

AVALIAÇÃO BIOECONÔMICA *EX ANTE* DE INVESTIMENTOS E PLANEJAMENTO FORRAGEIRO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE BOVINOS DE CORTE A PASTO NO CERRADO

Rui Fonseca Veloso¹
Luís Gustavo Barioni²
Juaci Vitória Malaquias³
Eliane Gonçalves Gomes⁴
Ozanival Dario Dantas⁵
Marcello Augusto Dias da Cunha⁶

RESUMO

Neste estudo, um modelo de programação linear foi construído para estabelecer estratégias de planejamento forrageiro e de investimentos ótimos na renovação das pastagens e na compra de animais, numa fazenda de bovinos de corte, com as opções de cria, de recria e de engorda, localizada em uma região periférica do bioma Cerrado. O objetivo dessa ferramenta é maximizar a receita líquida no final de um período de planejamento de 8 anos com fluxo de caixa mensal. Planilhas eletrônicas foram usadas para construção do modelo e preparação de dados. Em seguida, utilizando-se macros do Visual Basic para aplicativos, geraram-se arquivos no formato MPS para os “Solvers” do Lindo Systems, do SAS e do LPSolve software. O modelo incorpora custos fixos mensais, provisões para despesas e estimativas de mortalidade dos animais. Em uma rodada do modelo, para uma fazenda de 800 hectares com 600 hectares de pastagens plantadas, obteve-se a receita líquida ótima de R\$ 253.528,55 ao final de 8 anos. Durante os 8 anos de planejamento, animais comprados totalizaram 4.767; os nascidos, 1.414; e 238 morreram na fazenda.

Termos para indexação: estratégias comerciais, modelo bioeconômico, programação linear, variáveis inteiras.

¹ Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Rural Systems and Resource Management, pesquisador da Embrapa Cerrados, BR 020, Km 18, Caixa Postal 08223, CEP 73310-970 Planaltina, DF. rui.veloso@embrapa.br

² Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência Animal e Pastagens, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Av. André Tosello, 209 – Barão Geraldo, Caixa Postal 6041, CEP 13083-886 Campinas, SP. barioni@cnptia.embrapa.br

³ Estatístico, mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência de Materiais da Universidade de Brasília (UnB), analista da Embrapa Cerrados. Planaltina, DF. juaci.malaquias@embrapa.br

⁴ Engenheira química, doutora em Pesquisa Operacional, pesquisadora da Embrapa Sede, Parque Estação Biológica (PqEB, s/nº) – Asa Norte, CEP 70770-901 Brasília, DF. eliane.gomes@embrapa.br

⁵ Analista de sistemas, mestre em Engenharia Elétrica e de Computação, analista da Embrapa Cerrados. Planaltina, DF. dario.dantas@embrapa.br

⁶ Engenheiro agrícola, mestre em Ciências Agrárias, doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Animais da Universidade de Brasília (UnB). prof.madc@gmail.com

EX-ANTE BIOECONOMIC EVALUATION OF INVESTMENTS AND FORAGE
PLANNING IN PRODUCTION SYSTEMS OF BEEF CATTLE ON PASTURE IN THE
CERRADO BIOME

ABSTRACT

In this study, a linear programming model was built to establish strategies of forage planning and optimal investments involving pasture renovation and purchase of animals on a beef cattle farm with options of cow-calf production, growing and fattening – the farm is located in a peripheral region of the Cerrado biome. The purpose of this tool is to maximize the net revenue at the end of a planning period of 8 years with monthly cash flow. Spreadsheets were used to build the model and for data preparation. Then, by using Visual Basic macros for applications, input files in MPS format were generated for Solvers from Lindo Systems, SAS and LPSolve software. The model incorporates monthly fixed costs, provisions for expenses, and estimates of animal mortality. By running the model, for an 800-hectare farm with 600 hectares of planted pasture, this study obtained the optimal net revenue of R\$ 253,528.55 at the end of 8 years. During the 8-year planning period, the purchased animals totalled 4,767; those born were 1,414; and 238 animals died in the farm.

Index terms: trading strategies, bioeconomic model, linear programming, integer variables.

