

INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL EM AÇÃO

CASOS DE APLICAÇÃO

RUI CARVALHO OLIVEIRA
JOSÉ SOEIRO FERREIRA
(EDITORES)

IMPRESA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA
COIMBRA UNIVERSITY PRESS

CASO 3

UM MODELO PARA A PRODUÇÃO DE LEITE NOS AÇORES

Emiliana Silva

Departamento de Ciências Agrárias da Universidade dos Açores
Centro de Estudos de Economia Aplicada do Atlântico
emiliana@uac.pt

Armando B. Mendes

Departamento de Matemática da Universidade dos Açores
Centro de Estudos de Economia Aplicada do Atlântico (CEEApIA)
amendes@uac.pt

RESUMO

Neste trabalho, utilizam-se técnicas de investigação operacional para modelar o sistema de produção de leite bovino, em regime intensivo, da Região Autónoma dos Açores. Este modelo foi desenhado para apoiar decisões estratégicas a nível político, tendo-se, no entanto, revelado igualmente útil para decisões de prazo mais curto e técnico.

Embora as decisões dos agricultores dos Açores sejam influenciadas por vários objetivos em conflito, como foi demonstrado por um trabalho prévio de Silva (2001), o modelo apresentado opta pelo objetivo clássico de maximização do rendimento agrícola. As restrições consideradas mais marcantes estão relacionadas com o modo de produção de leite nos Açores: área de pastagem, alimentação, trabalho agrícola e risco agrícola.

Obteve-se, deste modo, um modelo de programação linear com um objetivo e 55 restrições. Os dados económicos utilizados no modelo foram recolhidos junto da Secretaria Regional da Agricultura e Florestas da Região Autónoma dos Açores.

Os resultados obtidos para a rentabilidade da atividade agrícola na RAA mostram que se obtêm rentabilidades sustentáveis graças à mão-de-obra familiar e ao alimento verde (pastagem) produzido pelos terrenos agrícolas da RAA. Note-se, no entanto, que o rendimento agrícola apresentado não seria possível de alcançar se se verificasse uma redução dos subsídios atualmente disponibilizados pela União Europeia e pelo Governo Regional dos Açores.

PALAVRAS-CHAVE

Açores; Sistemas agrários; Leite; Suporte à decisão, Programação linear.

1. Modelos de suporte à decisão na Agricultura

A utilização de modelos de otimização é muito comum no sector primário. A título ilustrativo, apresentam-se alguns modelos ligados às práticas de produção animal, em regiões geográficas díspares. Mourits *et al.* (2000) utilizam um modelo de programação dinâmica para determinar a taxa ótima de reposição de um rebanho na Pensilvânia, Estados Unidos da América do Norte, incluindo algumas características relacionadas com a produtividade: idade, peso corporal, fase e taxa de crescimento “prepubertal” de gravidez e sazonalidade. A prática ótima obtida para este modelo, indica uma idade média dos animais de 20,5 meses e um peso corporal que ronda os 563 kg, em que os rendimentos por novilha foram mais altos nos animais nascidos em Dezembro do que nos nascidos em Maio.

Na Costa Rica, Herrero *et al.* (1999) usam um sistema de apoio à decisão tendo por base um modelo de programação matemática, para representar um sistema de produção leiteiro à base de pastagem em altitude. Consideram os aspetos biológicos, tais como crescimento da erva, pastoreio, digestão e metabolismo, e produtividade animal, que permitiram simular os comportamentos dos animais em diferentes regimes. Este trabalho discute os efeitos e implicações de vários cenários e políticas agrícolas na produtividade bioeconómica dos animais. Na produtividade bioeconómica, adicionam-se aos aspetos económicos os aspetos ecológicos: ambientais, biológicos ou orgânicos. A produtividade é obtida pela valorização dos valores económicos e ambientais em função do número dos animais.

Outro trabalho relevante é apresentado por Tozer e Stokes (2001) onde é apresentado um modelo para otimização da dieta alimentar de vacas leiteiras, de modo a minimizar os custos do alimento sem deixar de disponibilizar os nutrientes adequados às necessidades alimentares dos animais. Sendo assim, o modelo minimiza os custos mas também os desperdícios de fósforo e azoto.

Tendo em conta a importância das quotas leiteiras para a economia regional o trabalho de Ramsden *et al.* (1999) assume um interesse particular. Estes autores apresentam um modelo de programação linear para avaliar o impacto na produção leiteira da variação de preços devidos à existência do sistema de quotas leiteira que limitam a produção. O modelo incorpora as necessidades

em proteína e energia de acordo com o nível de produção das vacas leiteiras, e ainda uma taxa de substituição alimentar entre a forragem e os concentrados. Os resultados mostram que o sistema de quotas é pernicioso uma vez que se verifica um forte incentivo financeiro para diminuir o nível de *inputs* e transferir a produção leiteira para animais menos produtivos com menor uso de alimentos: produção de pastagem (adubos azotados) e rações (concentrados). No entanto, com a Política Agrícola Comum (PAC) atual e com os níveis de eficiência das explorações, era ainda rentável alimentar as vacas muito produtivas com grandes quantidades de rações.

Num trabalho relacionado com o anterior, Oliveira *et al.* (2010) concluem que o fim do sistema de quotas leiteiras poderá ter consequências muito negativas a curto prazo com a redução do preço do leite à produção, mas são igualmente previsíveis oportunidades a longo prazo, principalmente para os produtores dos Açores.

Um trabalho pioneiro de planeamento agrícola em Portugal foi o de Barros e Estácio (1972) apresentado em Ramalhete *et al.* (1984). Este modelo conta com onze atividades: sete vegetais, três atividades intermédias relativas à alimentação e uma atividade pecuária. Trata-se de um modelo de programação linear que maximizava, como objetivo, o resultado de uma exploração agrícola limitado pelos recursos disponíveis, tais como a área agrícola (quatro restrições), a mão-de-obra (quatro restrições) e o equilíbrio alimentar (quatro restrições).

Depois de um longo interregno surgiu o trabalho de Poeta (1994) aplicando a metodologia multicritério, nomeadamente o método NISE e a programação compromisso, a três tipos de explorações representativas de Trás-os-Montes. Para testar a aderência do modelo utilizou a programação por metas, considerando como metas os valores médios de cada atividade. Como objetivos, considera a maximização do valor acrescentado bruto, a minimização dos custos variáveis e a racionalização do trabalho, de tração animal e do rendimento da família. Como restrições apresenta a sazonalidade da mão-de-obra, a tração animal, o uso de terra, os adubos e fatores alimentares. Como atividades considera as culturas anuais e plurianuais, a atividade pecuária (de

carne e de leite), o aluguer de tração animal, a transferência e consumo de alimentos, e ainda, a aquisição de adubos.

No Alentejo, Carvalho (1999) avaliou o efeito da variabilidade da produção de pastagens e de forragens no rendimento dos agricultores e na capacidade de produção pecuária. O mesmo trabalho pretendeu ainda identificar ajustamentos a fazer na alimentação animal, através de alimentos conservados e de concentrados, e determinar épocas de vendas do produto animal/carne ajustadas àquela variabilidade. Para estimar o risco na variabilidade do rendimento dos agricultores opta pela utilização do MOTAD (*Minimization of Total Absolute Deviation*), pressupondo que os agricultores são adversos ao risco. O objetivo considerado foi o de maximização do lucro, incluindo ainda vinte e duas restrições relativas à utilização da terra, da utilização da tração mecânica, da mão-de-obra das atividades vegetais e animais, do equilíbrio alimentar (disponibilidades, necessidades e capacidade de ingestão), restrições relativas às alternativas de comercialização, aquisição e custo de concentrados e relativas às receitas das diferentes alternativas de comercialização.

