

INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL EM AÇÃO

CASOS DE APLICAÇÃO

RUI CARVALHO OLIVEIRA
JOSÉ SOEIRO FERREIRA
(EDITORES)

IMPRESA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA
COIMBRA UNIVERSITY PRESS

CASO 2

PLANEAMENTO DE EXPLORAÇÕES AGROPECUÁRIAS SUSTENTÁVEIS: UMA ABORDAGEM MULTICRITÉRIO

Ana Alexandra Marta-Costa

Departamento de Economia, Sociologia e Gestão da
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD)
Centro de Estudos Transdisciplinares para o Desenvolvimento (CETRAD)
amarta@utad.pt

Armando B. Mendes

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

RESUMO

O texto apresenta um modelo para o planeamento de explorações agropecuárias sustentáveis em áreas de Montanha, nomeadamente para as serras do Marão-Alvão-Padrela e para a serra de Montemuro, áreas de exploração das raças bovinas autóctones Maronesa e Arouquesa, respetivamente.

Dado o carácter multidimensional da sustentabilidade, como resultado da complementaridade e interação entre as dimensões económica, social e ambiental, o planeamento de explorações agropecuárias sustentáveis é realizado tendo por base a programação multiobjetivo (método NISE - *NonInferior Set Estimation Method*), complementado com a programação de compromisso. São considerados dois objetivos para a formulação matemática do modelo. Um objetivo económico – o Valor Acrescentado Bruto (VAB) – a maximizar, e o segundo objetivo é de âmbito ambiental – os custos energéticos – a minimizar. São ainda apresentadas variações do modelo atendendo aos diferentes cenários possíveis de incorporação ou não de subsídios à atividade corrente da exploração.

O modelo é instanciado com parâmetros obtidos por recolha direta e por recurso a fontes estatísticas. Apesar do carácter aberto das soluções encontradas, constata-se que a atividade leite está sempre presente quando se pretende aumentar o VAB. Também é certo que a atividade carne está sempre presente quando a tendência for para o menor custo energético. As atividades bovinas selecionadas induzem à conclusão de que, face aos recursos disponíveis, as áreas mais agrestes e menos produtivas, como os baldios, devem ser aproveitadas pelas raças rústicas (Maronesa e Arouquesa), transformadores naturais dos recursos intrínsecos das zonas de montanha, resultando numa mais-valia ambiental e também económica. As áreas mais produtivas, por outro lado, devem ser utilizadas para atividades mais rendíveis, como a exploração de bovinos leiteiros, cuja venda do vitelo deve ser realizada à nascença, devido não só ao maior rendimento económico daí resultante, mas também à ausência de recursos alimentares disponíveis para a sua criação.

Neste sentido, a implementação em ambiente real das soluções encontradas passa pelo incentivo à seleção e complementaridade das duas atividades, em zonas de montanha, para obter a sua sustentabilidade.

PALAVRAS-CHAVE

Modelação do agroecossistema; Sistemas agrários; Sustentabilidade; Zonas de montanha; Programação multiobjetivo.

1. Definição do problema

O processo de degradação ambiental causado pela agricultura tem registado um enfoque particular, essencialmente nas últimas décadas, devido à evolução tecnológica e à reestruturação agrária. Também a política agrária seguida inicialmente pela Comunidade Europeia, ao prosseguir objetivos evidentes de aumento das produções e das produtividades da terra e do trabalho, conduziu a uma degradação ambiental, com especial gravidade nos países do Norte e Centro da Europa nos quais a intensificação cultural atingiu uma maior expressão. Tal processo tem vindo a favorecer a concentração e especialização da produção, a par dos métodos intensivos na agricultura e pecuária, com vista ao aumento das produções. Uma tal revolução agrária não se tem feito com os cuidados devidos e, em muitos casos, foi responsável por problemas que continuam a degradar o ambiente, prejudicando a vida atual e comprometendo a produção futura.

Baseados em estudos anteriores, compilados em Marta-Costa (2001), destacam-se o acréscimo de poluição das águas do solo e da atmosfera pelo uso crescente de fertilizantes e produtos fitofarmacêuticos; o aumento das áreas agricultadas em detrimento das áreas florestais, com consequências desastrosas para a qualidade do ar; a excessiva exploração do solo com efeitos no esgotamento da sua fertilidade e com problemas de erosão e desertificação; o consumo intenso dos recursos hídricos que põe em causa a sua disponibilidade para as populações; e o excessivo uso da monocultura com consequente perda acentuada da diversidade vegetal. A estes fatores, que põem em causa a biodiversidade e as paisagens, acresce o risco de abandono das atividades agrárias, quando menos rendíveis, e o despovoamento humano do território.

Existem também determinadas práticas agrárias que são manifestamente positivas para o meio que nos rodeia, contribuindo para a preservação de certos ecossistemas e espécies vegetais e animais e, acima de tudo, a agricultura é responsável pela paisagem de muitas localidades que caracterizam a herança cultural dos nossos antepassados.

Constata-se, portanto, que a agricultura, quer por excesso quer por defeito, constitui um dos principais focos de degradação ambiental, com inevitáveis reflexos económicos e sociais.

Neste contexto, os sistemas agrários encontram-se sujeitos a um duplo compromisso, muitas vezes conflituoso, fundamental para o seu sucesso. Por um lado, há que rendibilizar o capital investido e maximizar o resultado económico alcançado. Por outro, face à conjuntura sócio-ambiental, é necessário preservar e proteger o ambiente e os recursos naturais e promover a equidade social. A solução passa, entre outras coisas, por um adequado compromisso com o mercado dos fatores (tais como fertilizantes e fitofármacos); pelo mercado dos produtos finais ao consumo; por uma readaptação das tecnologias utilizadas; pela poupança energética; sem, contudo, pôr em causa a segurança alimentar há muito requerida pela sociedade.

Neste quadro, o problema que atualmente se coloca centra-se no planeamento da exploração por forma a ser capaz de dar resposta a objetivos económicos e também a objetivos sócio-ambientais, numa perspetiva de futuro e de acordo com a implementação da Estratégia do Desenvolvimento Sustentável. Sendo assim, o problema de sustentabilidade das atividades agrícolas é um problema naturalmente multicritério ou multiobjetivo.

Na verdade, o princípio subjacente aos dois objetivos referidos está de todo relacionado com a temática do desenvolvimento sustentável. Por um lado, a manutenção da atividade agrícola é possível e desejável, para explorações economicamente viáveis, o que ajudará à sua reprodução e evitará problemas de desertificação humana. Por outro, o próprio conceito de desenvolvimento sustentável tem implícito que todas as atividades devem ser desenvolvidas segundo o princípio de proteção do ambiente, a usufruir também pelas gerações futuras. Daí o menor impacto ambiental negativo que é exigido.

Este trabalho pretende delinear um modelo de exploração agropecuária para áreas de montanha, nomeadamente para as serras do Marão-Alvão-Padrela e para a serra de Montemuro, áreas de exploração das raças bovinas autóctones Maronesa e Arouquesa, respetivamente. Pretende-se um modelo de exploração sustentável, atendendo a diferentes cenários possíveis, promotor da conservação de valores naturais através da gestão ativa dos sistemas tradicionais, economicamente viável, socialmente atrativo e gerador de mais-valias ambientais. A aplicabilidade deste modelo prende-se com a criação de

conhecimento sobre as melhores soluções a adotar, para a criação de normas e de boas práticas.

O modelo para as serras do Marão-Alvão-Padrela foi desenvolvido no âmbito do trabalho de doutoramento de Marta-Costa (2008) e publicado em Marta-Costa (2010). Com base neste, procedeu-se ao desenvolvimento do modelo de exploração agropecuária sustentável para a serra de Montemuro, com vista a dar resposta a um dos requisitos do “Plano de Gestão Integrada do Sítio PTCO0025”, requerido pela Associação de Municípios do Vale Douro Sul (AMVDS, 2008) à UTAD, cujos resultados foram divulgados em Marta-Costa *et al.* (2010) e posteriormente publicados em livro (Marta-Costa *et al.*, 2013).

2. O objeto de estudo

As aldeias de montanha, em geral muito afastadas dos centros urbanos, caracterizam-se, de acordo com Miranda (2000), por apresentarem magníficas paisagens, património riquíssimo e seculares tradições, sendo também o último refúgio de muitas raças autóctones, de fauna e de flora selvagens. Não usufruindo de fáceis acessibilidades, os povoamentos são concentrados, com ruas estreitas, alojamentos com fracas condições de habitabilidade, rigor climatérico, orografia agreste e acentuado despovoamento. Estas características revelam uma pobreza intrínseca às áreas de montanha, aferida pelo baixo valor dos parâmetros relativos à qualidade de vida das suas populações; pelos poucos rendimentos económicos, devido à falta de competitividade dos seus produtos nos mercados, o que impede a realização de benefícios económicos e a retirada de mais-valias; e pela pouca qualidade dos solos.

O abandono das atividades agropecuárias, nomeadamente das raças autóctones, implica o desaparecimento de recursos genéticos. A delapidação da diversidade biológica, em geral e dos recursos genéticos animais em particular, inviabiliza quaisquer imperativos económicos, culturais e científicos impostos por eventuais futuras necessidades humanas (Alves, 1993).

Por último, a degradação ambiental arrastará, inevitavelmente, a componente económica, podendo originar o despovoamento humano ainda mais acentuado.

Potenciar as áreas de montanha como fator de desenvolvimento, assente na humanização do território, com total respeito pelo espaço natural, é um desafio que urge vencer, visando salvaguardar a cultura e história que estas serras têm guardado através das gerações.

Algumas atividades económicas têm renascido como capazes de potenciar o valor destes territórios. É o caso, por exemplo, do aproveitamento das áreas mais inóspitas para a exploração de gado bovino e também de pequenos ruminantes. Nalguns casos, verifica-se que estas atividades são a principal fonte de receitas das famílias-explorações, através da venda de crias, acrescidas dos prémios e subsídios atribuídos aos sistemas produtivos (Silva, 2000).

A criação de gado bovino e também de pequenos ruminantes, nas áreas de montanha, essencialmente as raças autóctones, deve ser incentivada pelas seguintes razões:

- a rusticidade permite identificá-las como as mais bem adaptadas às difíceis condições destas áreas, capazes de suportar os rigores climáticos e a escassez do alimento de certas alturas do ano, sendo também, as mais bem preparadas para retirar o máximo de proveito das condições de pastoreio existentes (Miranda, 2000);
- os encargos comparativos de exploração destes animais são reduzidos, pois passam a maior parte do ano em pastoreio livre, na serra. A alimentação dos vitelos é à base de leite materno nos primeiros meses de vida. A utilização de ração é nula ou quase insignificante, apenas é administrada a vitelos e por vezes às vacas aleitantes, em baixa quantidade (Silva, 2000);
- devido à sua elevada rusticidade, pode também induzir-se que encargos da assistência veterinária e uso de fármacos tornam-se, também eles, muito reduzidos;
- pese embora os baixos encargos, os rendimentos são também baixos, mas constituem, nestes casos, em comparação com o abandono destas áreas, uma importante mais-valia económica;
- outros benefícios para a família são ainda imputados ao sistema, nomeadamente, o autoemprego (o custo de oportunidade da mão-de-obra, na maior parte dos casos é zero), o autoconsumo (leite e carne) e o

aproveitamento do estrume e da tração animal como fatores de produção (Silva, 2000);

- as questões de segurança alimentar humana e saúde pública, são também asseguradas pelo modo de produção utilizado na exploração das raças autóctones, respeitador do ambiente e da saúde, cuja alimentação baseia-se nos recursos naturais e da exploração;
- o contributo para a autossuficiência alimentar da comunidade humana em estudo. Trata-se de um aspeto chave para a sobrevivência e competitividade de qualquer área do globo terrestre, que vai de encontro à nova economia do desenvolvimento sustentável defendida por Robertson (2007), centrada nas pessoas e ecologicamente sustentável. Como projeta aquele autor, deverão ser as famílias e comunidades locais a produzir uma maior proporção, em comparação com a atual, das coisas de que necessitam, como por exemplo alimentos e energia. Dependerão mais de si próprias e umas das outras, e serão menos dependentes das grandes empresas e das instituições financeiras e serviços governamentais. Destaque-se que o nível de autossuficiência de carne em Portugal, para 1999, foi de 82% (CCE e DGA, 2004);
- o contributo para o controlo de matos e pousios através do pastoreio animal de raças de elevada rusticidade (autóctones), transformadores naturais dos recursos intrínsecos das zonas de montanha, valorizando recursos alimentares não utilizáveis diretamente pelo homem (Moreira, 2002);
- finalmente, o aproveitamento turístico das zonas de montanha poderá promover a melhoria das condições de habitabilidade das populações residentes, quer pela retirada dos animais das aldeias quer pela recuperação das casas tradicionais quer, ainda, pela criação de atividades complementares ao turismo (Miranda, 2000).

É neste quadro que se insere o estudo da “revitalização” e “rendibilização” dos sistemas de exploração das raças bovinas autóctones Maronesa e Arouquesa, complementados, quando possível, com a exploração de pequenos ruminantes. Refira-se, no entanto, que se trata de sistemas relativamente frágeis

e com um equilíbrio precário, pois os bovinos das raças autóctones, produtores de carne e/ou leite e prestadores de tração, têm sido substituídos por espécies mais produtivas e pela mecanização agrícola. Torna-se, por isso, cada vez mais necessário o desenvolvimento de ações no sentido de tornar sustentáveis os sistemas de produção baseados na exploração das raças autóctones.

Limitam-se, como áreas de estudo, as serras do Marão-Alvão-Padrela e a serra de Montemuro, áreas de exploração das raças bovinas Maronesa e Arouquesa, respetivamente (mais detalhes das investigações em Marta-Costa, 2008 e Azevedo *et al.*, 2009).

A base geográfica da exploração da raça bovina Maronesa (serras do Marão-Alvão-Padrela) engloba, em termos de divisão administrativa, os concelhos de Alijó; Mondim de Basto; Murça; Ribeira de Pena; Sabrosa; Vila Pouca de Aguiar; e Vila Real (Alves, 1993).