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 diversos sistemas de produção, fazendas ou estabelecimentos agropecuários.

Infelizmente, é provável que muitas tecnologias que foram geradas ou adaptadas com base na agricultura desenvolvida no hemisfério norte, de clima temperado, não assegurem, no longo prazo, uma qualidade ambiental sustentável do bioma Cerrado. Hoje o Brasil é um dos maiores consumidores de agroquímicos do mundo; dessa forma, as instituições brasileiras de P&D precisam, cada vez mais, desenvolver tecnologias para sistemas de produção agrossilvipastoris que sejam sustentáveis em termos econômicos, sociais e ambientais. Esses sistemas precisam apresentar capacidade de atender às

exigências crescentes de produtos certificados requeridos por diversos mercados nacionais e internacionais. Acredita-se que, no médio prazo, todo alimento na prateleira de um supermercado brasileiro tenha de 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 (WILLIANS; 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. Baseando-se nessa análise, tem sido defendido que atividades intensivas de produção pecuária podem, em alguns contextos, ser ecologicamente 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, conforme Brasil (2006) e Veloso et al. (2010). 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 por meio 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 os 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 (2012) apresenta dados censitários que mostram 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 em projeto da Embrapa, 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 (VELOSO et al., 2010). Os preços

da carne bovina no mercado interno não remuneraram 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 (VELOSO et al., 2010).

Neste artigo, 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, para 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. Consideraram-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 a melhorias de produtividade de sistemas de produção de bovinos a pasto (PANNELL, 1996). Em pesquisas que visam a melhorias de produtividade de pastagens em regiões tropicais da América Latina e África, Friesen 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 a 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, um 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 viabiliza, em termos econômicos, o uso de tecnologias como as produções de silagens de pastagem e de milho, conforme demonstrado no referido estudo, que aplicam a ferramenta “Grange Beef Model”.

Logo, investimentos que visam a 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. (2007a). 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 boas 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 artigo, adota-se o conceito de modelo “esqueleto” descrito por Blackie e Dent (1974), que assegura uma avaliação mais objetiva e direta. Esse estudo constituiu-se em uma análise bioeconômica *ex ante* de um sistema de produção ou fazenda para o técnico analista, o formulador de política pública de crédito e o produtor rural.

Idealmente, pesquisa de sistemas agrícolas requer uma visão interdisciplinar, com integração dos aspectos agrônômicos, econômicos, ecológicos e 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 ser, com a utilização de tecnologias de informações apropriadas, instrumentos úteis para representar, de maneira integrada, diferentes processos dinâmicos da pecuária. Nesse contexto, esses modelos visam a 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 questões 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 (COSTA; REHMAN, 2005; CROSSON et al., 2006; VAN CALKER et al., 2004).

No caso em apreço, o modelo construído e aplicado emprega uma visão de crescimento do negócio de uma fazenda de bovinos de corte e compreende 1.076 atividades e 870 restrições (VELOSO et al., 2010). Utilizou-se o Excel para construção desse modelo. 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 de 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. Em Boletim de Pesquisa da Embrapa Cerrados (VELOSO et al., 2010), estão descritos, sinteticamente, dados de oferta trimestral de forragem e do consumo de volumoso de cada classe animal, que foram gerados utilizando-se de modelo de simulação desenvolvido por Tonato et al. (2010), e procedimento de cálculo do consumo de forragem desenvolvido por Barioni et al. (2003). Tais dados foram incorporados como alguns dos parâmetros do modelo bioeconômico.

A função objetivo do modelo bioeconômico 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

Com base em estudos de casos e outras experiências na região do Cerrado, os principais componentes do negócio de uma fazenda produtora de bovinos de corte a pasto foram identificados como mostrado na Figura 1.