Nos Açores, Silva (2001 e 2006) desenvolve modelos multicritério aplicados a três sistemas tipo de explorações pecuárias: sistema intensivo, extensivo e intermédio. Considera quatro objetivos em conflito: maximização da margem bruta das atividades e minimização do risco, da sazonalidade e das necessidades de mão-de-obra assalariada. Todos estes objetivos foram identificados no processo de tomada de decisão dos agricultores. O modelo inclui ainda setenta e duas restrições relativas à área, à rotação e intensificação do sistema, à mão-de-obra, variabilidade do risco e relacionadas com a alimentação animal; além de dezasseis variáveis não negativas. Uma das conclusões mais interessantes refere-se à utilização do tradicional objetivo de maximização do rendimento, o qual se verifica que nem sempre é o mais importante a condicionar a decisão dos agricultores açorianos, dependendo, no entanto, do sistema de produção considerado. Este objetivo surge com maior importância no sistema de produção com menor grau de intensificação (Silva, 2006).

Marta-Costa (2008) desenvolve um modelo para a região transmontana concentrando-se nas atividades pecuárias de produção de carne de bovino. O

modelo apresenta cento e vinte e nove variáveis relativas às atividades culturais em terras aráveis, em atividades vegetais, atividades de baldio, atividades pecuárias de raça maronesa e frísio pura ou cruzadas, atividades de raça bravia e noventa e oito restrições relativas à área utilizada, mão-de-obra, utilização de tração, utilização de fertilizantes, equilíbrio alimentar das atividades pecuárias; venda de produtos fornecidos pela atividade pecuária e relativas ao encabeçamento animal. Considera ainda dois objetivos em conflito: os económicos, medidos pela maximização do valor acrescentado bruto - VAB, e ambientais, estimados pela minimização dos custos energéticos.

2. A Região Autónoma dos Açores e a identificação do problema

O arquipélago dos Açores é uma região autónoma política e administrativa de Portugal, constituída após a revolução de 1974. Os Açores integram a União Europeia, desde 1986, por este facto, a política agrícola regional é, na sua maior parte, dirigida pelos regulamentos comunitários que nalguns casos são suavizados pelo estatuto de região ultraperiférica.

O Produto Interno Bruto (PIB) açoriano no ano de 2009 subiu para 3,7 mil milhões de euros (representando 2,8% do PIB nacional), registando um PIB *per capita* de 15,2 milhares de euros. Nesse mesmo ano, 8,6% do Valor Acrescentado Bruto (VAB) açoriano concentrou-se no sector “Agricultura, produção animal, caça e silvicultura”, contra os 2,2% que este sector representa a nível nacional (INE, 2011).

A Região Autónoma dos Açores (RAA) como região ultraperiférica da União Europeia (EU) apresenta algumas particularidades que são relevantes na descrição do sistema a modelar. Uma das principais características, a descontinuidade territorial, resulta de ser um arquipélago constituído por nove ilhas. A área da RAA corresponde aproximadamente a 2,5% do Estado Português, ou seja 2 322 km² (SREA, 2009) com uma Superfície agrícola útil (SAU) de 48,2%. A superfície agrícola útil em 2009 era, na sua maior parte (89,3%), usada para pastagem permanente e apenas 0,4% da área para hortas familiares. A área utilizada nas explorações de terra arável ocupava 8,4% da superfície agrícola útil, sendo a parte restante (1,9%) ocupada pelas culturas permanentes.

Outros fatores reconhecidos como limitantes são apontados pelo índice médio de envelhecimento nos Açores que, em 2007, foi de 65,1 sendo muito mais baixo do que o verificado no Continente Português (116,2) ou a média nacional (113,6) (SREA, 2010). Ainda que a RAA apresente menos problemas de rejuvenescimento e sustentabilidade dos sistemas produtivos, os valores apresentados são considerados muito elevados e com forte tendência para piorarem. Em 2007, apenas 3,1% e 1,7% da população açoriana e continental portuguesa, respetivamente, estavam empregadas no sector primário correspondente a 11 493 indivíduos, nos Açores. Sabe-se ainda que a mão-de-obra nas explorações agrícolas é predominantemente familiar, constituindo este outro fator limitante às explorações agrícolas açorianas.

Na atualidade, a produção leiteira açoriana contribui com cerca de 30% da produção portuguesa, sendo a área de atividade que mais contribui para o PIB regional e a mais relevante na sustentabilidade económica das ilhas. Apesar dos limites impostos pelo regime de quotas a produção de leite de bovino tem vindo a aumentar ligeiramente ao longo dos anos. O leite de vaca entregue nas fábricas dos Açores, em 2003, era de 492 211 174 litros. Esta produção de leite tem aumentado gradualmente ao longo dos últimos anos, alcançando o valor de 540 199 225 litros. Este valor da produção de leite é ligeiramente superior ao montante da quota de leite atribuída à Região Autónoma dos Açores, 500 milhões de litros. O leite é igualmente transformado pela indústria regional. O queijo produzido nos Açores é principalmente de pasta semidura (97,3%). Em 2006, a produção de manteiga cifrou-se em 7 489 toneladas e a produção de iogurtes 310 toneladas. A produção de natas rondou os 623 525 litros.

Em 2007, existiam 13 155 explorações agrícolas nos Açores, com uma superfície agrícola útil (SAU) de 112 054 hectares *i.e.*, 4,8% do total de explorações agrícolas do país. Além destes fatores de pequenez é ainda muito importante realçar que enquanto a maior parte das explorações em Portugal (50,9%) tem uma dimensão entre 1 e 5 hectares, nos Açores, 43,8% das explorações tem área inferior a 1 hectare. A pequena dimensão das explorações agrícolas açorianas é outro fator limitante à produção agrícola. A superfície agrícola por Unidade de Trabalho Agrícola (UTA) em Portugal toma um valor de 10,1 o que é aproximadamente o dobro da verificada na Região

Autónoma dos Açores (4,9). No entanto, o rendimento por hectare nos Açores (1 306 €) é mais do dobro do obtido em Portugal. Este facto pode ser explicado pelo maior encabeçamento médio de 1,67 animais por hectare nos Açores, mais do dobro do número de animais por hectare no Continente (0,58).

Dada a relevância e impacto do sector leiteiro na economia regional, a utilização de modelos de otimização que permitam criar conhecimento sobre o sistema, atores envolvidos, relações entre variáveis e concluir sobre políticas ótimas de funcionamento do sistema são de primordial importância no apoio a decisões.

Na secção seguinte é descrito o processo que levou ao desenho de um modelo de decisão para as atividades ligadas à produção de leite na região autónoma dos Açores. Apresenta-se em seguida os resultados obtidos do modelo e da discussão com os decisores e técnicos que se seguiram. Por fim, apresentam-se conclusões e perspectivas para trabalhos futuros.

3. Modelo de decisão

Nesta secção descreve-se o modelo de decisão utilizado para modelar as atividades envolvidas no sector leiteiro da RAA. Além de descrever o sistema, considera-se que o processo que levou ao desenvolvimento do modelo é igualmente digno de nota, assim como os pressupostos e aproximações adotadas.

3.1. Processo e pressupostos

A relevância do sector leiteiro açoriano no contexto nacional e a consequente importância na economia açoriana leva a um problema de tomada de decisão técnica e política fundamental, que será mais consistente e adaptada à realidade se for feita tendo por base estudos científicos. A importância deste estudo foi reconhecida pela Secretaria Regional da Agricultura e Florestas da Região Autónoma dos Açores, gestora do sector agrícola nos Açores, que disponibilizou dados confidenciais e que permitiram a realização deste modelo.

Ainda que se tenha optado por modelos normativos, a aproximação utilizada no desenvolvimento do modelo é prescritiva, uma vez que foram

utilizados dados e conhecimento tácito para induzir as normas incluídas no modelo.

