda de solo e de custo, e 1 para a renda relativa. Os resultados desta situação são apresentados na tabela 3.1.

Esse cenário foi proposto para servir como ponto de referência dos impactos que a inclusão de outros objetivos poderia determinar nas escolhas, dessa forma não passa de uma situação teórica que não está sendo constituída como proposta para orientar a organização dos sistemas produtivos. Nos próximos cenários serão considerados pesos para as outras funções objetivos para se analisar o que acontece com essa unidade de produção, além de incluir algumas restrições que possam aproximar de um contexto mais apropriado a realidade dos processos produtivos e das decisões no contexto considerado.

Tabela 3.1. Desempenho do sistema quando a solução só considera a otimização da renda

Variáveis		Fator	Valor encontrado
Variáveis da Função Objetivo		Renda Relativa	5,4
		Custo relativo	1,48
		Gases Relativos	0,89
		Erosão relativa	1,51
		Silagem	11,8
		Tifton	0
		Milheto	11,7
		Sorgo	0
Variáveis de área (ha)		Arrendamento (aveia e azevém)	0
		Aveia e Azevém comum	13,2
		Aveia e Azevém de ciclo longo	7,8
		Azevém ciclo longo	0
		NVL	93
Número de Vacas Produção de leite		PRODTOTALLEITE	601379
		Prod. Leite (L/d/VL)	17,96
		Farelo de Soja	23164,5
Alimentos concentrados (kg/ano)		Milho	246483
		Total concentrado/ concentrado adquirido	0
Média concentrado		Média (kg/dia/vaca)	8,1
		Nitrogênio área de milheto	300 kg/ha
Nível de nitrogênio (kg/ano)		Nitrogênio área de aveia e azevém comum	200 kg/ha
		Nitrogênio área de aveia e azevém de ciclo longo	200 kg/ha

Neste cenário 1 se pode observar pela tabela 3.1 que o modelo apresenta um resultado econômico 5,4 vezes superior ao resultado inicial nesta propriedade que era de R\$ 23871,00 (Tabela 2.1). Esse valor relativamente elevado demonstra claramente que o produtor teria capacidade de elevar muito a renda e para isso teria que intensificar a produção leiteira. Esse resultado foi obtido com a elevação do número de animais que chegou a 93 e ao aumento da produção de leite por animal. Porém, para isso acontecer não foi considerado a produção de gases nesta propriedade e a erosão causada, bem como os custos provenientes para que isso acontecesse. Outro fator relevante a ser registrado é o aumento considerável na quantidade de animais na unidade de produção, passando dos 21 animais iniciais para 93 animais. Em geral, modificações dessa ordem levam muito tempo a serem feitas por produtores. De qualquer forma indica o sentido que a organização do sistema deveria seguir para atingir os maiores resultados econômicos. Além disso, as exclusões de algumas atividades poderiam requerer a aquisição de alguns bens, como trator, ou então, analisar a possibilidade de contratar serviços, o que não foi modelado como restrições nesse modelo.

Outro ponto importante da resposta estabelecida pelo modelo é o aumento do uso de alimentos concentrados, esse chega a ser em média de aproximadamente 8,1 kg e responde em boa parte pela elevação da produção por animal, enquanto o aumento das áreas de pastagens anuais e de silagem permite a elevação do número de animais. A produção de pouco mais de 17,9 L por animal ao dia no ano corresponde a uma limitação do potencial genético assumido na definição do modelo, ou seja, foi estabelecido uma produção de 17 L com demanda energética por litro de leite de 1,24 Mcal de EM e acima disso o valor requerido passou a ser de 3 Mcal de EM por litro de leite para incluir uma partição de energia para outros tecidos. Dessa forma, o modelo indica que o custo para atender a produção do que se chamou de parte não linear da produção de leite não é justificada, pelo menos economicamente. Outra consideração a se fazer, é a de que se os animais apresentassem maior potencial produtivo, ainda haveria possibilidade de incluir mais concentrado na dieta desses para possibilitar produções mais elevadas. Porém, essas considerações devem ser relativizadas na medida em que outros mecanismos poderiam indicar limites que nesse grau de agregação do modelo não foram considerados, como a possibilidade de atingir níveis extremamente elevados de uso de concentrado no início da lactação das vacas devido à menor ingestão e a maior demanda por produção. De qualquer forma, a média de 8,1 kg não é muito superior ao uso de concentrado em sistemas empregados pela EMBRAPA gado de leite (Vilela et al., 1996; Alvim et al., 1999). Nesses experimentos as produções de leite foram próximas às obtidas na presente solução.

De toda a área de verão existente na propriedade, ou seja, dos 23,5 hectares destinados a utilização, o modelo sugere que se utilize 11,8 hectares para a produção de silagem e o restante, ou seja, 11,7 hectares fossem destinados à produção de milho. No inverno, dos 21 hectares disponíveis, o modelo sugeriu que fossem utilizados 13,2 hectares à aveia e azevém comum, e o restante, ou seja, 7,8 hectares ao plantio de aveia e azevém de ciclo longo, tendo com isso alimentação no verão e no inverno o suficiente para a quantidade de animais propostos. A exclusão da pastagem de tifton estaria relacionada ao fato de ocupar a área de inverno, limitando a produção de massa nesse período e por conseguinte o número de animais. Isso também resulta na alocação de uma importante área para ser usada na produção de silagem que possibilita deslocamento de matéria seca para a estação fria.

Tanto na pastagem de milho, como na pastagem de aveia e azevém o emprego de adubos foi máximo, ou seja, de 300 kg e 200 kg, respectivamente, de nitrogênio por hectare. Isso indica que a intensificação na produção das pastagens passa a ser um importante passo para a elevação nos níveis de renda, isso quando se quer atingir o máximo, sem considerar riscos e outros aspectos de sustentabilidade.

De certa forma essa solução corrobora com as indicações feitas por aqueles que propagam a profissionalização na produção leiteira, onde os critérios são a máxima produção física e econômica. A questão que se quer passar a discutir é sobre as implicações que as considerações de outros critérios de sustentabilidade nos objetivos de decisão pode ter na organização e desempenho dos sistemas produtivos.

3.2. CENÁRIO 2 - ATRIBUINDO PESO DIFERENTES DE ZERO PARA FUNÇÕES QUE PROCURAM INCORPORAR ASPECTOS RELATIVOS A SUSTENTABILIDADE

Neste cenário foram feitas três outras simulações, em que em cada uma das simulações foram atribuídos diferentes pesos para as funções objetivos que representam em certa medida indicadores de sustentabilidade. As funções objetivos foram a renda relativa (r ou RRENDA), os custos relativos (c ou RCUSTO), a produção relativa de gases por litro de leite (g ou RGASES) e a perda relativa de solo (s ou REROSAO). Os pesos atribuídos para cada uma dessas funções em cada um dos cenários se encontram na tabela 3.2. Nessa mesma tabela estão os resultados obtidos com as simulações, sendo que esses resultados podem ser considerados apenas como ótimos locais.

Neste cenário foram feitos três simulações alterando os pesos para as funções objetivo. Os pesos atribuídos foram 40, 30, 10 e 20, 40, 30, 20 e 10 e 50, 30, 10 e 10 para as funções objetivo de renda, custo, gases de efeito estufa e perda de solo, respectivamente (Tabela 3.2). Nesse cenário não foram agregadas outras restrições.

Observa-se que para os pesos de 40% da função objetivo para o resultado econômico se passa a ter um efeito do fator perda de solo na solução do problema. A perda de solo relativa que era de 1,5 passa a ser igual ou menor que 0,58 e essa redução foi obtida com a inclusão de pastagem permanente (tifton) que passou a ocupar mais que 13,4 ha da área de verão. Com isso sai da solução a pastagem anual de verão e reduz as de inverno. O resultado foi uma redução no número de vacas, na produção total de leite e queda no resultado econômico. Essas foram as modificações mais relevantes que podem ser consideradas e passam a ser detalhadas abaixo.

