

Modelo Bioeconômico para Avaliação ex ante de Investimentos em Sistemas de Produção de Bovinos de Corte a Pasto no Cerrado

$$\sum_{k=1}^8 (UAMC_{k,i,j}) * CBOVM_{k,i,j}$$

$$\sum_{k=1}^8 (UAMF_{k+1,i,j}) * FBOVM_{k+1,i,j} + \sum_{k=1}^8$$

$$\dots + \sum_{k=1}^8 (UAF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j} +$$

$$\sum_{k=1}^8 (UAMF_{k+1,i,j}) * FBOVM_{k+1,i,j} + \sum_{k=1}^8$$

$$\dots + \sum_{k=1}^8 (UAF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j} + (UAF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j}$$

$$\sum_{k=1}^8 (UAMF_{k+1,i,j}) * FBOVM_{k+1,i,j} + \sum_{k=1}^8$$

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 298

Modelo Bioeconômico para Avaliação ex ante de Investimentos em Sistemas de Produção de Bovinos de Corte a Pasto no Cerrado

*Rui Fonseca Veloso
Luís Gustavo Barioni
Juaci Vitória Malaquias
Eliane Gonçalves Gomes
José Mauro Magalhães Ávila Paz Moreira
Ozanival Dario Dantas
Fernando Borges Fernandes*

Embrapa Cerrados
Planaltina, DF
2010

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina, DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Claudio Takao Karia*

Secretária-Executiva: *Marina de Fátima Vilela*

Secretária: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Jussara Flores de Oliveira Arbués*

Equipe de revisão: *Francisca Elijani do Nascimento*

Jussara Flores de Oliveira Arbués

Assistente de revisão: *Elizelva de Carvalho Menezes*

Normalização bibliográfica: *Paloma Guimarães Correa de Oliveira*

Editoração eletrônica: *Wellington Cavalcanti*

Capa: *Wellington Cavalcanti*

Impressão e acabamento: *Alexandre Moreira Veloso*

Divino Batista de Souza

1ª edição

1ª impressão (2010): tiragem 100 exemplares

Edição online (2010)

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Cerrados

M689 Modelo bioeconômico para avaliação ex ante de investimentos em sistemas de produção de bovinos de corte a pasto no Cerrado / Rui Fonseca Veloso... [et al.]. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2010.

32 p. — (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X, ISSN online 2176-509X ; 298).

1. Cerrado. 2. Sistema de produção. 3. Programação linear. 4. Forragem. 5. Bovino. I. Veloso, Rui Fonseca. II. Série.

633.2 - CDD-21

© Embrapa 2010

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução.....	7
Caracterização do Problema.....	10
Fonte de Dados e Metodologia.....	12
Resultados	27
Comentários Finais	36
Referências	37
Anexo I.....	40
Anexo II	52
Anexo III	55

Modelo Bioeconômico para Avaliação ex ante de Investimentos em Sistemas de Produção de Bovinos de Corte a Pasto no Cerrado

Rui Fonseca Veloso¹; Luiz Gustavo Barioni²; Juaci Vitória Malaquias³; Eliane Gonçalves Gomes⁴; José Mauro Magalhães Ávila Paz Moreira⁵; Ozanival Dario Dantas⁶; Fernando Borges Fernandes⁷

Resumo

Um modelo de planejamento forrageiro e análise de investimentos em renovação de pastagens e compra de animais foi construído considerando uma fazenda de bovinos de corte, localizada em área periférica do Cerrado, com as opções de cria, recria e engorda. Baixa rentabilidade de pecuária de corte com pastagens degradadas e falta de procedimentos adequados de planejamento forrageiro por produtores e técnicos de extensão constituem-se num problema de gestão dessa atividade no Cerrado. Dessa forma, o objetivo é maximizar a receita líquida no final de um período de planejamento de 8 anos com fluxo de caixa mensal. A propriedade projetada, avaliada em 1 milhão de reais, gera uma taxa interna de retorno de 2,3% ao ano. O capital de giro inicial é de R\$ 300.000,00, considerando-se três políticas de crédito para investimentos e custeio. A fazenda tem 800 ha de terra, dos quais 600 ha são ocupados por pastagens de *Brachiaria brizantha*. Consideram-se três categorias de pastagens, e os animais são divididos em classes trimestrais. Várias estratégias de manejo do rebanho e gestão do negócio são consideradas. A dinâmica do rebanho bovino está submetida às variações nas quantidades ofertadas, trimestralmente, de capital, de pastagens e dos índices de mortalidade de cada categoria animal. Utilizando-se macros do Visual Basic para Aplicativos, geram-se arquivos no formato MPS para diferentes "solvers". Assim, foi construída e aplicada uma ferramenta de apoio ao planejamento da fazenda pecuária. Em uma rodada do modelo, o plano projetado gerou uma receita líquida ótima de R\$ 253.528,55 ao final de 8 anos.

Termos para indexação: programação linear, modelo bioeconômico, planejamento forrageiro, bovinos de corte e estratégias comerciais.

¹ Bioeconomista, Ph.D., pesquisador da Embrapa Cerrados, rui@cpac.embrapa.br

² Engenheiro Agrônomo, D.Sc., pesquisador da Embrapa Informática, barioni@cnptia.embrapa.br

³ Estatístico, analista da Embrapa Cerrados, juaci.malaquias@cpac.embrapa.br

⁴ Engenheira Química, D.Sc., pesquisadora da Embrapa Sede, eliane.gomes@embrapa.br

⁵ Engenheiro Agrônomo, D.Sc., pesquisador da Embrapa Cerrados, jose.moreira@cpac.embrapa.br

⁶ Analista de Sistema, M.Sc., analista da Embrapa Cerrados, dario@cpac.embrapa.br

⁷ Engenheiro Agrônomo, Senar-GO, ffborges@yahoo.com

Bioeconomic Model for ex ante Evaluation of Investments in Beef Cattle Production Systems in the Brazilian Savannah

Abstract

*A model of forage planning and analysis of investments in pasture renovation and purchase of animals has been built for a beef cattle farm located in the peripheral area of the Cerrado, with options, rearing and fattening. Low profitability of beef cattle with degraded pastures and lack of appropriate planning for forage producers and extension workers are crucial management problems involving that production activity in the Cerrado. Thus, the goal is to maximize net revenue by the end of a planning period of 8 years with monthly cash flow. The projected property, valued at 1 million dollars, generate an internal rate of return of 2.3% per year. The initial working capital is R\$ 300,000.00, considering three credit policies for investments and expenses. The farm has 800 ha of land, of which 600 ha are occupied by pastures of *Brachiaria brizantha*. Consider three categories of pastures, and animals are divided into classes quarterly. Several strategies of herd management and business management are considered. The dynamics of the herd is subject to variations in the amounts offered quarterly capital, grazing and mortality rates of each animal. Using macros in Visual Basic for Applications, files in MPS format are generated for different "solvers". Thus, it was built and implemented a tool to support the planning of farm livestock. In applying the whole farm model, a projected bioeconomic plan generated net revenues of R \$ 253,528.55 fine at the end of eight years.*

Index terms: linear programming, bioeconomic model, planning forage, beef cattle, trading strategies.

Introdução

A produção agrícola tem desempenhado um papel importante no desenvolvimento econômico da região do Cerrado. Entretanto, alguns dos impactos negativos sobre a qualidade dos recursos naturais – hídricos principalmente – e de vida de comunidades locais estão se tornando situações que requerem revisões das leis concernentes à qualidade ambiental. Além disso, são necessárias políticas públicas que assegurem a sustentabilidade, no longo prazo, dos recursos naturais envolvidos nas atividades econômicas regionais.

A produção extensiva ou semiextensiva de bovinos de corte no Cerrado depende de fatores endógenos e exógenos às atividades produtivas desenvolvidas nos diferentes sistemas de produção, fazendas ou estabelecimentos agropecuários.

Infelizmente, é provável que muitas tecnologias que foram geradas ou adaptadas a partir da agricultura desenvolvida no hemisfério norte, de clima temperado, não assegurem, no longo prazo, uma qualidade ambiental sustentável de nosso Bioma Cerrado. Hoje o Brasil é um dos maiores consumidores de agroquímicos do mundo, dessa forma nossas instituições de P&D precisam, cada vez mais, desenvolver tecnologias para sistemas de produção agrissilvipastoris que sejam sustentáveis em termos econômicos, sociais e ambientais. Esses sistemas precisam apresentar capacidade de atender as exigências crescentes de produtos certificados requeridos por diferentes mercados nacionais e internacionais. Acredita-se que, no médio prazo, todo alimento na prateleira de um supermercado brasileiro tenha que conter código de barras que possibilite o rastreamento de insumos utilizados nos processos de produção. Na Austrália, com seus frágeis ecossistemas, fala-se que uma revolução no uso da terra é fundamental para a geração e desenvolvimento de tecnologias e o estabelecimento de estratégias adequadas de manejo dos recursos naturais que assegurem uma paisagem e qualidade ambiental sustentáveis (WILLIAMS; SANDERS, 2003).

Um fator-chave para a intensificação da produção pecuária é a gestão eficiente de pastagens. Analisando a pecuária e a degradação ambiental na Amazônia brasileira, Muchagata e Brown (2003) descreveram três maneiras de gestão de pastagens para explicar os diferentes níveis de especialização e intensificação dos sistemas agropecuários na região. A partir dessa análise, tem sido defendido que atividades intensivas de produção pecuária podem, em alguns contextos, ser ecologicamente mais sustentáveis. Entretanto, estratégias de intensificação sustentável, que podem vir a contribuir para a estabilização da fronteira agropecuária, dependem, além da capacidade individual de fazendas ou propriedades rurais, da adoção de tecnologias apropriadas, de investimentos em infraestrutura e nos processos produtivos, de mercados e do capital social disponível.

Em 2002 encontravam-se no Bioma Cerrado aproximadamente 54 milhões de pastagens cultivadas com diferentes graus de produtividade, incorporadas em sistemas (fazendas ou estabelecimentos) de produção agropecuários, na maioria dos casos. Nesses sistemas, a rentabilidade da atividade de produção de bovinos de corte é, em geral, muito baixa porque pastagens têm sido também utilizadas como um meio de assegurar os direitos de propriedade de áreas de terra mais distantes dos mercados de serviços, de insumos e de produtos agropecuários. Isto é, considera-se que pastagens:

- Assegurem a posse da terra.
- Aumentem o valor de áreas de terra até três vezes mais do que em áreas correspondentes com vegetação natural.
- Possam proporcionar renda e outros benefícios através de aluguel.
- Em áreas afastadas dos referidos mercados, tenha-se baixo custo de oportunidade.
- Possam ser estratégicas para aumentar a vida útil de áreas desmatadas.

Além disso, a atividade de produção de bovinos apresenta:

- Menos risco do que o cultivo de grãos e cereais.
- Preços de seus produtos mais estáveis do que de produtos agrícolas.
- Mercados estabelecidos em todas as áreas produtoras.
- Baixa exigência em termos de qualificação de mão-de-obra e pouca sazonalidade na demanda de serviços de manejo.
- Possibilidades de gerar múltiplos produtos quando é integrada com outras atividades produtivas, visando à agregação de valores e à economia de escopo.

Muitas dessas características da produção de bovinos de corte nos trópicos brasileiros foram enfatizadas em estudo conduzido por Muchagata e Brown (2003). Identificaram-se as fases de crescimento de sistemas de produção pecuária na Amazônia (instalação, diversificação e especialização). No Cerrado, a situação é semelhante em áreas com menor infraestrutura.

O IBGE apresenta dados censitários mostrando que, de 1996 para 2006, a área total de pastagens cultivadas no Brasil aumentou apenas 1,76% (de 99.652.009 ha para 101.437.409 ha). Entretanto, deve-se analisar esse aumento com base na dinâmica de uso das terras nos biomas Cerrado e Amazônia. Sabe-se que, em decorrência da expansão agrícola em áreas de pastagens de baixa produtividade no Cerrado, áreas de terras nas regiões de transição de Cerrado e Amazônia passaram a ser utilizadas com pastagens para produção de bovinos de corte. Logo, é importante que seja analisada essa dinâmica de uso da terra nos dois biomas.

Estudos desenvolvidos por meio de atividades previstas no Projeto Avisar (<http://www.avisar2.cnptia.embrapa.br/>) em colaboração com o Cepea geraram informações que ilustram aspectos da economia

agrícola recente. Segundo esses estudos, no médio e no longo prazos, a fronteira agrícola brasileira pode expandir-se e alcançar 227 milhões de ha com lavouras anuais e perenes, resultando em uma redução da área total de pastagens para 40 milhões de ha. Os preços da carne bovina no mercado interno não remuneram bem a atividade pecuária mais intensiva em regiões de fronteira entre os biomas Cerrado e Amazônia. Logo, é compreensível a baixa produtividade, a expansão da área de pastagens no Norte do Brasil e, em consequência dos baixos preços de grandes áreas de terra com pecuária extensiva, o fato de o preço da carne bovina no Brasil estar entre os menores no mundo.

Neste Boletim de Pesquisa, apresenta-se um modelo bioeconômico para avaliação de investimentos na atividade de bovinocultura de corte, envolvendo as alternativas de cria, recria e engorda de animais da raça nelore no Cerrado, visando estabelecer um plano forrageiro e avaliar políticas de crédito rural para aquisição de animais. Especificamente, o estudo consiste em um projeto de investimento em fazenda com bovinocultura de corte num horizonte de 32 trimestres. São realizadas avaliações ex ante de investimentos na compra de animais de diferentes classes e em pastagens mais produtivas. Considerou-se, entre outros aspectos, o processo de crescimento e manejo do rebanho, a tecnologia de estação de monta, as políticas de crédito rural, com diferentes taxas de juros e prazos de amortização de dívidas, o mínimo de capital de giro e provisões de custos operacionais de infraestrutura mínima para o empreendimento.

Caracterização do Problema

O entendimento de fatores socioeconômicos e das características do ambiente de decisões de um produtor agropecuário tem sido ressaltado como elemento fundamental em pesquisas visando melhorias de produtividade de sistemas de produção de bovinos a pasto (PANNELL, 1995). Em pesquisas visando melhorias de produtividade de pastagens em regiões tropicais da América Latina e África, Frissen et al. (2001) e Thomas e Sumberg (1995) identificaram dificuldades de implementação de abordagens multidisciplinares e uma duplicação de esforços pelos

cientistas de forragens. A questão de produtividade das pastagens e da baixa rentabilidade da pecuária de corte no Bioma Cerrado requer políticas públicas que visem melhorias dos sistemas de produção agropecuários implantados nessa região (FEUERWERKER, 2010). Na Austrália, Bathgate et al. (2009) enfatizam a necessidade de estudos e pesquisa de produção de bovinos a pasto, seguindo uma visão de sistemas em que todos os dinâmicos processos bioeconômicos de uma fazenda sejam considerados de maneira integrada. Seguindo uma visão sistêmica, eles desenvolveram um modelo de programação linear e o aplicaram na análise das inter-relações entre melhorias de pastagens, planejamento e lucratividade de uma fazenda de pecuária típica na região sudeste da Austrália.

Contudo, na Europa, por um hectare de pastagem, o pecuarista irlandês chega a receber até 200 euros do Programa Rural Environmental Protection Scheme (REPS), apenas de subsídio direto da Comunidade Econômica Europeia para a produção de bovinos de corte (CROSSON et al., 2006). Além disso, também tem sido utilizado o subsídio denominado de Single Farm Payments (SFP) de 16 mil euros por propriedade, que viabilizam, em termos econômicos, o uso de tecnologias como as produções de silagens de pastagem e de milho, conforme demonstrado no referido estudo, que aplica a ferramenta Grange Beef Model.

Logo, investimentos visando aumentos de produtividade de pastagens brasileiras envolvem a complexa questão de seus baixos retornos. No longo prazo, a atividade bovinocultura de corte no Cerrado enfrentará cada vez mais pressões de atividades econômicas que incluem cultivos de grãos, de cana e de eucalipto.