A raça Arouquesa encontra-se no distrito de Aveiro, tendo como centro Arouca e arredores. É explorada numa zona montanhosa de acessos difíceis, tendo-se delimitado, para este estudo a área da serra de Montemuro. A serra de Montemuro é um dos 60 sítios da Lista Nacional de Sítios da Rede Natura 2000 aprovados pela resolução do Conselho de Ministros nº 142/97. Estende-se por uma área aproximada de 39 mil hectares, abrangendo parte dos concelhos portugueses de Arouca, Castro Daire, Cinfães, Lamego e Resende. O Sítio Serra de Montemuro é uma das áreas classificadas de maior expressão na Região Norte de Portugal, não só pela sua dimensão territorial, mas sobretudo pela sua importância para a preservação do património natural, ambiental e paisagístico da região (AMVDS, 2008).

Ambos os territórios de montanha apresentam “fracas condições naturais” para o desenvolvimento agrícola. Apresentam um clima muito irregular; altitude média-alta com declives acentuados; solo, em alguns casos, exageradamente pedregoso; e recursos hídricos de difícil utilização. Os pontos mais elevados atingem os 1415 metros no Marão, 1283 metros no Alvão, 1148 metros na Padrela e os 1300 metros em Montemuro (Colaço-do-Rosário, 1998 e AMVDS, 2008).

Tratam-se de territórios despovoados e envelhecidos, à semelhança da generalidade das regiões interiores do país. A nível agrário destacam-se como traços mais marcantes os seguintes (Marta-Costa, 2008 e Azevedo *et al.*, 2008):

- A agricultura é uma atividade que se encontra em regressão nas áreas em estudo, apresentando uma evolução negativa do número de explorações com superfície agrícola útil (SAU) e da própria SAU;
- A estrutura fundiária é dominada por explorações de pequena dimensão, com elevado grau de parcelamento;
- Os matos e incultos ocupam grande parte da área, sendo a SAU cerca de 70% da superfície total;
- Atendendo às condições edafoclimáticas específicas destas zonas, as pastagens permanentes ocupam a maior parte da SAU da serra de Montemuro enquanto nas serras do Marão-Alvão-Padrela predominam as terras aráveis;
- Os cereais para grão, em especial o milho e o centeio, e, em menor grau, os prados temporários e culturas forrageiras, as leguminosas secas para grão e a batata são as culturas anuais mais importantes, tendo vindo, também, a regredir de forma acentuada, na serra de Montemuro. Por outro lado, no conjunto das restantes serras em estudo predominam as culturas forrageiras, seguidas pelos cereais para grão, e, com menor representatividade, a batata, prados temporários e leguminosas secas;
- A atividade pecuária, principal fonte de rendimento das populações residentes nas serras, está, também, em franco decréscimo. Os bovinos e os pequenos ruminantes são as espécies pecuárias predominantes nas áreas em estudo, sendo as carnes de bovino, das raças autóctones Arouquesa e Maronesa, e de cabrito produtos qualificados com Denominação de Origem Protegida (DOP) e Identificação Geográfica Protegida (IGP).

3. Metodologia

3.1. O Método NISE e a Programação Compromisso

Dado o carácter multidimensional da sustentabilidade, como resultado da complementaridade e interação entre as dimensões ambiental, económica e

social, o planeamento de explorações agropecuárias sustentáveis foi realizado através da aplicação da teoria da decisão multicritério – método NISE (*NonInferior Set Estimation Method*), complementado naturalmente com a Programação Compromisso, tendo por base o trabalho de Marta-Costa (2008).

Atendendo aos documentos de Cohon (1978); Romero e Rehman (1989); Romero (1993); Poeta (1994) e Marta-Costa (2008), é exposto de seguida um breve resumo do procedimento inerente a estas duas metodologias.

O método NISE é uma técnica de programação multiobjectivo, que permite uma rápida aproximação ao conjunto eficiente¹, quando são definidos dois objetivos, através da sua combinação numa função agregada e ponderada. A finalidade do método é reduzir, gradualmente, a zona de eficiência, através de um processo iterativo de ponderações (w_1 e w_2), relacionado com a inclinação da reta que une os dois pontos extremos eficientes (curvas *trade-off*) encontrados na iteração anterior, através da resolução do seguinte problema:

$$\begin{aligned} & \text{Max}Z(x_1, x_2, \dots, x_n; w_1, w_2) \\ & \text{Sujeito a: } x \in F \\ & w_1 = \frac{Z_1^*(A) - Z_{*1}(A)}{Z_{*2}(B) - Z_2^*(B)}; w_2 = 1 \end{aligned}$$

Sendo A e B as soluções eficientes; Z_i^* e Z_{*i} os valores ideais e anti-ideais de cada objetivo e o conjunto F formado pelas restrições impostas ao modelo.

A aproximação ao conjunto eficiente é controlada, neste método, através de um critério pré-fixado de máximo erro admissível e, posteriormente, comparado com o erro obtido em cada iteração. O erro máximo possível é a distância máxima entre as fronteiras inferior e superior, medida na direção perpendicular à fronteira inferior. O erro máximo admissível é uma percentagem, definida pelo decisor, do valor do erro máximo possível obtido na primeira iteração.

A programação compromisso propõe reduzir o conjunto eficiente, obtido pelo método NISE, baseando-se na noção de distância entre as soluções

¹ Solução Eficiente ou Ótimo de Pareto é definida como a solução melhor possível, não sendo possível melhorar um atributo sem piorar outro (Romero e Rehman, 1989).

(possíveis) e o ponto ideal. Este ideal (I^*) é uma solução utópica mas é, também, um ponto de referência para o agente decisor. Neste sentido, a programação compromisso assume que qualquer agente decisor procura uma solução tão perto quanto possível do ponto ideal (Romero e Rehman, 1989). Para encontrar a solução compromisso calcula-se a distância entre cada solução e o ponto ideal. O grau de proximidade d_j entre o j -ésimo objetivo e o seu ideal é dado pela expressão seguinte, quando o j -ésimo objetivo é, respetivamente, maximizado ou minimizado, sendo Z_j^* o valor ideal:

$$d_j = Z_j^* - Z_j(x) \quad \text{ou} \quad d_j = Z_j(x) - Z_j^*$$

Os graus de proximidade entre os diferentes objetivos e os seus valores ideais podem ser agregados numa função de distância conjunta. Como as unidades de medida dos vários objetivos são, muitas vezes, diferentes, estes devem ser normalizados da forma seguinte, sendo Z_{*j} o valor anti-ideal:

$$d_j = \frac{|Z_j^* - Z_j(x)|}{|Z_j^* - Z_{*j}|}$$

Por vezes é necessário, também, ponderar os objetivos, afetando cada um com um determinado peso (W_j), para que o nível de realização desejado seja diferente.

A programação compromisso utiliza a família de distâncias métricas L_p para encontrar o subconjunto do conjunto eficiente, utilizando o conceito de medidas de distância seguinte:

$$L_p(W) = \left[\sum_{j=1}^n W_j^p \left| \frac{Z_j^* - Z_j(x)}{Z_j^* - Z_{*j}} \right|^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad \text{ou} \quad L_p(W) = \left[\left(\sum_{j=1}^n w_j d_j \right)^p \right]^{\frac{1}{p}}$$

Para diferentes conjuntos de valores de j e W geram-se diferentes soluções compromisso. Admitindo, no entanto, que todos os objetivos têm igual

importância, o conjunto compromisso fica definido, para as métricas L_1 e L_∞ , quando p é igual a 1 e ∞ , respectivamente. Isto porque as métricas $p = 1$ e $p = \infty$ definem os dois limites, L_1 e L_∞ das soluções compromisso. Por outras palavras, todas as outras soluções compromisso caem entre elas. Desta forma, será suficiente resolver estes dois problemas de programação linear, para cada conjunto de pesos preferenciais (W_i).

Para a métrica L_1 (isto é $p = 1$), o melhor compromisso ou a solução mais próxima ao ponto ideal é obtida pela resolução do seguinte problema:

$$\text{Min} L_1(W) = \sum_{j=1}^n W_j \left| \frac{Z_j^* - Z_j(x)}{Z_j^* - Z_{*j}} \right|$$

Sujeito a: $x \in F$

Para a métrica L_∞ ($p = \infty$), na qual o desvio individual máximo é minimizado, a melhor solução compromisso pode ser obtida, resolvendo o seguinte modelo de programação linear:

$$\begin{aligned} \text{Min } d_\infty &= d \\ W_1 \frac{Z_1^* - Z_1(x)}{Z_1^* - Z_{*1}} &\leq d \\ \dots & \\ W_n \frac{Z_n^* - Z_n(x)}{Z_n^* - Z_{*n}} &\leq d \end{aligned}$$

Sendo d a maior distância. Os pontos L_1 e L_∞ definem, assim, o conjunto compromisso e correspondem aos pontos eficientes mais próximos do ponto ideal.

3.2. Justificação da metodologia adotada

O uso conjugado de diferentes métodos de análise de decisão multicritério, com a elaboração de modelos de programação matemática, integrando dados técnico-económicos caraterísticos de atividades regionais revelam ser “ferramentas” de grande alcance para o desenvolvimento de sistemas de apoio

à tomada de decisão de gestores e agricultores (Carvalho, 2007). Neste contexto, o processo de tomada de decisão na agricultura é um procedimento complexo que deve tomar em consideração os diferentes objetivos, frequentemente em conflito, dos vários atores envolvidos no processo, tais como agricultores, planeadores, políticos, consumidores.

O conceito de sustentabilidade da agricultura, integrando a dimensão ambiental, económica e social, veio aumentar, significativamente, a complexidade dos processos de decisão, atendendo à multiplicidade dos objetivos envolvidos e às situações de conflito frequentemente geradas na sua otimização (Carvalho, 2006). Consideraram-se como objetivos primordiais do modelo a delinear, a competitividade económica e a sustentabilidade ambiental, pelas razões que se expõem no ponto seguinte. Estas dimensões, como refere Müller (1996), podem considerar-se no curto prazo, conflituosas, reconhecendo-se, no longo prazo, a sua interdependência, mais ou menos complementar.

De acordo com os vários fatores que condicionam o problema que se pretende resolver, nomeadamente os seus objetivos e recursos disponíveis, bem como as vantagens e inconvenientes das várias técnicas da decisão multicritério, foi selecionada a programação multiobjetivo, nomeadamente o método NISE. Sintetizam-se, de seguida, os aspetos mais favoráveis e as principais debilidades da metodologia adotada.

Como **vantagens** enumeram-se as seguintes:

- Permite, entre outras coisas, diferenciar os objetivos (pesos relativos) como reflexo das aspirações e prioridades que o agente decisor (empresário) atribui a cada um deles;
- Tem as vantagens inerentes à programação multiobjetivo, tais como a redução de informação necessária, relativamente à programação por metas, não sendo necessário identificar os níveis de aspiração, os pesos de cada variável de desvio nem ordenar as preferências do centro de decisão. Como indica Romero e Rehman (1989), este tipo de informação é muito difícil de obter, devendo ser o modelo a sugerir ao centro de decisão em vez de usada como um *input* requerido pelo modelo;

- O uso deste tipo de modelos permite reduzir a escolha das soluções a um subconjunto do conjunto eficiente (não dominado), o que facilita uma melhor apreciação das alternativas admissíveis;
- A informação fornecida pelo modelo permite conhecer o quanto é necessário sacrificar de um objetivo para conseguir um incremento unitário de outro (*trade-off*);
- O modelo permite gerar soluções não dominadas e articular as preferências do agente decisor através dos *trade-offs*, bem como conhecer o nível de realização de cada objetivo;
- O uso combinado com a programação compromisso reduz significativamente o uso computacional, relativamente ao uso isolado da programação multiobjetivo, pois só se torna necessário resolver dois problemas de programação linear (L_l e L_∞), para cada um dos pesos determinados.

Os principais **inconvenientes**, alguns dos quais comuns a outros métodos de programação multiobjetivo, podem resumir-se da seguinte forma, de acordo com Poeta (1994) e Silva (2001):

- A linearidade e um certo determinismo apenas existem em absoluto nos modelos teóricos, e a prática demonstra que, nas empresas, isto apenas ocorre num período curto de vida;
- A quantificação de alguns determinantes do ato produtivo, quer a relacionada com os objetivos ou com o enquadramento da exploração (face aos recursos disponíveis), não pode, em muitas situações, ser determinada;
- O modelo é construído com um conjunto de pressupostos, situados no tempo e no espaço, de modo que este torna-se estático na medida em que as ruturas não se refletem nos resultados do modelo;
- Os modelos são representações da realidade e, por isso, não reproduzem a realidade em toda a sua complexidade, pelo que se tornam necessárias contínuas operações de atualização e validação.

Do ponto de vista da aplicação dos resultados dos modelos, o reconhecimento destas limitações por parte de todos os atores envolvidos no

processo de decisão é essencial para o sucesso de todo o processo. Como exemplo de um estudo onde estes aspetos foram aprofundados pode citar-se Mendes e Cardoso (2006).

O método NISE foi usado, neste trabalho, para gerar as curvas *trade-off* entre os diferentes objetivos, o que permite uma melhor apreciação das alternativas (Cohon, 1978). A programação compromisso foi utilizada como instrumento para determinar o conjunto de soluções admissíveis mais próximas do ponto ideal. Este ideal (I^*) é uma solução utópica mas é, também, um ponto de referência para o agente decisor (Romero e Rehman, 1989).

Foi utilizado o programa LINDO - *Linear Interactive aNd Discrete Optimizer* (LINGO 10), tendo por base os aspetos operacionais do método NISE e da Programação Compromisso, indicados nos documentos de Cohon (1978); Romero e Rehman (1989); Romero (1993); Poeta (1994) e Marta-Costa (2008).

3.3. Formulação matemática do modelo

Apesar dos objetivos comuns e de algumas características muito similares entre as duas áreas geográficas em estudo, foram delineados dois modelos distintos devidos, essencialmente, às diferenças de fatores de produção existentes (por exemplo quanto às raças bovinas autóctones exploradas) e às suas disponibilidades. Além disso, foram identificadas algumas particularidades que interessavam respeitar em cada modelo, fruto dos contextos em que os estudos foram realizados. Esta situação foi considerada como vantajosa, pois permitiu testar o mesmo modelo (ou pressupostos muito próximos), a duas realidades semelhantes, com algumas condições ou restrições distintas².