Os dados recolhidos junto da Rede de Informação de Contabilidade Agrícola para os Açores (RICA-A), da Secretaria Regional da Agricultura e Florestas, permitiram o cálculo da margem bruta para o ano em estudo (1996) e estimar a variabilidade do rendimento agrícola (1990 a 1996). Os coeficientes técnicos relativos à alimentação do gado, unidades forrageiras de leite, proteína digestível animal (energia e nitrogénio limitantes), o cálcio, fósforo e matéria seca disponível foram calculados com base em valores do INRA (1988). Os dados relativos à racionalização da mão-de-obra foram retirados do trabalho de Avillez (1991) e de Berbel e Barros (1993) e confirmados recorrendo à elaboração de inquéritos realizados posteriormente e no âmbito deste trabalho. O cálculo de valores dos coeficientes técnicos utilizados no modelo de decisão para os agricultores açorianos está disponível em Silva (2001). Os dados encontram-se disponíveis para consulta.

Deste processo e do tratamento dos dados anteriores resultou um conjunto de pressupostos que se passa a expor.

Os parâmetros do modelo refletem apenas o regime intensivo, correspondente a encabeçamentos por hectare superiores a 2,4, uma vez que é o sistema que mais penaliza o rendimento dos agricultores açorianos nas medidas agroambientais da Política Agrícola Comum e revelou-se especialmente relevante para os decisores. Note-se, no entanto, que foram identificados por Silva e Berbel (2007) mais dois sistemas de produção leiteira nos Açores, sistema de produção extensivo (inferior a 1,4 cabeças normais por hectare) e semi-intensivo, com encabeçamentos entre os 1,4 e 2,4 cabeças normais por hectare.

De trabalhos anteriores de Silva (2001 e 2006) concluiu-se que as decisões dos agricultores açorianos relativamente ao encabeçamento, tipo de alimento e outras práticas agrícolas são tomadas com base não num objetivo mas em vários objetivos conflituosos, tais como a maximização do rendimento, a minimização da sazonalidade da mão-de-obra e minimização do risco agrícola. No entanto, optou-se por um modelo uniobjetivo tendo em conta a opinião dos decisores políticos e ainda por se considerar que a utilização do objetivo

mais racional do ponto de vista económico (segundo a teoria neoclássica) daria indicações mais precisas de como deveria funcionar o sistema, tal como considera Tauer (1995).

O descritor de impacto utilizado inclui os subsídios à produção de leite. A pertinência de se utilizar os subsídios deve-se à importância que os mesmos representam para a agricultura açoriana, cerca de 20% dos rendimentos das explorações pecuárias dos Açores são devidas aos subsídios (Silva, 2012).

As restantes medidas de desempenho foram introduzidas no modelo como restrições. Além dessas, foram ainda consideradas um elevado número de restrições correspondentes a condicionalismos das atividades. A definição dessas restrições resultou de um processo de consulta que envolveu decisores, dirigentes de cooperativas agrícolas e técnicos.

No caso do risco agrícola, e dada a verificada aversão ao risco dos agricultores, recorreu-se ao rendimento da produção leiteira ao longo de vários anos, ajudando a quantificar a influência que as condições edafoclimáticas têm num sistema de produção à base de pastagem.

No que concerne às restrições de área, e sabendo-se que a maior parte da produção de leite é à base de pastagem, são consideradas diferentes altitudes e com diferente manejo da pastagem (Matos, 1997). Esta diferenciação foi considerada muito relevante para o nível de decisão que se pretendia apoiar.

Dada a importância da alimentação na produção de leite, introduziram-se ainda várias restrições de modo a avaliar se as disponibilidades do alimento em verde (pastagem, silagem e feno) complementada com alimento a seco (ração) são suficientes para superar as necessidades dos animais. Considerou-se ainda que os animais das explorações eram apenas para produção leite. Estes animais têm um peso vivo médio de 650 Kg e produzem 25 litros de leite por dia em média. Considerou-se que as vacas estão em lactação 305 dias por ano, e que estão “secas” os restantes 60 dias (no oitavo e nono mês de gestação). Também se considerou que a cada vaca estava associada a 20% de novilhas de substituição e a 50% de vitelas de substituição. As vacas são inseminadas com um ano para parirem com menos de dois anos.

A mão-de-obra agrícola nos Açores é considerada apenas familiar, composta pelo produtor agrícola (agricultor) e restantes membros da família com

atividade na exploração familiar e não implica um pagamento efetivo. No entanto, a sua disponibilidade e necessidade é diferente ao longo do ano, com maiores necessidades na Primavera e Outono, que coincide com a data de parição dos rebanhos leiteiros nos Açores. Assim, foi necessário considerar esta sazonalidade dividindo o ano em seis períodos, cada um formado por dois meses acompanhando o ciclo de produção de leite na região Açores.

Como se pretendia dar maior importância à alimentação dos animais, devido ao seu custo, decidiu-se dividir as atividades em animais e vegetais: pastagens, silagens, fenos. Como esta informação não estava disponível na base de dados utilizada, optou-se por ajustá-la à base de dados de Berbel e Barros (1993) usando o conhecimento de investigadores e técnicos disponíveis.

Note-se que se opta, no modelo a que se chega, por modelar o risco agrícola e a mão-de-obra utilizando restrições que têm uma estrutura de metas. Tal como na programação por metas, as restrições usadas neste modelo, permitem que os valores variem para cima ou para baixo do nível de aspiração na estrutura da meta, usando variáveis auxiliares de desvio positivas e negativas, o que permite que se ultrapassem ou não os limites previamente estipulados. No entanto, as variáveis auxiliares não são minimizadas como na programação por metas, o que faz com que as restrições funcionem de forma informativa. Assim, é possível considerar a possibilidade, ou não, de mão-de-obra agrícola familiar ser superior à existente correspondendo a um maior esforço ou não do trabalho familiar. Estes tipos de restrições são descritas e utilizadas, por exemplo, em Romero *et al.* (1989).

3.2. O modelo analítico

O modelo pretende otimizar os valores de um conjunto de variáveis decisórias relacionadas com as atividades agrícolas consideradas relevantes. Os tipos de variáveis e níveis considerados são resumidos no Quadro 1.

Quadro 1: Atividades, tipos e níveis utilizados no modelo.

ATIVIDADES	TIPO	NÍVÉIS
Pastagem	Altitude Tipo de Aproveitamento	Alta, Média, Baixa, Direto, Silagem, Feno
Milho Ensilado	Semente Altitude	Híbrida Média, Baixa
“Outonos” (Avena sativa e Vicia fava)	Semente Altitude	Híbrida, Regional Média, Baixa
Leite	Dimensão do Efetivo Ração	Grande, Médio, Pequeno Quantitativo

Da combinação do tipo de atividades com os diferentes níveis do Quadro 1 resultam as seguintes quinze variáveis decisoriais:

- X_1 – Superfície de pastagem alta com pastoreio direto (em ha)
- X_2 – Superfície de pastagem média com pastoreio direto (em ha)
- X_3 – Superfície de pastagem média com pastoreio direto e silagem de erva (em ha)
- X_4 – Superfície de pastagem média com pastoreio direto e feno (em ha)
- X_5 – Superfície de pastagem baixa com pastoreio direto (em ha)
- X_6 – Superfície de pastagem baixa com pastoreio direto e silagem de erva (em ha)
- X_7 – Superfície de pastagem baixa com pastoreio direto e feno (em ha)
- X_8 – Superfície de milho silagem de média altitude (em ha)
- X_9 – Superfície de milho silagem de baixa altitude (em ha)
- X_{10} – Superfície de “Outono” (*Avena sativa* e *Vicia fava*) regional de média altitude (em ha)
- X_{11} – Superfície de “Outono” regional de baixa altitude (em ha)
- X_{12} – Superfície de “Outono” melhorado (*Lolium perene*) de média altitude (em ha)
- X_{13} – Superfície de “Outono” melhorado de baixa altitude (em ha)
- X_{14} – Quantidade em quilogramas de ração (soja e milho) (em Kg)
- X_{15} – Número de animais (produtores de leite) (em n°).