Questões técnicas relacionadas a planejamento alimentar e ajustes de taxa de lotação de animais, em piquetes de fazendas com pecuária de corte no Cerrado, são discutidas por Barioni et al. (2007). Foi demonstrado que ajustes são elementos cruciais de um bom manejo da atividade pecuária no Cerrado e recomenda-se:

- Assegurar que pastagens sejam bem utilizadas e mantidas em condições em termos de produtividade e de desempenho animal.
- Evitar períodos prolongados de escassez de forragens.
- Evitar perdas de estoques de forragens e de rentabilidade da atividade.
- Mitigar riscos de produção.
- Monitorar, controlar e ajustar taxas de lotação de animais, mensalmente, por piquete, de acordo com um dinâmico processo de planejamento forrageiro.

Entretanto, o planejamento forrageiro, em um sistema de produção, fazenda ou estabelecimento no Cerrado, envolve, entre outras questões, a alocação ótima de quantidades (de matéria seca, fibra e energia) produzidas de pastagens para alternativas de consumo por diferentes classes de bovinos de corte (de cria, de recria e de engorda), vendidos para abate ou como descarte da atividade pecuária.

Fonte de Dados e Metodologia

A abordagem de sistemas em pesquisa agrícola tem possibilitado o desenvolvimento e a aplicação de modelagem matemática, como meio de integração de dados e informações de diferentes disciplinas. Neste boletim, adota-se o conceito de modelo “esqueleto” descrito por Blackie e Dent (1974), que assegura uma avaliação mais objetiva e direta. Esse estudo constitui-se em uma análise bioeconômica ex ante de um sistema de produção ou fazenda para o técnico analista, o formulador de política de crédito e o produtor rural.

Idealmente, pesquisa de sistemas agrícolas requer uma visão interdisciplinar, com integração dos aspectos agronômicos, econômicos, ecológicos, sociais, utilizando-se pesquisa-ação participativa e modelagem matemática abrangendo mudanças climáticas. Entretanto, abordagens participativas para identificar e especificar problemas, desenvolver agendas de investigação comuns com aprendizagem e

reflexões, combinar conhecimentos científicos e técnicos com a prática da agricultura e do conhecimento local não têm sido alternativa de fácil implementação em instituições de pesquisa agrícola (CSIRO, 2010).

Modelos matemáticos podem se constituir, com a utilização de tecnologias de informações apropriadas, em instrumentos úteis para representar, de maneira integrada, diferentes processos dinâmicos da pecuária. Nesse contexto, esses modelos visam projeções de cenários de longo prazo e de impactos no desempenho bioeconômico de sistemas de produção implantados com essa atividade. Questões de alocação de recursos concernentes à gestão de um negócio de fazenda agropecuária envolvem o desafio de otimização de recursos e de estabelecimento da melhor combinação de estratégias técnico-gerenciais. A programação linear oferece o potencial de representar e projetar o comportamento dinâmico dos processos bioeconômicos de sistemas de produção agropecuários (VAN CALKER et al., 2004; COSTA; REHMAN, 2005; CROSSON et al., 2006).

No caso em apreço, o modelo emprega uma visão de crescimento do negócio de uma fazenda de bovinos de corte e compreende 1.076 atividades e 870 restrições. Utiliza-se o Excel para construção desse modelo. A sua estrutura envolve os elementos:

- Áreas de terra de sistemas de produção – fazendas 1 e 2 e provisões de custos de depreciação e outros.
- Quantidades mínimas e máximas de animais.
- Dinâmica de rotação das pastagens – Brachiária.
- Produção das pastagens e consumo dos animais energia, fibra e matéria seca.
- Geração de resíduos (energia, fibra e matéria seca) das pastagens no final de cada trimestre.
- Dinâmica trimestral de mudanças nas categorias de animais no rebanho e taxas de mortalidade de animais.

- Quantidade final de resíduos (energia, fibra e matéria seca).
- Recursos financeiros, capital próprio inicial, créditos rurais de políticas públicas e crédito a juros de mercado.
- Fluxo de caixa mensal.

Várias planilhas auxiliares são usadas para preparar orçamentos, estratégias financeiras, dados de oferta de forrageira e consumo de cada classe de animal, de preços de insumos e produtos e de muitos outros aspectos bioeconômicos de uma fazenda em uma área periférica do Cerrado. No Anexo II, estão descritos, sinteticamente, o modelo de simulação empregado para gerar dados de oferta trimestral de forragem que foram incorporados no modelo e o procedimento de cálculo do consumo de forragem de cada classe animal.

A função objetivo do modelo maximiza o resultado financeiro líquido de um fluxo de caixa descontado, a 0,5% ao mês, no final de 8 anos de planejamento.

Caracterização do sistema de produção de bovinos a pasto no Cerrado

Pressupostos incorporados ao modelo

A partir de estudos de casos e outras experiências na região do Cerrado, assumiu-se que:

- O projeto de sistema de produção pecuário em área periférica do Cerrado consiste em uma propriedade com 800 ha de terra, com 75% dessa área disponível para produção de pastagens e (ou) uma outra com 400 ha com a mesma proporção de área de pastagens e provisão de custos indiretos médios mais elevados.
- A área de reserva legal, estradas e outras benfeitorias ocupam os demais 25% da área da fazenda.
- A fazenda de 800 ha de terra tem um total de R\$ 350.000,00 em benfeitorias (casas, currais, cercas e outras instalações) e uma

provisão de R\$ 7.916,67 $((350.000,00 * 0,1/12) + 5.000,00)$ para manutenção, depreciação de máquinas ou reserva para reposição de ativos e outras despesas associadas à escala de produção de 600 ha de pastagens.

- A fazenda de 400 ha de terra tem um total de R\$ 150.000,00 em benfeitorias (casas, currais, cercas e outras instalações) e uma provisão de R\$ 4.350,00 $((150.000,00 * 0,1/12) + 3.100,00)$ para manutenção, depreciação de máquinas ou reserva para reposição de ativos e outras despesas associadas à escala de produção de 300 ha de pastagens.
- A tecnologia base (considerada pela Embrapa Cerrados) de recuperação de fertilidade de solos com pastagens requer R\$ 550,00 por hectare para compra de 100 kg de ureia (R\$ 104,80), 400 kg de fertilizante super simples (R\$ 254,00), 50 kg de cloreto de potássio (KCl) (R\$ 55,40), 1 ton. de calcário (R\$ 86,36) e 1 hora de trator com equipamento (R\$ 49,44).
- O custo anual de manutenção de um hectare de pastagem corresponde ao valor de venda de uma arroba de boi (R\$ 72,00/arroba), e é apropriado em 12 parcelas mensais.
- Um custo de “overhead” anual ou outros custos indiretos da fazenda é estimado em 50% do valor de uma arroba de boi por hectare de terra para uma escala entre 400 ha a 1.000 ha, e esses custos são provisionados para cada mês do plano de 32 trimestres.
- O primeiro dos 32 trimestres de planejamento inicia-se no mês de maio, quando também se inicia o período seco na região Cerrado.
- O número total de animais comprados no primeiro ano é inferior a 5.000.
- As pastagens de *Brachiaria brizantha* são de três tipos: degradada, produtividade média e alta, que oferecem quantidades trimestrais diferenciadas de proteína, de fibra e de energia.

- Um número mínimo de divisões para um bom manejo das pastagens está disponível porque se trata de um fator-chave na intensificação na produção de bovinos (MUCHAGATA; BROWN, 2003).
- As quantidades de forragens ofertadas e demandadas trimestralmente foram estimadas para cada animal de cada classe com base em Detomini et al. (2006), Barioni et al. (2007a), Barioni et al. (2007b), e em Informação pessoal⁸.
- O valor para compra de um bezerro com idade de aproximadamente 6 meses é estimado em 47,8% de um boi de 14 arrobas com idade de 27 meses.
- O valor para compra de uma bezerra com idade de seis meses é de R\$ 324,00 a unidade.
- Uma bezerra de 9 a 12 meses de idade é comprada a um custo de R\$ 356,40 a unidade, e aquelas de 12 a 15 meses de idade são compradas ao preço de R\$ 388,80 a unidade.
- O valor de uma novilha de 15 a 18 meses de idade é de R\$ 421,20 a unidade, e o de uma novilha de 18 a 21 meses de idade é de R\$ 453,60.
- Uma novilha de 21 a 24 meses de idade é comprada a um custo de R\$ 518,40 a unidade, e aquelas de 24 a 27 meses de idade, ao preço de R\$ 615,60 (Anexo I).
- Touros são comprados a partir do terceiro trimestre, de acordo com as necessidades para as estações de monta, que se processam nos trimestres que ocorrem no período de janeiro a março, ao preço de R\$ 2.500,00 a unidade.
- Após dez trimestres, o touro de descarte é vendido ao preço de R\$1.302,00 a unidade.
- O índice de fêmeas acima de 24 meses de idade que irão parir anualmente é de 75%, e aquelas que não se apresentarem prenhas são descartadas ou vendidas.

⁸ Quantidades ofertadas e demandadas de forragens pelos animais foram estimadas por Luis Gustavo Barioni, pesquisador A da Embrapa, em Brasília, em novembro de 2009.

- O valor de venda de uma arroba de boi é estabelecido em R\$ 72,00 e o da fêmea é 10% mais barato (R\$ 64,80/arroba).
- O fluxo de caixa é mensal e o capital de giro mantido no caixa tem um custo de oportunidade de 0,5% ao mês, correspondente ao rendimento de caderneta de poupança.
- Três políticas de crédito são consideradas: uma de custeio; outra de investimentos com recursos públicos a 10,5% ao ano (a.a.); outra de mercado, que considera uma taxa de juros de 30% a.a., correspondendo a um custo de oportunidade de capital de terceiros que podem ser adquiridos de outros produtores ou de um agente financeiro.
- Crédito para investimentos são amortizados em sete parcelas anuais considerando dois anos de carência.
- Índices de mortalidade de animais variam de acordo com idade de cada classe e são gerados utilizando-se de distribuições empíricas, estabelecidas e acessadas por meio de células de uma planilha Excel. Essas células estão em uma coluna externa à matriz que compreende o modelo matemático.

No modelo, considera-se também que:

- As quantidades produzidas de matéria seca (M), energia (E) e proteína bruta na fibra (F) atendem, com segurança, às exigências do rebanho em cada trimestre.
- No primeiro trimestre, animais de todas as categorias podem ser adquiridos, exceto animais para engorda e venda no trimestre.
- Do segundo até o penúltimo trimestre, o número de animais em uma dada categoria (a não ser a última, de terminação) é igual ao número de animais da categoria anterior no trimestre anterior, subtraindo-se os animais mortos e somando-se as compras no trimestre (somente animais terminados podem ser vendidos).

Do segundo ao penúltimo trimestre, o número de animais vendidos é igual ao número de animais na última categoria. Esse valor é igual ao número de animais na categoria $(k-1)$ no período anterior $(j-1)$.

- No último trimestre, todos os animais são vendidos.
- O valor em reais do caixa inicial é dado pelo somatório dos recursos próprios, crédito de investimento e de mercado, subtraído das despesas com a compra de animais e despesas fixas e variáveis relacionadas à manutenção da fazenda.
- A despesa da fazenda é dada pelo somatório dos custos relacionados ao uso da terra, acrescido a um custo fixo, relacionado à área total da fazenda (custo fixo).
- O caixa, em um determinado mês, é igual ao caixa no mês anterior, descontado a uma taxa 0,5% ao mês, acrescido dos créditos tomados no período e dos recursos financeiros provenientes de venda de animais no mesmo período, e subtraído dos pagamentos de empréstimos contraídos em períodos anteriores das despesas da fazenda.
- Créditos de financiamentos podem ser obtidos anualmente, sendo seus pagamentos também anuais.
- Créditos podem ser tomados de duas formas: oficial de custeio e de mercado. Esses empréstimos são remunerados com diferentes taxas de juros. No último ano, não há tomada de crédito.

O crédito de investimento (tomado no início do projeto), segundo uma tabela anual de pagamentos ($PgIa$), calculada exogenamente em pasta do Excel como uma proporção do valor creditado, utiliza-se de uma taxa de juros pré-fixada. Os créditos de custeio e de mercado são pagos, inteiramente, no ano subsequente ao empréstimo (isto é, cc e $cm = 1$) e são remunerados com taxas distintas (j_c e j_m).

$$\$PGTO_{a(m)} = \$I * PgI_a + \$C_{a-cc} * (1 + jc) + \$M_{a-cm} * (1 + jm),$$

$$a = 2..na; a = m * 12$$

$\$I$ é o investimento inicial.

PgI_a é o índice de pagamento anual.

$\$C_{a-cc}$ crédito de custeio.

jc , taxa de juro de custeio.

$\$M_{a-cm}$ crédito de mercado.

jm , taxa de juro de mercado.

n ano.

- No último mês do projeto, todos os animais são vendidos e o capital próprio é desinvestido com remuneração anual a uma taxa 0,5%.

Construção do modelo bioeconômico multiperíodico de fazenda de bovinos de corte no Cerrado

A modelagem matemática provê uma maneira de investigar sistemas de produção agrícolas considerando um conjunto de restrições e alternativas tecnológicas. Entretanto, nesse modelo, procurou-se tratar, basicamente, as questões de planejamento forrageiro de uma fazenda com bovinos de corte em área marginal no Bioma Cerrado.

Buscou-se enfatizar as questões de orçamento forrageiro e o crescimento de rebanho com mortes de animais representadas por distribuições de probabilidade, estabelecidas e utilizadas para representar processos de transferências de animais de um trimestre para o outro seguinte. Essas distribuições foram incorporadas em células de uma pasta do Excel e estão fora do tableau ou matriz com o conjunto de equações que compõem o modelo. Parâmetros de transferências de animais envolvem taxas de mortes geradas a partir de links para acessar essas distribuições.

Assume-se que o pecuarista visa maximizar os retornos econômicos, independente de preferências e crenças de outros, possíveis, proprietários da fazenda ou membros de sua família.

Formulação matemática

A formulação completa do modelo matemático está sinteticamente descrita no Anexo III. Nelas foram considerados índices que indicam: periodicidade – *i* (ano), *j* (trimestre) e *m* (mês); classificações de grupos – *k* (categoria animal) e *p* (tipo de pastagem).

A função objetivo visa maximizar a quantidade de dinheiro (R\$) no fluxo de caixa descontado (a 0.5% ao mês) do negócio da fazenda projetada, expresso pela variável *Max\$Knm*, no final de 32 trimestres. Variáveis e descrições estão nas Tabelas 1 e 2. Os termos independentes estão descritos no Anexo III.

Duas políticas de crédito rural de investimentos são consideradas utilizando-se da mesma (10,5% a.a.) taxa de juros e diferentes períodos de amortizações.

Tabela 1. Descrição, numeração e codificação de variáveis do modelo.