Para as serras do Marão-Alvão-Padrela, o modelo assentou na informação recolhida de uma amostra de 112 explorações, correspondentes a cerca de 30% do total de explorações com cinco ou mais animais adultos, cuja atividade principal é a exploração de bovinos. Para a serra de Montemuro, a recolha de informação baseou-se, preferencialmente, em estatísticas oficiais.

Atendendo às variáveis e parâmetros que se apresentam no apêndice deste capítulo, explica-se de seguida as funções objetivo e restrições identificadas na

² Para melhor perceção das diferenças de cada modelo, será utilizado SMAP e SM, respetivamente, junto do número das expressões, das variáveis e parâmetros utilizadas exclusivamente no modelo das serras do Marão-Alvão-Padrela e Montemuro.

formulação matemática dos modelos. Os diversos parâmetros e coeficientes técnicos foram definidos em função das características médias das explorações. Outros basearam-se nos valores publicados na literatura da especialidade (INRA, 1988; GPPAA, 2001; Moreira *et al.*, 2001).

Os modelos obtidos foram constituídos por 129 variáveis e 98 restrições, para as serras do Marão-Alvão-Padrela, e por 135 variáveis e 103 restrições, para a serra de Montemuro. A definição das variáveis e parâmetros utilizados encontra-se em apêndice.

3.3.1. As funções objetivo

Foram consideradas duas medidas de desempenho na formulação do modelo, que se descrevem de seguida.

A) Objetivo VAB (€)

O primeiro objetivo (Z_1) é centrado no proveito económico, tendo sido escolhido como descritor de impacto o VAB, isto é, a diferença entre a venda de produtos e a compra de bens e serviços, expressa em euros, que importa maximizar.

A seleção deste objetivo teve em conta o facto das explorações para sobreviverem terem que apresentar maiores receitas monetárias conseguidas através da participação mais ativa no mercado, com a venda de produtos. A escolha deste resultado económico baseou-se em discussões com alguns gestores e agricultores, tendo-se identificado duas razões. Por um lado, a impossibilidade de quantificar os encargos fixos por unidade de variável de decisão, como é o caso das amortizações com o equipamento de ordenha, associado aos bovinos de raça leiteira. A este propósito, refira-se que a sua ausência no modelo vem penalizar a adoção das raças locais (Arouquesa e Maronesa), através da valorização do resultado económico dos bovinos produtores de leite.

Por outro lado, é princípio base do modelo que as explorações possuem um determinado aparelho de produção, correspondente à média das unidades de produção presentes na área em estudo, com os seus respetivos encargos fixos. Pretende-se, por isso, atribuir-lhe o melhor uso no sentido do equilíbrio

entre os resultados económicos e os efeitos ambientais. Além disso, o peso dos encargos referentes aos impostos, seguros, amortizações, salários pagos, rendas e juros de capital alheio é considerado baixo. Desta forma, com a maximização do VAB pretende-se a melhor remuneração do trabalho e do capital investido.

Identificaram-se como atividades vegetais principais as observadas nas explorações, nomeadamente: batata, milho grão, milho forragem, centeio, prados temporários, lameiros de feno e pasto, e ainda milho silagem para as serras do Marão-Alvão-Padrela.

A atividade pecuária considerada é relativa à exploração de bovinos, ovinos e caprinos de carne e/ou de leite, de diferentes grupos étnicos. Relativamente aos primeiros considera-se vacas adultas das raças locais Maronesa (para as serras Marão-Alvão-Padrela) e Arouquesa (serra de Montemuro) e da raça Frísia, mas com situações de descendência (F1) de animais puros ou resultantes de cruzamentos com raças de carne, que se designam, neste texto, animais do tronco frísio. A exploração de ovinos e caprinos tem como objetivo a produção de carne, leite e/ou queijo, para a serra de Montemuro. Para as serras do Marão-Alvão-Padrela foi considerada a exploração de caprinos de raça Bravia, para a produção exclusiva de carne.

O nível de preços dos fatores de produção e dos produtos no produtor foram obtidos alguns por inquirição direta e outros por consulta das cotações disponíveis na página *web* do Sistema de Informação de Mercados Agrícolas (<http://www.gppaa.min-agricultura.pt/sima.html>) e pelas estatísticas disponíveis para 2004 (INE, 2005).

Para além dos custos variáveis específicos de cada atividade, foram ainda considerados os custos relativos ao arrendamento de terra (apenas para a serra de Montemuro), de contratação de mão-de-obra temporária, de aluguer de tração mecânica, de compra de elementos fertilizantes e de alimentos para o gado, de modo a que estes fatores não fossem restritivos à expansão do processo produtivo.

$$\begin{aligned}
Z_1 = & -\sum_i \sum_j \sum_n l_{jn} \cdot pF_n \cdot XA_{ij} - \sum_p \sum_n l_{pn} \cdot pF_n \cdot XP_p - \sum_b \sum_n l_{bn} \cdot pF_n \cdot XB_b - \sum_h pT_h \cdot X_h - \sum_r \sum_f m_{rf} \cdot pF_f \cdot XV_r \\
& - \sum_s \sum_f m_{sf} \cdot pF_f \cdot XC_s + \sum_v pV_v \cdot VA_v + \sum_r \sum_x pC_{rx} \cdot VC_{rx} + \sum_s \sum_y pC_{sy} \cdot VC_{sy} + pLVL + \sum_s pL_s \cdot VL_s \\
& + \sum_s pQ_s \cdot VQ_s + \sum_r pEVE_r + \sum_s pEVE_s - \sum_z \sum_t n_z \cdot pTP_z \cdot UTM_t - \sum_t pMO \cdot MO_t - \sum_t pTM \cdot TM_t \\
& - pFN \cdot FN - pFP \cdot FP - pFK \cdot FK - \sum_c \sum_t pAl_c \cdot Al_{ct}
\end{aligned} \tag{1}$$

A formulação matemática dos modelos de exploração agrosustentável foi realizada para dois cenários distintos, que consistem na integração ou não, nos seus resultados económicos, das ajudas monetárias à atividade corrente (subsídios) auferidas pelas explorações, no âmbito da Política Agrícola Comum. No contexto socioeconómico real os subsídios existem e, por isso, interessa integrá-los no modelo. Por outro lado, pressupõe-se que a atribuição de subsídios pode não ser sustentável no longo prazo, pelo que interessa, também, fornecer informações sobre a situação em que aquelas ajudas monetárias sejam inexistentes. Para a situação em que são considerados os apoios monetários à atividade corrente, sob a forma de subsídios, incluiu-se o seu valor na função objetivo (Z_1').

$$Z_1' = Z_1 + \sum_i \sum_j sXA_{ij} \cdot XA_{ij} + \sum_p sXP_p \cdot XP_p + \sum_r sXV_r \cdot XV_r + \sum_s sXC_s \cdot XC_s + \sum_t sTP_t \cdot n_t \cdot UTM_t \tag{2}$$

B) Objetivo Custos energéticos (MJ)

A segunda medida de desempenho é o impacto ambiental das soluções testadas, cujo descritor são os custos energéticos dos bens e serviços comprados para o ato produtivo, expressos em megajoules (MJ), que importa minimizar.

Relativamente a este objetivo (Z_2), foi intenção que ele obedecesse a pressupostos ambientais. Desta forma foram abordados vários descritores como passíveis de serem escolhidos, tais como: minimização do consumo de água, minimização do consumo de fatores de produção poluentes (produtos fitossanitários e fertilizantes), minimização do uso de máquinas e equipamentos no solo. O descritor de minimização dos custos energéticos com os fatores de produção variáveis foi selecionado dada a maior facilidade na sua quantificação por fator de produção variável utilizado, em unidades energéticas (MJ), sem

qualquer relação com o seu custo económico. Note-se que até o consumo de água se encontra implícito nesta medida, tendo em conta a energia associada ao combustível necessário para a rega por motobomba ou por aspersão.

Este objetivo vem de encontro ao facto da eficiência energética constituir um importante fator a otimizar, na economia global, constituindo um indicador direto da sustentabilidade. Investigações sobre aspetos de energia ilustram que o seu uso está geralmente correlacionado com as emissões de gases com efeito estufa e com a depleção de recursos naturais. De forma a reduzir ambos os efeitos, têm que ser identificadas formas de poupança potenciais de energia nas atividades agrárias (Moerschner e Lücke, 2002), sendo este o principal fator que induziu à identificação da poupança energética como o segundo objetivo da exploração a planear.

Na prática muitos agricultores parecem não ter em conta condições ambientais, se não forem obrigados nem incentivados economicamente através de ajudas monetárias, por não verem uma relação direta entre a componente ambiental e as receitas da sua exploração. Porém, esta relação começa já a ser percebida pelos atores do meio agrário, como confirmam os estudos identificados no primeiro ponto deste trabalho. Os sistemas de produção, nomeadamente os mais intensivos, originam efeitos prejudiciais no ambiente, não só ao nível da conservação da natureza e proteção dos recursos naturais, mas também na diminuição da fertilidade dos solos, na indução de resistência nos inimigos das culturas/animais, na redução da qualidade dos produtos, na quebra das produtividades dos fatores de produção usados, na diminuição da produção total, se não no curto, pelo menos no médio e longo prazo. Estas situações têm revelado já consequências diretas nas receitas auferidas pelo agricultor. Por essa razão, eles próprios têm necessidade de introduzir o objetivo ambiental no planeamento das suas unidades de produção. Começa a ser percebido que o sacrifício de uma unidade económica hoje, poderá valer a sua quantidade total no futuro. Também a Comunidade Europeia tem vindo a desenvolver várias medidas de incentivos a práticas ambientalmente mais sustentáveis, nomeadamente as medidas agroambientais. Acresce aqui a necessidade de um planeamento que obedeça, não só a parâmetros de competitividade económica, através da maximização das receitas, contemplado

no primeiro objetivo, mas também a pressupostos ambientalmente sustentáveis, que deverão passar pela utilização de fontes de energia menos poluentes. Só assim se poderá assegurar por mais tempo a produtividade (ambiental e económica) do sistema agrário.

Os coeficientes energéticos utilizados foram obtidos do referencial para a análise energética adotados no âmbito da metodologia “PLANETE – *Méthode Pour L’ANalyse Energétique de l’Exploitation*” (*Établissement National d’Enseignement Supérieur Agronomique de Dijon - ENESAD e ADEME, 2002*).

$$Z_2 = \sum_i \sum_j \sum_n l_{ijn} \cdot cE_n \cdot XA_{ij} + \sum_p \sum_n l_{pin} \cdot cE_n \cdot XP_p + \sum_b \sum_n l_{bin} \cdot cE_n \cdot XB_b + \sum_r \sum_f m_{rf} \cdot cE_f \cdot XV_r + \sum_s \sum_f m_{sf} \cdot cE_f \cdot XC_s + \sum_z \sum_t n_z \cdot cET_z \cdot UTM_t + \sum_z \sum_t o_z \cdot cET_z \cdot TM_t + cEFN \cdot FN + cEFP \cdot FP + cEFK \cdot FK + \sum_c \sum_t cEAl_c \cdot Al_{ct} \quad (3)$$

De acordo com a perspetiva exposta, espera-se, assim, com o modelo desenvolvido, melhorar as condições económico-ambientais das explorações observadas, através de duas atitudes deliberadamente assumidas: a competitividade no mercado com produtos que apresentem maior VAB e a minimização dos seus custos energéticos. O compromisso a assumir entre os dois objetivos estará sempre presente na procura da melhor solução para o modelo. O primeiro objetivo tenderá para a eleição de soluções mais eficientes do ponto de vista económico e o segundo propenderá para a escolha de soluções energéticas menos poluentes, isto é, energeticamente mais eficientes, independentemente do seu preço.

Outros objetivos, diretamente ligados com a temática em curso, encontram-se no modelo, não de uma forma direta como os dois anteriores, mas impostos sob a forma de restrições.

3.3.2. As restrições

O sistema de restrições do modelo foi agrupado em quinze categorias principais, que se enumeram de seguida. A sua conceção exprime o que a unidade de exploração pode fazer, isto é, o seu campo de escolha e a forma como esta se relaciona com as características tecnológicas, os recursos disponíveis, a procura a satisfazer e os limites do mercado, tendo como base as condições ambientais e a autonomia da exploração.

a) Restrições na utilização da terra (Ha)

Estas restrições garantem que a utilização do espaço físico da área disponível não é ultrapassada.

Dividiu-se a SAU em terrenos de regadio e terrenos de sequeiro, e em solos de uso agrícola e pascícola (lameiros³), de acordo com a sua aptidão produtiva (expressões 4 a 7).

As áreas de baldio foram também consideradas, pois os pastos nestas áreas são uma fonte complementar de alimentos a baixo custo. Para a serra de Montemuro foram consideradas duas situações distintas de aproveitamento/limpeza dos baldios (expressão 9). Na primeira considerou-se a prática de pastoreio local pelos animais da exploração, pelo que, neste caso, as pastagens do baldio são apenas utilizadas/limpas pelos bovinos de raça local Arouquesa e pelos pequenos ruminantes e, apenas, no período estival como indica Moreira *et al.* (2001). Esta situação coincidiu com a considerada para as serras do Marão-Alvão-Padrela (expressão 8). Na segunda situação considerou-se que o baldio é limpo com recurso à mecanização, nomeadamente pela roçadora de mato, sendo a forragem cortada dada em verde aos animais de qualquer uma das espécies presentes na exploração e durante todo o ano.

De acordo com as práticas frequentemente desenvolvidas na área em estudo, e tendo em atenção os pressupostos ambientais, foram ainda estabelecidas as restrições com os números (10) e (11), relativas à sucessão de culturas, e as restrições (12) a (16), que obrigam à rotação de culturas. Nas primeiras considerou-se que a cultura intercalar⁴ sucede ou antecede, no mesmo exercício, a cultura de batata e/ou milho. Para as segundas adotam-se as rotações de centeio com batata e prados temporários e, também, milho em rotação com os prados temporários.