A medida de desempenho escolhida é o rendimento proveniente da atividade leiteira. Como descritor de impacto optou-se pela margem bruta da exploração (MB). A margem bruta da exploração é obtida pelo somatório das margens brutas das várias atividades (neste caso o leite) acrescidas dos prémios e subsídios, produção de imobilizado, prestação de serviços e percas e ganhos da produção. Por sua vez, a margem bruta das atividades é calculada pela diferença entre a receita de produção bruta do leite e os encargos variáveis e fixos específicos referentes à atividade leiteira. Como receitas de produção total das explorações leiteiras consideraram-se a venda de leite, a venda de carne das vacas de refugo e os subsídios à atividade leiteira. Nos encargos variáveis incluíram-se as rações, as pastagens, silagens e fenos produzidos na exploração e os gastos da pecuária, tais como: medicamentos, veterinário, detergentes, entre outros. No caso das explorações amostradas e para o cálculo das margens brutas, apenas existiam prémios e subsídios, não havendo portanto, a produção do imobilizado, a prestação de serviços e os ganhos ou percas extraordinárias.

Os coeficientes - margens brutas - da função objetivo, foram considerados positivos, no caso de se ter vendido os produtos agrícolas ao exterior e negativos no caso de terem sido utilizados na própria exploração ou adquiridos ao exterior. No caso das atividades vegetais (pastagem, milho e “outonos”), uma vez que estes não são comercializados, valoriza-se a margem bruta pelo valor dos encargos variáveis utilizados em cada uma das atividades vegetais: sementes, adubos, aluguer de máquinas, entre outros específicos das atividades vegetais.

Com o objetivo de maximizar a margem bruta, obteve-se finalmente a expressão analítica (1) em euro.

$$\begin{aligned} \text{Max MB} = & -17,92 X_1 - 50,98 X_2 - 68,385X_3 - 65,986X_4 - 53,9049X_5 - \\ & - 69,582X_6 - 70,181X_7 - 55,486X_8 - 55,486X_9 - 10,794X_{10} - 10,794X_{11} - 35,09X_{12} - \\ & - 35,09X_{13} - 0,23693X_{14} + 1166,189 X_{15} \quad (\text{€}) \end{aligned} \quad (1)$$

A área total de pastagem da exploração agrícola está dividida em alta, superior a 800 metros, média, de 300 a 800 metros, e baixa, inferior a 300

metros. Os valores utilizados foram adaptados do DREPA (2010) e são: 49,8% para pastagem de baixa altitude, 45% para pastagem de média altitude e 5,2% para pastagem de alta altitude.

Considerou-se que as áreas das culturas existentes nas superfícies: alta, média e baixa terão de ser inferiores ou iguais, às áreas disponíveis em alta (S_A), média (S_M) e baixa altitude (S_B), em hectares, respetivamente. Tal resultou nas três restrições da equação (2)

$$\begin{aligned} X_1 &\leq S_A \text{ (ha)} \\ X_2 + X_3 + X_4 + 1/2X_8 + 1/4 (X_{10} + X_{12}) &\leq S_M \text{ (ha)} \\ X_5 + X_6 + X_7 + 1/2X_9 + 1/4 (X_{11} + X_{13}) &\leq S_B \text{ (ha)} \end{aligned} \quad (2)$$

Finalmente a área ocupada por todas as atividades terá de ser inferior à área total da exploração (S_T), obtendo-se a expressão analítica (3).

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + 1/4 (X_8 + X_9) + 1/8 (X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13}) \leq S_T \text{ (ha)}. \quad (3)$$

Na sequência da restrição anterior as superfícies de alta, média e de baixa altitude teriam que ser igualmente inferiores à área total da exploração (S_T) (em hectares).

$$S_A + S_M + S_B \leq S_T \text{ (ha)} \quad (4)$$

A restrição seguinte refere-se à renovação da pastagem de média e baixa altitude (em hectares). Considera-se que esta se efetua em cinco anos e que todos os anos se renovam 20% da área total da exploração. A renovação da pastagem é feita à base de milho para silagem e de “outonos” regionais e melhorados.

$$X_8 + X_9 \leq 0,2 (S_M + S_B) \text{ (ha)} \quad (5)$$

A renovação da pastagem faz-se com milho, a que sucede o “Outono” regional ou melhorado. A área de “Outono” tem que ser sempre igual à do milho que só se faz em altitude média ou baixa. O milho fica no solo cerca de 5 a 6 meses e os “Outonos” a restante parte do ano. Deste modo obtêm-se mais duas restrições indicando que as áreas cultivadas (em hectares) pelos “Outono” regional e melhorado têm de ser iguais ou superiores às áreas do milho, uma vez que o milho precede os “Outonos”.

$$X_{10} + X_{12} \leq X_8 \text{ (ha)}$$

$$X_{11} + X_{13} \leq X_9 \text{ (ha)} \tag{6}$$

Quanto à sazonalidade da Mão-de-Obra disponível por Período (MOP) consideraram-se os períodos: I - Janeiro e Fevereiro; II – Março e Abril; III – Maio e Junho; IV – Julho e Agosto; V – Setembro e Outubro; e VI – Novembro e Dezembro. Neste conjunto de restrições incluiu-se a possibilidade de utilizar mão-de-obra (horas/período/hectare) a mais (p) ou a menos (n) do que a disponível, considerando como nível de aspiração a quantidade de mão-de-obra média disponível para cada um dos seis períodos. Por exemplo, teríamos uma disponibilidade por período de 600 horas, resultante do trabalho anual de 1 trabalhador (2 400 horas) e família (1 200 horas) distribuído pelos 6 períodos, a que se acrescenta um aumento de esforço por período de 60 horas. Obtém-se, assim, um tempo (T) de 660 horas, que pode ser ou não totalmente utilizado. As 60 horas correspondem a um incremento do esforço de 10% da mão-de-obra por dia, que corresponde a cerca de 12 minutos diários. O tempo de trabalho utilizado na distribuição da ração foi incluído no tempo despendido nas vacas, por ser difícil atribuir um tempo a esta operação.

$$\text{MOPI} \rightarrow 0,72X_2 + 0,63X_3 + X_4 + 0,72X_5 + 0,63X_6 + X_7 + 14,13X_{15} + n_{eI} - p_{eI} = 660 \text{ (horas/ano)}$$

$$\text{MOPII} \rightarrow 4,09X_1 + 3,21X_2 + 3,14X_3 + 3,88X_4 + 2,21X_5 + 3,14X_6 + 3,88X_7 + 2,53X_{12} + 2,53X_{13} + 14,13X_{15} + n_{eII} - p_{eII} = 660 \text{ (horas/ano)}$$

$$\text{MOPIII} \rightarrow 2,49X_2 + 6,5X_3 + 6,62X_4 + 2,49X_5 + 6,83X_6 + 6,62X_7 + 2,5X_8 + 2,5X_9 + 14,13X_{15} + n_{eIII} - p_{eIII} = 660 \text{ (horas/ano)}$$

MOPIV --> $3,99 X_3 + 2,74X_4 + 3,99X_6 + 2,74X_7 + 14,13X_{15} + n_{eIV} - p_{eIV} = 660$
(horas/ano)

MOPV --> $1,5X_1 + 2,49X_2 + 2,51X_3 + 5,38X_4 + 2,49X_5 + 2,51X_6 + 5,38X_7 + 28,06X_8 + 28,06X_9 + 7,91X_{10} + 7,91X_{11} + 5,95X_{12} + 5,95X_{13} + 14,13X_{15} + n_{eV} - p_{eV} = 660$ (horas/ano)

MOPVI --> $14,13X_{14} + n_{eVI} - p_{eVI} = 660$ (horas/ano) (7)

Para se medir o risco associado à atividade agrícola, utilizou-se o método MOTAD (*Minimization of Total Absolute Deviation*), definido por Hazell e descrito em Carvalho (1999). Esta medida engloba um conjunto de sete restrições que se referem à variabilidade de rendimento (desvio da margem bruta da atividade – MB – em relação à média da margem bruta da atividade), em que N_j é o desvio negativo em relação à média para o ano j , e o P_j é o desvio positivo. O período utilizado na medição do risco foi de 1990 a 1996 e foi elaborado a partir dos dados da RICA-A a preços constantes de 1990.