Variáveis	Código
Área(s) de Terra da(s) Fazenda(s), no ano <i>i</i>	TERRAFAZ <i>i</i>
Pastagem Brachiaria Categoria Dc (<i>p</i> =6), no ano <i>i</i>	PAST <i>p,i</i>
Pastagem Brachiaria Categoria Db (<i>p</i> =5), no ano <i>i</i>	PAST <i>p,i</i>
Pastagem Brachiaria Categoria Da (<i>p</i> =4), no ano <i>i</i>	PAST <i>p,i</i>
Pastagem Brachiaria Categoria C (<i>p</i> =3), no ano <i>i</i>	PAST <i>p,i</i>
Pastagem Brachiaria Categoria B (<i>p</i> =2), no ano <i>i</i>	PAST <i>p,i</i>
Pastagem Brachiaria Categoria A (<i>p</i> =1), no ano <i>i</i>	PAST <i>p,i</i>
Provisão <i>p</i> / manutenção, deprec. máquinas e outras despesas F01, no ano <i>i</i>	PROCF01 <i>i</i>
Provisão <i>p</i> / manutenção, deprec. máquinas e outras despesas F02, no ano <i>i</i>	PROCF02 <i>i</i>
Bezerro (6 a 9 meses), (<i>k</i> =1), no ano <i>i</i> , trimestre <i>j</i>	CBOVM <i>k,i,j</i>
Bezerro (9 a 12 meses), (<i>k</i> =2), no ano <i>i</i> , trimestre <i>j</i>	CBOVM <i>k,i,j</i>
Garrote (12 a 15 meses), (<i>k</i> =3), no ano <i>i</i> , trimestre <i>j</i>	CBOVM <i>k,i,j</i>

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Variáveis	Código
Garrote (15 a 18 meses), (k=4), no ano i, trimestre j	CBOVM k,i,j
Garrote (18 a 21 meses), (k=5), no ano i, trimestre j	CBOVM k,i,j
Boi para engorda (> de 21 e < 24 meses), (k=6), no ano i, trimestre j	CBOVM k,i,j
Boi para engorda (> de 24 e < 27 meses), (k=7), no ano i, trimestre j	CBOVM k,i,j
Boi para engorda (> de 27 e < 30 meses), (k=8), no ano i, trimestre j	CBOVM k,i,j
Bezerra (6 a 9 meses), (k=1), no ano i, trimestre j	CBOVF k,i,j
Bezerra (9 a 12 meses), (k=2), no ano i, trimestre j	CBOVF k,i,j
Novilha (12 a 15 meses), (k=3), no ano i, trimestre j	CBOVF k,i,j
Novilha (15 a 18 meses), (k=4), no ano i, trimestre j	CBOVF k,i,j
Novilha (18 a 21 meses), (k=5), no ano i, trimestre j	CBOVF k,i,j
Novilha (> de 21 e < 24 meses), (k=6), no ano i, trimestre j	CBOVF k,i,j
Novilha (> de 24 e < 27 meses), (k=7), no ano i, trimestre j	CBOVF k,i,j
Novilha (> de 27 e < 30 meses), (k=8), no ano i, trimestre j	CBOVF k,i,j
Transferência Matéria Seca, no ano i, trimestre j para trimestre j+1	TM i(j,j+1)
Transferência Energia, no ano i, trimestre j para trimestre j+1	TE i(j,j+1)
Transferência Fibra, no ano i, trimestre j para trimestre j+1	TF i(j,j+1)
Orçamento de Resíduo Matéria Seca, no ano i, trimestre j para trimestre j+1	OM i(j,j+1)
Orçamento de Resíduo Energia, no ano i, trimestre j para trimestre j+1	OE i(j,j+1)
Orçamento de Resíduo Fibra, no ano i, trimestre j para trimestre j+1	OF i(j,j+1)
Bezerro (> 9 e < 12 meses), (k=2), no ano i, trimestre j	FBOVM k+1,i,j
Bezerro (> 12 e < 15 meses), (k=3), no ano i, trimestre j	FBOVM k+1,i,j
Garrote (> 15 e < 18 meses), (k=4), no ano i, trimestre j	FBOVM k+1,i,j
Garrote (> 18 e < 21 meses), (k=5), no ano i, trimestre j	FBOVM k+1,i,j
Garrote (> 21 e < 24 meses), (k=6), no ano i, trimestre j	FBOVM k+1,i,j
Garrote (> 24 e < 27 meses), (k=7), no ano i, trimestre j	FBOVM k+1,i,j
Boi para engorda (> de 27 e < 30 meses), (k=8), no ano i, trimestre j	FBOVM k+1,i,j
Boi para engorda (> de 30 meses), (k=9), no ano i, trimestre j	FBOVM k+1,i,j
Bezerra (> de 9 e < 12 meses), (k=2), no ano i, trimestre j	FBOVF k+1,i,j
Novilhota (> de 12 e < 15 meses), (k=3), no ano i, trimestre j	FBOVF k+1,i,j
Novilhota (> de 15 e < 18 meses), (k=4), no ano i, trimestre j	FBOVF k+1,i,j
Novilha (> de 18 e < 21 meses), (k=5), no ano i, trimestre j	FBOVF k+1,i,j

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Variáveis	Código
Novilha (> de 21 e < 24 meses), (k=6), no ano i, trimestre j	FBOVF k + 1,i,j
Novilha (> de 24 e < 27 meses), (k=7), no ano i, trimestre j	FBOVF k + 1,i,j
Novilha (> de 27 e < 30 meses), (k=8), no ano i, trimestre j	FBOVF k + 1,i,j
Novilha (> de 30 e < 33 meses), (k=9), no ano i, trimestre j	FBOVF k + 1,i,j
Aluguel de pastagem, no ano i, trimestre j	ALUGPAST i,j
Capital Próprio, no ano i + 1	K\$PRO i + 1
Capital créd oficial – custeio, no ano i	K\$CREDC i
Capital créd oficial – investimento I, no ano i	K\$CREDIV1 i
Capital créd oficial – investimento II, no ano i	K\$CREDIV2 i
Capital créd mercado, no ano i	K\$CREDM i
Transf. de dinheiro, no ano i, mês m = 1	K\$TRANSF i,m
Transf. de dinheiro, no ano i, mês m = 2	K\$TRANSF i,m
Transf. de dinheiro, no ano i, mês m = 3	K\$TRANSF i,m
Transf. de dinheiro, no ano i, mês m = 4	K\$TRANSF i,m
Transf. de dinheiro, no ano i, mês m = 5	K\$TRANSF i,m
Transf. de dinheiro, no ano i, mês m = 6	K\$TRANSF i,m
Transf. de dinheiro, no ano i, mês m = 7	K\$TRANSF i,m
Transf. de dinheiro, no ano i, mês m = 8	K\$TRANSF i,m
Transf. de dinheiro, no ano i, mês m = 9	K\$TRANSF i,m
Transf. de dinheiro, no ano i, mês m = 10	K\$TRANSF i,m
Transf. de dinheiro, no ano i, mês m = 11	K\$TRANSF i,m
Transf. de dinheiro, no ano i, mês m = 12	K\$TRANSF i,m
Receita total de Resíduo Matéria Seca (MS)	R\$TRM
Receita total de Resíduo MS, ano 1	R\$TRM1
Receita total de Resíduo MS, ano 2 em diante	R\$TRM2
Receita total de Resíduo Energia (E)	R\$TRE
Receita total de Resíduo E, ano 1	R\$TRE1
Receita total de Resíduo E, ano 2 em diante	R\$TRE2
Receita total de Resíduo Fibras (F)	R\$TRF
Receita total de Resíduo F, ano 1	R\$TRF1
Receita total de Resíduo F, ano 2 em diante	R\$TRF2

A política de crédito rural de investimentos oferece duas opções de amortização, mas com a mesma taxa de juros, como será mostrado nos resultados.

Tabela 2. Descrição, numeração e codificação das restrições do modelo.

Coeficientes	Código
Área total de terra da fazenda 01, no ano i	AREAFAZ01 i
Área total de terra da fazenda 02, no ano i	AREAFAZ02 i
Unidade Animal Ferrado, Macho da categoria k , no ano i , trimestre j	UAMF $k+1, i, j$
Unidade Animal Ferrado, Fêmea da categoria k , no ano i , trimestre j	UAFF $k+1, i, j$
Preço do Aluguel de Pastagens por Unidade Animal no ano i , trimestre	UAALUG i, j
Unidade Animal Comprado, Macho da categoria k , no ano i , trimestre j	UAMC $k+1, i, j$
Unidade Animal Comprado, Fêmea da categoria k , no ano i , trimestre j	UAFC $k+1, i, j$
Consumo de Energia por animal comprado macho, da categoria k , ano i , trimestre	PRODECBOVM k, i, j
Consumo de Energia por animal ferrado macho, da categoria k , ano i , trimestre j	PRODEFBOVM k, i, j
Consumo de Energia por animal comprado fêmea, da categoria k , ano i , trimestre j	PRODECBOVF k, i, j
Consumo de Energia por animal ferrado fêmea, da categoria k , ano i , trimestre j	PRODEFBOVF k, i, j
Consumo de Energia, de animais de terceiros ano i , trimestre j	PRODEALUG i, j
Produção de Energia de pastagens p , no ano i , trimestre j	PRODE p, i, j
Consumo de Fibra de bovino comprado macho, da categoria k , ano i , trimestre j	PRODFCBOVM k, i, j
Consumo de Fibra de bovino ferrado macho, da categoria k , ano i , trimestre j	PRODFFBVM k, i, j
Consumo de Fibra de bovino comprado fêmea, da categoria k , ano i , trimestre j	PRODFCBOVF k, i, j
Consumo de Fibra de bovino ferrado fêmea, da categoria k , ano i , trimestre j	PRODFFBVF k, i, j
Consumo de Fibra de animais de terceiros ano i , trimestre j	PRODFALUG i, j

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Coeficientes	Código
Produção de Fibra de pastagens p, no ano i, trimestre j	PRODF p,i,j
Consumo de Matéria Seca de bovino comprado macho, da categoria k, ano i, trimestre j	PRODMCBOVM k,i,j
Consumo de Matéria Seca de bovino ferrado macho, da categoria k, ano i, trimestre j	PRODMFBOVM k,i,j
Consumo de Matéria Seca de bovino comprado fêmea, da categoria k, ano i, trimestre j	PRODMCBOVF k,i,j
Consumo de Matéria Seca de bovino ferrado fêmea, da categoria k, ano i, trimestre j	PRODMFBOVF k,i,j
Consumo de Matéria Seca de animais de terceiros ano i, trimestre j	PRODMALUG i,j
Produção de Matéria Seca de pastagens p, no ano i, trimestre j	PRODM p,i,j
Capital Próprio da Fazenda 01, no ano i	K\$PROFAZ01 i
Capital Próprio da Fazenda 02, no ano i	K\$PROFAZ02 i
Provisões de Custos da fazenda 01, no ano i, mês m	KR\$F1 i,m
Provisões de Custos da fazenda 02, no ano i, mês m	KR\$F2 i,m
Custos de manutenção de áreas totais de terra da fazenda, no ano i, mês m	KR\$TF i,m
Custos de manutenção das pastagens p, no ano i, mês m	KR\$P p,i,m
Custos de animais comprados macho, da categoria k, no ano i, mês m	KR\$CBOVM k,i,m
Custos de animais comprados fêmea, da categoria k, no ano i, mês m	KR\$CBOVF k,i,m
Taxa de transferência de capital, no ano i, mês m	KR\$TAXA i,m
Custos de animais comprados fêmea, da categoria k, no ano i, mês m	KR\$ALUG i,m
Empréstimo de crédito-custeio, no ano i, mês m	KR\$CREDC i,m
Empréstimo de crédito-investimento I, no ano i, mês m	KR\$CREDIV1 i,m
Empréstimo de crédito-investimento II, no ano i, mês m	KR\$CREDIV2 i,m
Empréstimo de crédito-mercado, no ano i, mês m	KR\$CREDM i,m
Custos de animais ferrados macho, da categoria k, no ano i, mês m	KR\$FBOVM k,i,m
Custos de animais ferrados fêmea, da categoria k, no ano i, mês m	KR\$FBOVF k,i,m

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Coeficientes	Código
Transferência (1- taxa de mortalidade) bovino comprado fêmea, da categoria k, no ano i, trimestre j	TCBOVF k,i,j
Transferência (1- taxa de mortalidade) bovino ferrado fêmea, da categoria k, no ano i, trimestre j	TFBOVF k,i,j
Transferência (1- taxa de mortalidade) bovino comprado macho, da categoria k, no ano i, trimestre j	TCBOVM k,i,j
Transferência (1- taxa de mortalidade) bovino ferrado macho, da categoria k, no ano i, trimestre j	TFBOVM k,i,j
Taxa de Energia estimada no resíduo a ser transferida, no ano i, trimestre j	TER i,j
Taxa de Energia estimada, orçamento de resíduo, no ano i, trimestre j	OER i,j
Taxa de Fibra estimada no resíduo a ser transferida, no ano i, trimestre j	TFR i,j
Taxa de Fibra estimada, orçamento de resíduo, no ano i, trimestre j	OFR i,j
Taxa de Matéria Seca estimada no resíduo a ser transferida, no ano i, trimestre j	TMR i,j
Taxa de Matéria Seca estimada, orçamento de resíduo, no ano i, trimestre j	OMR i,j
Taxa de Receita de Energia Total, no ano i, trimestre j	REN i,j
Taxa de Receita de Fibra Total, no ano i, trimestre j	RFB i,j
Taxa de Receita de Matéria Seca Total, no ano i, trimestre j	RMS i,j

Procedimentos computacionais para construir a matriz, gerar e analisar soluções do modelo

O tableau de programação linear que compreende o modelo, de 1.076 variáveis e 827 restrições, foi estabelecido utilizando-se várias pastas de um arquivo de 15 MB Excel® file, bem como três procedimentos de preparação de Mathematical Programming Systems (MPS) input file foram desenvolvidos e incorporados no referido arquivo. Cada um desses procedimentos constitui uma Macro do Excel® que gera um arquivo do tipo texto ou ASC MPS file com as especificidades requeridas

pelos seguintes Solvers: o Lindo da Lindo Systems, o OPTMILP, que é um procedimento do Statistical Analysis System SAS/OR® 9.1.3, e o LPSolve IDE – 5.5.0.15, componente de pesquisa operacional do R software.

Um procedimento de preparação de input e aplicação de modelo de programação linear utilizando-se rotinas de Visual Basic e Solver Lindo® tem sido desenvolvido por Bathgate et al. (2009).

Entre os três Solvers utilizados, o mais eficiente foi o OPTMILP do SAS. A solução gerada é convertida e exportada para uma pasta do referido arquivo Excel, o que facilita a análise e a geração de gráficos.

O Solver OPTMILP resolve problemas de programação linear com variáveis inteiras utilizando um algoritmo baseado em “branch-and-bound”, que foi totalmente reescrito com técnicas de presolvers planos de corte e heurística primal e implementado na versão SAS/OR® 9.1.3. Além disso, os dados em formato MPS SAS data set é adequado para o procedimento OPTMILP, SAS/OR® 9.1.3, 2007.

Avaliação do modelo

O processo de construção do modelo envolveu consultas frequentes de bases de dados de fazendas parceiras da Embrapa Cerrados, de pesquisadores e produtores para assegurar, de maneira apropriada, a representação e inter-relações dos processos bioeconômicos de uma fazenda de bovinos de corte em área com baixos investimentos e pastagens com baixa produtividade no Cerrado. Trata-se de um tipo de sistema de produção pecuária que tem despertado o interesse de formuladores de políticas públicas envolvendo alternativas de mitigação de gases de efeito estufa da pecuária, e questões de taxas de juros e prazos para pagamento de crédito rural, para alavancar a produtividade desses sistemas.

A formulação matemática foi submetida a colegas especialistas em modelos de otimização, visando avaliar as questões de lógica e adequação gráfica para apresentação.

Resultados

Inicialmente, vale ressaltar que o modelo considera duas escalas de produção (fazendas de 400 ha e 800 ha de terra), que requerem provisões médias de custos diferentes, e que apenas o sistema de produção de 800 ha entra na solução.

Segundo o modelo proposto e testado neste trabalho, o projeto de um sistema de produção de bovinos de corte com 800 ha de área total, 600 ha de pastagens distribuídas em cinco subáreas, como mostrado na Tabela 3, apresenta um resultado financeiro líquido de R\$ 227.738,32, no final do oitavo ano. Para isso, é necessária recuperação da produtividade das pastagens; dessa forma a estratégia projetada pelo modelo está apresentada na Tabela 3.

Considerou-se o reembolso do capital inicial de R\$ 300.000,00, acrescido de um custo de oportunidade de 6% ao ano, cobrado no final do último trimestre. Projetou-se uma produção total de 551.7868 to equivalentes de carcaça de carne durante os 32 trimestres de planejamento, correspondendo a 68.97335 t por ano ou 114.96 Kg de carne/ha de pastagem/ano, e receita bruta anual de R\$ 327.826,28, dos quais R\$ 13.307,86 são gerados com o aluguel de pastagens em trimestre de maior oferta hídrica e, conseqüentemente, de forragem.