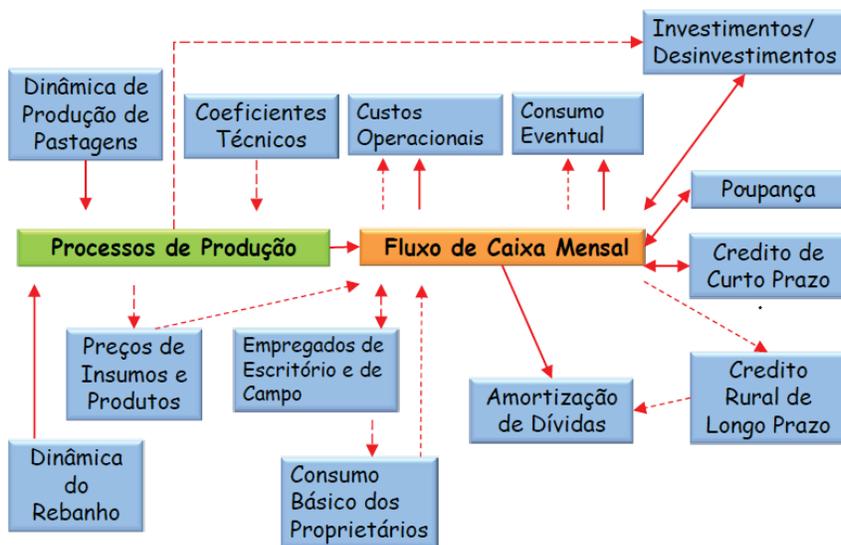


Figura 1. Modelo conceitual do negócio de uma fazenda.

No processo de modelagem adotado, foram considerados os componentes mostrados na Figura 1, e assumiu-se que:

- ✓ Um projetado sistema de produção pecuário em área periférica do Cerrado consistiria em uma propriedade com 800 ha de terra, com 75% dessa área disponível para produção de pastagens; e/ou de outra com 400 ha com a mesma proporção de área de pastagens e provisão de custos indiretos médios mais elevados por uma questão de escala de produção.
- ✓ A área de reserva legal, estradas e outras benfeitorias ocupa 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 $[(350.000,00 \times 0,1/12) + 5.000,00]$ 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 $[(150.000,00 \times 0,1/12) + 3.100,00]$ 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 t 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 de 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 do Cerrado.
- ✓ O número total de animais comprados no primeiro ano é inferior a 5.000 em virtude de limitações de escala de produção dos dois sistemas considerados.
- ✓ As pastagens de *Brachiaria brizantha* são de três tipos: degradada, produtividade média e produtividade 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 da 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), Tonato et al. (2010) e em informação pessoal⁷.

- ✓ 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 6 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 com mais 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 com mais de 18 a 21 meses de idade é de R\$ 453,60 a unidade.
- ✓ Uma novilha de 21 a 24 meses de idade é comprada a um custo de R\$ 518,40 a unidade, e aquelas com mais de 24 a 27 meses de idade, ao preço de R\$ 615,60 a unidade (VELOSO et al., 2010).
- ✓ Touros são comprados a partir do terceiro trimestre do ano, de acordo com as necessidades para as estações de monta, que se processam nos trimestres 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 vão parir anualmente é de 75%, e aquelas que não se apresentarem prenhas serão descartadas ou vendidas.
- ✓ 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.); e

⁷ Quantidades ofertadas e demandadas de forragens pelos animais foram estimadas por Luis Gustavo Barioni, pesquisador A da Embrapa, em Brasília, em novembro de 2009.

outra de mercado, que considera uma taxa de juros de 30% a.a., correspondendo a um custo de oportunidade de capital de terceiros que pode ser adquirido de outros produtores ou de um agente financeiro.

- ✓ Créditos para investimentos são amortizados em sete parcelas anuais, considerando-se 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 bioeconômico.

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.
- ✓ O caixa, em um determinado mês, é igual ao caixa no mês anterior, descontado a uma taxa de 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 e 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 (PgI_a), calculada exogenamente em pasta do Excel como uma proporção do valor creditado, utiliza-se de uma taxa de juros prefixada. Os créditos de custeio e de mercado são pagos, inteiramente, no ano subsequente ao do empréstimo (isto é, cc e $cm = 1$) e são remunerados com taxas distintas (jc e jm).

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

$$a = 2..na; a = m \times 12$$

\$I – investimento inicial.

PgI_a – 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 de 0,5%.

Construção do modelo bioeconômico multiperiódico 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 por meio de links para acessar essas distribuições.