³ Os lameiros sob a designação de “lameiros de pasto” destinam-se unicamente e durante todo o ano ao pastoreio direto, enquanto os designados de “lameiros de feno” são impedidos de ser pastoreados durante um espaço de tempo, geralmente durante a Primavera, para permitir o crescimento da erva.

⁴ Geralmente ferrã, isto é, cevada ou centeio cortados enquanto verdes para alimento de gado.

Refira-se que este tipo de práticas culturais tem uma grande importância ambiental, mas também económica, principalmente por razões de fertilização e sanidade das culturas. Em culturas arvenses, principalmente em cereais, como indica Ferreira *et al.* (2002), a rotação é especialmente importante com vista a aumentar a fixação biológica de azoto e a matéria orgânica do solo, dada a dificuldade em obter e aplicar fertilizantes orgânicos em grandes áreas.

Considerou-se a hipótese de arrendamento de terra (apenas para a serra de Montemuro), limitada a 25% da área por conta própria (expressão 17).

$$\begin{aligned} \sum_j XA_{1j} &\leq AR + \sum_h X_h & (4) & \quad \sum_j XA_{2j} \leq AS + \sum_h X_h & (5) & \quad XP_1 \leq LF + \sum_h X_h & (6) \\ XP_2 &\leq LP + X_h & (7) & \quad XB \leq BA & (8 \text{ SMAP}) & \quad \sum_b XB_b \leq BA & (9 \text{ SM}) \\ XA_{17} - XA_{11} - XA_{12} - XA_{13} - XA_{14} &\leq 0 & (10) & \quad XA_{27} - XA_{21} - XA_{22} - XA_{23} - XA_{24} &\leq 0 & (11) \\ XA_{15} - XA_{11} &\leq 0 & (12) & \quad XA_{15} - XA_{16} &\leq 0 & (13) & \quad XA_{25} - XA_{26} &\leq 0 & (14) \\ XA_{12} + XA_{13} + XA_{14} - XA_{16} &\leq 0 & (15) & \quad XA_{22} + XA_{23} + XA_{24} - XA_{26} &\leq 0 & (16) \\ \sum_h X_h &\leq 0,25.(AR + AS + LF + LP) & (17 \text{ SM}) \end{aligned}$$

b) Restrições na utilização de mão-de-obra (H)

As restrições da mão-de-obra garantem que as necessidades para as atividades vegetais e animais são iguais ou inferiores às disponibilidades provenientes da mão-de-obra familiar e contratada temporariamente. De acordo com os dados obtidos no trabalho de campo, não foi considerada mão-de-obra contratada permanentemente, pois a sua existência verificou-se em muitos poucos casos.

Devido à flutuação que se verifica nas necessidades em mão-de-obra com as diferentes operações culturais, de atividade para atividade, em diferentes momentos do tempo, considerou-se mais adequado dividir o ano em quatro períodos de tempo.

Dada a dificuldade em discriminar, pelos inquiridos, as necessidades deste fator de produção, por atividade vegetal e por período, foram utilizados os dados, em suporte informático, facultados pelo GPPAA (2001), relativos às

“Contas de Cultura das Actividades Vegetais – Modelo de Base Microeconómico”.

$$\sum_t \sum_j a_{jt} \cdot XA_{jt} + \sum_p a_{pt} \cdot XP_p + \sum_b a_{bt} \cdot XB_b + \sum_r b_{rt} \cdot XV_r + \sum_s b_{st} \cdot XC_s + \sum_q q_{st} \cdot VQ_s - MO_t \leq DMO_t, \forall t \quad (18)$$

c) Restrições na utilização de tração (H)

À semelhança da mão-de-obra, esta restrição garante que, em cada período, as necessidades para as actividades vegetais são iguais ou inferiores às disponibilidades provenientes da tração mecânica própria e/ou alugada.

O consumo de tração mecânica por cada uma das actividades vegetais, em cada período, foi também baseado no documento do GPPAA (2001).

$$\sum_t \sum_j c_{jt} \cdot XA_{jt} + \sum_p c_{pt} \cdot XP_p - TM_t - UTM_t \leq 0, \forall t \quad (19) \quad UTM_t \leq DTM_t, \forall t \quad (20)$$

d) Restrições na utilização dos fertilizantes (Kg)

No âmbito da fertilização racional, isto é, fertilização por medida, indispensável à obtenção da melhor rendibilidade económica da produção agrícola e à preservação da qualidade do ambiente, nomeadamente a proteção das águas superficiais e das águas subterrâneas contra a poluição (eutrofização) com nutrientes minerais veiculados pelos fertilizantes (MADRP, 1997), procedeu-se à elaboração de restrições que garantem que os consumos dos principais nutrientes necessários às actividades vegetais sejam iguais ou inferiores à quantidade veiculada pelos estrumes animais incorporados no solo juntamente com os fertilizantes químicos sintéticos comprados ao exterior (expressões 20, 22 e 23). Foram considerados o nitrolusal 20,5%; o foskamónio 7-14-14 e o superfosfato de cálcio 18% como os adubos mais utilizados, decompostos nos seus elementos (azoto, fósforo e potássio).

Dada a dificuldade em discriminar as necessidades em elementos nutritivos das culturas vegetais, resultantes de inúmeros fatores, tais como o pH do solo, o seu teor em matéria orgânica, entre outros, foram utilizados os dados facultados pelo GPPAA (2001). Teve-se o cuidado, no entanto, de fornecer informação sobre a possibilidade de uso de estrumes, cuja disponibilidade foi

calculada dependente da espécie e raça animal e do tipo de sistema de estabulação respetivo.

Impôs-se, ainda, um uso razoável de azoto que não exceda a quantidade especificada por hectare no âmbito da Diretiva dos Nitratos, emanada pela CE (1991), com o objetivo de proteger a água subterrânea da excessiva contaminação dos nitratos da agricultura, e, em particular, dos estrumes (expressão 22). A quantidade especificada por hectare é a quantidade de estrume que contem 170 quilogramas de azoto. O teor em nutrientes e o coeficiente de utilização pelas culturas do azoto do estrume proveniente das unidades pecuárias foi obtido do “Código de Boas Práticas Agrícolas para a Protecção da Água contra a Poluição com Nitratos de Origem Agrícola”, publicado pelo MADRP (1997).

$$\sum_i \sum_j eN_{ij} \cdot XA_{ij} + \sum_p eN_p \cdot XP_p - \sum_r \%N_r \cdot UE_r - \sum_s \%N_s \cdot UE_s - FN \leq 0 \quad (21)$$

$$\sum_r \%N_r \cdot UE_r + \sum_s \%N_s \cdot UE_s + FN \leq 170 \cdot (AR + AS + LF + LP + \sum_h X_h) \quad (22)$$

$$\sum_i \sum_j eP_{ij} \cdot XA_{ij} + \sum_p eP_p \cdot XP_p - \sum_r \%P_r \cdot UE_r - \sum_s \%P_s \cdot UE_s - FP \leq 0 \quad (23)$$

$$\sum_i \sum_j eK_{ij} \cdot XA_{ij} + \sum_p eK_p \cdot XP_p - \sum_r \%K_r \cdot UE_r - \sum_s \%K_s \cdot UE_s + FK \leq 0 \quad (24)$$

e) Restrições ao equilíbrio alimentar e à venda dos produtos fornecidos pelas atividades culturais (Kg)

Das atividades vegetais praticadas na área em estudo considera-se, de acordo com a informação recolhida no trabalho de campo, que todas as suas produções são destinada à alimentação animal e/ou vendidas, incluindo a destinada ao autoconsumo pela família, bem como a reempregue como semente (uma vez que esta é incluída como encargo variável no cálculo dos coeficientes da função objetivo).

Procura-se, assim, atingir um equilíbrio entre as disponibilidades produtivas da exploração, incluindo a do baldio, e as necessidades alimentares do efetivo pecuário ao longo do ano, essencialmente para os produtos forrageiros não destinados ao mercado (milho-forragem, erva verde e pastos). Para os restantes produtos, resultantes das atividades batata; milho-grão; centeio; e também silagem de milho e feno, considera-se, para além do consumo animal, a

possibilidade de venda. Esta situação foi observada na maioria das explorações visitadas, sendo a silagem de milho e o feno apenas transacionados, como já referido, nas situações em que a sua produção excede as necessidades alimentares dos animais. Neste último caso, as restrições são estabelecidas para permitirem que as quantidades vendidas não ultrapassem a diferença entre as quantidades produzidas e as consumidas pelos animais. Considerou-se a existência de escoamento assegurado no mercado dos produtos principais obtidos na exploração.

Pretende-se, ainda, assegurar que a quantidade de alimentos armazenados, transferidos para os períodos em que são necessários, não ultrapassem a disponibilidade existente dos mesmos.

Para a elaboração destas restrições, dividiu-se o ano em quatro períodos de tempo.

Dada a dificuldade de, através de inquérito, obter valores das produções de ferrejos, erva verde e pastagens dos prados temporários e dos lameiros, em cada período, utilizaram-se valores encontrados em publicações da especialidade (Klapp, 1986 e Moreira, 2002). Com base nos mesmos documentos definiu-se a taxa de aproveitamento do pasto – eficiência do pastoreio⁵, bem como as perdas com os processos de fenação e de ensilagem.

$$\sum_j CA_{jt} + \sum_p CP_{pt} + CB_t + \sum_b CB_{bt} + \sum_a TF'_{at} + \sum_v VA_v - \sum_i \sum_j g_{ji} \cdot XA_{ij} + \sum_p g_{pi} \cdot XP_p + g_t \cdot XB + \sum_b g_{bt} \cdot XB_b \leq 0, \forall t \quad (25)$$

f) Restrições à alimentação das atividades pecuárias (UF)

Estas restrições estão em Unidades Forrageiras Leite (UFL⁶), dado ser esta a unidade recomendada para exprimir as necessidades das fêmeas, em lactação, em gestação, secas e, também, para as novilhas. Apenas, nos casos das necessidades energéticas dos animais provenientes dos cruzamentos das raças em estudo com raças de carne, seria mais adequado a sua expressão em

⁵ Eficiência do pastoreio - proporção de erva crescida que é consumida pelos animais (Klapp, 1986 e Moreira, 2002).

⁶ Uma UFL é a quantidade de energia líquida (1700 kcal) fornecida por um quilograma de cevada média distribuída acima da manutenção de uma vaca em lactação. Esta energia é exportada no leite ou fixada sob a forma de reservas corporais (INRA, 1988).

Unidades Forrageiras Carne (UFV⁷), recomendadas para os ruminantes em crescimento rápido ou em engorda. Porém, para uniformização das unidades usadas optou-se pela utilização da primeira, por ser mais abrangente (INRA, 1988).

Estas restrições destinam-se a permitir que as disponibilidades de unidades forrageiras (UF) produzidas pela exploração e obtidas do exterior não sejam inferiores às necessidades das atividades pecuárias, garantindo deste modo a sua satisfação (expressão 26).

Além disso, fornece-se informação sobre as forragens permitidas para alimentação do gado Maronês, no sentido da produção de “carne Maronesa DOP”, indicando a interdição no uso de silagens e concentrados compostos sintéticos, como informa o seu caderno de especificações (Cooperativa Agrícola de Vila Real, 2001) (expressão 27).

A restrição (28) pretende impor a não utilização do baldio, pelos bovinos leiteiros, como se constatou no trabalho de campo. Não se considerou, também, a possibilidade de alimentá-los com “concentrado Maronês”, produzido especificamente para o gado bovino indicado na sua designação.

Para maior ajustamento das disponibilidades forrageiras e necessidades alimentares, dividiu-se o ano em quatro períodos de tempo.

$$\sum_r f_{rr} \cdot XV_r + \sum_s f_{ss} \cdot XC_s - \sum_j cUFA_j \cdot CA_{jt} - \sum_p cUFP_p \cdot CP_{pt} - cUFB \cdot CB_t - \sum_b cUFB \cdot CB_{bt} - \sum_a cUFC_a \cdot TF_{at}^t - \sum_c cUFAl_c \cdot Al_{ct} \leq 0, \forall t \quad (26)$$

$$f_{lt} \cdot XV - \sum_j cUFA_j \cdot CA_{jt} - \sum_p cUFP_p \cdot CP_{pt} - cUFB \cdot CB_t - \sum_b cUFB \cdot CB_{bt} - \sum_{a=1}^4 cUFC_a \cdot TF_{at}^t - \sum_{c=1}^7 cUFAl_c \cdot Al_{ct} \leq 0, \forall t \quad (27 \text{ SMAP})$$

$$\sum_{r=3}^6 f_{rr} \cdot XV_r - \sum_j cUFA_j \cdot CA_{jt} - \sum_p cUFP_p \cdot CP_{pt} - \sum_a cUFC_a \cdot TF_{at}^t - \sum_{c=1}^6 cUFAl_c \cdot Al_{ct} - \sum_{c=8}^9 cUFAl_c \cdot Al_{ct} \leq 0, \forall t \quad (28)$$

g) Restrições à alimentação das atividades pecuárias (Kg PDI)

A satisfação das necessidades alimentares em unidades forrageiras nem sempre garante a satisfação das necessidades proteicas. Impôs-se, por isso, ao

⁷ Uma UFV é a quantidade de energia líquida (1820 kcal) fornecida por um quilograma de cevada média para a manutenção e engorda de um ruminante (INRA, 1988).

modelo as mesmas condições colocadas no grupo de restrições anteriores, mas em unidades de proteína digestível no intestino (PDI⁸).

$$\sum_r h_{rt}.XV_r + \sum_s h_{st}.XC_s - \sum_j cPDIA_j.CA_{jt} - \sum_p cPDIP_p.CP_{pt} - cPDIB.CB_t - \sum_b cPDIB.CB_{bt} - \sum_a cPDIC_a.TF_{at}' - \sum_c cPDIAI_c.AI_{ct} \leq 0, \forall t \quad (29)$$

$$h_{1t}.XV - \sum_j cPDIA_j.CA_{jt} - \sum_p cPDIP_p.CP_{pt} + cPDIB.CB_t - \sum_b cPDIB.CB_{bt} - \sum_{a=1}^4 cPDIC_a.TF_{at}' - \sum_{c=1}^7 cPDIAI_c.AI_{ct} \leq 0, \forall t \quad (30 \text{ SMAP})$$

$$\sum_{r=3}^6 h_{rt}.XV_r - \sum_j cPDIA_j.CA_{jt} - \sum_p cPDIP_p.CP_{pt} - \sum_a cPDIC_a.TF_{at}' - \sum_{c=1}^6 cPDIAI_c.AI_{ct} - \sum_{c=8}^9 cPDIAI_c.AI_{ct} \leq 0, \forall t \quad (31)$$

h) Restrição à capacidade máxima de ingestão de alimento das atividades pecuárias (Kg de MS)

Para o estabelecimento do equilíbrio alimentar do gado presente nas unidades de produção, torna-se necessário tomar em consideração a quantidade de forragem (feno, silagens, palhas, erva) que os animais podem ingerir, pois a sua capacidade de ingestão, variando com o estado fisiológico em que o animal se encontra, é limitada.