Tabela 3.2. Atribuindo peso diferentes de zero para funções que procuram incorporar aspectos relativos a sustentabilidade

Pesos atribuídos as funções objetivos com três diferentes pesos		RRENDA 40%, RCUSTO 30%, RGASES 10% e REROSAO 20%	RRENDA 40%, RCUSTO 30%, RGASES 20% e REROSAO 10%	RRENDA 50%, RCUSTO 30%, RGASES 10% e REROSAO 10%
Variáveis	Fator	Valor encontrado	Valor encontrado	Valor encontrado
Variáveis da Função Objetivo	Renda Relativa	4,7	4,7	5,3
	Custo relativo	1,4	1,4	1,5
	Gases Relativos	0,89	0,89	0,89
	Erosão relativa	0,57	0,58	1,5
	Silagem	10,0	10,1	9,7
	Tifton	13,5	13,4	0
	Milheto	0	0	0
Variáveis de área (ha)	Sorgo	0	0	13,8
	Arrendamento (aveia e azevém)	0	0	0
	Aveia e Azevém comum	7,2	7,6	14,7

		Aveia e Azevém de ciclo longo	0,4	0	6,3
		Azevém ciclo longo	0	0	0
Número de Vacas		NVL	77	77	97
Produção de leite		PRODTOTALLEITE	500972	501094	617255
		Prod. Leite dia/vaca	18,07	18,08	17,7
		Farelo de Soja	15002,1	15056,1	22095,2
Alimentos concentrados (kg/ano)		Milho	222491	222520	272087
		Total concentrado/ concentrado adquirido	0	0	0
Média concentrado		Média (kg/dia/vaca)	8,6	8,6	8,4
		Nitrogênio área de tifton	300 kg/ha	300 kg/ha	0
Nível de nitrogênio (kg/ano)		Nitrogênio área de aveia e azevém comum	200 kg/ha	200 kg/ha	200 kg/ha
		Nitrogênio área de aveia e azevém longo	200 kg/ha	0	200 kg/ha
		Nitrogênio área de Sorgo	0	0	300 kg/ha

A primeira observação que se pode fazer é a de que só quando se atribuiu peso maior ou igual a 50% para o resultado econômico é que passou a ocorrer mudança substancial nas respostas. Esse fato pode estar relacionado à grandeza que se podem elevar os rendimentos quando não se limitam o aumento do número de animais, o que sugere um novo cenário a ser examinado. Quando se atribui peso de 40% para o resultado econômico e se distribui em 30% para o aumento no custo de produção e outros 30% entre a produção de gases efeito estufa e a perda de solo, o modelo passa a alterar substancialmente a combinação do sistema produtivo e seus resultados.

Primeiramente há uma redução da renda relativa para níveis de 4,7 vezes a situação inicial, o que ainda é elevado, porém menor do que na situação em que se considerou apenas o ótimo econômico onde o modelo deu como resposta algo em torno de 5,4 vezes maior. O custo relativo seria mais ou menos semelhante ao cenário um, não sofrendo muitas mudanças, ou seja, tendo um aumento na produção variando de 40 a 50%. A produção de gases se manteve exatamente igual ao primeiro cenário, pois este ficou restrito a 89% do que era na condição inicial por litro de leite, e isso possivelmente se deu em reflexo do uso de concentrado na dieta dos animais. Porém na erosão causada tivemos uma grande diferença, pois no primeiro cenário tivemos um aumento bastante considerável nesta função objetivo, ou seja, aproximadamente um aumento de 51% da erosão inicial causada. Isso ocorreu porque não estava preocupado com esta função objetivo, neste cenário onde consideramos a função objetivo erosão atribuindo pesos variando de 10 a 20%, nos três comparativos podemos perceber que tivemos um resultado variando entre 57% e 58% da condição inicial, com exceção na terceira simulação que obtivemos um aumento de aproximadamente 50% . Isso

porque o modelo desconsiderou uma suposta plantação de tifton e ao mesmo tempo sugeriu o cultivo de 13,8 hectares de sorgo, com isso aumentando bastante a erosão causada.

Esse resultado ainda está baseado no aumento do número de vacas e na produção por vaca. Porém, o número de vacas passa a ser menor, 77 nas duas primeiras simulações e a produção por vaca aumenta com o aumento do uso de concentrados na dieta que atingem o nível máximo e passam então a limitar o nível produtivo das vacas em pouco mais de 18 L.

A combinação de pastagens mudou com as implicações sobre a perda de solo, a pastagem de tifton passou a integrar as respostas no lugar das pastagens anuais de verão e isso limitou o uso das pastagens anuais de inverno que apresentaram suas áreas sensivelmente reduzidas. Com isso, a presença de silagem continuou ocupando uma área relativamente grande no sistema. Isso sugere que se fosse estabelecido técnicas de uso dessa área de pastagem permanente com sobre semeadura de forragens de inverno, determinaria um importante impacto nos resultados do sistema e em suas combinações, podendo constituir em um cenário a ser avaliado.

Na pastagem de tifton, foi empregada a quantidade máxima de adubo, ou seja, 300 kg de nitrogênio por hectare nos cenários onde foi atribuído 40% do total a função objetivo renda, e onde foi atribuído à função renda peso 50%, o modelo não sugeriu cultivo de tifton. Da mesma forma em ambos os cenários o modelo sugeriu a quantidade máxima de adubo nas áreas com aveia e azevém comum, ou seja, 200 kg de nitrogênio por hectare independente do peso atribuído a função renda. Já nas áreas com o cultivo de aveia e azevém longo o modelo sugeriu a aplicação máxima de adubo nos cenários onde a função objetivo renda foi 40% ou 50%, ou seja, sugeriu a aplicação de 200 kg de nitrogênio por hectare; e quando a função objetivo gases passou de 10% para 20%, não sugeriu nenhuma aplicação neste cultivo. E por último o modelo sugeriu o cultivo de sorgo em 13,8 hectares onde a função renda teve um peso de 50% e nestas áreas sugeriu que a aplicação de adubação fosse máxima, ou seja, 300 kg de nitrogênio por hectare. Isso indica que a intensificação na produção das pastagens anuais passa a ser um importante passo para a elevação nos níveis de renda.

Nos cenários acima o número de animais foram bastante elevados em relação a situação inicial, o que nos remete a pensar que essa não seria a primeira escolha que o produtor faria para reorientar o seu sistema, uma vez que exigiria alterações extremas e de um nível elevado de investimentos. Desta forma, seria prudente avaliar situações onde o número de animais fossem restritos a um nível factível nas condições em que o sistema se encontra.

3.3. CENÁRIO 3 - MANTENDO OS MESMOS PESOS QUE A SIMULAÇÃO 1 DO CENÁRIO 2, PORÉM LIMITANDO A QUANTIDADE DE ANIMAIS EM 42

Neste cenário foi estabelecido que o modelo poderia no máximo dobrar a quantidade de animais na unidade de produção, mantendo no restante as mesmas características citadas e

discutidas no cenário dois em sua primeira simulação. Pode-se observar na tabela 3.3 as principais mudanças que ocorreram.

Tabela 3.3. Mantendo os mesmos pesos porém limitando a quantidade de animais em 42

Variáveis	Fator	Valor encontrado
Variáveis da Função Objetivo	Renda Relativa	2,85
	Custo relativo	1,24
	Gases Relativos	0,89
	Erosão relativa	0,36
	Silagem	3,5
	Tifton	16,5
	Milheto	1,7
Variáveis de área (ha)	Sorgo	0
	Arrendamento (aveia e azevém)	1,8
	Aveia e Azevém comum	2,7
	Aveia e Azevém de ciclo longo	0
	Azevém ciclo longo	0
Número de Vacas Produção de leite	NVL	42
	PRODTOTALLEITE	271240
	Prod. Leite (L/d/VL)	17,94
	Farelo de Soja	6398,3
Alimentos concentrados (kg/ano)	Milho	88830,8
	Total concentrado/ concentrado adquirido	0
Média concentrado	Média (kg/dia/vaca)	6,3
	Nitrogênio área de milheto	0 kg/ha
	Nitrogênio área de Tifton	182 kg/ha
Nível de nitrogênio (kg/ano)	Nitrogênio área de aveia e azevém comum (Arrend)	200 kg/ha
	Nitrogênio área de aveia e azevém comum	200 kg/ha

Neste cenário se pode observar (Tabela 3.3) que solução apresentada possibilita um resultado econômico 2,8 vezes superior ao resultado inicial, em função de ter limitado a quantidade de animais em 42. Também se teve um benefício relativamente importante na redução dos custos de produção e na perda de solos, mantendo inalterado a produção de gases, isso quando comparado a simulação anterior (40, 30, 10, 20).