Na Tabela 3, verifica-se que, em média, 108,57 ha ano⁻¹ de pastagens serão recuperados.

As receitas trimestrais geradas com o aluguel eventual de pastagens estão mostradas na Tabela 4. Essa estratégia visa evitar uma perda de pastagem disponível em períodos de produção. O número mínimo de unidade animal (UA) na opção de aluguel de pastagem é 20, ou uma receita mínima mensal de R\$ 200,00.

As operações de crédito rural, de empréstimos a juros de mercado e de transferências mensais de capital disponível no caixa resultaram em encargos financeiros apresentados na Tabela 5.

Tabela 3. Dinâmica de uso das áreas de pastagens.

	1º ano (ha)	2º ano (ha)	3º ano (ha)	4º ano (ha)	5º ano (ha)	6º ano (ha)	7º ano (ha)	8º ano (ha)	Média (ha)
Pastagem Brachiaria Categoria Dc - ano 08	–	–	–	–	–	–	–	0,00	–
Pastagem Brachiaria Categoria Db - ano 01	168,09	61,72	91,32	225,05	53,83	168,09	61,72	91,32	–
Pastagem Brachiaria Categoria Da - ano 01	61,72	91,32	225,05	53,83	168,09	61,72	91,32	209,94	–
Pastagem Brachiaria Categoria C - ano 01	91,32	225,05	53,83	168,09	61,72	91,32	209,94	53,83	–
Pastagem Brachiaria Categoria B - ano 01	225,05	53,83	168,09	61,72	91,32	209,94	53,83	168,09	–
Pastagem Brachiaria Categoria A - ano 01	53,83	168,09	61,72	91,32	209,94	53,83	168,09	61,71	108,57
	600,00	600,00	600,01	600,01	584,90	584,90	584,90	584,89	–

Tabela 4. Receitas trimestrais de aluguel de pastagens.

Trimestres	t01	t02	t03	t04	t05	t06	t07	t08	
	–	–	600,00	14.813,10	–	–	0,00	11.292,00	26.705,10
	t09	t10	t11	t12	t13	t14	t15	t16	
	–	–	600,00	5.732,40	–	–	600,00	4.353,30	11.285,70
	t17	t18	t19	t20	t21	t22	t23	t24	
	–	–	600,00	19.413,30	–	–	600,00	11.310,00	31.923,30
	t25	t26	t27	t28	t29	t30	t31	t32	
	–	–	600,00	18.803,70	–	–	600,00	16.544,70	36.548,40
Total (R\$)									106.462,50

Tabela 5. Cálculo de juros de operações de crédito e de operações mensais de caixa (R\$).

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	
Capital de giro - próprio (6% a.a.)	300.000,00	-	-	-	-	-	-	-	300.000,00
Crédito de custeio - oficial (8.5% a.a.)	150.000,00	100.000,00	150.000,00	198.193,15	200.000,00	193.696,28	200.000,00	200.000,00	1.391.889,43
Crédito de investimento I (10.5% a.a.)	350.000,00	180.000,00	-	-	-	-	-	-	530.000,00
Crédito de investimento II (10.5% a.a.)	150.000,00	-	76.274,30	-	-	-	-	-	226.274,30
Crédito de mercado (30% a.a.)	-	-	-	-	150.000,00	-	58.680,16	-	208.680,16
Total de empréstimos									2.649.868,45
Pagamento de capital próprio + custo de oportunidade 6% a.a.	-	-	-	-	-	-	-	478.154,40	478.154,40
Pagamento de crédito de custeio - oficial	12.750,00	162.750,00	108.500,00	162.750,00	215.039,57	217.000,00	210.160,46	434.000,00	1.522.950,03
Amortização de investimento I ano 01	-	70.000,00	77.000,00	80.500,00	84.000,00	85.750,00	87.500,00	88.900,00	573.650,00
Amortização de investimento I ano 02	-	-	-	219.780,00	-	-	-	-	219.780,00

Continua...

Modelo Bioeconômico para Avaliação ex ante de Investimentos...

31

A partir de resultados apresentados por Crossonnet al. (2006) sobre um sistema de produção de bovinos de corte na Irlanda e de resultados gerados pelo modelo aqui proposto, foi possível construir a Tabela 6. Nela mostram-se as diferenças entre um sistema de produção de bovinos de corte projetado para região periférica do Cerrado e outro estudado na Irlanda. No Brasil a produtividade média projetada de carne de 114,96 kg Eq. Carcaça ha⁻¹ é mais que o dobro da média brasileira. Considerando as condições do Cerrado com sete meses de restrições hídricas, para alcançar essa produtividade é necessário realizar uma correção periódica das pastagens. Utiliza-se também a tecnologia de estação de monta com 75% de nascimento de crias anualmente, e pressupõe-se um adequado manejo de pastagens com a suplementação mineral requerida para bovinos de corte no Cerrado.

A dinâmica dos rebanhos, apropriada pelo pecuarista ou de terceiros manejado em regime de aluguel trimestral de pastagens, e a capacidade de suporte das pastagens estão ilustradas nas Figuras 1 e 2. Verifica-se que a lotação de animais oscila em torno de 2 unidades animal (UA)/ha durante os 32 trimestres de planejamento. Essa variação decorre da oferta da forragem e da comercialização dos animais.

Segundo os resultados do modelo testado, durante os 8 anos foram adquiridos 4.800 animais e os nascimentos de bezerros e de bezerras resultaram em 1.380 crias. No final do período de planejamento, foram vendidos 5.942 animais, incluindo fêmeas de descarte decorrente da tecnologia estação de monta, bois gordo, bezerros e touros de descarte. Entre os animais vendidos, 3.820 foram bois gordo com 450 kg de peso vivo. A mortalidade de 0,48% ao ano subtraiu um total de 238 animais das diferentes classes durante os 8 anos de planejamento.

Tabela 6. Comparação de produções anuais de bovinos de corte – uma fazenda irlandesa e uma outra projetada para região do Cerrado brasileiro.

	Irlanda *		Brasil		
	Quantidade	Valor	Quantidade	Valor	
Área da fazenda (ha)	–	–	800	–	–
Área cultivada da fazenda (ha)	40	–	600	–	–
Pastagens (ha)	22,1	–	600	–	–
Área usada para silagem e como pasto (ha)	17,9	–	0,00	0,00	–
Produção (kg Eq. Carne ano ⁻¹)	14.655,17	–	68.973,35	–	–
Produtividade (kg Eq. Carne ha ⁻¹ ano ⁻¹)	366,38	–	114,96	–	218,71%
Subsidio total (kg Eq. carne ano ⁻¹)	8.034,48	–	0,00	–	–
Preço da carne (€ kg ⁻¹)	2,90	–	1,88	–	54,08%
Preço da carne (R\$ kg ⁻¹)	7,03	–	4,56	–	–
Preço médio da carne (R\$ @ ⁻¹)	105,39	–	72,00	–	–
Receita média da produção (€ ano⁻¹)	–	42.500,00	–	129.816,64	–
Receitas de operações financeiras (€ ano ⁻¹)	–	1.300,00	–	0,00	–
Subsidio SFP (€ ano ⁻¹) ^(a)	–	16.000,00	–	0,00	–
Subsidio REPS (€ ano ⁻¹) ^(a)	–	7.300,00	–	0,00	–
Receita de aluguel de pasto (€ ano⁻¹)	–	–	–	5.492,76	–
Receita total (€ ano⁻¹)	–	67.100,00	–	135.309,41	–
Custos de produção de silagem de capim (€ ano ⁻¹)	–	11.800,00	0,00	0,00	–
N inorgânico (kg N ha ⁻¹)	114,9	3.181,85	–	–	–
N orgânico (kg N ha ⁻¹)	145,1	4.018,15	–	–	–
Concentrado (t DM UA ⁻¹ ano ⁻¹)	0,8	6.700,00	0,00	0,00	–

Continua...

Tabela 6. Continuação.

	Irlanda *		Brasil		
	Quantidade	Valor	Quantidade	Valor	
Outras despesas com animais (€ ano ⁻¹)	–	8.900,00	–	–	–
Recuperação de 108,70 ha ⁻¹ de pastagens ano ⁻¹ - Brasil	–	–	–	–	–
Uréia fertilizante aplicada em fevereiro	–	–	100	4.696,13	–
Super-fosfato simples ((72 kg P ₂ O ₅ e 44 kg de S t ⁻¹) ha ⁻¹)	–	–	0,4	11.381,85	–
KCl granulado (30 kg K ha ⁻¹)	–	–	50	2.482,50	–
Calcário (t ha ⁻¹) aplicado um mês antes do plantio	–	–	1	3.869,83	–
Uso de trator e equipamentos (1 HM ha ⁻¹)	–	–	1	2.215,43	–
Provisão - manutenção, máq., equip., cercas, limpeza pastos (€ ano ⁻¹)	–	–	–	14.779,30	–
Despesas diversas (€ ano ⁻¹)	–	–	–	32.843,08	–
Depreciação de ativos (máq., equip. e outros ano ⁻¹)	–	–	–	14.446,16	–
Despesas de operações financeiras (€ ano ⁻¹)	–	–	–	36.845,34	–
Despesas (€ ano ⁻¹)	–	34.600,00	–	123.559,61	–
Lucro operacional (€ ano ⁻¹)	–	32.500,00	–	11.749,80	–
Receita total estimada (R\$ ano ⁻¹)	–	162.569,21	–	327.826,28	–
Despesas (R\$ ano ⁻¹)	–	83.828,53	–	299.358,99	–
Lucro operacional (R\$ ano ⁻¹)	–	78.740,68	–	28.467,29	–
Receita total estimada (R\$ ha ⁻¹ de terra)	–	–	–	409,78	–
Receita total estimada (R\$ ha ⁻¹ de pasto)	–	4.064,23	–	546,38	643,85%

^(a) Single Farm Payment (SFP), Rural environmental Protection Scheme (REPS) - 200,00 € ha⁻¹ para os primeiros 20 ha, 175,00 € ha⁻¹ para os próximos 20 ha, 70,00 € ha⁻¹ para os próximos 15 ha e 10,00 € ha⁻¹ para cada ha acima de 55 ha.

1€ = 2,42279 em 30/3/2010.

* Fonte: Crosson et al. (2006).

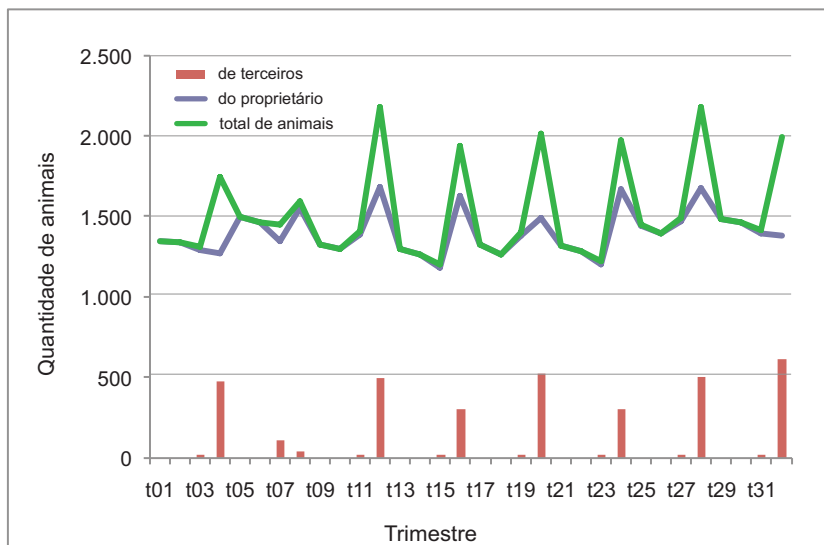


Figura 1. Dinâmica do rebanho ao longo de 32 trimestres.

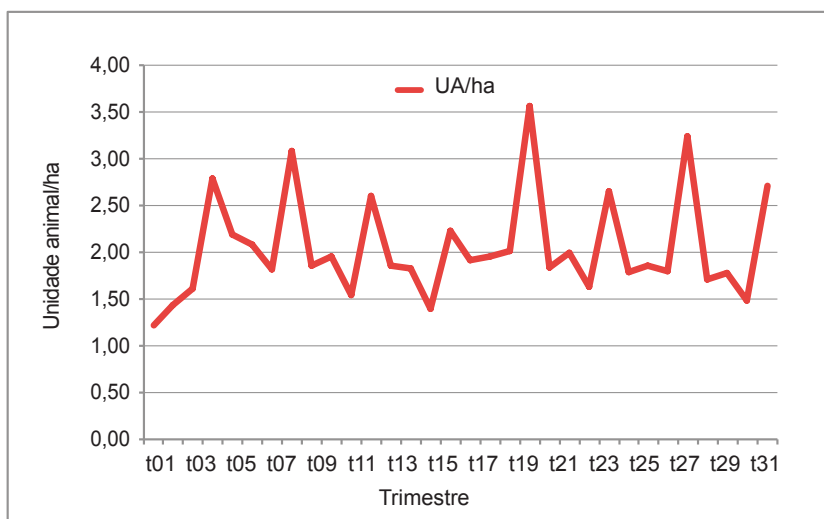


Figura 2. Taxa trimestral média de lotação animal por hectare de pastagem.

Comentários Finais

Uma crítica à abordagem de otimização adotada neste estudo é que, embora ela possibilite um entendimento e a representação comportamental da estrutura do negócio de uma fazenda e a análise de políticas de crédito rural alternativas, a rigidez dos pressupostos constitui uma séria limitação (DAVIS, 1979). Contudo, para o formulador de políticas de crédito rural, a ferramenta desenvolvida nesse estudo constitui um meio para estudar o comportamento de sistemas de produção reais considerando um conjunto de agrotecnologias e mudanças nos preços de insumos e produtos. Trata-se de um meio para estabelecer cenários para sistemas de produção de bovinos de corte no Cerrado.

O aumento das áreas com pastagens como a única estratégia para comportar o crescimento vegetativo dos rebanhos bovinos está deixando de ser uma alternativa interessante para o pecuarista em áreas de fronteira do Bioma Cerrado. Isso vem ocorrendo com a valorização dessas terras devido a melhorias de infraestrutura local e regional, e de possibilidades de desenvolvimento de atividades agrícolas como cultivos de grãos, de cereais, de eucalipto e de cana-de-açúcar. Essas opções de cultivo geram uma receita maior por unidade de área e podem ser introduzidas com uma visão de economia de escopo, assim como tem sido relatado em vários estudos relacionados à integração de cultivos de grãos, de cereais, de eucalipto e de pastagens com altos índices de produtividade.

As questões de ganhos marginais com a introdução de tecnologias de suplementação mineral e de misturas proteica e energética são facilmente incorporadas na formulação desse modelo, visando apoiar o trabalho de técnicos de extensão e de analistas formuladores de políticas públicas para o setor.

Seguindo uma visão sistêmica, os autores estão com o propósito de desenvolver uma expansão do referido modelo, visando contemplar alternativas tecnologias de cultivos de grãos, de cereais, de

cana-de-açúcar, de pastagens implantadas de maneira complementar em lavouras de grãos e cereais e de eucalipto em sistemas de produção integrados e ecologicamente sustentáveis (VILELA et al., 2008; GUIMARÃES JUNIOR et al., 2010).

Além disso, buscar-se-á a colaboração de formuladores de políticas públicas visando utilizar essas ferramentas em análises de estratégias de financiamento de agrícola desses sistemas de produção.