Com as restrições relativas à ingestão de matéria seca pretende-se que a quantidade ingerida da mesma seja sempre inferior à capacidade de ingestão das unidades pecuárias.

$$\sum_j cMSA_j.CA_{jt} + \sum_p cMSP_p.CP_{pt} + cMSB.CB_t + \sum_b cMSB.CB_{bt} + \sum_a cMSC_a.TF_{at}' + \sum_c cMSAI_c.AI_{ct} - \sum_r i_{rt}.XV_r - \sum_s i_{st}.XC_s \leq 0, \forall t \quad (32)$$

$$\sum_j cMSA_j.CA_{jt} + \sum_p cMSP_p.CP_{pt} + cMSB.CB_t + \sum_b cMSB.CB_{bt} + \sum_{a=1}^4 cMSC_a.TF_{at}' + \sum_{c=1}^7 cMSAI_c.AI_{ct} - i_{1t}.XV_1 \leq 0, \forall t \quad (33 \text{ SMAP})$$

$$\sum_j cMSA_j.CA_{jt} + \sum_p cMSP_p.CP_{pt} + \sum_a cMSC_a.TF_{at}' + \sum_{c=1}^6 cMSAI_c.AI_{ct} + \sum_{c=8}^9 cMSAI_c.AI_{ct} - \sum_{r=3}^6 i_{rt}.XV_r \leq 0, \forall t \quad (34)$$

⁸ O sistema PDI determina o valor azotado de cada alimento relativamente à quantidade de ácidos aminados realmente absorvidos no intestino e que são fornecidos pelas proteínas alimentares não degradadas no rúmen, ou pelas proteínas microbianas (INRA, 1988).

i) Restrição à ingestão mínima de alimentos produzidos na exploração (Kg de MS)

As necessidades alimentares respeitantes às atividades pecuárias devem ser fundamentalmente satisfeitas pelos alimentos produzidos nas explorações, valorizando-se, assim, as culturas forrageiras através da produção animal. Tendo como objetivo conseguir o equilíbrio forragem-pecuária obtido na exploração, mas também de forma a assegurar a sua autonomia, incluiu-se no modelo a restrição relativa à quantidade mínima de alimento produzido pelas atividades vegetais, destinadas ao consumo animal. Esta informação vem obedecer, também, ao estipulado na “Norma para Carne Bovino”, definida no âmbito do Projeto *Extensity* – Sistemas de Gestão Ambiental e de Sustentabilidade na Agricultura Extensiva (Domingos *et al.*, 2005), ao indicar-se que as unidades de produção devem ser autossuficientes em pelo menos cinquenta por cento da alimentação, em termos de matéria seca, calculada numa base anual.

$$0,5 \cdot \sum_r \sum_t i_{rt} \cdot XV_r + 0,5 \cdot \sum_s \sum_t i_{st} \cdot XC_s - \sum_j \sum_t cM_{SA_j} \cdot CA_{jt} - \sum_p \sum_t cM_{SP_p} \cdot CP_{pt} - \sum_t cM_{SB} \cdot CB_t - \sum_b \sum_t cM_{SB} \cdot CB_{bt} - \sum_a \sum_t cM_{SC_a} \cdot TF_{at}' \leq 0 \quad (35)$$

j) Restrição à venda de carne (Kg)

Impõe-se ao modelo, com estas restrições, que a quantidade de venda de carne, proveniente das diversas unidades pecuárias, seja igual ou inferior à sua produção. Não se coloca qualquer outro limite à venda de carne, pois verifica-se que a procura deste produto é superior à oferta existente na região.

$$\sum_r \sum_x VC_{rx} - \sum_r \sum_x j_{rx} \cdot XV_r \leq 0 \quad (36) \qquad \sum_s \sum_y VC_{sy} - \sum_s \sum_y j_{sy} \cdot XC_s \leq 0 \quad (37)$$

k) Restrição à venda de leite (Kg)

Impõe-se ao modelo, com esta restrição, que a quantidade de venda de leite seja igual ou inferior à sua produção.

Acrescenta-se, ainda, a expressão (39), que tenta simular o efeito das quotas leiteiras, impostas às explorações da área em estudo, tendo-se feito coincidir o

limite à produção de leite com a quantidade média de leite produzido nas explorações visitadas.

$$VL - \sum_{r=3}^4 k_r . XV_r \leq 0 \quad (38)$$

$$VL \leq \overline{VL} \quad (39)$$

$$\sum_s VL_s - \sum_s k_s . XC_s \leq 0 \quad (40 \text{ SM})$$

D) Restrição à venda de queijo (Kg):

Esta restrição impõe que a quantidade de venda de queijo, apenas na Serra de Montemuro, seja igual ou inferior à sua produção.

$$\sum_s VQ_s - \sum_s ch_s . XC_s \leq 0 \quad (41 \text{ SM})$$

m) Restrição à venda de estrume (Kg)

Esta restrição é estabelecida para permitir a venda de estrume de origem bovina, em quantidades não superiores à diferença entre as quantidades produzidas e as utilizadas nas culturas vegetais.

Desconhecendo-se as necessidades do mercado em absorver este produto, acrescentou-se a restrição (44) que impõe um limite à venda de estrume coincidente com a quantidade média vendida na área em estudo.

Atendendo à preservação dos sistemas agropecuários e a sua compatibilização com o ambiente, com as expressões definidas limita-se, também, a produção de estrumes às necessidades das culturas e à venda possível. Isto porque, quando a área do solo é insuficiente para a aplicação dos estrumes, não se observa o encaminhamento dos efluentes em excesso para outro destino, para além da transação verificada, como é o caso de estações de tratamento de águas residuais (ETAR) individuais ou coletivas, cuja ausência é perceptível nas áreas em estudo. Nestas condições, o armazenamento, processamento e eliminação inadequados poderiam trazer consequências várias sobre o ambiente e os seres vivos

$$\sum_r VE_r + \sum_r UE_r - \sum_r d_r . XV_r = 0 \quad (42) \quad VE + UE - d . XC = 0 \quad (43)$$

$$\sum_r VE_r + VE \leq \overline{VE} \quad (44)$$

n) Restrição ao encabeçamento animal (CN)

No sentido de garantir um número de animais compatível com os recursos naturais existentes, considerou-se que o encabeçamento da unidade de produção deve ser inferior ou igual a três Cabeças Normais⁹ (CN) por hectare de SAU, em zonas de montanha, de acordo com as “Boas Práticas Agrícolas” (MADRP, 2003).

Na situação média do conjunto de explorações estudadas, não se verifica restrição ao encabeçamento animal, imposta pela capacidade de alojamento, pois esta é superior à imposta pela área disponível.

$$\sum_r CN_r \cdot XV_r + \sum_s CN_s \cdot XC_s \leq 3 \left(\sum_i \sum_j XA_{ij} + \sum_p XP_p + XB + \sum_b XB_b + \sum_h X_h \right) \quad (45)$$

o) Restrição ao efetivo bovino (CN)

Para as serras do Marão-Alvão-Padrela incluiu-se a restrição (46) relativa ao número mínimo de CN de gado bovino (cinco), porque foi a condição considerada base da sustentabilidade económica, de acordo com o trabalho de Marta-Costa (2008), para as explorações sustentáveis daquela área. Neste modelo foi ainda imposto que o efetivo de gado Maronês deveria ser, pelo menos, vinte e cinco por cento dos bovinos totais adotados (expressão (47)). As razões para esta condição prendem-se com o importante contributo ambiental dos bovinos de raça autóctone Maronesa comparativamente com as diversas raças bovinas em estudo, demonstrada no mesmo trabalho e já referidas anteriormente.

Para a serra de Montemuro não foi considerado limite mínimo ao número de animais.

$$\sum_r XV_r \geq 5 \quad (46 \text{ SMAP}) \qquad XV_1 + XV_2 - 0,25 \sum_r XV_r \geq 0 \quad (47 \text{ SMAP})$$

⁹ Medida pecuária que relaciona os efetivos, convertidos em cabeças normais, em função das espécies e das idades, através de uma tabela de conversão, e, em que, um animal adulto da espécie bovina corresponde a 1 C.N. (INE, 2005).

4. Resultados da otimização do modelo

Neste ponto apresentam-se os resultados dos modelos delineados para as serras do Marão-Alvão-Padrela e para a serra de Montemuro, atendendo aos pressupostos identificados anteriormente.

O método utilizado – NISE – inicia-se com a otimização individual de cada objetivo, sujeito ao conjunto de restrições apresentadas para os modelos, sendo usado o valor de cada um para a obtenção de cada solução ótima. Este procedimento conduziu à matriz de *pay-off* que se encontra no Quadro 1 e, consequentemente, à obtenção dos dois primeiros pontos extremos eficientes, para as situações sem e com apoios monetários à atividade corrente, respetivamente.

Da matriz de compromisso (*pay-off*) confirma-se o forte grau de conflito entre os dois objetivos considerados, em ambos os cenários, nas duas regiões em estudo. Quando o VAB é maximizado, os custos energéticos alcançam o seu pior valor ou anti-ideal e vice-versa. Os elementos da diagonal principal representam o *ponto ideal* (I^*), isto é, a solução na qual todos os objetivos encontram os seus valores ótimos. Os piores valores em cada coluna são chamados *ponto anti-ideal* (I).

Quadro 1: Matriz de *pay-off* para os objetivos Z1 e Z2 apresentando os pontos P1 e P2 para cada um dos modelos e cenários.

		Cenário sem subsídios		Cenário com subsídios	
		VAB (Euros)	Custos energéticos (MJ)	VAB (Euros)	Custos energéticos (MJ)
Serras do Marão-Alvão-Padrela	MAX Z ₁	12 513	239 852	20 860	188 845
	MIN Z ₂	1 821	56 142	6 749	56 142
Serra de Montemuro	MAX Z ₁	17 817	298 770	20 349	414 012
	MIN Z ₂	387	10 185	1 085	10 185

Fonte: Resultados próprios.

No sentido de reduzir o tamanho da zona de eficiência, isto é, o triângulo $P_1P_2I^*$, procedeu-se, seguidamente, com o método NISE, através da otimização de uma única função objetivo, composta pelas funções – VAB e custos energéticos – sendo estas ponderadas pelo valor de inclinação da reta que une

os dois pontos extremos eficientes encontrados (pontos ideais e anti-ideais da matriz de compromisso).

As iterações continuaram até o erro encontrado ter sido inferior ao fixado. O erro máximo admissível foi 7% do valor do erro máximo possível, sendo este a distância máxima entre as fronteiras inferior e superior da zona de eficiência, obtidas na primeira iteração, medida na direção perpendicular à fronteira inferior. Utilizando o método NISE foram identificados sete e cinco pontos eficientes no cenário sem e com subsídios, respectivamente, para cada uma das áreas em estudo.

Dado que, no espaço dos objetivos considerados, os resultados encontrados têm uma amplitude de variação bastante grande, seguiu-se a determinação do conjunto compromisso, utilizando o procedimento descrito no ponto 3. Este corresponde ao conjunto de soluções eficientes que estão mais próximas da solução ideal, a distância compreendida entre L_1 e L_∞ , considerados pesos idênticos para cada um dos objetivos considerados.

Salienta-se, porém, que dada a impossibilidade de existência de um número não inteiro de animais nas explorações, fornecido pelas soluções do modelo inicial, procuraram-se novas soluções compromisso (soluções compromisso alteradas). Para isso, impôs-se aos modelos iniciais a condição de que cada atividade pecuária deveria ser igual ao número inteiro mais próximo ao obtido com as primeiras soluções compromisso.