Para atingir esse resultado a solução indicou o aumento da área de tifton que passa a ser a fonte de volumoso na estação quente. Reduz drasticamente a produção de silagem e aloca essa para a estação fria. As pastagens anuais de estação fria passam a ocupar uma área menor por competir pela área com a pastagem de tifton. O nível de concentrado na dieta é reduzido, uma vez que há maior disponibilidade por animal de volumoso. A alocação de adubos é menor no verão, ficando muito abaixo do limite máximo. Já no inverno, pela

restrição de área a adubação atinge o nível máximo. A produção por vaca permanece muito próxima, porém, com o menor número de vacas a produção total cai substancialmente o que explica o valor relativo de renda ser bem menor. Isso quando comparado a simulação que considerou o número de animais livres. De qualquer forma, nessa situação o produtor teria ultrapassado a renda objetivada, ou seja, o dobro da renda, ao mesmo tempo em que reduziria e impacto negativo sobre os solos e a produção de gás. Porém, os custos relativos seriam aumentados em 24%, isso quando comparado à condição inicial. Esses seriam as combinações mais relevantes observadas na solução.

Mais pormenorizadamente pode-se detalhar as alterações observadas começando pelo consumo de concentrado das vacas. Nesse caso observou-se uma diminuição do uso de alimentos concentrados, esse que anteriormente era de 8,1 kg aproximadamente no cenário um e de 8,4 kg a 8,6 kg no cenário dois, passou para 6,3 kg neste cenário onde foi limitada a quantidade de animais. Mas com isso não se obteve um grande decréscimo na produção de leite dia, que antes era em torno de 17,96 L a 18,08L por animal, agora a produção por animal gira em torno de 17,94 L. Dessa forma, o modelo indica que o custo para atender a produção do que se chamou de parte não linear da produção de leite não é justificada, pelo menos economicamente. Outra consideração a se fazer é a de que se os animais apresentassem maior potencial produtivo, ainda haveria possibilidade de incluir mais concentrado na dieta desses para possibilitar produções mais elevadas.

A área de silagem possibilita a transferência de matéria seca para os períodos de inverno e os intervalos de disponibilidade de pastagens e isso explica a elevação em sua área. Essa condição fez com que a área fosse dedicada às seguintes atividades: de toda a área de verão existente na propriedade, ou seja, dos 23,5 hectares destinados a utilização, o modelo sugere que se utilize 3,5 hectares para a utilização de silagem, 16,5 hectares fossem destinados à produção de tifton e somente 1,7 hectares destinados a produção de milheto. O modelo também sugere que se destine 1,8 hectares ao cultivo de aveia e azevém arrendados e 2,7 hectares a produção de aveia e azevém comum.

Tanto na área destinada ao cultivo de aveia e azevém comum arrendado quanto na área de aveia e azevém comum o modelo sugeriu o emprego máximo de adubo, ou seja, de 200 kg respectivamente, de nitrogênio por hectare. Já para a área de tifton o modelo sugeriu o emprego de 182 kg de nitrogênio por hectare, não havendo a necessidade de empregar adubação máxima que seria de 300 kg por hectare.

Pode-se perceber que mesmo limitando a quantidade de animais em 42, o modelo conseguiu aumentar a renda em mais de 2,8 vezes, com isso também foi diminuída a quantidade média de concentrado/dia/vaca ingerido para aproximadamente 6,3 kg, causando uma queda de 26,5% no consumo deste.

O custo de produção por litro de leite que novamente foi levado em conta teve uma pequena diminuição em relação aos cenários anteriores que haviam aumentado entre 40 e 50% por litro. Agora neste cenário onde foi limitado a quantidade de animais, este obteve um aumento de apenas 24% referente à situação inicial. Pode-se perceber que a quantidade quanto ao consumo de concentrado teve uma queda considerável, de aproximadamente

26,5%, isto seria o esperado, pois neste cenário o modelo ficou restrito a somente 42 animais enquanto no cenário anterior tínhamos em torno de 77 animais.

A produção de gases por litro de leite ficou restrito a 89% do que era na condição inicial, não mostrando grandes diferenças. E a erosão causada teve um decréscimo, pois foi implantado uma boa área de tifton (16,5 ha) contribuindo para que isso acontecesse, ou seja, ficando 36% do que era na condição inicial bem menor que as anteriores que giravam de 50% do que era até 55% a mais da situação inicial, mostrando com isso a importância de cuidar o tipo de cultivo a ser utilizado.

3.4. CENÁRIO 4 - LIBERANDO ÁREA DE INVERNO PARA TIFTON E QUANTIDADE DE ANIMAIS LIMITADA EM 42

No Departamento de Estudos Agrários (UNIJUÍ) tem se conduzido algumas observações com dados ainda não publicados que indicam a possibilidade de se fazer a sobresemeadura com pastagens anuais de estação fria em tifton. Então se passou a verificar qual seria o possível efeito dessa possibilidade sobre a condição anterior (cenário 3). Neste cenário foi mantido quase que na sua totalidade as mesmas situações e condições apresentadas no cenário 3, porém foi subtraída a condição de que a área de tifton reduzia a disponibilidade de área para pastagens de estação fria.

Tabela 3.4. Liberando área de Tifton para o inverno e quantidade de animais limitada em 42

Variáveis		Fator	Valor encontrado
Variáveis da Função Objetivo		Renda Relativa	2,85
		Custo relativo	1,24
		Gases Relativos	0,89
		Erosão relativa	0,36
		Silagem	3,5
		Tifton	16,5
		Milheto	1,7
Variáveis de área (ha)		Sorgo	0
		Arrendamento (aveia e azevém)	1,8
		Aveia e Azevém comum	2,7
		Aveia e Azevém de ciclo longo	0
		Azevém ciclo longo	0
		NVL	42
Número de Vacas		PRODTOTALLEITE	271240
		Prod. Leite (L/d/VL)*	17,94
Produção de leite		Farelo de Soja	6398,3
		Milho	88830,8
		Total	0
Alimentos concentrados (kg/ano)		concentrado/	0

Média concentrado	concentrado adquirido	
	Média (kg/dia/vaca)**	6,3
Nível de nitrogênio (kg/ano)	Nitrogênio área de milheto	0 kg/ha
	Nitrogênio área de Tifton	182 kg/ha
	Nitrogênio área de aveia e azevém comum (Arrend)	200 kg/ha
	Nitrogênio área de aveia e azevém comum	200 kg/ha

Comparando a tabela 3.4 com a tabela do cenário três (tabela 3.3), se pode perceber que liberando a área de tifton no inverno e mantendo-se a quantidade de animais neste cenário, não se obteve diferenças nas respostas, mostrando que a área de tifton não interfere se for bloqueada o seu cultivo no inverno quando ela não representar limitações significativas.

3.5. CENÁRIO 5 - MANTIDO CENÁRIO 4 PORÉM MUDADO A RESPOSTA AO NITROGÊNIO DA PASTAGEM DE TIFTON

Neste cenário foi mantido os mesmos índices que o cenário quatro, porém foi alterado o rendimento de Tifton, ou seja, a resposta à adubação nitrogenada que era representada por $y = 30 \cdot 7000N$, passa a ser $y = 36N \cdot 10000$. Acredita-se que, se o desempenho do tifton for melhor, pode aumentar sua participação em termos de ocupação de área e pode contribuir para a redução de uso de concentrado e também diminuir a erosão causada. Na tabela 3.5 pode-se observar os principais resultados dessa condição.

De imediato o que se observa é uma redução forte no custo de produção e continua tendo um importante impacto na redução da perda de solo. Porém, em geral a solução mantém-se muito próxima ao cenário 4. É possível que o impacto na redução do custo esteja associado a redução da ingestão média de concentrado.