$$MOTAD = \sum_{i=1}^{15} MB_{ij} X_i - \overline{MBX} + N_j - P_j = 0 \text{ para } j = 1...7$$

MOTAD 96 --> $-0,005 X_1 - 0,014X_2 - 0,019X_3 - 0,018X_4 - 0,015X_5 - 0,019X_6 - 0,019X_7 - 0,015X_8 - 0,015X_9 - 0,003X_{10} - 0,003X_{11} - 0,010X_{12} - 0,0110X_{13} + 0,001 X_{14} - 28,086X_{15} + N_1 - P_1 = 0$

MOTAD 95 --> $0,414 X_1 + 1,174X_2 + 1,575X_3 + 1,520X_4 + 1,243X_5 - 1,603X_6 + 1,616X_7 + 1,278X_8 + 1,278X_9 + 0,249X_{10} + 0,249X_{11} - 0,808X_{12} + 0,808X_{13} + 0,002X_{14} + 19,614X_{15} + N_2 - P_2 = 0$

MOTAD 94 --> $-0,192 X_1 - 0,545X_2 - 0,731X_3 - 0,705X_4 - 0,577X_5 - 0,744X_6 - 0,750X_7 - 0,593X_8 - 0,593X_9 - 0,115X_{10} - 0,115X_{11} - 0,375X_{12} - 0,375X_{13} + 0,002 X_{14} - 11,814X_{15} + N_3 - P_3 = 0$

MOTAD 93 --> $0,183 X_1 + 0,518X_2 + 0,695X_3 + 0,671X_4 + 0,549X_5 - 0,708X_6 + 0,714X_7 + 0,564X_8 - 0,564X_9 + 0,110X_{10} + 0,110X_{11} + 0,357X_{12} + 0,357X_{13} - 0,002X_{14} + 10,114X_{15} + N_4 - P_4 = 0$

$$\text{MOTAD 92} \rightarrow 0,247 X_1 + 0,699X_2 + 0,938X_3 + 0,905X_4 + 0,741X_5 + 0,955X_6 + 0,963X_7 + 0,761X_8 + 0,761X_9 + 0,148X_{10} + 0,148X_{11} + 0,481X_{12} + 0,481X_{13} + 0,003X_{14} + 29,314X_{15} + N_5 - P_5 = 0$$

$$\text{MOTAD 91} \rightarrow -0,086 X_1 - 0,242X_2 - 0,325X_3 - 0,314X_4 - 0,257X_5 - 0,331X_6 - 0,334X_7 - 0,264X_8 - 0,264X_9 - 0,051X_{10} - 0,051X_{11} - 0,167X_{12} - 0,167X_{13} - 0,003 X_{14} - 17,086X_{15} + N_6 - P_6 = 0$$

$$\text{MOTAD 90} \rightarrow -0,562 X_1 - 1,591X_2 - 2,134X_3 - 2,059X_4 - 1,685X_5 - 2,171X_6 - 2,190X_7 - 1,731X_8 - 1,731X_9 - 0,337X_{10} - 0,337X_{11} - 1,095X_{12} - 1,095X_{13} - 0,004X_{14} - 25,686X_{15} + N_7 - P_7 = 0 \quad (8)$$

Foram efetuados testes em que ao minimizar o risco agrícola se obtinha uma solução trivial. Assim, houve a necessidade de atribuir um rendimento mínimo anual, que neste caso foi de 15 497,65 €. Este valor é cerca do dobro do salário mínimo nacional em vigor, o que foi considerado um valor aceitável para remunerar a mão-de-obra familiar e ainda atribuir uma remuneração adicional aos fatores de produção próprios (terra própria que poderia ter um custo de oportunidade no mercado).

No que se refere às necessidades alimentares dos animais da exploração obtiveram-se seis restrições para cada conjunto. Considerou-se que as necessidades de energia (UFL), gramas de proteína (PDIE e PDIN), cálcio (CA) e fósforo (P) disponíveis nos alimentos têm de ser suficientes para cobrir as necessidades dos animais, em cada ano, nestes mesmos nutrientes (unidades: grama/nutriente/animal/ano). Os coeficientes técnicos relativos à alimentação animal tiveram em conta os pressupostos descritos na subsecção anterior e em dados do INRA (1988).

Os componentes dos alimentos que se utilizaram foram:

1. As unidades forrageiras de leite (UFL):

$$\text{UFLPI} \rightarrow 372 X_2 + 439 X_3 + 366 X_4 + 855X_5 + 951 X_6 + 790X_7 + 2 338 X_{10} + 2 338X_{11} + 3 465X_{12} + 3 465X_{13} + 187,5X_{14} \geq 953X_{15}$$

$$\text{UFLPII} \rightarrow 1 232 X_1 + 2 470 X_2 + 2 914 X_3 + 2 434 X_4 + 3 059X_5 + 3 407 X_6 + 2 827X_7 + 2 337 X_{10} + 2 337X_{11} + 3 465X_{12} + 3 465X_{13} + 187,5X_{14} \geq 953X_{15}$$

$$\text{UFLPIII} \rightarrow 1\,232 X_1 + 5\,785 X_2 + 6\,823 X_3 + 5\,701 X_4 + 4\,527 X_5 + 5\,042 X_6 + 4\,183 X_7 + 187,5 X_{14} \geq 953 X_{15}$$

$$\text{UFLPIV} \rightarrow 1\,232 X_1 + 2\,178 X_2 + 2\,569 X_3 + 2\,147 X_4 + 377 X_5 + 5\,042 X_6 + 4\,183 X_7 + 187,5 X_{14} \geq 953 X_{15}$$

$$\text{UFLPV} \rightarrow 462 X_1 + 131 X_2 + 1\,556 X_3 + 1\,302 X_4 + 2\,345 X_5 + 2\,613 X_6 + 2\,167 X_7 + 4\,050 X_8 + 4\,050 X_9 + 187,5 X_{14} \geq 953 X_{15}$$

$$\text{UFLPVI} \rightarrow 462 X_1 + 357 X_2 + 419 X_3 + 350 X_4 + 957 X_5 + 1\,067 X_6 + 885 X_7 + 4\,050 X_8 + 4\,050 X_9 + 187,5 X_{14} \geq 953 X_{15} \quad (9)$$

2. As proteínas digestivas no intestino com energia e azoto limitante (PDIE e PDIN):

$$\text{PDIEI} \rightarrow 37\,948 X_2 + 31\,005 X_3 + 39\,783 X_4 + 87\,984 X_5 + 66\,591 X_6 + 83\,895 X_7 + 223\,750 X_{10} + 223\,750 X_{11} + 353\,500 X_{12} + 353\,500 X_{13} + 15\,450 X_{14} \geq 99\,298,6 X_{15} \text{ (g/ano)}$$

$$\text{PDIEII} \rightarrow 123\,200 X_1 + 251\,750 X_2 + 205\,855 X_3 + 264\,241 X_4 + 315\,016 X_5 + 238\,518 X_6 + 300\,390 X_7 + 223\,750 X_{10} + 223\,750 X_{11} + 353\,500 X_{12} + 353\,500 X_{13} + 15\,450 X_{14} \geq 99\,298,6 X_{15} \text{ (g/ano)}$$

$$\text{PDIEIII} \rightarrow 123\,200 X_1 + 589\,572 X_2 + 482\,040 X_3 + 618\,728 X_4 + 466\,128 X_5 + 352\,926 X_6 + 444\,465 X_7 + 15\,450 X_{14} \geq 99\,298,6 X_{15} \text{ (g/ano)}$$

$$\text{PDIEIV} \rightarrow 123\,200 X_1 + 221\,964 X_2 + 181\,480 X_3 + 233\,002 X_4 + 38\,792 X_5 + 29\,421 X_6 + 36\,975 X_7 + 15\,450 X_{14} \geq 99\,298,6 X_{15} \text{ (g/ano)}$$