As soluções compromisso (alteradas) obtidas ao modelo nos cenários sem e com subsídios à atividade corrente encontram-se no Quadro 2. A sua análise permite enumerar as seguintes observações:

- As atividades selecionadas pelo modelo demonstram uma acentuada utilização das áreas ocupadas por culturas vegetais ligadas à atividade pecuária. Por exemplo, o prado temporário (de regadio) é uma atividade sempre presente. A terra arável de sequeiro é, na generalidade, ocupada com batata e/ou prado temporário (apenas nas serras do Marão-Alvão-Padrela);
- As áreas de lameiros de feno e pasto são integralmente utilizadas, como imposto aos modelos, sendo necessário arrendar pastagens de regadio, nas

situações em que se consideram subsídios à atividade corrente, na serra de Montemuro;

- As pastagens de baldio são integralmente utilizadas para pastoreio animal nas serras do Marão-Alvão-Padrela. Também na serra de Montemuro elas são utilizadas/limpas diretamente pelo pastoreio animal, em detrimento da limpeza mecânica, mas são, na generalidade, consumidas numa relação proporcional ao efetivo bovino identificado nas soluções;
- De entre as várias hipóteses fornecidas ao modelo, relativamente à atividade bovina, verifica-se em todas as soluções obtidas a seleção de animais do tronco frísio, em número que varia dos 3-4 aos 4-6 animais, nas serras do Marão-Alvão-Padrela e Montemuro, respetivamente, com venda ao nascimento das suas crias cruzadas. Os bovinos maroneses estão sempre presentes em número entre 7-9 e os arouqueses devem, também, estar presentes nas explorações, com exceção de uma solução, em número entre 1 e 2 unidades pecuárias, em cada uma das áreas em estudo. Destaque-se que, em todas as soluções obtidas para os dois modelos considerados para as serras do Marão-Alvão-Padrela, o efetivo bovino Maronês é manifestamente superior a 25% do efetivo bovino total, limite imposto nos modelos, com valores mais acentuados na situação com subsídios à atividade corrente. Os descendentes puros de raça Frísia são apenas considerados em duas soluções da serra de Montemuro, que coincidem com aquelas em que o objetivo económico assume valores superiores (pontos L_i). Nestas soluções, denota-se também, de modo geral, um número mais elevado de bovinos do tronco Frísio, relativamente às restantes soluções;
- No âmbito dos pequenos ruminantes, o modelo considera, em todas as soluções expostas para a serra de Montemuro, a existência de ovinos para carne e leite, sendo este transformado, na sua totalidade, em queijo. Para as serras do Marão-Alvão-Padrela, não foram selecionados caprinos da raça Bravia;
- Observa-se a venda dos produtos vegetais obtidos na exploração, incluindo o feno, na situação em que as disponibilidades excedem as necessidades alimentares dos animais. Esta situação verifica-se, principalmente, pela substituição daqueles por alimentos mais ricos em

energia e em proteína e com volumes de matéria seca inferiores (concentrado comercial e silagem de milho);

- Também o estrume é vendido até ao limite imposto, excetuando em duas das soluções da Serra de Montemuro, cujo objetivo ambiental é melhorado, isto é, os custos energéticos são inferiores, devido ao menor número de animais explorados;
- A contratação de mão-de-obra temporária foi relativamente reduzida, sendo necessária, apenas, em duas situações que coincidem com a existência de maior encabeçamento animal. Refira-se que, apesar da minimização da mão-de-obra temporária não ser um objetivo claramente definido no modelo formalizado, identificado indiretamente, no objetivo da maximização do VAB através do custo que acarreta, era importante a sua redução devido à escassez em mão-de-obra temporária disponível que se verifica nas áreas em estudo. No entanto, é ainda de salientar que, em todas as soluções obtidas se verificam períodos em que a mão-de-obra própria é excedentária, com distribuição não uniforme pelos períodos considerados;
- Também com a tração se verifica que a disponibilidade existente é mais do que suficiente para as necessidades verificadas, não sendo necessário recorrer ao seu aluguer;
- Os modelos escolhem, para todas as soluções obtidas, compra ao exterior de fertilizantes azotados e fosfatados, em detrimento da utilização de quantidades superiores de estrume, que são vendidas;
- Os concentrados comerciais e a silagem de milho comprados são identificados numa relação proporcional com o efetivo bovino das raças do tronco Frísio, devendo ser distribuído, de forma regular, ao longo do ano.

Os pontos obtidos permitem, ainda, conhecer as curvas de transformação (*trade-off*) e avaliar, na perspetiva do conceito de marginal, qual o sacrifício dos vários objetivos quando se deseja melhorar, de uma unidade adicional, um deles. Este exercício é apresentado, nas Figuras 1 e 2, para serras do Marão-Alvão-Padrela, na situação sem e com subsídios, respetivamente.

Quadro 2: Soluções compromisso nos cenários sem e com subsídios à atividade corrente, para cada um dos modelos e cenários.

Pontos extremos	Serras do Marão-Alvão-Padrela				Serra de Montemuro			
	Sem subsídios		Com subsídios		Sem subsídios		Com subsídios	
	L_1	L_∞	L_1	L_∞	L_1	L_∞	L_1	L_∞
Objetivos								
VAB (€)	10 915	9 708	18 672	16 036	16 289	9 588	18 748	13 222
Custos energéticos (MJ)	117 185	104 354	119 352	101 516	246 827	146 435	243 666	159 572
Variáveis de decisão principais								
Regadio (Hectare - Ha)								
Batata	0	0	0	0	0,2040	0	0	0,3075
Centeio	0	0	0	0	0,2040	0	0	0
Milho silagem	0,012	0	0	0	0	0	0	0
Prado temporário	3,430	3,442	3,442	3,442	0,2040	0,612	0,612	0,3045
Intercalar (ferrã)	0	0	0	0	0	0	0	0,1754
Sequeiro (Ha)								
Batata	0,9354	0,9019	0,5689	0,1918	0,6178	0,7379	0,8128	1,2644
Milho silagem	0	0,0154	0,0455	0	0	0	0	0
Prado temporário	0,0386	0,0567	0,3596	0,7822	0	0	0	0
Lameiros e baldio (Ha)								
Feno	2,7511	2,7511	2,7511	2,7511	0,7841	0,7841	1,4832	1,0317
Pasto	5,4369	5,4369	5,4369	5,4369	1,5919	1,5919	1,5919	1,5919
Baldio (com pastoreio)	14,526	14,526	14,526	14,526	5,1492	0,9092	2,9613	1,4012
Bovinos (Unidade Pecuária - UP)								
Maronesa (F1 pura)	8	7	9	8	0	0	0	0
Arouquesa (F1 pura)	0	0	0	0	1	0	1	2
Frísia (F1 pura - 0m)	0	0	0	0	1	0	1	1
Tronco Frísio (F1 cruz. - 0m)	4	3	4	3	6	4	6	5
Ovinos e caprinos (UP)								
Ovinos (carne e queijo)	0	0	0	0	30	17	28	9
Venda de produtos de origem vegetal e animal (Quilograma - kg)								
Batata	10 795	10 408	6 565	2 213	9 704	8 515	9 380	18 473
Feno	30 838	30 889	30 889	30 889	5 513	7 241	11 387	7 406
Leite de vaca	0	0	0	0	44 551	25 458	44 551	31 822
Queijo de ovelha	0	0	0	0	1 080	612	1 008	324
Estrume bovino	70 000	70 000	70 000	70 000	70 000	39 545	70 000	48 131

Quadro 2: Soluções compromisso nos cenários sem e com subsídios à atividade corrente, para cada um dos modelos e cenários (continuação).

Pontos extremos	Serras do Marão-Alvão-Padrela				Serra de Montemuro			
	Sem subsídios		Com subsídios		Sem subsídios		Com subsídios	
	L_1	L_∞	L_1	L_∞	L_1	L_∞	L_1	L_∞
Aquisição de fatores de produção ao exterior (kg)								
Terra arável sequeiro Ha	0	0	0	0	0,0058	0,1259	0,2008	0,6524
Pastagens regadio (Ha)	0	0	0	0	0	0	0,6992	0,2476
Mão-de-obra (H)	13,062	0	33,608	0	47,878	0	58,239	0
N	168,87	191,58	148,08	164,40	31,391	56,619	57,156	86,609
P2O5	188,66	234,50	142,42	172,17	35,403	81,617	42,059	101,08
Milho grão	0	0	0	0	473,96	0	0	1,446
Silagem de milho	0	0	0	0	33 177	27 281	35 659	18 520
Concentrado Maronesa	9 430	8 965	11 827	10 570	0	0	0	0
Concentrado comercial	5 816	3 188	4 201	2 892	37 145	20 148	35 740	20 411
Outros alimentos (kg)	79,301	0	82,163	0	0	0	0	0

Fonte: Resultados próprios publicados em Marta-Costa (2010) e Marta-Costa *et al.* (2013).

Observações: (1) Apresentam-se, apenas, as variáveis principais cujo resultado é diferente de zero; (2) para os produtos das atividades com destinos diversos, coloca-se somente a fração vendida, sendo a restante reempregue na exploração (casos do estrume e produtos vegetais); (3) com exceção dos animais destinados à substituição, os restantes nascidos destinam-se à venda, bem como os animais de refugio; (4) os valores encontram-se arredondados aos dígitos apresentados, com exceção do efetivo animal.

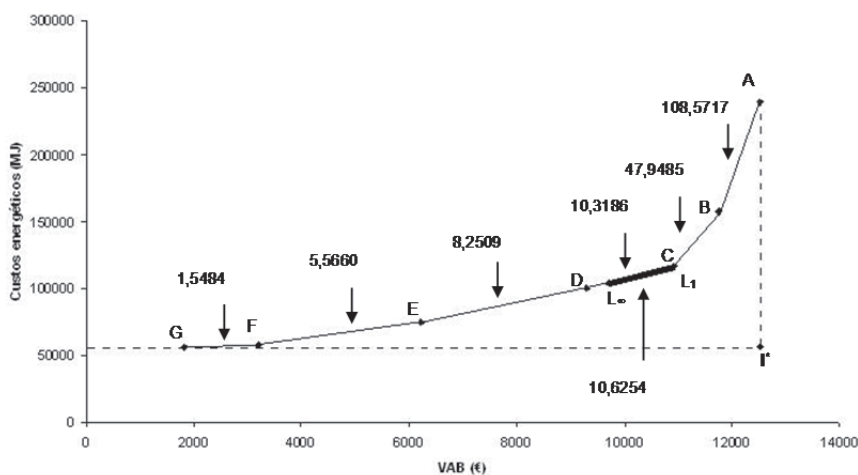


Figura 1: Curvas de *trade-off* entre os objetivos VAB e Custos energéticos para o cenário sem subsídios à atividade corrente, para as serras do Marão-Alvão-Padrela (Resultados próprios).

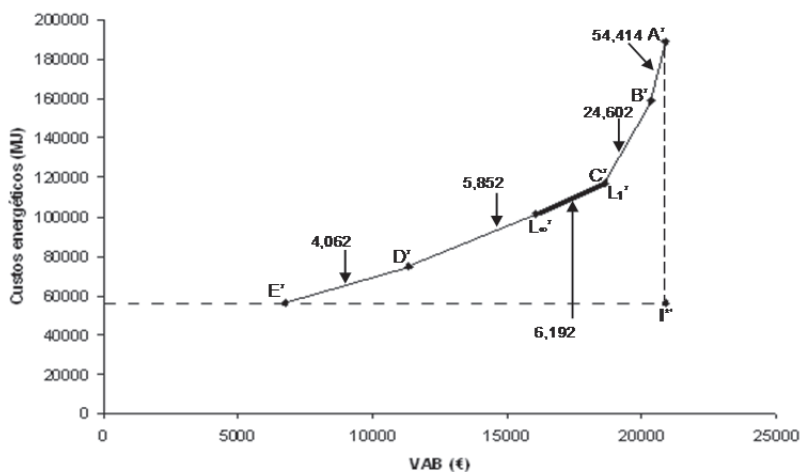


Figura 2: Curvas de *trade-off* entre os objetivos VAB e Custos energéticos para o cenário com subsídios à atividade corrente, para as serras do Marão-Alvão-Padrela (Resultados próprios).

Analisando as Figuras 1 e 2, observa-se que entre os pontos A e B a inclinação é, nesta parte da curva de *trade-off*, de 108,572 e 54,414 respetivamente. Isto significa que a cada incremento de um euro de VAB, corresponde um incremento de 108,572 e 54,414 MJ de custos energéticos, para as situações sem e com subsídios, respetivamente. O custo de oportunidade de cada Euro de VAB pode, assim, ser medido como o sacrifício de 108,572 e 54,414 MJ de custo energético, respetivamente.

Por outro lado, observa-se, também, que entre as várias soluções possíveis o custo energético cresce a uma taxa crescente (a inclinação vai aumentando), sendo a mesma acompanhada pela subida do custo de oportunidade do VAB. Se, por hipótese, a escolha for o ponto B em vez do ponto A da Figura 1, então, uma diminuição de aproximadamente 760 euros no VAB compensam a redução de 82 469 MJ de custos energéticos.

Nas soluções compromisso um aumento de um euro no VAB conduz a um acréscimo de 10,625 (Figura 1) e 6,192 MJ (Figura 2) nos custos energéticos, para os cenários sem e com subsídios à atividade correntes, respetivamente, o que significa um aumento mais que proporcional dos custos energéticos.

5. Considerações finais e conhecimento adquirido

Ao longo deste trabalho apresentaram-se dois modelos de exploração agropecuária para as serras do Marão-Alvão-Padrela e de Montemuro, no contexto da sustentabilidade, usando cenários sem e com subsídios. As técnicas utilizadas permitiram encontrar um conjunto de soluções, as quais terão de ser avaliadas por cada decisor. Isto significa que não se pode excluir, *a priori*, qual dos modelos ou qual das soluções se deveria eleger na orientação da tomada de decisão. Todos apresentam vantagens e inconvenientes, quando os resultados são analisados dentro de possíveis cenários alternativos com conjunturas socioeconómicas diversas e onde os objetivos possam ter mais ou menos importância.

Tal como na maioria dos problemas de multicritério ou multiobjetivo não existe uma solução ótima, mas um conjunto de soluções eficientes que poderão ser ótimas considerando diferentes valorações dos critérios ou objetivos. Assim, apenas o decisor poderá avaliar a relevância das diferentes soluções apresentadas. Neste caso, os modelos desenvolvidos não têm por objetivo uma aplicação direta. Estes modelos são muito úteis para os decisores poderem manipular e, deste modo, adquirir conhecimento que será utilizado na tomada de decisão nomeadamente sobre políticas e normas a implementar. Assim, o objetivo é essencialmente adquirir conhecimento sobre o sistema em estudo e, deste modo, perceber relações entre componentes do sistema anteriormente desconhecidas ou, mesmo, desenvolver algumas regras de decisão que possam ser aplicadas em políticas de gestão do território futuras.

Nos parágrafos seguintes enumeram-se algum do conhecimento reconhecido pelos analistas como resultados deste projeto e transmitido aos decisores, nomeadamente à Associação de Criadores do Maronês e à Associação de Municípios do Vale Douro Sul, desconhecendo-se a sua aplicação direta ou indireta no terreno.