Tabela 3.5. Mantido cenário 4 porém mudado o coeficiente e intercepto do tifton

Variáveis	Fator	Valor encontrado
Variáveis da Função Objetivo	Renda Relativa	3,1
	Custo relativo	1,11
	Gases Relativos	0,89
	Erosão relativa	0,32
	Silagem	3,1
	Tifton	16,2
	Milheto	0
Variáveis de área (ha)	Sorgo	0
	Arrendamento (aveia e azevém)	4,2
	Aveia e Azevém comum	0,6
	Aveia e Azevém de ciclo longo	0

	Azevém ciclo longo	0
Número de Vacas	NVL	42
Produção de leite	PRODTOTALLEITE	267535
	Prod. Leite (L/d/VL)	17,69
	Farelo de Soja	6047,5
Alimentos	Milho	76741
concentrados (kg/ano)	Total concentrado/ concentrado adquirido	0
Média concentrado	Média (kg/dia/vaca)	5,5
	Nitrogênio área de milheto	0 kg/ha
	Nitrogênio área de Tifton	147 kg/ha
Nível de nitrogênio (kg/ano)	Nitrogênio área de aveia e azevém comum (Arrend)	200 kg/ha
	Nitrogênio área de aveia e azevém comum	200 kg/ha

Neste cenário se pode observar pela tabela 3.5 que o modelo apresenta um resultado econômico 3,1 vezes superior ao resultado inicial nesta propriedade, que era de R\$ 23871,00. Pode-se perceber que houve uma redução na renda em relação ao primeiro cenário, onde não levamos em conta outras funções objetivos e a renda aumentou em mais de 5,4 vezes. Porém pensando de maneira mais sustentável, é melhor que a renda não aumente tanto mas em contrapartida os custos diminuam, bem como a produção de gases e a erosão causada. Esse valor considerado relativamente elevado demonstra claramente que o produtor teria capacidade de elevar muito sua renda e para isso teria que intensificar a produção leiteira em alguns pontos. Este aumento considerado grande ocorreu mudando o rendimento de tifton e também a quantidade de animais que ficou limitada a somente 42. Neste cenário foi levado em conta assim como nos demais (com exceção do cenário um) as outras funções objetivos, renda, custo de produção, produção de gases por litro de leite e a erosão causada no seguinte percentual de pesos: 40% para renda, 30%, 10% e 20% respectivamente.

O custo relativo seria mais ou menos semelhante ao cenário um, não ocorrendo muitas mudanças, ou seja, causando um aumento na produção de aproximadamente 11%. A produção de gases se manteve exatamente igual aos primeiros cenários, pois este ficou restrito a 89% do que era na condição inicial por litro de leite, e isso possivelmente se deu em reflexo do uso de concentrado na dieta dos animais. Porém na erosão causada tivemos uma grande diferença, pois, no primeiro cenário tivemos um aumento bastante considerável nesta função objetivo, ou seja, aproximadamente um aumento de 51% da erosão inicial causada, isso porque não estávamos preocupados com esta função objetivo, neste cenário onde consideramos a função objetivo erosão atribuindo um peso de 20% podemos perceber que tivemos um resultado bem menor, aproximadamente 32% da condição inicial. Esta diminuição na erosão provavelmente seja causada neste cenário pois, o modelo sugeriu o cultivo de aproximadamente 16,2 hectares de tifton.

Outro ponto importante da resposta apresentada pelo modelo é a diminuição do uso de alimentos concentrados, nos outros cenários este variava de 6,3 kg a 8,6 kg, neste caso, mudando o rendimento do tifton, a quantidade de concentrado ficou reduzido a 5,5 kg por

animal, ou seja, teve uma diminuição de aproximadamente 32%, mostrando que se melhorarmos o rendimento do tifton teremos uma diminuição significativa no consumo de concentrado. Já a produção de leite manteve-se mais ou menos dentro dos outros padrões estimados pelo modelo nos outros cenários com uma média de aproximadamente 17,69 L por animal/dia.

A área de silagem possibilita a transferência de matéria seca para os períodos de inverno e os intervalos de disponibilidade de pastagens, e o modelo mostra que não houve grande diferença com as outras situações. Essa condição fez com que a área fosse dedicada às seguintes atividades:

De toda a área de verão existente na propriedade, ou seja, dos 23,5 hectares destinados a utilização, o modelo sugere que se utilize 3,1 hectares para a produção de silagem, 16,2 hectares fossem destinados à produção de tifton e 4,2 destinados ao arrendamento de aveia e azevém comum.

Nesta situação o modelo sugere que se use 147 kg por hectare de nitrogênio e para a produção de aveia e azevém comum tanto em áreas arrendadas ou não o modelo sugere que se utilize quantidade máxima, ou seja, 200 kg de nitrogênio por hectare. Com isso podemos deduzir que um fator importante para aumentar a renda do produtor é a intensificação na produção das pastagens.

3.6. CENÁRIO 6 - MUDANDO A FUNÇÃO DOS GASES

Neste cenário mantiveram-se os mesmos padrões do cenário 4, porém foi mudado a formulação de RGASES (g) para ser o total relativo de gás produzido pelo sistema e não o total por litro de leite, dessa forma passaria a ser “ $RGASES = GASESTOTAL / 32922$ ”. Nos outros cenários esta função objetivo era calculada relativamente entre a produção de gases total dividido pela produção total de leite depois pela produção inicial dividido pela produção total de leite.

Nessa nova formulação (Tabela 3.6) a renda teve um aumento considerável, ou seja, aumentou em mais de três vezes a renda inicial desta unidade de produção, porém em contrapartida o aumento da produção de gases que é o principal motivo deste cenário obteve um aumento extremamente grande. Porém, comparando com o cenário 4, as alterações são diminutas, observando-se o maior impacto na redução da ingestão de concentrado que passa a ser de 4,7 kg por vaca, com consequente redução na produção leiteira e na renda, mesmo reduzindo um pouco o custo.

Tabela 3.6. Mudando a formulação dos gases

Variáveis	Fator	Valor encontrado
Variáveis da Função Objetivo	Renda Relativa	3,0
	Custo relativo	1,09
	Gases Relativos	2,57
	Erosão relativa	0,35
	Silagem	4,7
	Tifton	16,2
	Milheto	0
Variáveis de área (ha)	Sorgo	0
	Arrendamento (aveia e azevém)	2,5
	Aveia e Azevém comum	2,3
	Aveia e Azevém de ciclo longo	0
	Azevém ciclo longo	0
Número de Vacas	NVL	42
Produção de leite	PRODTOTALLEITE	264288
	Prod. Leite (L/d/VL)	17,48
	Farelo de Soja	6037,8
Alimentos concentrados (kg/ano)	Milho	65006
	Total concentrado/concentrado adquirido	0
Média concentrado	Média (kg/dia/vaca)	4,7
	Nitrogênio área de milheto	0 kg/ha
	Nitrogênio área de Tifton	145 kg/ha
Nível de nitrogênio (kg/ano)	Nitrogênio área de aveia e azevém comum (Arrend)	200 kg/ha
	Nitrogênio área de aveia e azevém comum	200 kg/ha

CONCLUSÃO

A formulação de um modelo multicritério para avaliar inovações tecnológicas em sistemas agropecuários demonstrou impactos importantes nas escolhas que podem ser feitas pelos produtores que pretendem aumentar o grau de sustentabilidade. Considerando que a formulação do problema de otimização gerou um forte efeito da renda agrícola, essa foi predominante na definição inicial das escolhas, quando não se estabeleceu limites para a evolução do sistema, bem como, pesos menores para as outras funções objetivos. Porém, ao se elevar o peso das demais funções de sustentabilidade e de limitar as escolhas à um nível de factibilidade mais próxima da situação dos sistemas reais, como a limitação do aumento dos animais, o impacto das demais funções de sustentabilidade foi maior, principalmente quanto a perda de solo e custos, uma vez que as escolhas logo atingiram o máximo efeito sobre a produção de gases de efeito estufa, pelo menos nas condições estabelecidas para esse modelo.

O arranjo de sistemas com pastagens permanentes de estação quente (tifton), com uso moderado de concentrados (6kg) e silagem de milho e com emprego moderado a elevado de nitrogênio nas pastagens, possibilitaram os melhores resultados em relação ao equilíbrio da sustentabilidade do presente sistema agropecuário nas condições consideradas.