$$\text{PDIEV} \rightarrow 46\,200 X_1 + 134\,408 X_2 + 109\,915 X_3 + 141\,421 X_4 + 241\,488 X_5 + 182\,889 X_6 + 230\,265 X_7 + 288\,000 X_8 + 288\,000 X_9 + 15\,450 X_{14} \geq 99\,298,6 X_{15} \text{ (g/ano)}$$

$$\text{PDIEVI} \rightarrow 46\,200 X_1 + 36\,358 X_2 + 29\,640 X_3 + 38\,092 X_4 + 98\,592 X_5 + 74\,655 X_6 + 94\,010 X_7 + 288\,000 X_8 + 288\,000 X_9 + 15\,450 X_{14} \geq 99\,298,6 X_{15} \text{ (g/ano)}$$

$$\text{PDIN I} \rightarrow 47.256 X_2 + 40.545 X_3 + 39.336 X_4 + 114.210 X_5 + 82.446 X_6 + 77.973 X_7 + 230.000 X_{10} + 230.000 X_{11} + 353.500 X_{12} + 353.500 X_{13} + 24.450 X_{14} \geq 99.298,6 X_{15} \text{ (g/ano)}$$

$$\text{PDIN II} \rightarrow 118.400 X_1 + 313.896 X_2 + 269.195 X_3 + 261.272 X_4 + 408.915 X_5 + 295.308 X_6 + 279.186 X_7 + 230.000 X_{10} + 230.000 X_{11} + 416.500 X_{12} + 416.500 X_{13} + 24.450 X_{14} \geq 99.298,6 X_{15} \text{ (g/ano)}$$

PDIN III --> $118.400X_1 + 734.184X_2 + 630.360X_3 + 611.776X_4 + 605.070X_5 + 436.956X_6 + 413.091X_7 + 24.450X_{14} \geq 99.298,6X_{15}$ (g/ano)

PDIN IV --> $118.400X_1 + 276.408X_2 + 237.320X_3 + 230.384X_4 + 50.355X_5 + 36.426X_6 + 34.365X_7 + 24.450X_{14} \geq 99.298,6X_{15}$ (g/ano)

PDIN V --> $44.400X_1 + 167.376X_2 + 143.735X_3 + 139.832X_4 + 313.470X_5 + 226.434X_6 + 214.011X_7 + 238.500X_8 + 238.500X_9 + 24.450X_{14} \geq 99.298,6X_{15}$ (g/ano)

PDIN VI --> $44.400X_1 + 45.276X_2 + 38.760X_3 + 37.664X_4 + 127.980X_5 + 92.430X_6 + 87.374X_7 + 238.500X_8 + 238.500X_9 + 24.450X_{14} \geq 99.298,6X_{15}$ (g/ano).

(10)

3. O cálcio (CA):

CAI --> $2\ 900X_2 + 3\ 600X_3 + 3\ 400X_4 + 6\ 400X_5 + 6\ 900X_6 + 6\ 400X_7 + 22\ 500X_{10} + 22\ 500X_{11} + 22\ 800X_{12} + 22\ 800X_{13} + 500X_{14} \geq 7\ 547X_{15}$

CAII --> $12\ 000X_1 + 19\ 000X_2 + 23\ 800X_3 + 22\ 300X_4 + 22\ 700X_5 + 24\ 600X_6 + 23\ 000X_7 + 22\ 500X_{10} + 22\ 500X_{11} + 22\ 700X_{12} + 22\ 700X_{13} + 500X_{14} \geq 7547X_{15}$

CAIII --> $12\ 000X_1 + 44\ 500X_2 + 55\ 600X_3 + 52\ 100X_4 + 33\ 600X_5 + 36\ 400X_6 + 34\ 000X_7 + 500X_{14} \geq 7547X_{15}$

CAIV --> $12\ 000X_1 + 16\ 800X_2 + 20\ 900X_3 + 19\ 600X_4 + 2\ 800X_5 + 3\ 000X_6 + 2\ 800X_7 + 500X_{14} \geq 7\ 547X_{15}$

CAV --> $4\ 500X_1 + 10\ 100X_2 + 12\ 700X_3 + 11\ 900X_4 + 17\ 400X_5 + 18\ 900X_6 + 17\ 600X_7 + 13\ 500X_8 + 13\ 500X_9 + 500X_{14} \geq 7\ 547X_{15}$

CAVI --> $4\ 500X_1 + 2\ 700X_2 + 3\ 400X_3 + 3\ 200X_4 + 7\ 100X_5 + 7\ 700X_6 + 7\ 200X_7 + 13\ 500X_8 + 13\ 500X_9 + 500X_{14} \geq 7\ 547X_{15}$

(11)

4. O fósforo (P):

PI --> $1\ 800X_2 + 1\ 900X_3 + 1\ 800X_4 + 3\ 800X_5 + 3\ 700X_6 + 6\ 400X_7 + 10\ 000X_{10} + 10\ 000X_{11} + 17\ 500X_{12} + 17\ 500X_{13} + 470X_{14} \geq 4\ 271,5X_{15}$

PII --> $4\ 800X_1 + 11\ 900X_2 + 12\ 700X_3 + 11\ 800X_4 + 13\ 600X_5 + 13\ 300X_6 + 23\ 000X_7 + 10\ 000X_{10} + 10\ 000X_{11} + 17\ 500X_{12} + 17\ 500X_{13} + 470X_{14} \geq 4\ 271,5X_{15}$

$$\text{PIII} \rightarrow 4\ 800X_1 + 27\ 800X_2 + 29\ 600X_3 + 27\ 800X_4 + 20\ 200X_5 + 19\ 600X_6 + 34\ 000X_7 + 470X_{14} \geq 4\ 271,5X_{15}$$

$$\text{PIV} \rightarrow 4\ 800X_1 + 10\ 500X_2 + 11\ 200X_3 + 10\ 500X_4 + 1\ 700X_5 + 1\ 600X_6 + 2\ 800X_7 + 470X_{14} \geq 4\ 271,5X_{15}$$

$$\text{PV} \rightarrow 1800X_1 + 6300X_2 + 6800X_3 + 6400X_4 + 10400X_5 + 10200X_6 + 17600X_7 + 9000X_8 + 9000X_9 + 470X_{14} \geq 4\ 271,5X_{15}$$

$$\text{PVI} \rightarrow 1800X_1 + 1700X_2 + 1800X_3 + 1700X_4 + 4300X_5 + 4100X_6 + 7200X_7 + 9000X_8 + 9000X_9 + 470X_{14} \geq 4\ 271,5X_{15} \quad (12)$$

Finalmente há que considerar a ingestão de matéria seca (MS), em grama de matéria seca/ano, pelos animais. Assim, a matéria seca proporcionada pelos alimentos, em verde e ração tem de ser inferior à capacidade de ingestão dos animais.

$$- 6000 X_1 - 12000 X_2 - 16000X_3 - 15000X_4 - 12000X_5 - 15000X_6 - 14000X_7 - 9000X_8 - 9000X_9 - 5000X_{10} - 5000X_{11} - 7000X_{12} - 7000X_{13} - 900X_{14} < 7466 \quad (\text{g/ano}) \quad (13)$$

Também se considerou que os animais comiam 1,5 Kg de ração por dia, o que ao ano corresponde a 547,7 quilogramas de ração (Kg de ração/ano/animal):

$$X_{14} - 547,7X_{15} = 0 \quad (14)$$

Considerou-se, como já referido, o encabeçamento superior a 2,4 cabeças normais por hectare. Houve, no entanto, a necessidade de limitar o número a 3,4 cabeças normais, de modo a que o sistema de produção não se afastasse do que é corrente na região, isto é, alimentar o gado principalmente à base de erva.

$$2,4 \sum_{i=1}^{13} X_i \leq X_{15} \leq 3,4 \sum_{i=1}^{13} X_i \quad (15)$$

Finalmente o último conjunto de restrições corresponde a um conjunto de restrições de não negatividade, que evita que as variáveis de decisão alcancem valores negativos.