Referências

- BARIONI, L. G.; FERREIRA, A. C.; RAMOS, A. K. B.; MARTHA JUNIOR, G. M.; SILVA, F. A. M.; LUCENA, D. A. C. Planejamento alimentar e ajustes de taxa de lotação em fazendas de pecuária de corte, pg. In: OLIVEIRA, R. L., BARBOSA, M. A. A. **Bovinocultura de corte: desafios e tecnologias**. Salvador, BA: Editora da UFBA, 2007a, 511 p.
- BARIONI, L. G.; FERREIRA, A. C.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; MARTHA JUNIOR, G. B.; RAMOS, A. K. B. Tabelas para estimativa de ingestão de matéria seca de bovinos de corte em crescimento em pastejo. **Cadernos de Ciência e Tecnologia** (EMBRAPA), v. 142, 2007b.
- BARIONI, L. G.; MARTHA JUNIOR, G. B.; RAMOS, A. K. B.; VELOSO, R. F.; RODRIGUES, D. C.; VILELA, L. Planejamento e gestão do uso de recursos forrageiros na produção de bovinos em pastejo. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C. de; SILVA, S. C. da; FARIA, V. P. de (Org.). **Pastagens**. Piracicaba, SP: FEALQ, 2003, p. 105-154.
- BATHGATE, A.; REVELL, C.; KINGWELL, R. Identifying the value of pasture improvement using wholefarm modeling. **Agricultural Systems**, v. 102, p. 48-57, 2009.
- BLACKIE, M. J.; DENT, J. B. The concept and application of skeleton models in farm business analysis and planning. **Journal of Agricultural Economics**, 1974, p. 165-175.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mapa de cobertura vegetal do bioma Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; Uberlândia, MG: Universidade Federal de Uberlândia; Goiânia, GO: Universidade Federal de Goiás (Ed.), 2006. 1 mapa, color., 118 cm x 84 cm. Escala 1:4.000.000.
- CALKER, K. J.; VAN BERENTSEN, P. B. M.; BOER, I. M. J. An LP-model to analyse economic ecological sustainability on Dutch dairy farms: model presentation and application for experimental farm "de Marke". **Agricultural Systems**, v. 82, p. 139-160.
- COSTA, F. P.; REHMAN, T. Exploring the link between farmers' objectives and the phenomenon of pasture degradation in the production systems of Central Brazil, **Agricultural Systems**, v. 61, p. 135-146, 1999.

COSTA, F. P.; REHMAN, T. Unravelling the rationale of 'overgrazing' and stocking rates in the beef production systems of Central Brazil using a bi-criteria compromise programming model, **Agricultural Systems**, v. 83, p. 277-295, 2005.

CROSSON, P.; O'KIELY, P.; O'MARA, F. P.; WALLACE, M. The development of a mathematical model to investigate Irish beef production systems, **Agricultural Systems**, v. 89, p. 349-370, 2006.

CSIRO. **Farming systems research**: linking people, production and processes. Disponível em: < <http://www.csiro.au/science/FarmingSystemsResearch.html> >. Acesso em: 16 abr. 2010.

DAVIS, J. Planning techniques and models for horticultural business management, **Horticultural Economics**, v. 97, p. 7-23, 1979.

DENT, J. B.; HARRISON, S. H.; WOODFORD, K. B. **Farm planning with linear programming**: concept and practice. Sydney: Butterworths, 1986.

DETOMINI, E. R.; DOURADO NETO, D.; BARIONI, L. G.; SAINZ, R. D. Modelagem da produtividade potencial de *Brachiaria brizantha* (cultivares MARANDU E XARAÉS): fundamentos do programa computacional PPBB_MX. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 14, p. 127-131, 2006.

FEUERWERKER, A. O papel e a vida real. **Correio Braziliense**. Brasília. 17 jan 2010. Nas entrelinhas. p. 4.

FRIESEN, D.; AYARZA, M. A.; THOMAZ, R. J.; AMESQUITA, E.; SANZ, J. I. Strategic systems research for the Latin American savannas. In: JUJISAKA, S. (Ed.). **Systems and farmer participatory research**: developments in research on natural resource management, CIAT Publication n. 311, p. 30-49, 2001.

GUIMARÃES JÚNIOR, R.; MARCHÃO, R. L.; PULROLNIK, K.; VILELA, L.; PEREIRA, L. G. R. Integração lavoura-pecuária-floresta: uma alternativa para produção animal sustentável. In: SIMPÓSIO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA, 1., 2010, Montes Claros. **Uma alternativa para produção sustentável nos trópicos**. Montes Claros, MG: Instituto de Ciências Agrárias - UFMG, 2010. p. 49-64.

GUIMARÃES, R.; JUNG, L. C. Suplementação: reforço vem do cocho. **Jornal de Brasília**, 04 de jun. de 2010. Disponível em: < <http://intranet2.sede.embrapa.br/novid/clipping/1647040610.pdf> >

MUCHAGATA, M.; BROWN, K. Cows, colonists and trees: rethinking cattle and environmental degradation in Brazilian Amazonia, **Agricultural Systems**, v. 76, p. 797-816, 2003.

PANNELL, D. J. Lessons from a Decade of Whole-Farm Modeling in Western Australia, **Review of Agricultural Economics**, v. 18, n. 3 p. 373-383, 1996.

SMITH, J.; CADAVID, J. V.; AYARZA, J. L. P.; ROSA, R. Land use change in soybean production systems in the Brazilian savanna: the role of policy and market conditions, **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 15, p. 95-117, 1999.

THOMAS, D.; SUMBERG, J. E. A review of the evaluation and use of tropical forage legumes in sub-Saharan Africa. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 54, p. 151-163, 1995.

VILELA, L.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; BARIONI, L. G.; BARCELLOS, A. O. Integração lavoura-pecuária. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. (Ed.). **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p. 933-962, 2008.

WILLIAMS, J.; SANDERS, D. A. **Land use and natural ecosystems**: a revolution in land use is the key to a sustainable landscape, CSIRO Canberra laboratories, chapter prepared for 'In search of sustainability' conference booklet, 1-17, September 2003. Disponível em: <http://www.clw.csiro.au/staff/williamsj/landuse_natural_ecosystems.pdf>.

WINOGRAD, J. S.; GALOPIN, G.; PACHICO, D. Dynamics of the frontier in the Amazon and savannas of Brazil: analyzing the impact of policy and technology, **Environmental Modeling and Assessment**, v. 3, p. 31-46, 1998.

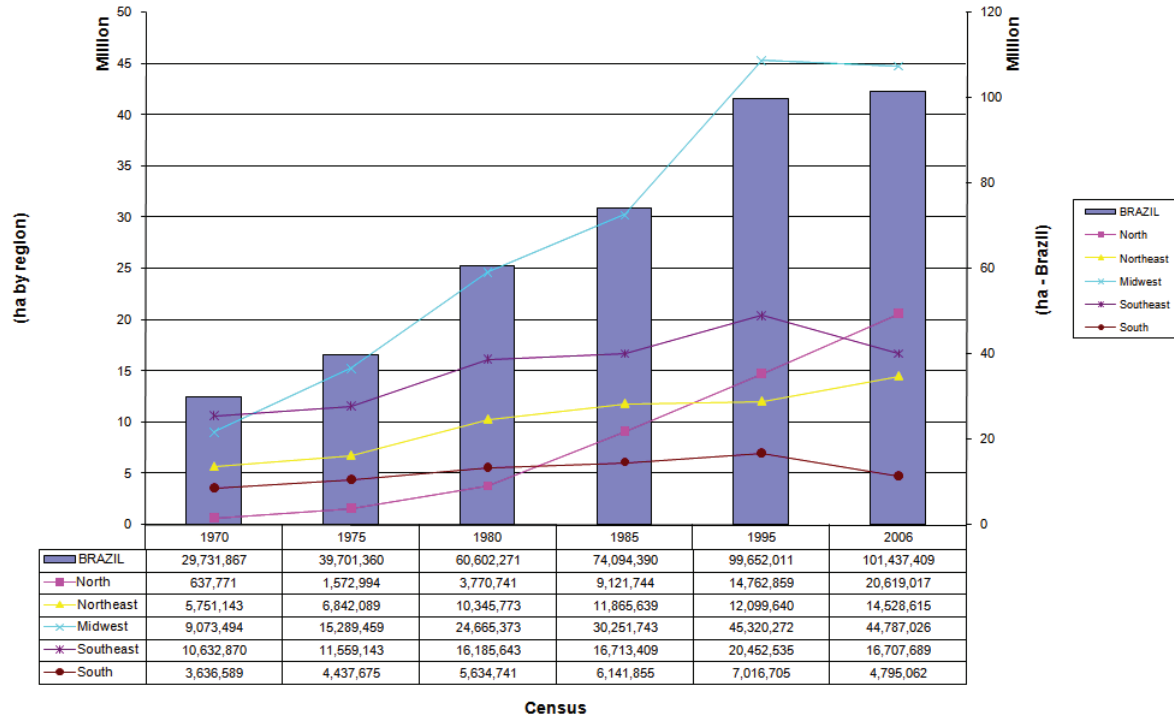
Anexo I

Preços de compra e venda de animais – input do modelo.

Categoria	Compra	Venda	
	Preço (R\$)	Preço (R\$)	
Bezerro (6 a 9 meses)	537,18	–	–
Bezerro (9 a 12 meses)	565,45	–	–
Garrote (12 a 15 meses)	595,21	–	–
Garrote (15 a 18 meses)	661,35	–	–
Garrote (18 a 21 meses)	734,83	–	–
Boi para engorda (> de 21 e > 24 meses)	816,48	–	–
Boi para engorda (> de 24 e > 27 meses)	907,20	–	–
Boi para engorda (> de 27 e > 30 meses)	1.008,00	–	–
Bezerra (6 a 9 meses)	324,00	–	–
Bezerra (9 a 12 meses)	356,40	–	–
Novilha (12 a 15 meses)	388,80	–	–
Novilha (15 a 18 meses)	421,20	–	–
Novilha (18 a 21 meses)	453,60	–	–
Novilha (21 a 24 meses)	518,40	–	–
Novilha (24 a 27 meses)	615,60	–	–
Novilha (27 a 30 meses)	680,40	–	–
Novilha (30 a 33 meses)	777,60	–	–
Vaca seca	–	–	–
Vaca em Lactação/Gestação	–	–	–
Touro	2.500,00	1.296,00	–
		(R\$/@)	(R\$UA/mês)
Preço da @ do boi gordo	–	72,00	–
Preço da @ da fêmea de descarte	–	64,80	–
Preço do aluguel de pastagem nas águas			10,00
Peso de fêmea de 14 (@) (descarte) idade > de 33 meses	–	–	–
Peso de boi de 15 (@) (abate) idade = 33 meses	–	–	–
Peso de touro de descarte = 20 (@)	–	–	–

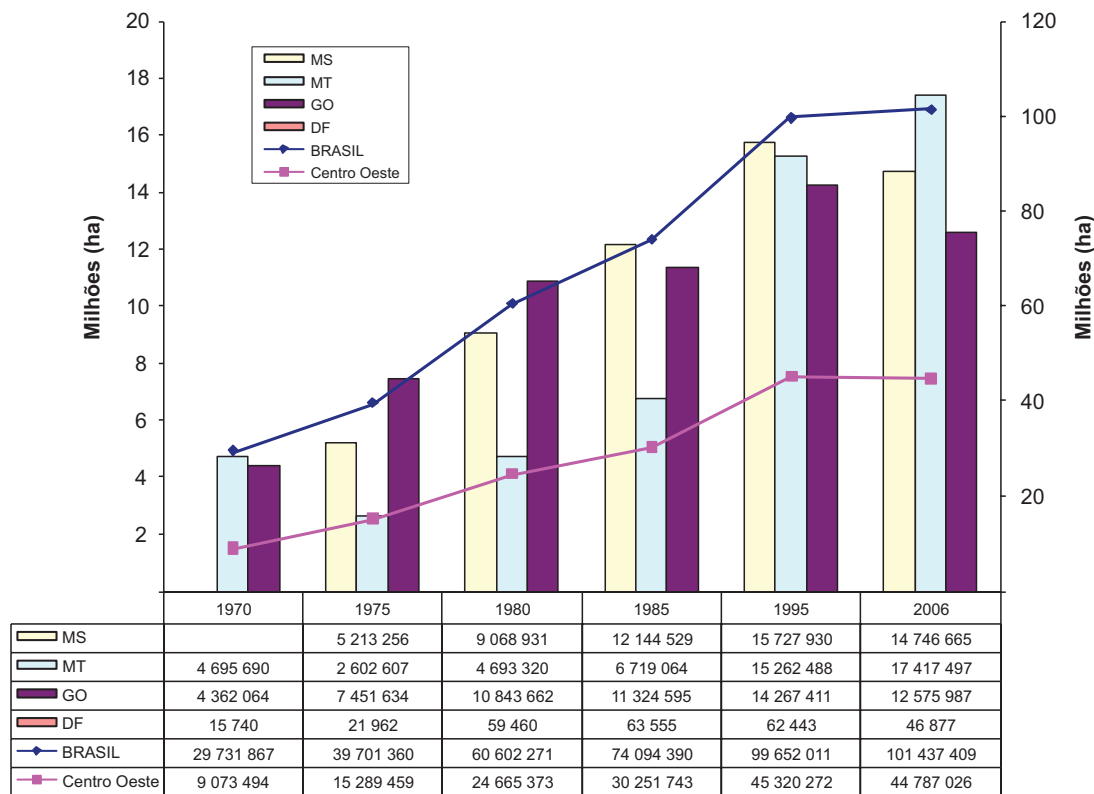
Áreas de pastagens cultivadas por região no Brasil.

Areas of cultivated pastures in Brazil by Region



Fonte: IBGE e Projeto Avisar/Embrapa.

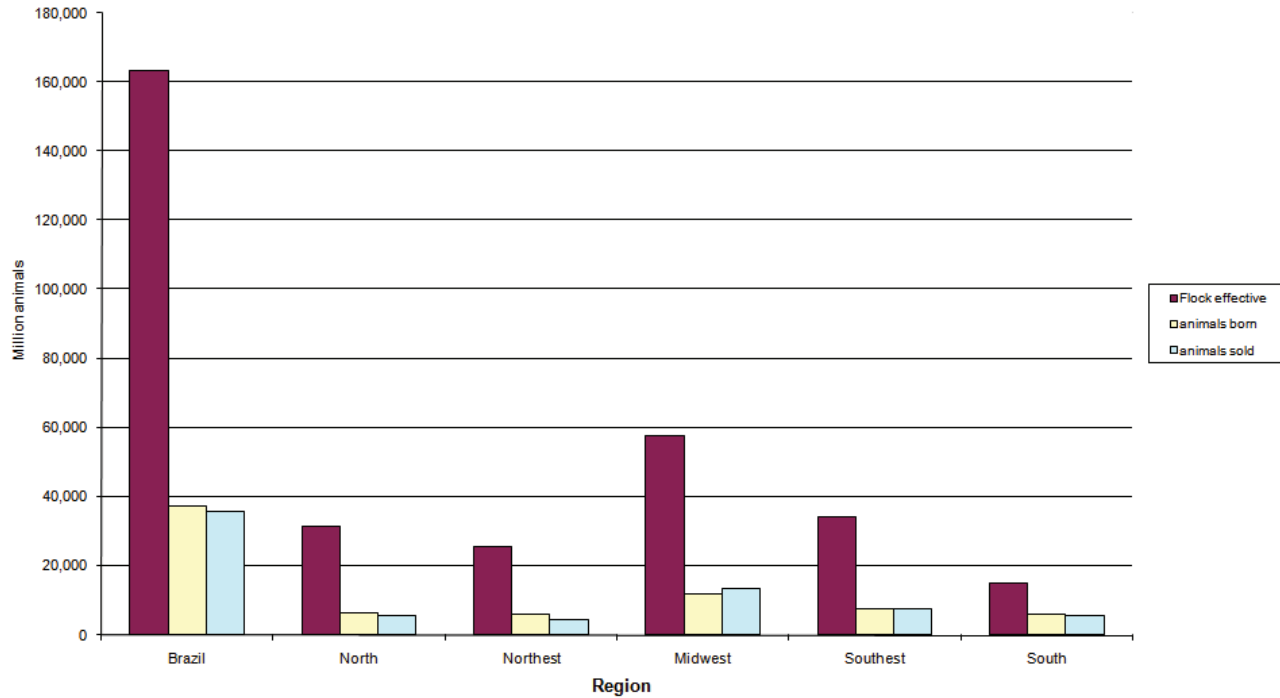
Áreas de pastagens cultivadas na Região Centro-Oeste e no Brasil.