Assume-se que o pecuarista visa a maximizar os retornos econômicos, independentemente 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 em Boletim de Pesquisa da Embrapa (VELOSO et al., 2010). 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 a maximizar a quantidade de dinheiro (R\$) no fluxo de caixa descontado (a 0,5% ao mês) do negócio da fazenda projetada, expresso pela variável $\text{Max}\$K_{nm}$, no final de 32 trimestres. Variáveis e descrições estão nas Tabelas 1 e 2. Os termos independentes estão descritos no citado Boletim de Pesquisa (VELOSO et al., 2010).

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

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

Variável	Código
Área(s) de terra da(s) fazenda(s), no ano i	TERRAFAZ i
Pastagem <i>Brachiaria</i> , categoria Dc (p=6), no ano i	PAST p,i
Pastagem <i>Brachiaria</i> , categoria Db (p=5), no ano i	PAST p,i
Pastagem <i>Brachiaria</i> , categoria Da (p=4), no ano i	PAST p,i
Pastagem <i>Brachiaria</i> , categoria C (p=3), no ano i	PAST p,i
Pastagem <i>Brachiaria</i> , categoria B (p=2), no ano i	PAST p,i
Pastagem <i>Brachiaria</i> , categoria A (p=1), no ano i	PAST p,i
Provisão p/ manutenção, deprec. de máquinas e outras despesas F01, no ano i	PROCF01 i
Provisão p/ manutenção, deprec. de máquinas e outras despesas F02, no ano i	PrOCF02 i
Bezerro (6 a 9 meses), k=1, no ano i, trimestre j	CBOVM k,i,j
Bezerro (9 a 12 meses), k=2, no ano i, trimestre j	CBOVM k,i,j
Garrote (12 a 15 meses), k=3, no ano i, trimestre j	CBOVM k,i,j
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 (> 21 e < 24 meses), k=6, no ano i, trimestre j	CBOVM k,i,j
Boi para engorda (> 24 e < 27 meses), k=7, no ano i, trimestre j	CBOVM k,i,j
Boi para engorda (> 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 (> 21 e < 24 meses), k=6, no ano i, trimestre j	CBOVF k,i,j
Novilha (> 24 e < 27 meses), k=7, no ano i, trimestre j	CBOVF k,i,j
Novilha (> 27 e < 30 meses), k=8, no ano i, trimestre j	CBOVF k,i,j
Transferência de matéria seca, no ano i, trimestre j, para trimestre j+1	TM i(j,j+1)
Transferência de energia, no ano i, trimestre j, para trimestre j+1	TE i(j,j+1)
Transferência de fibra, no ano i, trimestre j, para trimestre j+1	TF i(j,j+1)
Orçamento de resíduo de matéria seca, no ano i, trimestre j, para trimestre j+1	OM i(j,j+1)
Orçamento de resíduo de energia, no ano i, trimestre j, para trimestre j+1	OE i(j,j+1)
Orçamento de resíduo de 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 (> 27 e < 30 meses), k=8, no ano i, trimestre j	FBOVM k+1,i,j
Boi para engorda (> 30 meses), k=9, no ano i, trimestre j	FBOVM k+1,i,j

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Variável	Código
Bezerra (> 9 e < 12 meses), k=2, no ano i, trimestre j	FBOVF k+1,i,j
Novilhota (> 12 e < 15 meses), k=3, no ano i, trimestre j	FBOVF k+1,i,j
Novilhota (> 15 e < 18 meses), k=4, no ano i, trimestre j	FBOVF k+1,i,j
Novilha (> 18 e < 21 meses), k=5, no ano i, trimestre j	FBOVF k+1,i,j
Novilha (> 21 e < 24 meses), k=6, no ano i, trimestre j	FBOVF k+1,i,j
Novilha (> 24 e < 27 meses), k=7, no ano i, trimestre j	FBOVF k+1,i,j
Novilha (> 27 e < 30 meses), k=8, no ano i, trimestre j	FBOVF k+1,i,j
Novilha (> 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. de 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 de 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 de 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 de fibra (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.