O modelo analítico genérico é o indicado nas equações (16), na página seguinte.

4. Resultados do Modelo

Este modelo foi otimizado usando as ferramentas fornecidas pela *Solver Foundation* (Solver Foundation, 2012). Nomeadamente utilizou-se o MS Excel como interface, tendo sido o modelo programado em OML - *Optimization Modeling Language* e resolvido pelo algoritmo de otimização (*solver*) incluído no pacote. Os valores ótimos obtidos são descritos nas linhas seguintes.

A margem bruta ronda os 55 721 €/ano e as atividades que proporcionam este rendimento são primeiro 48,6 animais produtores de leite (X_{15}); que se alimentariam à base de pastagem média com pastoreio direto (X_2) que ocuparia 7 hectares de terra agrícola; à base de pastagem alta com pastoreio direto (X_1) ocupando 0,8 hectares de superfície; à base de pastagem baixa com pastoreio direto e silagem de erva (X_6) e que ocuparia 7,7 hectares de terra agrícola. Esta alimentação em verde seria complementada com 3 877 quilogramas de ração (X_{14}).

Este valor parece elevado, mas é necessário ter em conta que os resultados apresentados flexibilizam as restrições de mão-de-obra, o que majora o valor real alcançado. A flexibilização resulta de um acréscimo de 10% proposto (60 horas) relativo a mão-de-obra familiar. Este acréscimo de horas possibilitou um acréscimo ligeiro da produção, uma vez que a mão-de-obra era limitante. Note-se ainda que a flexibilização resulta também de se ter utilizado variáveis de desvio positivas e negativas permitindo que as 660 horas por período sejam superadas ou não sejam alcançadas. Além disso, são valores para uma família e não para um indivíduo, ainda que se admita que a família possa ter outros rendimentos.

$$\max MB = \max \sum_{i=1}^{15} X_i MB_i$$

s.a.:

$$X_1 \leq S_A$$

$$X_2 + X_3 + X_4 + \frac{1}{2}X_8 + \frac{1}{4}(X_{10} + X_{12}) \leq S_M$$

$$X_5 + X_6 + X_7 + \frac{1}{2}X_9 + \frac{1}{4}(X_{11} + X_{13}) \leq S_D$$

$$S_A + S_M + S_D \leq S_T$$

$$X_8 + X_9 \leq 0,2(S_M + S_D)$$

$$X_{10} + X_{11} \leq X_8$$

$$X_{11} + X_{13} \leq X_9$$

$$\sum_{i=1}^{15} MO_j X_i + n_j - p_j = \overline{MO_{d_j}} \text{ com } j=1,\dots,6$$

$$\sum_{i=1}^{15} (MB_{ik} X_i - \overline{MB_{ik}}) + N_k - P_k = 0 \text{ com } k=1,\dots,7$$

$$\sum_{i=1}^{15} MB_i X_i \geq 15\,498$$

$$\sum_{i=1}^{14} UFL_{ij} MS_{ij} X_i \geq UFL_{15j} X_{15} \text{ com } j=1,\dots,6$$

$$\sum_{i=1}^{14} PDIE_{ij} MS_{ij} X_i \geq PDIE_{15j} X_{15} \text{ com } j=1,\dots,6$$

$$\sum_{i=1}^{14} PDIN_{ij} MS_{ij} X_i \geq PDIN_{15j} X_{15} \text{ com } j=1,\dots,6$$

$$\sum_{i=1}^{14} CA_{ij} MS_{ij} X_i \geq CA_{15j} X_{15} \text{ com } j=1,\dots,6$$

$$\sum_{i=1}^{14} P_{ij} MS_{ij} X_i \geq P_{15j} X_{15} \text{ com } j=1,\dots,6$$

$$\sum_{i=1}^{14} MS_i X_i \geq MS_{15} X_{15} \text{ com } j=1,\dots,6$$

$$X_{14} - 547,7X_{15} = 0$$

$$X_{15} - 3,4 \sum_{i=1}^{13} X_i \leq 0$$

$$X_{15} - 2,4 \sum_{i=1}^{13} X_i \geq 0$$

$$X_i \geq 0 \text{ com } i=1,2,\dots,15$$

(16)

A mão-de-obra é um fator condicionante da produção leiteira em qualquer período considerado. Ou seja, para rebanhos com cerca de 48 animais, as 660 horas disponíveis serão integralmente usadas, e ainda teriam de recorrer à mão-de-obra familiar (variáveis de desvio positivas) em todos os períodos: MPOI, MPOII, III, IV, V, VI, sendo respetivamente em horas, 37; 135; 63; 26,4; 71,8 e 26,4. Sendo assim, no primeiro período necessitaria no total de 697 horas em mão-de-obra: as 660 horas disponíveis, mais as 37 horas proporcionadas pelo maior esforço do trabalho familiar. Os períodos mais críticos seriam o II (de Março a Abril) em que seriam necessárias 135 horas adicionais às 660 disponibilizadas e que totalizariam 795 horas e o V (Setembro e Outubro), que necessitaria de 731,8 horas.

No que refere à variabilidade do rendimento agrícola, estimada pelo MOTAD (ou risco agrícola medido pelos desvios à margem bruta da exploração) verifica-se que os períodos 1996, 1991 e 1990, não se alcançam os valores médios da margem bruta, ou seja, obtêm-se desvios negativos de 1 363, 828, e 1 225 € respetivamente. De um modo geral, nos restantes períodos, o rendimento é superior à média.

No que se refere ao uso da terra, toda a terra disponível (15,5 hectares) é utilizada para pastagem (alta, média e baixa altitude) e silagem de erva no caso da pastagem em baixa altitude.

As necessidades em unidades forrageiras de leite, em proteínas digestivas no intestino com energia e azoto limitante (PDIE e PDIN), em cálcio e fósforo são asseguradas pelos alimentos disponibilizados (pastagem, silagem de erva e ração) na quase totalidade dos períodos. Apenas no período I é completamente usado o valor do cálcio disponibilizado pelos alimentos considerados. A matéria seca proporcionada pelos alimentos em verde (pastagem e silagem de erva) e ração surge como inferior à capacidade de ingestão dos alimentos.

5. Conclusões do Modelo

O rendimento mensal obtido nas explorações leiteiras, considerando um ano de catorze meses, em regime intensivo, é de cerca de 3 980 €. Assim, a solução ótima obtida pelo modelo é um valor superior ao verificado, em média, nos Açores em 2007, 2 197 € (Silva, 2012), sendo opinião dos especialistas e

decisores que este resultado indica que há espaço para melhoria do rendimento das explorações agrícolas na RAA. De lembrar que o rendimento é majorado pelo aumento parcial da mão-de-obra agrícola familiar que em todos os períodos excede o tempo disponível (660 horas).

No entanto, este rendimento médio por vaca de 1 146,5 €, é alcançado com um encabeçamento médio de 3,13 animais por hectare, valor superior ao pretendido pela política agroambiental da União Europeia. Estas orientações de política europeia têm incentivado a extensificação dos sistemas de produção, ou seja, encabeçamentos inferiores a 1,4. Conclui-se, assim, que se a União Europeia quer optar por este tipo de encabeçamentos, certamente mais apelativos a nível de impacto ambiental, poderá ter de compensar os agricultores pela perda de rendimento correspondente se pretender a sustentabilidade das explorações agrícolas nos Açores.

Nota-se igualmente dos resultados que a sustentabilidade e/ou viabilidade económica e financeira das explorações só é possível devido à existência dos subsídios auferidos quer pela União Europeia quer pelo Governo Regional dos Açores. Estes são parte integrante do rendimento e não algo atribuído a título de prémio ou um qualquer extra.