Com isso pode-se dizer que o modelo alcançou o objetivo proposto, ou seja, o de auxiliar os produtores nos cultivos de suas propriedades e na produção de leite em especial, no sentido de aumentar a renda levando em conta fatores importantes relativos ao meio ambiente. Claro que ainda podemos agregar ao modelo outras funções objetivos referente a outros indicadores de sustentabilidade assim como a condição de que toda a propriedade precisa destinar em torno de 20% de sua área a reserva natural, ou seja, matas ciliares, matas nativas entre outros indicadores porém ainda é preciso esperar que se chegue um consenso se permanecerá os 20% ou será alterado por outro índice, mas ainda pode-se incluir outras funções objetivos bem como outras restrições para tornar o modelo mais completo podendo com isso auxiliar de uma maneira mais precisa os produtores de nossa região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACSELRAD, Henri. **Sustentabilidade e Articulação territorial do desenvolvimento Brasileiro**. II Seminário Internacional sobre Desenvolvimento Regional, Mestrado e Doutorado, Santa Cruz do Sul, RS, 28 de setembro a 01 de outubro.

ALBE, Maristela de Quadros. **Alguns Indicadores de Sustentabilidade para os pequenos e médios produtores rurais do município de Jaquirana**. Dissertação de Mestrado, Universidade Luterana do Brasil – ULBRA, 2002.

ALTIERI, Miguel. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 2ª Ed. Porto Alegre: Ed. Universidade, 2000.

ALVIM, M.J.; VERNEQUE, R. S.; VILELA, D.; CÓSER, A. C.; BOTREL, A. C.; REZENDE, G. M. **Estratégias de fornecimento de concentrado para vacas da raça holandesa em pastagem de coast-cross**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 34:1711-1720. 1999.

ARROYO, Joé Elias Cláudio. **Heurísticas e Metaheurísticas para otimização combinatória multiobjetivo**. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Campinas, São Paulo, 2002.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JR., R. **Equação de perdas de solo**. Campinas: IAC, 1975. 24p. (IAC. Boletim Técnico, 21).

CAPORAL, Francisco Roberto. COSTABEBER, José Antônio. **Agroecologia, alguns conceitos e princípios**. Brasília, MDA/SAF/ DATER-IIICA, 2004.

CARMO, Maristela Simões. **A produção familiar como locus ideal da agricultura sustentável**. In: FERREIRA, Ângela D. D., BRANDENBURG, Alfio (Org). Para pensar outra agricultura. Curitiba: Ed. UFPR, 1998. P. 215-238.

CATALÃO, J. P. S, MARIANO, S. J. P. S, MENDES, V. M. F, FERREIRA, L. A. F. M. **Metodologia de Otimização Multiobjetivo para Afectação de Unidades Térmicas num Mercado de Emissões**. Artigo publicado no 9th Spanish-Portuguese Congress on Electrical Engineering (9CHLIE).

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). *Nosso futuro Comum*. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1988, 430p.

CONAMA, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA n. 1, de 23 de janeiro de 1986. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 fev. 1986.

DERAMUS, H. Alan; CLEMENT, Dean D. Giampola; DICKISON, Peter. **Methane Emissions of Beef Cattle on Forages: Efficiency of Grazing Management Systems**. Artigo publicado no *Published in J. Environ. Qual.* 32:269–277 (2003).

DEPONTI, Cidonea Machado. ECKERT, Córdula. AZAMBUJA, José Luiz Bortoli. **Estratégia para construção de indicadores para avaliação da sustentabilidade e monitoramento de sistemas**. Artigo publicado em *Agroecol. e Desenvol. Rur. Sustent.* Porto Alegre, v.3, n.4, out/dez 2002.

DONG, Hongmin. MANGINO, Joe. MCALLISTER, Tim A. HATFIELD, Jerry L. JOHNSON, Donald E. LASSEY, Keith R. LIMA, Magda Aparecida de. ROMANOVSKAYA Anna. Cap. 10 **EMISIONES RESULTANTES DE LA GESTIÓN DEL GANADO Y DEL ESTIÉRCOL**. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

EHLERS, Eduardo M. **O que se entende por agricultura sustentável?** In: VEIGA, José E. (org). *Ciência Ambiental, primeiros mestrados*. São Paulo: Annablume: FAPESP. 1998, p.81-102.

EHLERS, Eduardo. **Agricultura sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma**. 2ª Ed. Guaíba: Agropecuária. 1999.

FAO/INCRA. **DIRETRIZES DE POLÍTICA AGRÁRIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**. Brasília, FAO/INCRA, 1994.

FREER, M.; MOORE, A. D.; DONNELLY, J. R. The Grazplan. **Animal biology model for sheep and cattle and Grazfeed decision support toll**, CSIRO Plant Industry Technical Paper, 2004.

GLIESSMAN, Stephen R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000.

GOMES, Ivair. **Sustentabilidade social e ambiental na agricultura familiar**. *Revista de Biologia e ciência da Terra*, volume 5, número 1. Primeiro semestre de 2004.

HAIMES, Y.Y., and HALL, W.A. **Multiobjective in Water Resources Systems Analysys: The Surrogate Worth Trade-Off Method**. *Wat. Recources Res.*, 10, PP 615-624. 1974.

IPCC— Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 1995. Impacts, adaptations and mitigation of climate change: Scientific-Technical Analysis*. Cambridge: University Press. 878p. 1996a.

IPCC– Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. Para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Capítulo 10: Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra.

IRIAS, Luis José Maria. GEBLER, Luciano. PALHARES, Júlio César Pascale. ROSA, Morsyleide de Freitas. RODRIGUES, Geraldo Stahetti. **Avaliação de impacto ambiental de inovação tecnológica agropecuária – aplicação do sistema Ambitec**. Agric. São Paulo, São Paulo, v. 51, n. 1, p. 23-39, jan./jun. 2004.

JESUS, E. L. **Avaliação da sustentabilidade de propriedades agrícolas do Estado do Rio de Janeiro, utilizando o método IDEA**. Seropédica: UFRRJ, 2003. Tese, Doutorado em Agronomia, Ciências do Solo.

JOHNSON, K.A., JOHNSON, D.E. **Methane emissions from cattle**. *Journal of Animal Science*, v. 73, pp. 2483-2492, 1995.

LESAMA. Manuel Flores. **O método IDEA (indicadores de sustentabilidade): adaptação do método a agricultura familiar**. Artigo. 2006.

LIMA, Magda. **Emissão de metano pela pecuária**. Artigo publicado em Setembro de 2008 em Cuiabá, MT.

LINDO, Systems Inc. **Optimization Modeling With Lingo**. Linus Scharage. Printed in the United of América, First printing, 2003.

LINDO, Systems Inc. **Lingo the modeling language and optimizer**. Chicago, 2004.

LOBIANCO, Alcino Teixeira de Mello, MEZA, Lidia Ângulo. **Uma comparação de métodos de solução para problemas de programação linear multiobjetivo**. Revista SPOLM 2007, Rio de Janeiro, 8 e 9 de novembro de 2007.

LOPES, Mauro de Rezende. **Meio ambiente e comércio de produtos agrícolas**. Revista Conjuntura Econômica Dez 1994 v 48 n 29.

MARZALL, Kátia. **Indicadores de sustentabilidade para agroecossistemas**. Porto Alegre: Dissertação de Mestrado, 1999.

MARZALL, Kátia. ALMEIDA, Jalcione. **Indicadores de Sustentabilidade para Agroecossistemas. Estado da arte, limites e potencialidades de uma nova ferramenta para avaliar o desenvolvimento sustentável**. Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v.17, n.1, p.41-59, jan./abr. 2000.

MILAN, Patrícia. **Modelagem Matemática para otimização da produção de café finos: um estudo de caso**. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo, 2008.

MIRRA, A. L. V. **Impacto Ambiental**. Aspectos da legislação brasileira. São Paulo: Editora Oliveira Mendes, 1998.