Coefficiente	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 j	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 j	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	PRODFBOVM 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	PRODFBOVF k,i,j
Consumo de fibra de animais de terceiros, ano i, trimestre j	PRODFALUG i,j
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 machos, da categoria k, no ano i, mês m	KR\$CBOVM k,i,m
Custos de animais comprados fêmeas, 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 fêmeas, 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

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Coeficiente	Código
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 machos, da categoria k, no ano i, mês m	KR\$FBOVM k,i,m
Custos de animais ferrados fêmeas, da categoria k, no ano i, mês m	KR\$FBOVF k,i,m
Transferência (1- taxa de mortalidade) de bovino comprado fêmea, da categoria k, no ano i, trimestre j	TCBOVF k,i,j
Transferência (1- taxa de mortalidade) de bovino ferrado fêmea, da categoria k, no ano i, trimestre j	TFBOVF k,i,j
Transferência (1- taxa de mortalidade) de bovino comprado macho, da categoria k, no ano i, trimestre j	TCBOVM k,i,j
Transferência (1- taxa de mortalidade) de 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, e 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, e 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 são adequados 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 de 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 especialistas em modelos de otimização, para avaliar as questões de lógica e adequação gráfica para apresentação.

Entretanto, uma crítica à abordagem de otimização adotada nesse 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).

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 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, com 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 551,79 toneladas equivalentes de carcaça de carne durante os 32 trimestres de planejamento, correspondendo a 68,97 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. Para representar a dinâmica de degradação das pastagens, seis (A, B, C, Da, Db, e Dc) categorias de capacidade produtiva foram consideradas. Trata-se de um gradiente de produtividade de um nível mais elevado (A, alta) até um nível (Dc) de baixíssima produtividade, como tem sido ilustrado e discutido por Macedo (1999, 2000a) e Macedo et al. (2000b).

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 <i>Brachiaria</i> Categoria Dc – ano 8								0	
Pastagem <i>Brachiaria</i> Categoria Db – ano 1	168,09	61,72	91,32	225,05	53,83	168,09	61,72	91,32	
Pastagem <i>Brachiaria</i> Categoria Da – ano 1	61,72	91,32	225,05	53,83	168,09	61,72	91,32	209,94	
Pastagem <i>Brachiaria</i> Categoria C – ano 1	91,32	225,05	53,83	168,09	61,72	91,32	209,94	53,83	
Pastagem <i>Brachiaria</i> Categoria B – ano 1	225,05	53,83	168,09	61,72	91,32	209,94	53,83	168,09	
Pastagem <i>Brachiaria</i> Categoria A – ano 1	53,83	168,09	61,72	91,32	209,94	53,83	168,09	61,71	108,57
Total	600,01	600,01	600,01	600,01	584,90	584,90	584,90	584,89	

As receitas trimestrais geradas com o aluguel eventual de pastagens estão mostradas na Tabela 4. Essa estratégia visa a 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.

Tabela 4. Receitas trimestrais de aluguel de pastagens.

Trimestres e receitas (R\$)	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	Total (R\$)
			600,00	14.813,10			0	11.292,00	26.705,10
	t9	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

Com base em resultados apresentados por Crosson et al. (2006) sobre um sistema de produção de bovinos de corte na Irlanda e em 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 a 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-se as condições do Cerrado com 7 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 índice de nascimento de crias de 75% anualmente, e pressupõe-se um adequado manejo de pastagens com a suplementação mineral requerida para bovinos de corte no Cerrado.

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	Total
Capital de giro – próprio (6% a.a.)	300.000,00								300.000,00
Crédito de custo – 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 custo 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 1		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 2				219.780,00					219.780,00
Amortização de investimento II		183.150,00			93.130,92				276.280,92
Pagamento de capital de mercado						194.814,58		67.401,56	262.216,14
Total de pagamentos de empréstimos									3.333.031,49
Total de juros nos 8 anos de planejamento									683.163,04
Juros/ano (empréstimo)									85.395,38
Custo de oportunidade de capital no caixa (6% a.a.)									3.873,14
Total de juros por ano									89.268,52