A superfície agrícola é integralmente utilizada, bem como, a mão-de-obra disponível, indicando mais uma vez que se consideram as atividades agrícolas rentáveis, nas condições e com os pressupostos incluídos no modelo. Estes valores confirmam as opiniões de especialistas de que mesmo as pastagens de mais elevada altitude, menos produtivas, podem ser rentáveis nas condições consideradas.

Estes rendimentos também exigem um esforço de mão-de-obra superior às 330 horas mensais consideradas pelos decisores. Assim, seria necessário recorrer a um maior esforço da mão-de-obra familiar, em qualquer dos seis períodos considerados.

As necessidades em unidades forrageiras de leite, em proteínas digestivas no intestino com energia e azoto limitante (PDIE e PDIN), em cálcio e fósforo são asseguradas pelos alimentos disponibilizados (pastagem, silagem de erva e ração) na quase totalidade dos períodos. Apenas no período I é completamente usado o valor do cálcio disponibilizado pelos alimentos considerados. A

ingestão da matéria seca não é um fator limitante ao contrário do que era esperado pelos especialistas.

A variabilidade do rendimento agrícola, estimada pelo MOTAD, nos sete períodos considerados, não é muito relevante, variando apenas em percentagens relativamente reduzidas.

As fontes de informação agrícola utilizadas (RICA-A, INRA e SREA) embora nos tenham proporcionado os elementos principais para a elaboração deste trabalho, foram, de uma forma geral, insuficientes para a informação necessária à construção do modelo, tendo de se recorrer a adaptações à realidade açoriana.

Um dos resultados mais relevantes deste trabalho é o reconhecimento de que as autoridades terão de investir em bases de dados ajustadas à realidade açoriana, de onde se possa obter informação técnica e económica relativa às atividades existentes na exploração pecuária, e ainda, relativa à constituição dos alimentos produzidos e utilizados nas explorações pecuárias dos Açores.

A conclusão mais relevante é, no entanto, a inferência de que se houver uma política agroambiental mais agressiva por parte da União Europeia e que obrigue à diminuição do encabeçamento, o rendimento das explorações leiteiras em regime intensivo baixará muito, o que poderá pôr em questão a sustentabilidade de algumas explorações.

De um modo global, pode dizer-se que o conhecimento do processo de decisão dos agricultores açorianos é escasso. Há que desenvolver investigação nesta área, procurar informação complementar à existente na Região, analisá-la de forma a permitir o desenvolvimento do sector leiteiro e em última instância, contribuir para o desenvolvimento económico e agrícola dos Açores.

Outras técnicas de IO que poderão ser utilizadas em estudos semelhantes podem passar por técnicas mais descritivas ou prescritivas como é o caso da simulação combinada com metodologias de estruturação de problemas como os mapas cognitivos. Um outro resultado desse interesse será o estudo sobre eficiência de explorações agrícolas usando DEA e SFA.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos profissionais da Secretaria Regional da Agricultura e Florestas da Região Autónoma dos Açores que disponibilizaram os dados e o seu conhecimento e tempo na validação do modelo e discussão de resultados. Os autores agradecem ainda aos dois revisores que ao fazerem uma revisão de grande qualidade permitiram a melhoria significativa do trabalho apresentado.

BIBLIOGRAFIA

AVILLETZ, F., *Estudo de base microeconómica sobre as perspectivas de desenvolvimento da agricultura dos Açores*, ISA, 1991.

BARROS, H. e F. Estácio. *Economia da Empresa Agrícola*, Universidade de Luanda, 1972.

BERBEL, J. e M. Barros, "Planificación Multicritério de Empresas Agroganaderas con Bovino de Leche de Islas Azores (Portugal)", *Invest.agr.:Econ.*, 8 (2), 1993: 197-208.

ROMERO, C. e T. Rehman, Multiple Criteria Analysis for Agricultural Decisions, *Development in Agricultural Economics*, 5, Elsevier, Amsterdam, 1989.

CARVALHO, M.L.S., *Efeitos da Variabilidade das Produções Vegetais na Produção Pecuária, aplicação em explorações Agro-pecuárias do Alentejo: Situações Actual e Decorrentes da Nova PAC*, 1º prémio, III Edição do Prémio de Estudos de Economia Agrícola e Agro-Alimentar, APDEA, Associação Portuguesa de Economia Agrária, Lisboa, 1999.

DREPA, Direcção Regional de Estudos e Planeamento, (<http://www.drepa.raa.pt>, consultado em 19 de Maio de 2010).

HERRERO, M., R.H. Fawcet, J.B. Dent "Bio-economic evaluation of dairy farm management scenarios using integrated simulation and multiple-criteria models" *Agricultural Systems* 62 (1999) 169-1888.

INE. 2001. Instituto Nacional de Estatística. Estatísticas Agrícolas 2000. (<http://www.ine.pt/>, consultado em 17 de Janeiro de 2013).

INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), *Alimentation des bovins, ovins et caprins*, R. Jarrige ed., Paris, 1988.

MARTA-COSTA, A. *A tomada de decisão no planeamento da Exploração Agrária no contexto da sustentabilidade: o caso da produção de carne bovina maronesa*. Tese de doutoramento. Universidade de Trás-os-Montes e Alto-Douro, 2008.

MATOS, J., *A Pecuária Açoriana. Uma perspectiva à luz de novos critérios e desafios*, Lição proferida no âmbito das Provas de Agregação, Departamento de Ciências Agrárias, Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo, 1997.

MOURITS, M.C.M., D.T. Galligan, A.A. Dijkhuizen, R.B.M. Huime "Optimization of Dairy Heifer Management: Decisions based on Production Condition of Pennsylvania", *J Dairy Sci* 83:1989-1997, 2000.

OLIVEIRA, C.; Mendes, A. e E. Silva. . *Quotas leiteiras: Aplicação do método Delphi*. In Silva, Emiliana et al. (Eds.) *Proceedings do congresso da APDEA e Gestão e Conservação da Natureza*. Univ. dos Açores: Ponta Delgada. (2010) p. 15-17.

POETA, A. M.S. *A Tomada de Decisão no Planeamento da Exploração Agrícola num Contexto de Objectivos Múltiplos*, Dissertação de doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 1994.

RAMALHETE, M., J. Guerreiro e A. Magalhães. *Programação Linear*, vol. I, Mc-Graw – Hill, 1984.

RAMSDEN, S., J. Gibbons, P. Wilson "Impacts of changing relative prices on farm level dairy production in the UK" *Agricultural Systems* 62 (1999) 201- 215.

SILVA, E., *Análisis Multicriterio de la Eficiencia Económica de las Explotaciones Agroganaderas de las Azores (Portugal)*, Tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes, Universidad de Córdoba, 2001.

SILVA, E. *Os objectivos dos Agricultores dos Açores: uma abordagem multicritério*, DRCT e DRDA. ISBN 978-989-0422-8, 2006.

SILVA, E.; J. Berbel. "An Azorean Farms Typology", *New Medit*, vol.VI. nº1. pg. 51-54. 2007.

SILVA, E. "The agriculture of an ultraperipheral region of European Union: the Azores archipelago". Review on agriculture and rural development. *Scientific Journal of the University of Szeged, Faculty of Agriculture*, vol.1 (1), 2012: 20-25.

SOLVER Foundation (<http://msdn.microsoft.com/en-us/devlabs/hh145003>, consultado em 8 de Dezembro de 2011).

SREA - Secretaria Regional de Estatística dos Açores, Censos 2001, Publicações não Periódicas, Serviço Regional de Estatística dos Açores. (<http://srea.ine.pt>, consultado em 14 de Fevereiro de 2010).

SREA, *Açores em números*. Serviço Regional de Estatística dos Açores (SREA). Região Autónoma dos Açores. 2009.

TAUER, L.W., "Do New York Dairy Farmers Maximize profits or Minimize Cost?" *American Journal Agricultural economics*, 1995: 421-429.

TOZER, P.R. e J.R. Stokes "A multi objective programming approach to feed ration balancing and nutrient management" *Agricultural systems* 67 (2001) 201-215.