- MORAIS, Danielle Costa. **Modelagem Multicritério em grupo para planejamento estratégico do controle de Perdas no abastecimento de água**. Recife, 2006. Tese de doutorado em Engenharia da Produção – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE.
- MOREIRA, José Roberto. **Agricultura familiar: processos sociais e competitividade**. Rio de Janeiro, RJ: Maud, Seropédica, UFRRJ/CPDA, 1999.
- MULSSEALM, K. and TAVALAGE, J. **A tarde-Off CUT Approach to Multiple Objective Optimization**. Operations Research, 28, 6, PP 1421-1435. 1980.
- NOLASCO, F. **Avaliação da sustentabilidade em agroecossistemas: um método fitotécnico**. Viçosa, 1999. Tese de doutorado em Fitotecnia – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa- MG.
- OLIVEIRA, Gilson Batista de. **Uma discussão sobre o conceito de desenvolvimento**. Revista FAE, Curitiba, v.5, n.2, p.37-48, maio/agosto. 2002.
- OLIVEIRA, Lidiane Sartini de. **Uma contribuição ao estudo dos métodos de otimização multi-objetivo**. Dissertação, Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. 2005.
- OPPENHEIMER, K. R. **A Proxy Approach to Multi-attribute Decision Making**. Management Science, 24, PP 675-689. 1978.
- OSYCZKA, A. **“An Approach to Multicriterion Optimization for Structural Design”**. Proceedings of International Symposium on Optimum Structural Design, University of Arizona, 1982.
- OWENS, F. N.; GOETSCH, A.L. Ruminant fermentation. In: CHURCH, D.C. (Ed) *The ruminant animal: digestive physiology and nutrition*. Waveland press, 1988. P.145-171.
- PEDREIRA, M.S.; OLIVEIRA, S.G.; BERCHIELLI, T.T.; PRIMAVESI, O. Aspectos relacionados com a emissão de metano de origem ruminal em sistemas de produção de bovinos (Ruminal methane emission related aspects in cattle production systems). Artigo publicado na Archives of Veterinary Science, v.10, n.3, p.24-32, 2005.
- PUNDEK, M. et al. **Manual de uso, manejo e conservação do solo e da água**. Projeto de recuperação, conservação e manejo dos recursos naturais em microbacias hidrográficas. 2ª Edição. Epagri, 1994. Santa Catarina, SC.
- RODRIGUES, Geraldo Stachetti. CAMPANHOLA, Clayton. **Sistema Integrado de avaliação de impacto ambiental aplicado a atividade do Novo Rural**. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v. 38, n.4, p. 445-451, abril de 2003.
- RODRIGUES, Geraldo Stachetti. CAMPANHOLA, Clayton. KITAMURA, Paulo Choji. **Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária AMBITEC-AGRO**. 2002.

ROLOFF, G.; J.E. DENARDIN. Estimativa simplificada da erodibilidade do solo. X Reunião Bras. de Manejo e Cons. do Solo e da Água, Resumos. Florianópolis, 1994.

ROMEIRO, Ademar Ribeiro. **Meio ambiente e dinâmica de inovações na agricultura**. São Paulo: Annablume. FAPESP. 1998.

SAKAWA, M. **Na Interactive Computer Program for Multiobjective Decision Making by the Sequential Proxy Optimization Technique**. Int. J. Man-Machine Studies, 14, PP 193-213. 1981.

SCHWERZ, Erno Pedro. **Modelo para avaliar inovações tecnológicas em sistemas familiares de produção de leite no município de Jóia/RS**. Dissertação de Mestrado. Ijuí, 2006.

SILVA, Neto. Benedito. OLIVEIRA, Angélica de. **Análise e planejamento de sistemas de produção agropecuária. Manual de aplicação da programação matemática**. Ijuí, julho de 2005.

SMINK, Willem. **Calculation of methane production from enteric fermentation in cattle excluding dairy cows**. Artigo publicado em novembro de 2005. 03 BW Wageningen.

U.S.EPA - U.S. Environmental Protection Agency. **Evaluating Ruminant Livestock Efficiency Projects and Programs**. Washington: EPA, 2000.

VEIGA, M. **O espaço e os seus elementos: questões de método**. Revista Geografia e ensino. Belo Horizonte, MG, 1 (1): 19-30, março de 1982.

VEIGA, José Eli. **Problemas da transição à agricultura sustentável. Estudos econômicos**. São Paulo, v. 24, n. especial, p.9-29, 1994.

VIEIRA, Mário Sérgio Costa. **Aplicação do método IDEA como recurso didático-pedagógico para avaliação da sustentabilidade de propriedades agrícolas no município de Rio Pomba/MG**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do rio de Janeiro, Instituto de Agronomia. 2005.

VILAIN, L. **La méthode IDEA: indicateurs de iurabilité dès exploitations agricoles**. Dijon, France. Educagri éditions, 2000.

VILELA, D.; ALVIM, M. J.; CAMPOS, O. F.; RESENDE, J. C. **Produção de leite de vacas Holandesas em confinamento ou em pastagem de coast-cross**. Revista Brasileira de Zootecnia, 25:1228-1244. 1996.

ANEXO A-MODELO DE PROGRAMAÇÃO NÃO LINEAR

MODEL:

MAX= 0.4*RREND - (0.3*RCUSTOS + 0.1*RGASES + 0.2*REROSAO);

SETS:

PASTOS/ TIFTON MILHETO SORGO AVAZARREND AVAZCOMUM AVAZLONGO AZLONGO/;;
MESES/JAN FEV MAR ABR MAI JUN JUL AGO SET OUT NOV DEZ/;;

CONJUNTOP(PASTOS):

NMAX,N,PBPASTN,
COEFAR,
INTERCR,
CUSTOVARIPAST,
RANUALPAST,
AREATOTPAST,
CUSTOSPAST;

CONJUNTOM(MESES):

PRECOLEITE2005,RBLEITEMES,
AREAPASTMES,
INGSILAVLDIA,INGCONCVLDIA,INGCONCMES,INGSILAGTOTALMES,INGFARSOJA,INGMILHOM
ES,INGFARSOJAVLDIA,INGMILHOVLDIA,INGRACCONCVLDIA,
ENMEDGERALINGPASTMES,PBMEDGERALINGPASTMES,
PRODLEITEVLMES,PRODLEITEVLMESNL,PRODLEITEVLMESLIN,PRODTOTALLEITEVLMES,
PRODTOTALLEITEMES,
NDEJETOSMES,
NIVINGEN,
METANOMES,
CONCENERGIAMS,
INGENVLDIA
;

CONJUNTOPM(PASTOS,MESES):

TXACUM,RENDPASTMES,DISPMESPAST,
AREAPAST,
PBCICLO,PBPASTMESING,ENPASTMESING,
PUP,INGPASTVLDIA
;

ENDSETS

DATA:

ENMETMANT=17.5;
 ENGESTMED=2.256;
 ENMETLEITE=1.24;
 ENMETLEITENL=3;
 PBMANT=0.386;
 PBGESTMED=0.186;
 PBLEITE=0.09;
 INGMAX=17.8;
 PRODLEITEPOTLINEAR = 17;
 PRODLEITEPOTNL = 3;

NCUSTO=3.2;

AREAVERO = 23.5;
 AREAINVERNO =21;
 ARRENDAMENTO=200;

DIASNOMES=30;
 NIVSUBSIL=1;
 NIVSUBCONC=1;

ENSILAGEM=2.2;
 ENCONCENTRADO=3.0;
 PBSILAGEM=0.06;
 PBCONCENTRADO=0.22;
 RSILAGEM=7000;
 ENINGFARSOJAVLDIA=2.9;
 PBINGFARSOJAVLDIA=0.44;
 ENMILHO=3.0;
 PBMILHO=0.09;

TXACUM=

0.1397 0.1397 0.1397 0.0662 0.0294 0.0000 0.0000 0.0441 0.0735 0.1102 0.1176 0.1397
 0.3582 0.2239 0.1492 0.0746 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.1940
 0.1500 0.2000 0.1800 0.2100 0.1200 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.1300
 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.1400 0.2000 0.1300 0.2300 0.2000 0.1000 0.0000 0.0000
 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.1400 0.2000 0.1300 0.2300 0.2000 0.1000 0.0000 0.0000
 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.1400 0.2000 0.1000 0.1300 0.1600 0.2700 0.0000 0.0000
 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0600 0.1400 0.2800 0.5200 0.0000 0.0000;

ENPASTMESING=

2.197 2.197 2.115 1.910 1.663 0.000 0.000 0.000 2.321 2.321 2.280 2.239
 2.197 2.115 1.869 1.786 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 2.362
 2.156 2.074 1.951 1.786 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 2.280 2.239
 0.000 0.000 0.000 0.000 2.609 2.526 2.444 2.280 1.869 1.786 0.000 0.000
 0.000 0.000 0.000 0.000 2.609 2.526 2.444 2.280 1.869 1.375 0.000 0.000
 0.000 0.000 0.000 0.000 2.609 2.526 2.444 2.362 2.280 1.951 0.000 0.000
 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 2.609 2.526 2.444 2.280 0.000 0.000;