Fonte: IBGE e Projeto Avisar/Embrapa.

Rebanho de bovinos por região brasileira em 2006.

Herd of cattle by Region in Brazil in 2006



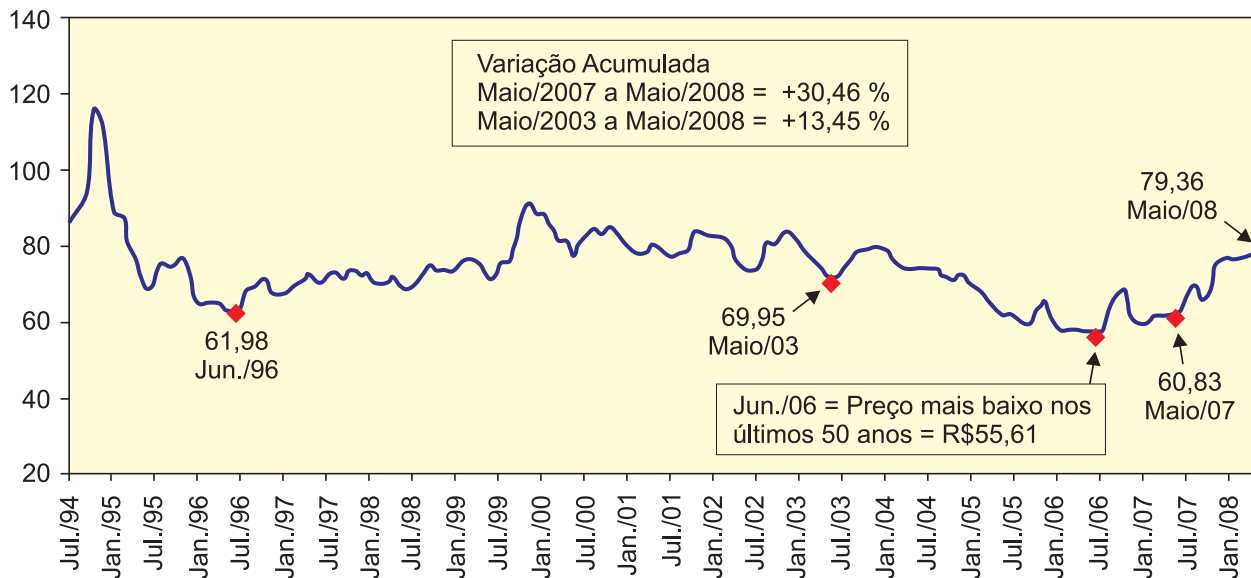
Fonte: IBGE e Projeto Avisar/Embrapa.

Índices zootécnicos médios de rebanhos de bovinos no Brasil e em sistemas de produção intensivos, em termos tecnológicos, em Campo Grande, MS.

	Média brasileira	Sistema integrado de lavoura-pecuária recomendado(*)	Sistema projetado
Natalidade vaca 1ª cria	60%	85%	85%
Natalidade vacas após 1ª cria	60%	85%	80%
Taxa de desmame	54%	80%	79%
Mortalidade pós desmama	4%	1%	0.48%
Idade da novilha a 1ª cria	4 anos	24 meses	30 a 33 meses
Intervalo entre partos	21 meses	12 meses	12 meses
Idade ao abate	4 anos	?? meses	33 meses
Peso da carcaça boi gordo	200 kg	230 kg	225 kg
Peso da carcaça fêmeas descarte	200 kg	210 kg	210 kg
Rendimento de carcaça de boi gordo	53%	55%	52%
Rendimento de carcaça de fêmeas descarte	50%	52%	52%
Lotação - animal/ha	0.9		
Lotação – Unidade animal/ha		3	2

Fonte: Embrapa Gado de Corte e (*)<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n010106/010601.pdf>

Preços (de 15 kg de carne) de carne bovina no Brasil - junho 1994 a junho 2008.



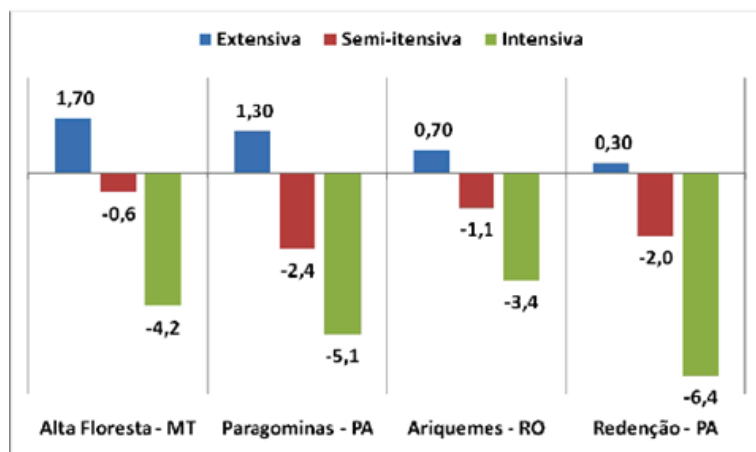
Fonte: Esalq/USP, FGV (deflator IGP-DI).

Estimativas de custos de criação de bovinos em Barreiras, Bahia, Brasil.

	Porcentagem (%)
Custos administrativos	8,09
Custos de manutenção de pastagens	17,10
Custos de suplementação mineral	17,69
Custos de produtos veterinários	6,67
Custos de compra de animais	7,63
Mão-de-obra	28,52
Outros custos	14,30

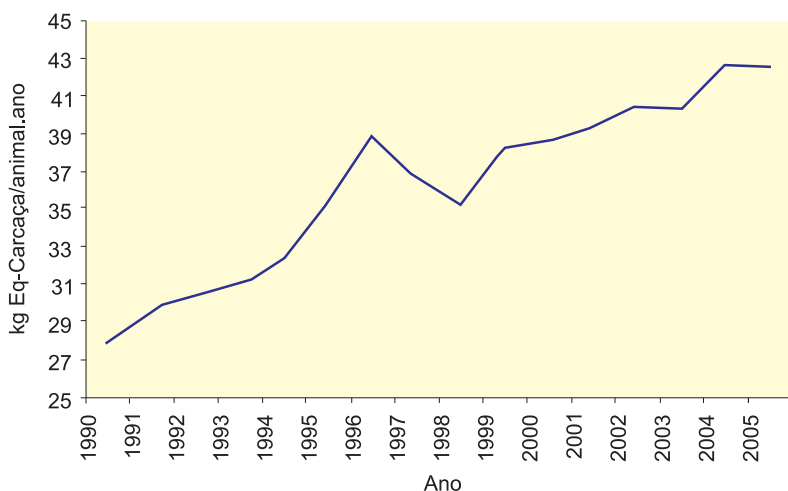
Fonte: <http://www.avisar2.cnpia.embrapa.br/> e Cepea/Esalq.

Estimativas de retorno (%) sobre investimentos na criação de cria e engorda de bovinos em 4 municípios da região Amazônica em 2007 (lotes de 500 unidades animais).



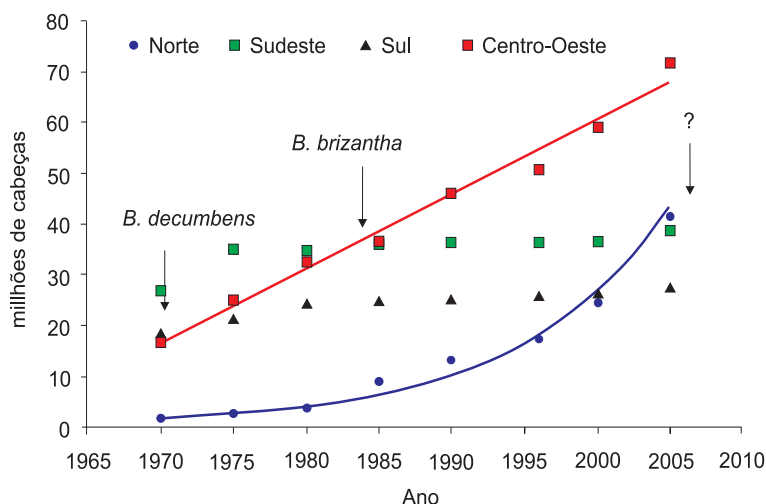
Fonte: IFNP (2008) e Cepea/Esalq.

Produtividade (kg de equivalente carcaça/animal/ano) dos rebanhos de bovinos de corte no Brasil.



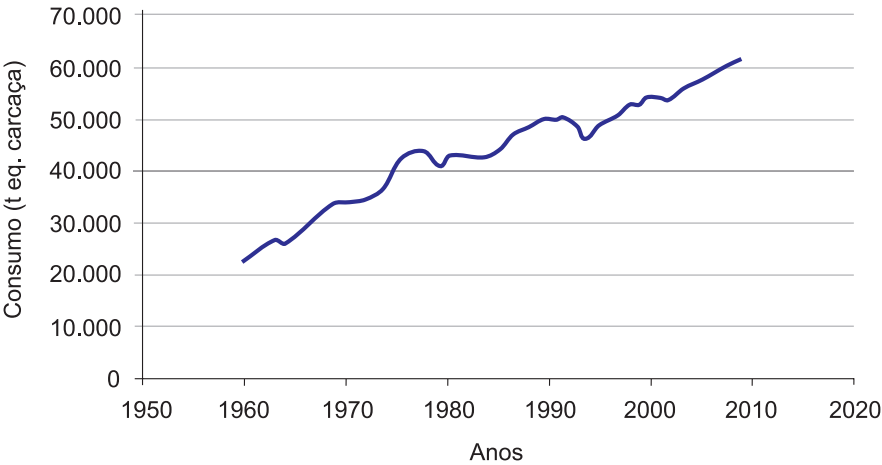
Fonte: IBGE e Embrapa Gado de Corte.

Expansão da bovinocultura no Brasil.



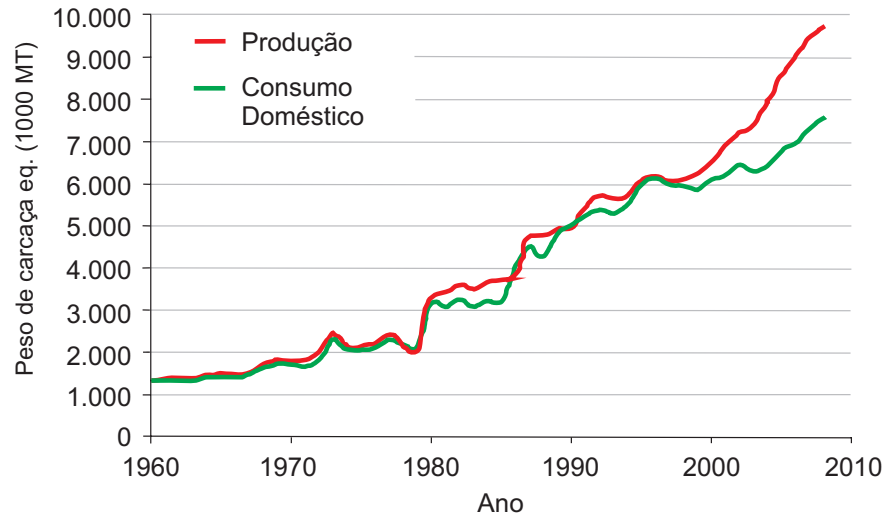
Fonte: IBGE (2007).

Consumo mundial de carne bovina.



Fonte: USDA, 2008.

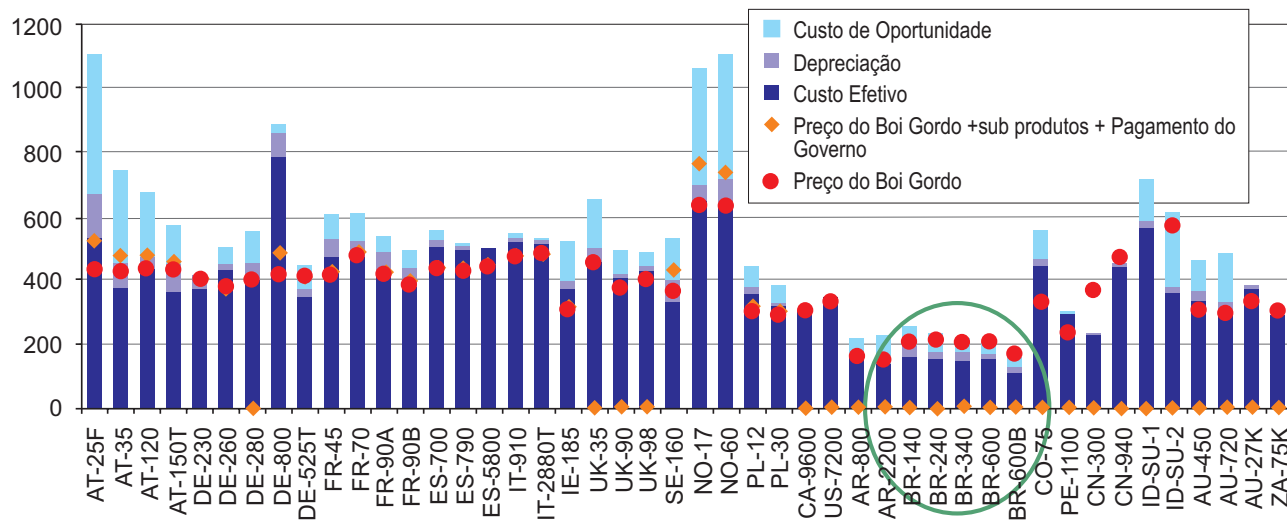
Estimativas de produção e consumo doméstico de carne bovina no Brasil.



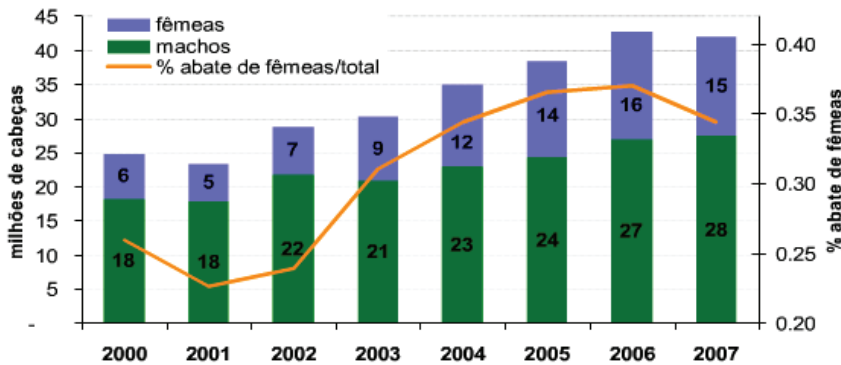
Fonte: Avisar Project: <http://www.avisar2.cnptia.embrapa.br/>

Competitividade da produção brasileira de carne bovina no mundo.

US\$/100 kg de carcaça vendida



Bovinos abatidos (milhões de cabeças) e participação de fêmeas – Brasil.



Fonte: Cepea/Esalq e <http://www.avisar2.cnptia.embrapa.br/>.

Área ocupada por diferentes classes de cobertura vegetal no Bioma Cerrado, em 2002.

Classe	Fisionomia	Área (ha)	Porcentagem (%)
Cobertura vegetal natural	Florestal	40.229.098	60,5
	Savânica	75.655.044	
	Campestre	8.061.576	
	Subtotal	123.945.718	
Cobertura vegetal	Pastagens cultivadas	54.149.493	38,9
	Culturas Agrícolas	21.586.889	
	Reflorestamento	3.165.436	
	Áreas urbanas	891.891	
	Áreas com influência de mineração	5.463	
Subtotal		79.799.172	
Área Total do Cerrado		204.667.716	

Fonte: http://mapas.mma.gov.br/geodados/brasil/vegetacao/vegetacao2002/cerrado/mapas_pdf//vegetacao/mosaico/mosaico_cobvegA0.pdf

Área ocupada por cobertura vegetal natural e antrópica em cada unidade federativa coberta pelo Bioma Cerrado, em 2002.