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

	Irlanda ⁽³⁾		Brasil		Variação
	Quantidade	Valor (em €)	Quantidade	Valor (em €)	(%)
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	0	
Produção (kg eq. carcaça ano ⁻¹)	14.655,17		68.973,35		
Produtividade (kg eq. carcaça ha ⁻¹ ano ⁻¹)	366,38		114,96		218,71
Subsídio total (kg eq. carcaça ano ⁻¹)	8.034,48		0		
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	
Subsídio SFP (€ ano ⁻¹) ⁽¹⁾		16.000,00		0	
Subsídio REPS (€ ano ⁻¹) ⁽²⁾		7.300,00		0	
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	0	
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	0	
Outras despesas com animais (€ ano ⁻¹)		8.900,00			
Recuperação de 108,70 ha de pastagens ano⁻¹ – Brasil					
Ureia fertilizante aplicada em fevereiro			100	4.696,13	

Continua...

Tabela 6. Continuação.

	Irlanda ⁽¹⁾		Brasil		Varição
Super fosfato simples [(72 kg P ₂ O ₅ e 44 kg 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, maq., eq., cercas, limpeza, pastos (€ ano ⁻¹)				14.779,30	
Despesas diversas (€ ano ⁻¹)				32.843,08	
Depreciação de ativos (maq., eq. 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

⁽¹⁾ SFP: Single Farm Payment.

⁽²⁾ REPS: Rural Environmental Protection Scheme – 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 hectare acima de 55 ha.

Obs.: 1€ = R\$ 2,42279 em 30/3/2010.

Fonte: ⁽³⁾ Crosson et al. (2006).

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 2 e 3. 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 bezerros e bezerras nascidos totalizaram 1.380 crias. No final do período de planejamento, foram vendidos 5.942 animais, incluindo fêmeas de descarte decorrente da tecnologia de estação de monta, bois gordos, bezerros e touros de descarte. Entre os animais vendidos, 3.820 foram bois gordos 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.

A ferramenta possibilita a projeção de sistemas de produção de diferentes tamanhos em termos de áreas de terra e de capital. Isso seria objeto de outra aplicação da ferramenta, mas os resultados mostram a baixa rentabilidade de sistemas tradicionais de produção de bovinos no Cerrado, e deve-se buscar a integração da bovinocultura com outras atividades produtivas, visando a uma economia de escopo em que diferentes atividades se complementam e mitigam riscos de produção.

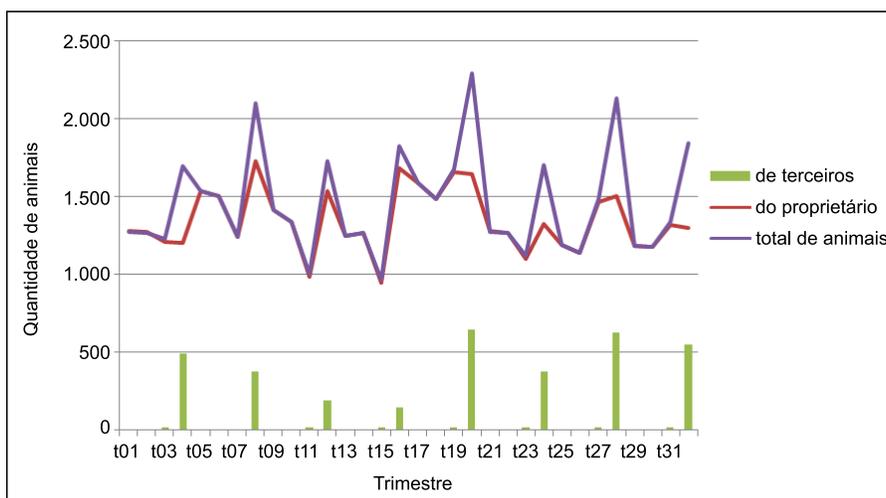


Figura 2. Dinâmica do rebanho ao longo de 32 trimestres.