COEFAR= 30
 30
 30
 22

```

22
22
22;

INTERCR=    7000
             6700
             6700
             4000
             4000
             4000
             4000;

```

```

PBCICLO=
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 0.7 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 0.7 0.7 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 0.7 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 0.7 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 0.7 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 0.7 1 1 ;

```

```

NMAX=        300
             300
             300
             200
             200
             200
             200;

```

```

CUSTOVARIPAST =
0
87.5
197.5
0
102
142
127;

```

```

PRECOLEITE2005= 0.45 0.46 0.47 0.48 0.48 0.48 0.48 0.42 0.38 0.38 0.37 0.36;

```

ENDDATA

@FOR(CONJUNTOPM(I,J):

DISPMESPAST(I,J)=TXACUM(I,J)*RANUALPAST(I); !distribuição do pasto no mês;

PBPASTMESING(I,J)=PBPASTN(I)*PBCICLO(I,J);

PUP(I,J) <= 0.6;

INGPASTVLDIA(I,J)*NVL*30<DISPMESPAST(I,J)*AREAPAST(I,J)*PUP(I,J);

```

AREAPAST(4,10)<=AREAINVERNO -
(AREATOTPAST(1)+AREATOTPAST(5)+AREATOTPAST(6)+AREATOTPAST(7)+AREAARREND);
AREAPAST(4,11)<=AREAINVERNO -
(AREATOTPAST(1)+AREATOTPAST(5)+AREATOTPAST(6)+AREATOTPAST(7)+AREAARREND);

```

```
[ATIFTON]AREATOTPAST(1)>=AREAPAST(1,J);
[AMILHETO]AREATOTPAST(2)>=AREAPAST(2,J);
[ASORGO]AREATOTPAST(3)>=AREAPAST(3,J);
[AAVAZAR]AREATOTPAST(4)>=AREAPAST(4,J);
[AAVAZC]AREATOTPAST(5)>=AREAPAST(5,J);
[AAVAZL]AREATOTPAST(6)>=AREAPAST(6,J);
[AAZL]AREATOTPAST(7)>=AREAPAST(7,J);
```

```
);
```

```
@FOR(CONJUNTOP(I):
```

```
AREAVERAO >=
AREATOTPAST(1)+AREATOTPAST(2)+AREATOTPAST(3)+AREASILAGEM+AREAARREND;
```

```
AREAINVERNO >=
AREATOTPAST(1)+AREATOTPAST(4)+AREATOTPAST(5)+AREATOTPAST(6)+AREATOTPAST(7);
```

```
AREATOTPAST(4)<=AREAARREND;
```

```
RANUALPAST(I) = N(I)*COEFAR(I)+INTERCR(I);
N(I)<=NMAX(I);
```

```
PBPASTN(1)=(9+0.03*N(1))/100;
PBPASTN(2)=(9.05+0.0303*N(2))/100;
PBPASTN(3)=(9.05+0.0303*N(3))/100;
PBPASTN(4)=(13+0.03*N(4))/100;
PBPASTN(5)=(13+0.03*N(4))/100;
PBPASTN(6)=(13+0.03*N(5))/100;
PBPASTN(7)=(13+0.03*N(6))/100;
```

```
CUSTOSPAST(I) = (NCUSTO*N(I)+ CUSTOVARIPAST(I))*AREATOTPAST(I);
```

```
);
```

```
@FOR(CONJUNTOM(J):
```

```
AREAPASTMES (J) >= AREATOTPAST(1)+AREATOTPAST(2)+AREATOTPAST(3)+
AREATOTPAST(4)+AREATOTPAST(5)+AREATOTPAST(6)+AREATOTPAST(7);
```

```
PRODLEITEVLMES(J)<=PRODLEITEVLMESLIN(J)+PRODLEITEVLMESNL(J);
PRODLEITEVLMESLIN(J)<= PRODLEITEPOTLINEAR;
PRODLEITEVLMESNL(J)<=PRODLEITEPOTNL;
```

```
INGPASTVLDIA(1,J)*ENPASTMESING(1,J)+ INGPASTVLDIA(2,J)*ENPASTMESING(2,J)+
INGPASTVLDIA(3,J)*ENPASTMESING(3,J)+ INGPASTVLDIA(4,J)*ENPASTMESING(4,J)+
INGPASTVLDIA(5,J)*ENPASTMESING(5,J)+ INGPASTVLDIA(6,J)*ENPASTMESING(6,J)+
INGPASTVLDIA(7,J)*ENPASTMESING(7,J)+
INGSILAVLDIA(J)*ENSILAGEM+
INGCONCVLDIA(J)*ENCONCENTRADO+
```


ENINGFARSOJAVLDIA*INGFARSOJAVLDIA(J)+
 INGMILHOVLDIA(J)*ENMILHO
 >=ENMETMANT+ENGESTMED+(PRODLEITEVLMESLIN(J)*ENMETLEITE)+(PRODLEITEVLMESNL(J)*ENMETLEITENL);

INGPASTVLDIA(1,J)*PBPASTMESING(1,J)+ INGPASTVLDIA(2,J)*PBPASTMESING(2,J)+
 INGPASTVLDIA(3,J)*PBPASTMESING(3,J)+ INGPASTVLDIA(4,J)*PBPASTMESING(4,J)+
 INGPASTVLDIA(5,J)*PBPASTMESING(5,J)+ INGPASTVLDIA(6,J)*PBPASTMESING(6,J)+
 INGPASTVLDIA(7,J)*PBPASTMESING(7,J)+
 INGSILAVLDIA(J)*PBSILAGEM+
 INGCONCVLDIA(J)*PBCONCENTRADO+
 PBINGFARSOJAVLDIA*INGFARSOJAVLDIA(J)+
 INGMILHOVLDIA(J)*PBMILHO >=
 PBMANT+PBGESTMED+(PRODLEITEVLMESLIN(J)+PRODLEITEVLMESNL(J))*PBLEITE;

NIVINGEN(J) = (INGENVLDIA(J)/ENMETMANT)-1;

METANOMES(J)= ((0.0184*INGMAX) * ((13*7.52*CONCENERGIAMS(J) +(NIVINGEN(J) +1)*(23.7-
 3.36* CONCENERGIAMS(J))))/55.65)*30*NVL;

INGENVLDIA(J)= INGPASTVLDIA(1,J)*ENPASTMESING(1,J)+
 INGPASTVLDIA(2,J)*ENPASTMESING(2,J)+ INGPASTVLDIA(3,J)*ENPASTMESING(3,J)+
 INGPASTVLDIA(4,J)*ENPASTMESING(4,J)+ INGPASTVLDIA(5,J)*ENPASTMESING(5,J)+
 INGPASTVLDIA(6,J)*ENPASTMESING(6,J)+
 INGPASTVLDIA(7,J)*ENPASTMESING(7,J)+INGSILAVLDIA(J)*ENSILAGEM+INGCONCVLDIA(J)*EN
 CONCENTRADO+ENINGFARSOJAVLDIA*INGFARSOJAVLDIA(J)+INGMILHOVLDIA(J)*ENMILHO;

CONCENERGIAMS(J)=(INGENVLDIA(J)/INGMAX)*4.1868;

NDEJETOSMES(J) = (((INGPASTVLDIA(1,J)*PBPASTMESING(1,J)+
 INGPASTVLDIA(2,J)*PBPASTMESING(2,J)+ INGPASTVLDIA(3,J)*PBPASTMESING(3,J)+
 INGPASTVLDIA(4,J)*PBPASTMESING(4,J)+ INGPASTVLDIA(5,J)*PBPASTMESING(5,J)+
 INGPASTVLDIA(6,J)*PBPASTMESING(6,J)+
 INGPASTVLDIA(7,J)*PBPASTMESING(7,J)+INGSILAVLDIA(J)*PBSILAGEM+INGCONCVLDIA(J)*PB
 CONCENTRADO+PBINGFARSOJAVLDIA*INGFARSOJAVLDIA(J)+INGMILHOVLDIA(J)*PBMILHO)-
 (PBGESTMED+PRODLEITEVLMES(J)*PBLEITE+PRODLEITEVLMESNL(J)*PBLEITE))*30*NVL)/6.25;