Estado	Bioma na UF (%)	Cobertura vegetal natural (ha)	Formação florestal (ha)	Formação savânica (ha)	Formação campestre (ha)	Cobertura vegetal antrópica (ha)	Formação vegetal natural (%)
SP	33	1.078.716	833.387	210.441	34.888	6.934.203	13
PR	2	118.692	20.558	14.048	84.085	255.565	32
MS	61	6.935.404	2.867.267	3.599.826	468.311	14.722.762	32
DF	100	213.527	44.645	162.718	6.164	362.138	37
GO	97	14.706.696	2.929.033	11.090.161	687.502	18.180.482	44
MG	57	17.794.873	3.279.762	11.322.147	3.192.964	15.418.690	53
MT	40	23.740.333	7.717.102	15.868.080	155.151	12.148.095	66
BA	27	11.209.896	3.333.902	7.357.605	518.389	3.963.095	74
TO	92	20.251.786	4.639.932	13.362.951	2.249.165	4.838.460	79
MA	65	18.753.706	12.337.965	6.032.951	382.790	2.318.028	89
PI	37	8.590.582	2.319.035	6.210.085	61.462	758.423	91
Total (ha)		123.394.211	40.322.588	75.231.013	7.840.871	79.899.941	203.294.152
(%)		60,70	19,83	37,01	3,86	39,30	

Fonte: http://mapas.mma.gov.br/geodados/brasil/vegetacao/vegetacao2002/cerrado/mapas_pdf//vegetacao/mosaico/mosaico_cobvegA0.pdf

Anexo II

Produção simulada das pastagens.

Produção de Matéria Seca (kg/ha) disponibilizada no trimestre				
	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
Categoria A	5.190,00	3.422,94	2.639,17	4.439,43
Categoria B	3.460,00	2.281,96	1.759,45	2.959,62
Categoria C	1.730,00	1.140,98	879,72	1.479,81
Categoria Da	1.038,00	684,59	527,83	887,89
Categoria Db	622,80	410,75	316,70	532,73
Produção de Matéria Seca (kg/ha) produzida no trimestre				
	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
Categoria A	5.749,20	3.332,92	2.743,36	5.550,29
Categoria B	3.832,80	2.221,95	1.828,91	3.700,19
Categoria C	1.916,40	1.110,97	914,45	1.850,10
Categoria Da	1.149,84	666,58	548,67	1.110,06
Categoria Db	689,90	399,95	329,20	666,03
Produção de NDT (kg/ha) disponibilizada no trimestre				
	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
Categoria A	2.976,79	2.124,23	1.572,16	2.676,78
Categoria B	1.984,53	1.416,15	1.048,11	1.784,52
Categoria C	992,26	708,08	524,05	892,26
Categoria Da	595,36	424,85	314,43	535,36
Categoria Db	357,21	254,91	188,66	321,21

Continua...

Produção simulada das pastagens (continuação).

	Produção de NDT (kg/ha) produzida no trimestre			
	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
Categoria A	3.449,52	1.999,75	1.646,01	3.330,17
Categoria B	2.299,68	1.333,17	1.097,34	2.220,12
Categoria C	1.149,84	666,58	548,67	1.110,06
Categoria Da	689,90	399,95	329,20	666,03
Categoria Db	413,94	239,97	197,52	399,62
	Produção de Fibra (FDN, kg/ha) disponibilizada no trimestre			
	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
Categoria A	3.633,00	2.396,06	1.847,42	3.107,60
Categoria B	2.422,00	1.597,37	1.231,61	2.071,73
Categoria C	1.211,00	798,69	615,81	1.035,87
Categoria Da	726,60	479,21	369,48	621,52
Categoria Db	435,96	287,53	221,69	372,91
	Produção de Fibra (FDN, kg/ha) produzida no trimestre			
	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
Categoria A	4.024,44	2.333,04	1.920,35	3.885,20
Categoria B	2.682,96	1.555,36	1.280,23	2.590,14
Categoria C	1.341,48	777,68	640,12	1.295,07
Categoria Da	804,89	466,61	384,07	777,04
Categoria Db	482,93	279,97	230,44	466,22

Consumo de matéria seca MS, proteína NDT e fibra por categoria animal.

Categoria	Idade média	Peso médio	GMD	Estado fisiológico	IMS	NDT	Fibra
Bezerro (6 a 9 meses)	7,5	180	0,42	Crescimento	3,45	2,07	2,41
Bezerro (9 a 12 meses)	10,5	217,5	0,42	Crescimento	4,05	2,43	2,84
Garrote (12 a 15 meses)	13,5	255	0,42	Crescimento	4,66	2,80	3,27
Garrote (15 a 18 meses)	16,5	292,5	0,42	Crescimento	5,28	3,17	3,69
Garrote (18 a 21 meses)	19,5	330	0,42	Crescimento	5,90	3,54	4,13
Boi para engorda (> de 21 e > 24 meses)	22,5	367,5	0,42	Crescimento	6,52	3,91	4,57
Boi para engorda (> de 24 e > 27 meses)	25,5	405	0,42	Crescimento	7,16	4,30	5,01
Boi para engorda (> de 27 e > 30 meses)	28,5	442,5	0,42	Crescimento	7,81	4,68	5,47
Boi para engorda (> de 30 meses)	31,5	480	0,42	Crescimento	8,47	5,08	5,93
Bezerra (6 a 9 meses)	7,5	162	0,375	Crescimento	2,80	1,68	1,96
Bezerra (9 a 12 meses)	10,5	195,75	0,375	Crescimento	3,29	1,98	2,30
Novilha (12 a 15 meses)	13,5	229,5	0,375	Crescimento	3,79	2,27	2,65
Novilha (15 a 18 meses)	16,5	263,25	0,375	Crescimento	4,29	2,57	3,00
Novilha (18 a 21 meses)	19,5	297	0,375	Crescimento	4,79	2,88	3,36
Novilha (21 a 24 meses)	22,5	330,75	0,375	Crescimento	5,30	3,18	3,71
Novilha (24 a 27 meses)	25,5	364,5	0,375	prenha	5,94	3,56	4,16
Novilha (27 a 30 meses)	28,5	398,25	0,375	prenha	6,98	4,19	4,89
Novilha (30 a 33 meses)	31,5	432	0,375	prenha	8,26	4,96	5,78
Vaca seca	-	400	0	adulta	6,14	3,69	4,30
Vaca em Lactação/Gestação	-	450	0	prenha	10,20	6,12	7,14
Touro	-				10,20	6,12	7,14

Anexo III

Formulação matemática.

Função objetivo: Max\$Knm

a) Sistemas de produção – Fazendas 01 E 02.

$$PROF01_i \leq 1, i = 1$$

$$PROF02_i \leq 1, i = 1$$

$$-(AREAFAZ01_i) * PROCF01_i - (AREAFAZ02_i) * PROCF02_i + TERRAFAZ_i \leq 0, i = 1$$

b) Quantidade mínima de animais no rebanho de bovinos de corte (QMIN).

$$QMIN = 300$$

OBS: (ALUG=0, se j = 1,2, caso contrário, ALUG = 1)

$$\sum_{k=1}^8 (UAMC_{k,i,j}) * CBOVM_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (UAF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j} \geq QMIN, i = 1; j = 1$$

$$\sum_{k=1}^8 (UAMF_{k+1,i,j}) * FBOVM_{k+1,i,j} + \sum_{k=1}^8 (UAMC_{k,i,j}) * CBOVM_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (UAFF_{k+1,i,j}) * FBOVF_{k+1,i,j} + \dots \\ \dots + \sum_{k=1}^8 (UAF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j} + (UAALUG_{i,j}) * ALUGPAST_{i,j} * ALUG \geq QMIN, i = 1; j = 2,3,4$$

$$\sum_{k=1}^8 (UAMF_{k+1,i,j}) * FBOVM_{k+1,i,j} + \sum_{k=1}^8 (UAMC_{k,i,j}) * CBOVM_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (UAFF_{k+1,i,j}) * FBOVF_{k+1,i,j} + \dots \\ \dots + \sum_{k=1}^8 (UAF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j} + (UAALUG_{i,j}) * ALUGPAST_{i,j} * ALUG \geq QMIN, i = 2..n-1; j = 1,2,3,4$$

$$\sum_{k=1}^8 (UAMF_{k+1,i,j}) * FBOVM_{k+1,i,j} + \sum_{k=1}^8 (UAMC_{k,i,j}) * CBOVM_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (UAFF_{k+1,i,j}) * FBOVF_{k+1,i,j} + \dots \\ \dots + \sum_{k=1}^8 (UAF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j} + (UAALUG_{i,j}) * ALUGPAST_{i,j} * ALUG \geq QMIN, i = n; j = 1,2,3$$

$$\sum_{k=1}^8 (UAMF_{k+1,i,j}) * FBOVM_{k+1,i,j} + \sum_{k=1}^8 (UAFF_{k+1,i,j}) * FBOVF_{k+1,i,j} + (UAALUG_{i,j}) * ALUGPAST_{i,j} \geq QMIN, i = n; j = 4$$

c) Quantidade máxima de animais (QMAX).

QMAX = 2500

$$\sum_{k=1}^g CBOVM_{k,i,j} + \sum_{k=1}^g CBOVF_{k,i,j} \leq QMAX, i = 1; j = 1$$

$$\sum_{k=1}^g FBOVM_{k+1,i,j} + \sum_{k=1}^g CBOVM_{k,i,j} + \sum_{k=1}^g FBOVF_{k+1,i,j} + \sum_{k=1}^g CBOVF_{k,i,j} \leq QMAX, i = 1; j = 2,3,4$$

$$\sum_{k=1}^g FBOVM_{k+1,i,j} + \sum_{k=1}^g CBOVM_{k,i,j} + \sum_{k=1}^g FBOVF_{k+1,i,j} + \sum_{k=1}^g CBOVF_{k,i,j} \leq QMAX, i = 2..n-1; j = 1,2,3,4$$

$$\sum_{k=1}^g FBOVM_{k+1,i,j} + \sum_{k=1}^g CBOVM_{k,i,j} + \sum_{k=1}^g FBOVF_{k+1,i,j} + \sum_{k=1}^g CBOVF_{k,i,j} \leq QMAX, i = n; j = 1,2,3$$

$$\sum_{k=1}^g FBOVM_{k+1,i,j} + \sum_{k=1}^g FBOVF_{k+1,i,j} \leq QMAX, i = n; j = 4$$

d) Dinâmica de rotação das pastagens - Brachiária.

$$-PAST_{p,i} + PAST_{p+1,i+1} \leq 0, i = 1..n-1; p = 1,2,3,4$$

$$-PAST_{p,i} + PAST_{p-4,i+1} \leq 0, i = 1..n-2; p = 5$$

$$-PAST_{p,i-1} + PAST_{p+1,i} + PAST_{p-4,i} \leq 0, i = n; p = 5$$

e) Produção das pastagens e consumo dos animais: energia, fibra e matéria seca.

OBS: (ALUG = 0, se $j = 1, 2$, caso contrário, ALUG = 1)

$$\begin{aligned}
 & - \sum_{p=1}^5 (PRODE_{p,i,j}) * PAST_{p,i} + \sum_{k=1}^8 (PRODECBOVM_{k,i,j}) * CBOVM_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODEFBOVM_{k+1,i,j}) * FBOVM_{k+1,i,j} + \dots \\
 & \quad \dots + \sum_{k=1}^8 (PRODECBOVF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODEFBOVF_{k+1,i,j}) * FBOVF_{k+1,i,j} + \dots \\
 & \quad \dots + (PRODEALUG_{i,j}) * ALUGPAST_{i,j} * ALUG + TE_{i(j,j+1)} \leq 0, i = 1; j = 2, 3, 4 \\
 & - \sum_{p=1}^5 (PRODF_{p,i,j}) * PAST_{p,i} + \sum_{k=1}^8 (PRODFCBOVM_{k,i,j}) * CBOVM_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODFFBOVM_{k+1,i,j}) * FBOVM_{k+1,i,j} + \dots \\
 & \quad \dots + \sum_{k=1}^8 (PRODFCBOVF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODFFBBOVF_{k+1,i,j}) * FBOVF_{k+1,i,j} + \dots \\
 & \quad \dots + (PRODFALUG_{i,j}) * ALUGPAST_{i,j} * ALUG + TF_{i(j,j+1)} \leq 0, i = 1; j = 2, 3, 4 \\
 & - \sum_{p=1}^5 (PRODM_{p,i,j}) * PAST_{p,i} + \sum_{k=1}^8 (PRODMCBOVM_{k,i,j}) * CBOVM_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODMFBOVM_{k+1,i,j}) * FBOVM_{k+1,i,j} + \dots \\
 & \quad \dots + \sum_{k=1}^8 (PRODMCBOVF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODMFBBOVF_{k+1,i,j}) * FBOVF_{k+1,i,j} + \dots \\
 & \quad \dots + (PRODMALUG_{i,j}) * ALUGPAST_{i,j} * ALUG + TM_{i(j,j+1)} \leq 0, i = 1; j = 2, 3, 4 \\
 & - \sum_{p=1}^5 (PRODE_{p,i,j}) * PAST_{p,i} + \sum_{k=1}^8 (PRODECBOVM_{k,i,j}) * CBOVM_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODECBOVF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j} + \dots \\
 & \quad \dots + (TE_{i(j,j+1)}) \leq 0, i = 1; j = 1 \\
 & - \sum_{p=1}^5 (PRODF_{p,i,j}) * PAST_{p,i} + \sum_{k=1}^8 (PRODFCBOVM_{k,i,j}) * CBOVM_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODFCBOVF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j} + \dots \\
 & \quad \dots + (TF_{i(j,j+1)}) \leq 0, i = 1; j = 1 \\
 & - \sum_{p=1}^5 (PRODM_{p,i,j}) * PAST_{p,i} + \sum_{k=1}^8 (PRODMCBOVM_{k,i,j}) * CBOVM_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODMCBOVF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j} + \dots \\
 & \quad \dots + (TM_{i(j,j+1)}) \leq 0, i = 1; j = 1 \\
 & - \sum_{p=1}^5 (PRODE_{p,i,j}) * PAST_{p,i} + \sum_{k=1}^8 (PRODECBOVM_{k,i,j}) * CBOVM_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODEFBOVM_{k+1,i,j}) * FBOVM_{k+1,i,j} + \dots \\
 & \quad \dots + \sum_{k=1}^8 (PRODECBOVF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODEFBOVF_{k+1,i,j}) * FBOVF_{k+1,i,j} + \dots \\
 & \quad \dots + (PRODEALUG_{i,j}) * ALUGPAST_{i,j} * ALUG + TE_{i(j,j+1)} \leq 0, i = 2, n-1; j = 1, 2, 3, 4 \\
 & - \sum_{p=1}^5 (PRODF_{p,i,j}) * PAST_{p,i} + \sum_{k=1}^8 (PRODFCBOVM_{k,i,j}) * CBOVM_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODFFBOVM_{k+1,i,j}) * FBOVM_{k+1,i,j} + \dots \\
 & \quad \dots + \sum_{k=1}^8 (PRODFCBOVF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODFFBBOVF_{k+1,i,j}) * FBOVF_{k+1,i,j} + \dots \\
 & \quad \dots + (PRODFALUG_{i,j}) * ALUGPAST_{i,j} * ALUG + TF_{i(j,j+1)} \leq 0, i = 2, n-1; j = 1, 2, 3, 4 \\
 & - \sum_{p=1}^5 (PRODM_{p,i,j}) * PAST_{p,i} + \sum_{k=1}^8 (PRODMCBOVM_{k,i,j}) * CBOVM_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODMFBOVM_{k+1,i,j}) * FBOVM_{k+1,i,j} + \dots \\
 & \quad \dots + \sum_{k=1}^8 (PRODMCBOVF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODMFBBOVF_{k+1,i,j}) * FBOVF_{k+1,i,j} + \dots \\
 & \quad \dots + (PRODMALUG_{i,j}) * ALUGPAST_{i,j} * ALUG + TM_{i(j,j+1)} \leq 0, i = 2, n-1; j = 1, 2, 3, 4
 \end{aligned}$$