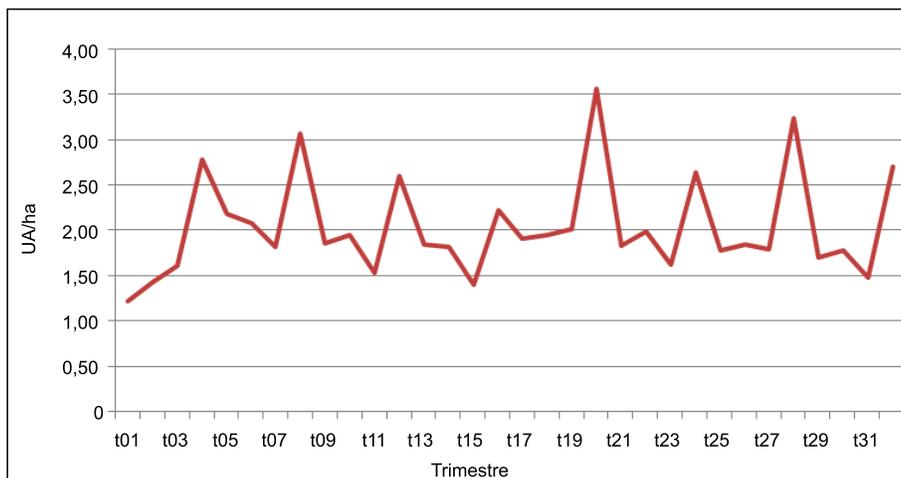


Figura 3. Taxa trimestral média de lotação animal por hectare de pastagem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o formulador de políticas de crédito rural, a ferramenta desenvolvida neste estudo constitui um meio para estudar o comportamento de sistemas de produção reais considerando-se 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. Entretanto, o uso da ferramenta requer que as relações entre insumos e produtos sejam bem compreendidas e que parâmetros de custos e preços sejam atualizados pelo analista, porque seu potencial é no apoio à formulação de alternativos planos de investimentos em pastagens e animais, com melhor alocação dos recursos forrageiros disponíveis em uma propriedade rural no Cerrado.

O aumento das áreas com pastagens, como a única estratégia para comportar o crescimento vegetativo dos rebanhos bovinos, vem deixando de ser uma alternativa interessante para o pecuarista em áreas de fronteira do bioma Cerrado. Isso vem ocorrendo com a valorização dessas terras, em virtude de melhorias de infraestrutura local e regional, e por causa 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, para apoiar o trabalho de técnicos de extensão e de analistas formuladores de políticas públicas para o setor.

Seguindo uma visão sistêmica, os autores têm o propósito de desenvolver uma expansão do referido modelo para contemplar alternativas tecnológicas 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.

Complementarmente, para utilizar esse tipo de ferramenta em análises de estratégias de financiamento agrícola desses sistemas de produção, os autores buscarão a colaboração de formuladores de políticas públicas para o desenvolvimento de esforços conjuntos no seu aprimoramento, com uma interface amigável para uso em unidade de estudos e planejamento do Ministério da Agricultura.

REFERÊNCIAS

- BARIONI, L. G.; FERREIRA, A. C.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; RAMOS, A. K. B. **Tabelas para estimativa de ingestão de matéria seca de bovinos de corte em crescimento em pastejo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007b. (Embrapa Cerrados, 142).
- BARIONI, L. G.; MARTHA JÚNIOR, 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: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 20., 2003, PIRACICABA. **Produção animal em pastagens**: situação atual e perspectivas: anais. Piracicaba: Fealq, 2003. p. 105-154. Editado por Eristeu Mendes Peixoto, José Carlos de Moura, Sila Carneiro da Silva e Vidal Pedroso de Faria.
- BARIONI, L. G.; FERREIRA, A. C.; RAMOS, A. K. B.; MARTHA JUNIOR, G. B.; SILVA, F. A. M.; LUCENA, D. A. C. Planejamento alimentar e ajustes de taxa de lotação em fazendas

de pecuária de corte. In: OLIVEIRA, R. L.; BARBOSA, M. A. A. F. (Org.). **Bovinocultura de corte: desafios e tecnologias**. Salvador: Ed. da UFBA, 2007a. p. 324-355.

BATHGATE, A.; REVELL, C.; KINGWELL, R. Identifying the value of pasture improvement using wholefarm modelling. **Agricultural Systems**, Essex, v. 102, n. 1/3, p. 48-57, Oct. 2009.