INGPASTVLDIA(1,J)+ INGPASTVLDIA(2,J)+ INGPASTVLDIA(3,J)+ INGPASTVLDIA(4,J)+
 INGPASTVLDIA(5,J)+ INGPASTVLDIA(6,J)+ INGPASTVLDIA(7,J)+
 (NIVSUBSIL*INGSILAVLDIA(J)+(NIVSUBCONC*(INGCONCVLDIA(J)+INGFARSOJAVLDIA(J)+ING
 MILHOVLDIA(J)))<=INGMAX;

INGPASTVLDIA(1,J)+ INGPASTVLDIA(2,J)+ INGPASTVLDIA(3,J)+ INGPASTVLDIA(4,J)+
 INGPASTVLDIA(5,J)+ INGPASTVLDIA(6,J)+ INGPASTVLDIA(7,J)+INGSILAVLDIA(J)
 >=INGCONCVLDIA(J)+INGFARSOJAVLDIA(J)+INGMILHOVLDIA(J);

[CONSSILAMES]INGSILAGTOTALMES(J)= INGSILAVLDIA(J)*NVL*DIASNOMES;

[CONSCONCMES]INGCONCMES(J)=INGCONCVLDIA(J)*NVL*DIASNOMES;
 [CONSFOSJAMES]INGFARSOJA(J)=INGFARSOJAVLDIA(J)*NVL*DIASNOMES;
 [CONSMILHOMES]INGMILHOMES(J)=INGMILHOVLDIA(J)*NVL*DIASNOMES;

[LEITEMES]PRODTOTALLEITEMES(J)=(PRODLEITEVLMESLIN(J)+PRODLEITEVLMESNL(J))*NVL*DIASNOMES;

RBLEITEMES(J)= PRECOLEITE2005(J)*PRODTOTALLEITEMES(J);

);

TOTALCONCENTRADO =

INGCONCMES(1)+
INGCONCMES(2)+
INGCONCMES(3)+
INGCONCMES(4)+
INGCONCMES(5)+
INGCONCMES(6)+
INGCONCMES(7)+
INGCONCMES(8)+
INGCONCMES(9)+
INGCONCMES(10)+
INGCONCMES(11)+
INGCONCMES(12);

TOTALFARSOJA =

INGFARSOJA(1)+
INGFARSOJA(2)+
INGFARSOJA(3)+
INGFARSOJA(4)+
INGFARSOJA(5)+
INGFARSOJA(6)+
INGFARSOJA(7)+
INGFARSOJA(8)+
INGFARSOJA(9)+
INGFARSOJA(10)+
INGFARSOJA(11)+
INGFARSOJA(12);

TOTALMILHO=

INGMILHOMES(1)+
INGMILHOMES(2)+
INGMILHOMES(3)+
INGMILHOMES(4)+
INGMILHOMES(5)+
INGMILHOMES(6)+
INGMILHOMES(7)+
INGMILHOMES(8)+
INGMILHOMES(9)+
INGMILHOMES(10)+
INGMILHOMES(11)+
INGMILHOMES(12);

NDEJETOSTOTAL = NDEJETOSMES(1)+ NDEJETOSMES(2)+ NDEJETOSMES(3)+ NDEJETOSMES(4)+
NDEJETOSMES(5)+ NDEJETOSMES(6)+ NDEJETOSMES(7)+ NDEJETOSMES(8)+ NDEJETOSMES(9)+
NDEJETOSMES(10)+ NDEJETOSMES(11)+ NDEJETOSMES(12);

METANOTOTAL=METANOMES(1)+METANOMES(2)+ METANOMES(3)+ METANOMES(4)+
METANOMES(5)+ METANOMES(6)+ METANOMES(7)+METANOMES(8)+ METANOMES(9)+
METANOMES(10)+ METANOMES(11)+ METANOMES(12);

NSINTETICO = N(1)+N(2)+N(3)+N(4)+N(5)+N(6)+N(7);

NO2 =

$0.7857 * ((0.01 * \text{NSINTETICO} + 0.02 * \text{NDEJETOSTOTAL}) + 0.01 * (0.1 * \text{NSINTETICO} + 0.2 * \text{NDEJETOSTOTAL}) + 0.3 * 0.0075 * (\text{NSINTETICO} + \text{NDEJETOSTOTAL}))$;

GASESTOTAL = NO2+METANOTOTAL;

$[\text{LEITEANO}] \text{PRODTOTALLEITE} = \text{PRODTOTALLEITEMES}(1) + \text{PRODTOTALLEITEMES}(2) + \text{PRODTOTALLEITEMES}(3) + \text{PRODTOTALLEITEMES}(4) + \text{PRODTOTALLEITEMES}(5) + \text{PRODTOTALLEITEMES}(6) + \text{PRODTOTALLEITEMES}(7) + \text{PRODTOTALLEITEMES}(8) + \text{PRODTOTALLEITEMES}(9) + \text{PRODTOTALLEITEMES}(10) + \text{PRODTOTALLEITEMES}(11) + \text{PRODTOTALLEITEMES}(12)$;

EROSAOATUAL =

$R * K * LS * P * (\text{CTIFTON} * \text{AREATOTPAST}(1) + \text{CPASTANUAL} * (\text{AREATOTPAST}(2) + \text{AREATOTPAST}(3) + \text{AREATOTPAST}(4) + \text{AREATOTPAST}(5) + \text{AREATOTPAST}(6) + \text{AREATOTPAST}(7)) + \text{CSOJA} * \text{AREAARREND} + \text{CMILHO} * \text{AREASILAGEM})$;

R = 6400;

K = 0.013379;

LS = 1.52;

P = 0.6;

CTIFTON = 0.001;

CPASTANUAL = 0.07;

CSOJA = 0.0234;

CMILHO = 0.0588;

RBLEITE =

$\text{RBLEITEMES}(1) + \text{RBLEITEMES}(2) + \text{RBLEITEMES}(3) + \text{RBLEITEMES}(4) + \text{RBLEITEMES}(5) + \text{RBLEITEMES}(6) + \text{RBLEITEMES}(7) + \text{RBLEITEMES}(8) + \text{RBLEITEMES}(9) + \text{RBLEITEMES}(10) + \text{RBLEITEMES}(11) + \text{RBLEITEMES}(12)$;

$[\text{ASILA}] \text{AREASILAGEM} \geq (\text{INGSILAGTOTALMES}(1) + \text{INGSILAGTOTALMES}(2) + \text{INGSILAGTOTALMES}(3) + \text{INGSILAGTOTALMES}(4) + \text{INGSILAGTOTALMES}(5) + \text{INGSILAGTOTALMES}(6) + \text{INGSILAGTOTALMES}(7) + \text{INGSILAGTOTALMES}(8) + \text{INGSILAGTOTALMES}(9) + \text{INGSILAGTOTALMES}(10) + \text{INGSILAGTOTALMES}(11) + \text{INGSILAGTOTALMES}(12)) / \text{RSILAGEM}$;

NVL ≥ 3 ;

$\text{CUSTOPASTOS} \geq \text{CUSTOSPAST}(1) +$

$\text{CUSTOSPAST}(2) + \text{CUSTOSPAST}(3) + \text{CUSTOSPAST}(4) + \text{CUSTOSPAST}(5) + \text{CUSTOSPAST}(6) + \text{CUSTOSPAST}(7)$;

$\text{CUSTOSILAGEM} = 900 * \text{AREASILAGEM}$;

$\text{CUSTOMILHO} = 0.25 * \text{TOTALMILHO}$;

CUSTOCONCENTRADO = 0.56 * TOTALCONCENTRADO;
CUSTOFARELOSOJA = 0.75 * TOTALFARSOJA;

RREND = RREND / 23871;

RREND = ARRENDAMENTO * AREAARREND + RREND - CUSTOSATUAIS;

RCUSTOS = (CUSTOSATUAIS / PRODTOTALLEITE) / (13716 / 91670);

CUSTOSATUAIS =
CUSTOSILAGEM + CUSTOCONCENTRADO + CUSTOPASTOS + CUSTOFARELOSOJA + CUSTOMILHO + N
VL * 170;

REROSAO = EROSAOATUAL / 154;

RGASES = (GASESTOTAL / PRODTOTALLEITE) / (32922 / 91670);

END

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](#)