Tendo por base as soluções compromisso extremas obtidas, considerando pesos idênticos para os objetivos considerados, verifica-se que o equilíbrio resulta da seleção das atividades batata e prados temporários (regadio e sequeiro); lameiros de feno e de pasto; e utilização de baldio. Como atividades pecuárias são sempre selecionados animais do tronco frísio, para produção de

carne e leite; e ovinos para produção de carne e leite (serra de Montemuro), devendo este último ser transformado, na íntegra, em queijo, no sentido de assegurarem o rendimento económico da exploração. Os animais de raça Maronesa (serras do Marão-Alvão-Padrela) e Arouquesa (serra de Montemuro) são também uma opção a considerar em quase todas as situações.

Todas aquelas soluções incluíram, assim, as atividades pecuárias carne e leite, sendo certo que a atividade leite está sempre presente quando a tendência for para um maior VAB. Também é certo que a atividade carne está sempre presente, quando a tendência for para o mínimo custo energético.

As atividades bovinas selecionadas permitem concluir que, face aos recursos disponíveis, as áreas mais agrestes e menos produtivas, como os baldios, devem ser aproveitadas pelas raças rústicas (Maronesa e Arouquesa), transformadores naturais dos recursos intrínsecos das zonas de montanha, resultando numa mais-valia ambiental e económica. Para estas situações, a dimensão do efetivo bovino autóctone pode ainda ser reforçado, com consequências económicas, se atribuídas ajudas monetárias à sua exploração. As áreas mais produtivas, por outro lado, devem ser utilizadas para atividades mais rendíveis, como a exploração de bovinos leiteiros, cuja venda do vitelo deve ser realizada à nascença, devido não só ao maior rendimento económico daí resultante, mas também à ausência de recursos alimentares disponíveis para a sua criação. A seleção e complementaridade das duas atividades, nos seus extremos parece ser, assim, a chave para o futuro do setor agropecuário, em zonas de montanha, no sentido da sustentabilidade:

Bovinos de carne/raça mais rústica (autóctone)/menor custo energético/menor VAB

Bovinos de leite/raças exóticas/maior custo energético/maior VAB

Pode concluir-se, portanto, que é possível planear as atividades agropecuárias por forma a conciliar alguns objetivos essenciais no contexto da promoção da agricultura sustentável em áreas de montanha. Por um lado é possível obedecer aos requisitos ambientais da manutenção da biodiversidade genética e do território sem degradar o ambiente, através da exploração de raças animais autóctones, com elevada rusticidade e promotores de benefícios

económicos, apesar da sua baixa produtividade. Por outro lado, a exploração de raças exóticas, apesar de originar consequências ambientais negativas, fortalece os benefícios económicos totais da exploração, promovendo maior qualidade de vida, essencial para a manutenção da população e para o desenvolvimento rural.

A elaboração dos modelos definidos e as soluções obtidas suscitaram ainda algumas reflexões, tendo presente o enquadramento dos objetivos que se pretendem alcançar e que se passam a expor:

- A área das explorações é uma das principais limitações dos resultados obtidos. Aumentando o limite de área arrendada, por exemplo, as soluções diferem das alcançadas inicialmente, melhorando-se os resultados económicos. Além disso, na hipótese das necessidades alimentares respeitantes às atividades pecuárias serem fundamentalmente satisfeitas pelos alimentos produzidos nas explorações, em pelo menos 50%¹⁰, verifica-se a inexistência de qualquer atividade pecuária, com penalização nos seus resultados económicos;
- Verifica-se um grande excedente de mão-de-obra, em diversos períodos, bem como número de horas de tração sobranes. Neste sentido, para a mão-de-obra não utilizada, indicada pelos modelos, é necessário encontrar formas alternativas de emprego. Da mesma forma, é preciso ponderar a venda ou a utilização de algumas máquinas e equipamentos em trabalhos para o exterior, com custos horários muito elevados devido à sua baixa/nula utilização, para rendibilizar este fator de produção;
- O nível de subsídios concedidos aos animais de raças autóctones não se mostra suficiente para incentivar a sua exploração, nem para cobrir as receitas obtidas com os animais de raças exóticas.

Note-se que os modelos construídos foram fornecidos aos decisores - principalmente órgãos de gestão pública - para que possam ser utilizados no processo de decisão. Tratam-se de modelos dinâmicos, pois as múltiplas

¹⁰ Condição definida na “Norma para Carne Bovino” no âmbito do Projeto *Extensivity* – Sistemas de Gestão Ambiental e de Sustentabilidade na Agricultura Extensiva, tendo como objetivo conseguir o equilíbrio forragem-pecuária obtido na exploração, mas também assegurar a autonomia da unidade de produção, condição fundamental para a sua sustentabilidade (Domingos *et al.*, 2005).

variáveis e coeficientes encontram-se em constante mutação. É o caso, por exemplo, dos preços dos produtos e dos fatores de produção que poderão influenciar, dentro de alguns limites, os modelos delineados. No entanto, a complementaridade entre as várias atividades será (sempre) um desafio que urge praticar.

BIBLIOGRAFIA

AMVDS (Associação de Municípios do Vale Douro Sul), *Plano de Gestão Integrada do Sítio PTCO0025 Montemuro, Memória descritiva complementar*. Resende: AMVDS, 60 pp. 2008.

ALVES, V. C. *Estudo sobre a "Raça Bovina Maronesa". Situação Actual e Perspectivas Zootécnicas*. Tese de Doutoramento. Vila Real: UTAD, 172 p. 1993.

AZEVEDO, J.; Tibério, L; Torres, F.; Fonseca, C.; Almeida, L.; Marta, A.; Mascarenhas, A.; Mesquita, M.; Magalhães, M.; E Ferreira, P. *Relatório Intercalar I – Parte I (Diagnóstico de Síntese) do Projeto "Plano de Gestão Integrada do Sítio PTCO0025 Montemuro"*. Vila Real: UTAD, 63 p. 2008.

AZEVEDO, J.; Tibério, L; Torres, F.; Fonseca, C.; Almeida, L.; Capapé, A.; Marta, A.; Mascarenhas, A.; Mesquita, M.; Magalhães, M.; Ferreira, P.; Silva, J.; Costa, F.; Gonçalves, H.; Resende, D.; E Bento, J. *Relatório Intercalar II – Plano de Acção do Projeto "Plano de Gestão Integrada do Sítio PTCO0025 Montemuro"*. Vila Real: UTAD, 258 p + apêndices. 2009.

CARVALHO, N. S. *Agricultura Sustentável em Regadio e o seu Planeamento Face aos Desafios Económicos, Sociais e Ambientais (O Caso da Futura Zona Irrigada de Intervenção de Alqueva)*. In Actas do 5º Congresso Ibérico "Gestão e Planeamento de Água". 4-8 Dezembro 2006, Universidade do Algarve - Faro, 10 p. 2006.

CARVALHO, N. S. *O Planeamento Agrícola Face aos Actuais Desafios Ambientais, Sociais e Económicos (Uma Aplicação da Programação por Metas Lexicográficas ao Caso da Futura Zona de Regadio de Intervenção de Alqueva)*. In Actas do V Congresso Nacional da Associação Portuguesa de Economia Agrária "Globalização, Agricultura e Áreas Rurais". 4-6 Outubro 2007, UTAD - Vila Real, 10 pp. 2007.

CCE (Comissão das Comunidades Europeias) e DGA (DIREÇÃO-GERAL DA AGRICULTURA. *O Sector da Carne da União Europeia*. Fact sheet. Bruxelas, 23 p. 2004.

CE (Comunidade Europeia). Directiva 91/676/CE do Conselho, de 12 de Dezembro de 1991, relativa à protecção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias* N.º L 375 de 31.12.1991, pp. 1-8. 1991.

COHON, J. L. *Multiobjective Programming and Planning. Mathematics in Science and Engineering* Vol. 140. San Diego, California: Academic Press, 333 p. 1978.

COLAÇO-DO-ROSÁRIO, M. F. *Ensaio de Caracterização Agrária Integrada do Norte de Portugal no Contexto do Continente – Estudo com vista à Orientação do Agros na Perspectiva da Modernidade no Equilíbrio*. Tese de Doutoramento. Vila Real: UTAD, 638 p. 1998.

COOPERATIVA AGRÍCOLA DE VILA REA. *Carne Maronesa - Caderno de Especificações*. Vila Real, 14 p. 2001.

DOMINGOS, T.; Rodrigues, O.; Avelar, T.; Brito, A.; Piçarra, A.; Sendim, A.; Ferreira, F.; Dias, N.; Crespo, D.; Crespo, J.; Lopes, A.; Belo, C.; Alcazar, R.; Sarmiento, N. E Sequeira, E. *Sustentabilidade Garantida - Norma para Carne Bovino*. Projecto Extensivity – Sistemas de Gestão Ambiental e de Sustentabilidade na Agricultura Extensiva LIFE ENV/P/505, 27 p. 2005.

ENESAD (Établissement National d'Enseignement Supérieur Agronomique de Dijon) e ADEME (Agence de l' Environnement et de la Maitrise de l'Énergie). *Analyse Énergétique d'Exploitations Agricoles et Pouvoir de Réchauffement global. Méthode et Résultats sur 140 Fermes Française*. Document du Groupe Planète. 2002.

FERREIRA, J.; Strecht, A.; Ribeiro, J.; Soeiro, A. E Cotrim, G. *Manual de Agricultura Biológica. Fertilização e Protecção das Plantas para uma Agricultura Sustentável*. Lisboa: Associação Portuguesa de Agricultura Biológica (AGROBIO), 435 p. 2002.

GPPAA (Gabinete de Planeamento e Política Agro-Alimentar). *Contas de Culturas das Actividades Vegetais – Modelo de Base Microeconómica*. Lisboa, CD-ROM. 2001.

INE. *Estatísticas Agrícolas 2004*. <www.ine.pt> 2005.

INRA. *Alimentation des Bovins, Ovins & Caprins*. Paris: INRA, 471 p. 1988.

KLAPP, E. *Prados e Pastagens*. 2ª Edição. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 872 p. 1986.

MADRP *Código de Boas Práticas Agrícolas para a Protecção da Água contra a Poluição com Nitratos de Origem Agrícola*. Lisboa, 52 p.+anexos. 1997.

MADRP "Portaria N.º 1212/2003, aprova o Regulamento de Aplicação da Intervenção «Medidas Agro-Ambientais», do Plano de Desenvolvimento Rural (RURIS)". *Diário da República* N.º 240, I-B Série, de 16 de Outubro de 2003, pp. 6894-6931. 2003.

MARTA-COSTA, A. A. *Reflexão sobre o Programa de Medidas Agro-Ambientais Aplicado no Período 1994/1999, como Contributo para Futuros Programas Agro-Ambientais a Aplicar em Trás-os-Montes*. Trabalho de Síntese para prestação de Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica. Vila Real: UTAD, 301 p. 2001.

MARTA-COSTA, A. A. *A Tomada de Decisão no Planeamento da Exploração Agrária no Contexto da Sustentabilidade: O Caso da Produção de Carne Bovina Maronesa*. Dissertação de Doutoramento. Vila Real: UTAD, Vol. I e II. 2008.

MARTA-COSTA, A. A. "Application of Decision Support Methods for Sustainable Agrarian Systems". *New Medit – Mediterranean Journal of Economics, Agriculture and Environment*, Vol. IX – N.º 2, pp. 42-49. 2010.

MARTA-COSTA, A.; Manso, F.; Tibério, L. E Fonseca, C. *Assay of a Sustainable Farming Model for the Montemuro Mountain (Portugal)*. On: Proceedings of 9th European IFSA Symposium "Building Sustainable Rural Futures. The Added Value of Systems Approaches in Times of Change and Uncertainty". I. Darnhofer e M. Grötzer Eds., Vienna (Austria), 4-7 July 2010, p. 835-844, ISBN: 978-3-200-01908-9. 2010.

MARTA-COSTA, A. A.; Manso, F.; Tibério, L.; Fonseca, C. *Ecological-economic modelling for farming systems of Montemuro Mountain (Portugal)*. In: Methods and procedures for building sustainable farming systems: Application in the European context. Marta-Costa, A. and Silva, E. Eds. Springer publication, pp. 207-217. 2013.

MENDES, A. B. e Cardoso, M. G. M. S. Clustering supermarkets: The role of experts. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 13 (13), pp. 231-247. 2006.

MIRANDA J. *Contributos para a Definição de uma Estratégia de Intervenção em Zonas de Montanha*. In: Cadernos da Montanha – Peneda-Soajo II. Arcos de Valdevez: Francisco Rodrigues de Araújo, pp. 101-107. 2000.

MOERSCHNER, J. e Lücke, W. *Energy Investigations of Different Intensive Rape Seed Rotations – A German Case Study*. In *Economics of Sustainable Energy in Agriculture*, Chapter 3. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, pp. 27-40. 2002.

MOREIRA, N. *Agronomia das Forragens e Pastagens*. Vila Real: UTAD, 183 p. 2002.

MOREIRA, N.; Aguiar, C. E Pires, J. *Medidas Agro-Ambientais: 3.3 Lameiros e outros prados e pastagens de elevado valor florístico - Pastagens de Montanha*. Lisboa: DGDR, 47 p. 2001.

MÜLLER, S. *¿Como Medir la Sostenibilidad? Una Propuesta para el Area de la Agricultura y de los Recursos Naturales*. Serie Documentos de Discusión sobre Agricultura Sostenible y Recursos Naturales N.º 1. Costa Rica: IICA/BMZ/GTZ, 55 p. 1996.

POETA, A. M. S. D. *A Tomada de Decisão no Planeamento da Exploração Agrícola num Contexto de Objectivos Múltiplos*. Tese de Doutoramento. UTAD: Vila Real, 182 p. 1994.

ROBERTSON, J. "Transformar a Economia – Desafio para o Terceiro Milénio". *Cadernos Schumacher para a Sustentabilidade*, 10ª Edição. Águas Santas: Edições Sempre-em-Pé, 77 p. 2007.

ROMERO, C. *Teoría de la Decisión Multicriterio: Conceptos, Técnicas y Aplicaciones*. Madrid: Alianza Editorial, 195 p. 1993.

ROMERO, C. e Rehman, T. *Multiple Criteria Analysis for Agricultural Decisions*. *Developments in Agricultural Economics* 5. Amsterdam: Elsevier, 257 p. 1989.