BLACKIE, M. J.; DENT, J. B. The concept and application of skeleton models in farm business analysis and planning. **Journal of Agricultural Economics**, Reading, v. 25, n. 2, p. 165-175, May 1974.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mapa de cobertura vegetal do bioma Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. 1 mapa, color., 118 cm x 84 cm. Escala 1:4.000.000.

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**, Essex, v. 83, n. 3, p. 277-295, Mar. 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**, Essex, v. 89, n. 2/3, p. 349-370, Sept. 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. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 97, p. 7-23, 1979.

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**, Sete Lagoas, v. 14, p. 127-131, 2006.

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

FRIESEN, D.; AYARZA, M. A.; THOMAZ, R. J.; AMÉZQUITA, 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**. Cali: CIAT, 2001. p. 30-49. (CIAT. Publication, 311).

IBGE. **Censo Agropecuário 2006**: Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação: segunda apuração. Rio de Janeiro, 2012.

MACEDO, M. C. M. Degradação de pastagens: conceitos e métodos de recuperação. In: SIMPÓSIO SUSTENTABILIDADE DA PECUÁRIA DE LEITE NO BRASIL, 1999, Goiânia. **Anais...** Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; Goiânia: Serrana Nutrição Animal, 1999. p. 137-150.

MACEDO, M. C. M. Sistemas de produção animal em pasto nas savanas tropicais da América: limitações a sustentabilidade. In: REUNIÓN LATINOAMERICANA DE PRODUCCIÓN ANIMAL, 16.; CONGRESO URUGUAIO DE PRODUCCIÓN ANIMAL, 3., 2000, Montevideo. **Anales...** Montevideo: Alpa, 2000a. 1 CD-ROM.

MACEDO, M. C. M.; KICHEL, A. N.; ZIMMER, A. H. **Degradação e alternativas de recuperação e renovação de pastagens**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2000b. 4 p. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado técnico, 62).

MUCHAGATA, M.; BROWN, K. Cows, colonists and trees: rethinking cattle and environmental degradation in Brazilian Amazonia. **Agricultural Systems**, Essex, v. 76, n. 3, p. 797–816, June 2003.

PANNELL, D. J. Lessons from a decade of whole-farm modeling in western Australia. **Review of Agricultural Economics**, [Oxford], v. 18, n. 3, p. 373-383, Sept. 1996.

THOMAS, D.; SUMBERG, J. E. A review of the evaluation and use of tropical forage legumes in sub-Saharan Africa. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 54, n. 3, p. 151-163, 1995.

TONATO, F.; BARIONI, L. G.; PEDREIRA, C. G. S.; DANTAS, O. D.; MALAQUIAS, J. V. Desenvolvimento de modelos preditores de acúmulo de forragem em pastagens tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, n. 5, p. 522-529, maio 2010.

VAN CALKER, K. J.; BERENTSEN, P. B. M.; BOER, I. M. J. de; GIESEN, G. W. J.; HUIRNE, R. B. M. An LP-model to analyse economic ecological sustainability on Dutch dairy farms: model presentation and application for experimental farm “de Marke”. **Agricultural Systems**, Essex, v. 82, n. 2, p. 139-160, Nov. 2004.

VELOSO, R. F.; BARIONI, L. G.; MALAQUIAS, J. V.; GOMES, E. G.; MOREIRA, J. M. M. A. P.; DANTAS, O. D. ; FERNANDES, F. B. **Modelo bioeconômico para avaliação ex ante de investimentos em sistemas de produção de bovinos de corte a pasto no cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 62 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 298). Disponível em: <<http://www.cpac.embrapa.br/download/1792/t>>. Acesso em: 03 out. 2011.

WILLIAMS, J.; SANDERS, D. A. **Land use and natural ecosystems**: a revolution in land use is the key to a sustainable landscape. 2003. Disponível em: <http://www.cfw.csiro.au/staff/williamsj/landuse_natural_ecosystems.pdf>. Acesso em: 3 out. 2011.

Trabalho recebido em 22 de outubro de 2012 e aceito em 10 de março de 2014.