Continua...

e) Continuação.

$$\begin{aligned}
& - \sum_{p=1}^6 (PRODE_{p,i,j}) * PAST_{p,i} + \sum_{k=1}^8 (PRODECBOVM_{k,i,j}) * CBOVM_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODEFBOVM_{k+1,i,j}) * FBOVM_{k+1,i,j} + \dots \\
& \dots + \sum_{k=1}^8 (PRODECBOVF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODEFBOVF_{k+1,i,j}) * FBOVF_{k+1,i,j} + \dots \\
& \dots + (PRODEALUG_{i,j}) * ALUGPAST_{i,j} * ALUG + TE_{i(j,j+1)} \leq 0, i = n; j = 1, 2, 3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - \sum_{p=1}^6 (PRODF_{p,i,j}) * PAST_{p,i} + \sum_{k=1}^8 (PRODFCBOVM_{k,i,j}) * CBOVM_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODFFBOVM_{k+1,i,j}) * FBOVM_{k+1,i,j} + \dots \\
& \dots + \sum_{k=1}^8 (PRODFCBOVF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODFFBOVF_{k+1,i,j}) * FBOVF_{k+1,i,j} + \dots \\
& \dots + (PRODFALUG_{i,j}) * ALUGPAST_{i,j} * ALUG + TF_{i(j,j+1)} \leq 0, i = n; j = 1, 2, 3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - \sum_{p=1}^6 (PRODM_{p,i,j}) * PAST_{p,i} + \sum_{k=1}^8 (PRODMCBOVM_{k,i,j}) * CBOVM_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODMFBOVM_{k+1,i,j}) * FBOVM_{k+1,i,j} + \dots \\
& \dots + \sum_{k=1}^8 (PRODMCBOVF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODMFBOVF_{k+1,i,j}) * FBOVF_{k+1,i,j} + \dots \\
& \dots + (PRODMALUG_{i,j}) * ALUGPAST_{i,j} * ALUG + TM_{i(j,j+1)} \leq 0, i = n; j = 1, 2, 3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - \sum_{p=1}^6 (PRODE_{p,i,j}) * PAST_{p,i} + \sum_{k=1}^8 (PRODEFBOVM_{k+1,i,j}) * FBOVM_{k+1,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODEFBOVF_{k+1,i,j}) * FBOVF_{k+1,i,j} + \dots \\
& \dots + (PRODEALUG_{i,j}) * ALUGPAST_{i,j} \leq 0, i = n; j = 4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - \sum_{p=1}^6 (PRODF_{p,i,j}) * PAST_{p,i} + \sum_{k=1}^8 (PRODFFBOVM_{k+1,i,j}) * FBOVM_{k+1,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODFFBOVF_{k+1,i,j}) * FBOVF_{k+1,i,j} + \dots \\
& \dots + (PRODFALUG_{i,j}) * ALUGPAST_{i,j} \leq 0, i = n; j = 4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - \sum_{p=1}^6 (PRODM_{p,i,j}) * PAST_{p,i} + \sum_{k=1}^8 (PRODMFBOVM_{k+1,i,j}) * FBOVM_{k+1,i,j} + \sum_{k=1}^8 (PRODMFBOVF_{k+1,i,j}) * FBOVF_{k+1,i,j} + \dots \\
& \dots + (PRODMALUG_{i,j}) * ALUGPAST_{i,j} \leq 0, i = n; j = 4
\end{aligned}$$

f) Geração de resíduos (energia, fibra e matéria seca) das pastagens no final de cada trimestre.

$$\begin{aligned} &-(TER_{i,j}) * TE_{i(j,j+1)} + (OER_{i,j}) * OE_{i(j,j+1)} = 0, i = 1; j = 1,2,3 \\ &-(TER_{i,j}) * TE_{i(j,j+1)} + (OER_{i,j}) * OE_{i(j,j+1)} = 0, i = 2..n; j = 0,1,2,3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &-(TFR_{i,j}) * TF_{i(j,j+1)} + (OFR_{i,j}) * OF_{i(j,j+1)} = 0, i = 1; j = 1,2,3 \\ &-(TFR_{i,j}) * TF_{i(j,j+1)} + (OFR_{i,j}) * OF_{i(j,j+1)} = 0, i = 2..n; j = 0,1,2,3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &-(TMR_{i,j}) * TM_{i(j,j+1)} + (OMR_{i,j}) * OM_{i(j,j+1)} = 0, i = 1; j = 1,2,3 \\ &-(TMR_{i,j}) * TM_{i(j,j+1)} + (OMR_{i,j}) * OM_{i(j,j+1)} = 0, i = 2..n; j = 0,1,2,3 \end{aligned}$$

g) Dinâmica trimestral de mudanças nas categorias de animais no rebanho.

$$\begin{aligned}
 &-(TCBOVF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j} + (TFBOVF_{k+1,i,j+1}) * FBOVF_{k+1,i,j+1} \leq 0, i = 1; j = 1; k = 1..8 \\
 &-(TCBOVF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j} + (TFBOVF_{k+1,i,j+1}) * FBOVF_{k+1,i,j+1} \leq 0, i = 1; j = 2,3; k = 1 \\
 &-(TCBOVF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j} - (TFBOVF_{k,i,j}) * FBOVF_{k,i,j} + (TFBOVF_{k+1,i,j+1}) * FBOVF_{k+1,i,j+1} \leq 0, i = 1; j = 2,3; k = 2..8 \\
 &-(TCBOVF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j} + (TFBOVF_{k+1,i,j+1}) * FBOVF_{k+1,i,j+1} \leq 0, i = 2..n; j = 0,1,2,3; k = 1 \\
 &-(TCBOVF_{k,i,j}) * CBOVF_{k,i,j} - (TFBOVF_{k,i,j}) * FBOVF_{k,i,j} + (TFBOVF_{k+1,i,j+1}) * FBOVF_{k+1,i,j+1} \leq 0, i = 2..n; j = 0,1,2,3; k = 2..8 \\
 \\
 &-(TCBOVM_{k,i,j}) * CBOVM_{k,i,j} + (TFBOVM_{k+1,i,j+1}) * FBOVM_{k+1,i,j+1} \leq 0, i = 1; j = 1; k = 1..8 \\
 &-(TCBOVM_{k,i,j}) * CBOVM_{k,i,j} + (TFBOVM_{k+1,i,j+1}) * FBOVM_{k+1,i,j+1} \leq 0, i = 1; j = 2,3; k = 1 \\
 &-(TCBOVM_{k,i,j}) * CBOVM_{k,i,j} - (TFBOVM_{k,i,j}) * FBOVM_{k,i,j} + (TFBOVM_{k+1,i,j+1}) * FBOVM_{k+1,i,j+1} \leq 0, i = 1; j = 2,3; k = 2..8 \\
 &-(TCBOVM_{k,i,j}) * CBOVM_{k,i,j} + (TFBOVM_{k+1,i,j+1}) * FBOVM_{k+1,i,j+1} \leq 0, i = 2..n; j = 0,1,2,3; k = 1 \\
 &-(TCBOVM_{k,i,j}) * CBOVM_{k,i,j} - (TFBOVM_{k,i,j}) * FBOVM_{k,i,j} + (TFBOVM_{k+1,i,j+1}) * FBOVM_{k+1,i,j+1} \leq 0, i = 2..n; j = 0,1,2,3; k = 2..8
 \end{aligned}$$

h) Quantidade final de resíduos (energia, fibra e matéria seca).

$$-\left(\sum_{j=1}^3 (REN_{i,j}) * OE_{i(j,j+1)}\right) + R\$TRE1 \leq 0, i = 1$$

$$-\left(\sum_{i=2}^n \sum_{j=0}^3 (REN_{i,j}) * OE_{i(j,j+1)}\right) + R\$TRE2 \leq 0$$

$$R\$TRE1 + R\$TRE2 = R\$TRE$$

$$-\left(\sum_{j=1}^3 (RFN_{i,j}) * OF_{i(j,j+1)}\right) + R\$TRF1 \leq 0, i = 1$$

$$-\left(\sum_{i=2}^n \sum_{j=0}^3 (RFN_{i,j}) * OF_{i(j,j+1)}\right) + R\$TRF2 \leq 0$$

$$R\$TRF1 + R\$TRF2 = R\$TRF$$

$$-\left(\sum_{j=1}^3 (RMN_{i,j}) * OM_{i(j,j+1)}\right) + R\$TRM1 \leq 0, i = 1$$

$$-\left(\sum_{i=2}^n \sum_{j=0}^3 (RMN_{i,j}) * OM_{i(j,j+1)}\right) + R\$TRM2 \leq 0$$

$$R\$TRM1 + R\$TRM2 = R\$TRM$$

i) Capital próprio inicial.

$$-(K\$PROFAZ01_i) * PROCF01_i - (K\$PROFAZ02_i) * PROCF02_i + K\$PRO_{i+1} \leq 0, i = 1$$

j) Fluxo de caixa mensal.

$$\begin{aligned}
& (KR\$F1_{i,m}) * PROCFO1_i + (KR\$F2_{i,m}) * PROCFO2_i + (KR\$TF_{i,m}) * TERRAFAZ_i + \sum_{p=1}^5 (KR\$P_{p,i,m}) * PAST_{p,i} + \dots \\
& \dots + \sum_{k=1}^8 (KR\$CBOVM_{k,i,m}) * CBOVM_{k,i,m} + \sum_{k=1}^8 (KR\$CBOVF_{k,i,m}) * CBOVF_{k,i,m} - K\$PRO - K\$CRED C_i - K\$CREDIV1_i - \dots \\
& \dots - K\$CREDIV2_i - K\$CREDM_i + (KR\$TAXA_{i,m}) * K\$TRANSF_{i,m} = 0, i = 1; m = 1 \\
\\
& (KR\$F1_{i,m}) * PROCFO1_{i=1} + (KR\$F2_{i,m}) * PROCFO2_{i=1} + (KR\$TF_{i,m}) * TERRAFAZ_{i=1} + \sum_{p=1}^5 (KR\$P_{p,i,m}) * PAST_{p,i} + \dots \\
& \dots + \sum_{k=1}^8 (KR\$CBOVM_{k,i,m}) * CBOVM_{k,i,m} + \sum_{k=1}^8 (KR\$CBOVF_{k,i,m}) * CBOVF_{k,i,m} - K\$CRED C_i - K\$CREDIV1_i - K\$CREDIV2_i \dots \\
& \dots - K\$CREDM_i + (KR\$TAXA_{i,m-1}) * K\$TRANSF_{i,m-1} + (KR\$TAXA_{i,m}) * K\$TRANSF_{i,m} \leq 0, i = 2..n; m = 1 \\
\\
& (KR\$F1_{i,m}) * PROCFO1_{i=1} + (KR\$F2_{i,m}) * PROCFO2_{i=1} + (KR\$TF_{i,m}) * TERRAFAZ_{i=1} + \sum_{p=1}^5 (KR\$P_{p,i,m}) * PAST_{p,i} + \dots \\
& \dots + \sum_{k=1}^8 (KR\$CBOVM_{k,i,m}) * CBOVM_{k,i,m} + \sum_{k=1}^8 (KR\$CBOVF_{k,i,m}) * CBOVF_{k,i,m} - (KR\$TAXA_{i,m-1}) * K\$TRANSF_{i,m-1} + \dots \\
& \dots + (KR\$TAXA_{i,m}) * K\$TRANSF_{i,m} \leq 0, i = 1..n; m = 4 \\
\\
& (KR\$F1_{i,m}) * PROCFO1_{i=1} + (KR\$F2_{i,m}) * PROCFO2_{i=1} + (KR\$TF_{i,m}) * TERRAFAZ_{i=1} + \sum_{p=1}^5 (KR\$P_{p,i,m}) * PAST_{p,i} + \dots \\
& \dots - (KR\$ALUG_{i,m}) * ALUGPAST_{i,m} - (KR\$TAXA_{i,m-1}) * K\$TRANSF_{i,m-1} + (KR\$TAXA_{i,m}) * K\$TRANSF_{i,m} - \dots \\
& \dots - (KR\$FBOVM_{k+L,i,m}) * FBOVM_{k+L,i,m} - (KR\$FBOVF_{k+L,i,m}) * FBOVF_{k+L,i,m} + (KR\$CRED C_i) * K\$CRED C_i + \dots \\
& .. + (KR\$CREDIV1_i) * K\$CREDIV1_i + (KR\$CREDIV2_i) * K\$CREDIV2_i + (KR\$CREDM_i) * K\$CREDM_i \leq 0, i = 1..n-1; m = 12; k = 8 \\
\\
& (KR\$F1_{i,m}) * PROCFO1_{i=1} + (KR\$F2_{i,m}) * PROCFO2_{i=1} + (KR\$TF_{i,m}) * TERRAFAZ_{i=1} + \sum_{p=1}^5 (KR\$P_{p,i,m}) * PAST_{p,i} + \dots \\
& \dots - (KR\$ALUG_{i,m}) * ALUGPAST_{i,m} - (KR\$TAXA_{i,m-1}) * K\$TRANSF_{i,m-1} + (KR\$TAXA_{i,m}) * K\$TRANSF_{i,m} - \dots \\
& \dots - \sum_{k=1}^8 (KR\$FBOVM_{k+L,i,m}) * FBOVM_{k+L,i,m} - \sum_{k=1}^8 (KR\$FBOVF_{k+L,i,m}) * FBOVF_{k+L,i,m} + (KR\$PRO) * K\$PRO + \dots \\
& .. + (KR\$CRED C_i) * K\$CRED C_i + (KR\$CREDIV1_i) * K\$CREDIV1_i + (KR\$CREDIV2_i) * K\$CREDIV2_i + \dots \\
& \dots + (KR\$CREDM_i) * K\$CREDM_i = 0, i = n; m = 12 \\
\\
& (KR\$F1_{i,m}) * PROCFO1_{i=1} + (KR\$F2_{i,m}) * PROCFO2_{i=1} + (KR\$TF_{i,m}) * TERRAFAZ_{i=1} + \sum_{p=1}^5 (KR\$P_{p,i,m}) * PAST_{p,i} + \dots \\
& \dots - (KR\$TAXA_{i,m-1}) * K\$TRANSF_{i,m-1} + (KR\$TAXA_{i,m}) * K\$TRANSF_{i,m} \leq 0, i = 1..n; m = 2,3,5,6 \\
\\
& (KR\$F1_{i,m}) * PROCFO1_{i=1} + (KR\$F2_{i,m}) * PROCFO2_{i=1} + (KR\$TF_{i,m}) * TERRAFAZ_{i=1} + \sum_{p=1}^5 (KR\$P_{p,i,m}) * PAST_{p,i} + \dots \\
& \dots - (KR\$ALUG_{i,m}) * ALUGPAST_{i,m} + \sum_{k=1}^8 (KR\$CBOVM_{k,i,m}) * CBOVM_{k,i,m} + \sum_{k=1}^8 (KR\$CBOVF_{k,i,m}) * CBOVF_{k,i,m} - \dots \\
& \dots - (KR\$TAXA_{i,m-1}) * K\$TRANSF_{i,m-1} + (KR\$TAXA_{i,m}) * K\$TRANSF_{i,m} \leq 0, i = 1..n; m = 7,10 \\
\\
& (KR\$F1_{i,m}) * PROCFO1_{i=1} + (KR\$F2_{i,m}) * PROCFO2_{i=1} + (KR\$TF_{i,m}) * TERRAFAZ_{i=1} + \sum_{p=1}^5 (KR\$P_{p,i,m}) * PAST_{p,i} + \dots \\
& \dots - (KR\$ALUG_{i,m}) * ALUGPAST_{i,m} - (KR\$TAXA_{i,m-1}) * K\$TRANSF_{i,m-1} + (KR\$TAXA_{i,m}) * K\$TRANSF_{i,m} \leq 0, i = 1..n; m = 8,9,11
\end{aligned}$$