SANTOS, J. M. L. *Sistemas de Aproveitamento de Recursos Naturais no Alto Barroso*. Tese de Doutoramento. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, ISA, 466 p. 1991.

SILVA, E. L. D. G. S. *Análisis Multicriterio da la Eficiência Económica de las Explotaciones Agroganaderas de las Azores (Portugal)*. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba, 295 p. 2001.

SILVA, M. A Valorização do Gado Bovino. In: *Cadernos da Montanha – Peneda-Soajo II*. Arcos de Valdevez: Francisco Rodrigues de Araújo. http://www.ardal.pt/modules/xt_conteudo/index.php?id=12. 2000.

APÊNDICE

1. Abreviaturas e símbolos usados para variáveis

XA_{ij} – atividades culturais em terras aráveis (Ha); i – tipo de terreno; j – tipo de cultura

XP_p – atividades de pastagens permanentes (Ha); p – tipo de pastagem

XB – atividade baldio (Ha) (SMAP)

XB_b – atividade baldio (Ha); b – tipo de aproveitamento/limpeza dos baldios (SM)

X_h – terra arrendada (Ha); h – tipo de terra (SM)

XV_r – atividade bovina, vacas (UP); r – raça bovina

XC_s – atividade caprina/ovina, cabras/ovelhas (UP); s – espécie animal

VA_v – atividade de venda do produto fornecido pelas atividades culturais (Kg); v – tipo de produto vegetal

VC_{rx} – atividade de venda de carne proveniente das atividades bovinas “r” (Kg); x – categoria etária animal

VC_{sy} – atividade de venda de carne proveniente da atividade caprina/ovina “s” (Kg); y – categoria etária animal

VL – atividade de venda de leite de origem bovina (Kg)

VL_s – atividade de venda de leite proveniente da atividade caprina/ovina “s” (Kg)

VQ_s – atividade de venda de queijo proveniente da atividade caprina/ovina “s” (Kg) (SM)

- VE_r - atividade de venda de estrume proveniente das atividades bovinas "r" (Kg)
 VE_s - atividade de venda de estrume proveniente da atividade caprina/ovina "s" (Kg)
 CA_{jt} - consumo de alimento proveniente das culturais "j", no período "t" (Kg); t - período
 CP_{pt} - consumo de alimento proveniente das pastagens "p", no período "t" (Kg)
 CB_t - consumo de alimento proveniente do baldio, no período "t" (Kg) (SMAP)
 CB_{bt} - consumo de alimento proveniente do baldio "b", no período "t" (Kg) (SM)
 UE_r - quantidade de estrume incorporado no solo, proveniente das atividades bovinas "r" (Kg)
 UE_s - quantidade de estrume incorporado no solo, proveniente da atividade caprina/ovina "s" (Kg)
 UTM_t - quantidade de tração mecânica própria utilizada, no período "t" (H)
 TF'_{at} - transferência de alimentos do período "t" para "t" ($t \neq t$) (Kg); a - tipo de alimento
 MO_t - contratação de mão-de-obra, no período "t" (H)
 TM_t - aluguer de tração mecânica, no período "t" (H)
 FN - compra de fertilizante N (Kg de N)
 FP - compra de fertilizante P_2O_5 (Kg de P_2O_5)
 FK - compra de fertilizante K_2O (Kg de K_2O)
 Al_c - compra de alimentos no período "t" (Kg); c - tipo de alimento

2. Abreviaturas e símbolos usados para parâmetros

- AR - disponibilidade de área total de terra arável de regadio (Ha)
 AS - disponibilidade de área total de terra arável de sequeiro (Ha)
 LF - disponibilidade de área total de lameiro de feno (Ha)
 LP - disponibilidade de área total de lameiro de pasto (Ha)
 BA - disponibilidade de área total de baldio (Ha)
 a_{ijt} - necessidade de mão-de-obra para as atividades culturais "j", no terreno "i", no período "t" (H/Ha)
 a_{pt} - necessidade de mão-de-obra para as atividades de pastagens "p", no período "t" (H/Ha)
 a_{bt} - necessidade de mão-de-obra para as atividades de baldio "b", no período "t" (H/Ha) (SM)
 b_{rt} - necessidade de mão-de-obra para a atividade bovina "r", no período "t" (H/UP)
 b_{st} - necessidade de mão-de-obra para a atividade caprina/ovina "s", no período "t" (H/UP)
 q_{st} - necessidade de mão-de-obra para o queijo proveniente da atividade caprina/ovina "s", no período "t" (H/Kg)
 DMO_t - disponibilidade de mão-de-obra familiar no período "t" (H)
 c_{ijt} - necessidade de tração para as atividades culturais "j", no terreno "i", no período "t" (H/Ha)
 c_{pt} - necessidade de tração para as atividades de pastagens "p", no período "t" (H/Ha)
 DTM_t - disponibilidade de tração mecânica no período "t" (H)
 d_r - quantidade de estrume animal fornecido pela atividade bovina "r" (Kg/UP)
 d_s - quantidade de estrume animal fornecido pela atividade caprina/ovina "s" (Kg/UP)
 $\%N_r$ - teor em N disponível do estrume fornecido pela atividade bovina "r" (%)
 $\%N_s$ - teor em N disponível do estrume fornecido pela atividade caprina/ovina "s" (%)
 $\%P_r$ - teor em P_2O_5 do estrume fornecido pela atividade bovina "r" (%)
 $\%P_s$ - teor em P do estrume fornecido pela atividade caprina/ovina "s" (%)

$\%K_r$ - teor em K_2O do estrume fornecido pelas atividades bovinas "r" (%)
 $\%K_s$ - teor em K do estrume fornecido pela atividade caprina/ovina "s" (%)
 eN_{ij} - necessidade de fertilizante N, para as atividades culturais "j", no terreno "i" (Kg/Ha)
 eN_p - necessidade de fertilizante N, para as atividades de pastagens "p" (Kg/Ha)
 eP_{ij} - necessidade de fertilizante P_2O_5 , para as atividades culturais "j", no terreno "i" (Kg/Ha)
 eP_p - necessidade de fertilizante P_2O_5 , para as atividades de pastagens "p" (Kg/Ha)
 eK_{ij} - necessidade de fertilizante K_2O , para as atividades culturais "j", no terreno "i" (Kg/Ha)
 eK_p - necessidade de fertilizante K_2O , para as atividades de pastagens "p" (Kg/Ha)
 f_{rt} - necessidade de unidades de alimentação da atividade bovina "r", no período "t"
 (UF/UP)
 f_{st} - necessidade de unidades de alimentação da atividade caprina/ovina "s", no período "t"
 (UF/UP)
 g_{ijt} - quantidade de produto fornecido pelas atividades culturais "j", no terreno "i", no período "t" (Kg/Ha)
 g_{pt} - quantidade de produto fornecido pelas atividades de pastagens "p", no período "t"
 (Kg/Ha)
 g_t - quantidade de produto fornecido pelo baldio, no período "t" (Kg/Ha) (SMAP)
 g_{bt} - quantidade de produto fornecido pelo baldio "b", no período "t" (Kg/Ha) (SM)
 $cUFA_j$ - coeficiente de conversão para unidades forrageiras da unidade de alimentação do produto resultante das atividades culturais "j" (UF/Kg)
 $cUFP_p$ - coeficiente de conversão para unidades forrageiras da unidade de alimentação do produto resultante das pastagens "p" (UF/Kg)
 $cUFB$ - coeficiente de conversão para unidades forrageiras da unidade de alimentação do produto resultante do baldio (UF/Kg)
 $cUFC_a$ - coeficiente de conversão para unidades forrageiras dos alimentos conservados "a"
 (UF/Kg)
 $cUFAL_c$ - coeficiente de conversão para unidades forrageiras dos alimentos comprados "c"
 (UF/Kg)
 h_{rt} - necessidade de unidades de alimentação da atividade bovinas "r", no período "t" (kg PDI/UP)
 h_{st} - necessidade de unidades de alimentação da atividade caprina/ovina "s", no período "t"
 (kg PDI/UP)
 $cpDIA_j$ - coeficiente de conversão para PDI da unidade de alimentação do produto resultante das atividades culturais "j" (Kg PDI/Kg)
 $cpDIP_p$ - coeficiente de conversão para PDI da unidade de alimentação do produto resultante das pastagens "p" (Kg PDI/Kg)
 $cpDIB$ - coeficiente de conversão para PDI da unidade de alimentação do produto resultante do baldio (Kg PDI/Kg)
 $cpDICA_a$ - coeficiente de conversão para PDI dos alimentos conservados "a" (Kg PDI/Kg)
 $cpDIAL_c$ - coeficiente de conversão para PDI dos alimentos comprados "c" (Kg PDI/Kg)
 i_{rt} - capacidade máxima de ingestão de unidades de alimentação da atividade bovina "r", no período "t" (Kg MS/UP)
 i_{st} - capacidade máxima de ingestão de unidades de alimentação da atividade caprina/ovina "s", no período "t" (Kg MS/UP)

$cMSA_j$ - coeficiente de conversão para unidades de matéria seca da unidade de alimentação do produto resultante das atividades culturais “j” (Kg MS/Kg)

$cMSP_p$ - coeficiente de conversão para unidades de matéria seca da unidade de alimentação do produto resultante das pastagens “p” (Kg MS/Kg)

$cMSB$ - coeficiente de conversão para unidades de matéria seca da unidade de alimentação do produto resultante do baldio (Kg MS/Kg)

$cMSC_a$ - coeficiente de conversão para unidades de matéria seca dos alimentos conservados “a” (Kg MS/Kg)

$cMSAL_c$ - coeficiente de conversão para unidades de matéria seca dos alimentos comprados “c” (Kg MS/Kg)

j_{rx} - quantidade de carne “x” fornecida pela atividade bovina “r” (Kg/UP)

j_{sy} - quantidade de carne “y” fornecida pela atividade caprina/ovina “s” (Kg/UP)

k_r - quantidade de leite fornecida pela atividade bovina “r” (Kg/UP)

\overline{VL} - quantidade média de leite de vaca vendido nas explorações em estudo (Kg) (SMAP)

k_s - quantidade de leite fornecida pela atividade caprina/ovina “s” (Kg/UP)

ch_s - quantidade de queijo fornecida pela atividade caprina/ovina “s” (Kg/UP)

\overline{VE} - quantidade média de estrume vendido nas explorações em estudo (Kg)

CN_r - fator de conversão para CN da atividade bovina “r” (Unidade/UP)

CN_s - fator de conversão para CN da atividade caprina/ovina “s” (Unidade/UP)

l_{ijn} - necessidade de bens e serviços para as atividades culturais “j”, realizadas no terreno “i” (Unidade/Ha); n – tipo de bem e serviço

l_{pn} - necessidade de bens e serviços “n” para as atividades de pastagens “p” (Unidade/Ha)

l_{bn} - necessidade de bens e serviços “n” para as atividades de baldio “b” (Unidade/Ha) (SM)

pF_n - preço unitário dos bens e serviços “n” (Euros/Unidade)

pT_h - preço unitário da terra arrendada “h” (Euros/Ha) (SM)

m_{rf} - necessidade de bens e serviços “f” para a atividade bovina “r” (Unidade/UP); f – tipo de bem e serviço

m_{sf} - necessidade de bens e serviços “f” para a atividade caprina/ovina “s” (Unidade/UP)

pF_f - preço unitário dos bens e serviços “f” (Euros/Unidade)

pV_v - preço unitário dos produtos “v” fornecidos pelas atividades vegetais (Euros/Kg)

pC_{rx} - preço unitário da carne “x” fornecida pela atividade bovina “r” (Euros/Kg)

pC_{sy} - preço unitário da carne “y” fornecida pela atividade caprina/ovina “s” (Euros/Kg)

pL - preço unitário do leite de vaca (Euros/Kg)

pL_s - preço unitário do leite proveniente da atividade caprina/ovina “s” (Euros/Kg)

pQ_s - preço unitário do queijo proveniente da atividade caprina/ovina “s” (Euros/Kg)

pE - preço unitário do estrume (Euros/Kg)

n_z - necessidade de bens e serviços com a tração mecânica própria (Unidade/Hora); z – tipo de bem e serviço

pTP_z - preço unitário dos bens e serviços “z” (Euros/Unidade)

pMO - preço unitário da mão-de-obra (Euros/H)

pTM - preço unitário da tração mecânica (Euros/H)

pFN - preço unitário do fertilizante N (Euros/Kg)

pFP - preço unitário do fertilizante P_2O_5 (Euros/Kg)

pFK - preço unitário do fertilizante K_2O (Euros/Kg)

pAl_c - preço unitário dos alimentos comprados “c” (Euros/Kg)

sXA_{ij} - apoio monetário atribuído às atividades culturais “j”, realizadas no terreno “i”
(Euros/Ha)

sXP_p - apoio monetário atribuído às atividades de pastagens permanentes “p” (Euros/Ha)

sXV_r - apoio monetário atribuído à atividade bovina “r” (Euros/UP)

sXC_s - apoio monetário atribuído à atividade caprina/ovina (Euros/UP)

sTP_1 - apoio monetário atribuído ao combustível (gasóleo verde) (Euros/L)

cE_n - coeficiente de conversão para unidades energéticas dos bens e serviços “n”
(MJ/Unidade)

cE_f - coeficiente de conversão para unidades energéticas dos bens e serviços “f”
(MJ/Unidade)

cET_z - coeficiente de conversão para unidades energéticas dos bens e serviços “z”
(MJ/Unidade)

o_z - necessidade de bens e serviços “z” da tração mecânica alugada (Unidade/H)

$cEFN$ - coeficiente de conversão para unidades energéticas do fertilizante N (MJ/Kg)

$cEFP$ - coeficiente de conversão para unidades energéticas do fertilizante P_2O_5 (MJ/Kg)

$cEFK$ - coeficiente de conversão para unidades energéticas do fertilizante K_2O (MJ/Kg)

$cEAl_c$ - coeficiente de conversão para unidades energéticas dos alimentos comprados “c”
(MJ/Kg)