

P23

Ενέργεια e Ambiente:
Uso, avaliação económica
e políticas na Agricultura



ESADR
2013

Atas *Proceedings*

ISBN 978-989-8550-19-4

P23 · Energia e Ambiente: Uso, avaliação económica e políticas na Agricultura

Coordenadores

Rui Junqueira Lopes

(UE) rjlopes@uevora.pt

Carlos Marques

(UE / CEFAGE) cmarques@uevora.pt

Rui Fragoso

(UE / CEFAGE) rfragoso@uevora.pt

Um dos nossos principais desafios continua a ser o de sermos capazes de alimentar o mundo com mais população, mais desenvolvida e recursos naturais finitos. A agricultura e os agricultores desempenham a função fundamental de produção de alimentos para as populações. Simultaneamente, para além da segurança de abastecimento alimentar, pela relação que têm as suas actividades com o território e os recursos naturais, têm um papel primordial no impacto ambiental que as actividades têm nos solos, na água, no ar e no potencial contributo de oferecer outros bens públicos para a estabilidade climática, a biodiversidade, a preservação da paisagem e o ordenamento, o despovoamento e a desertificação das áreas rurais.

Eficiência e sustentabilidade da produção de alimentos são por essa razão aspectos chave para enfrentar esse desafio. Eficiência implica produzir mais alimentos por unidade de recurso utilizada, em termos agregados e por recurso, nomeadamente solo e água (capital natural), trabalho (capital humano) e outros factores, sementes, adubos, fitofármacos, máquinas e equipamentos, combustíveis e lubrificantes, electricidade, instalações (capital tecnológico). Sustentabilidade requer a manutenção do stock de capital natural ou seja dos recursos ambientais renováveis disponível para gerações futuras. A energia pode ser um denominador comum para agregar os recursos utilizados na produção agrícola. A sua utilização está, também, muito ligada ao impacto ambiental que pode ter nos recursos naturais.

As políticas públicas podem ter um efeito considerável na orientação e utilização dos recursos. Na Europa, a Política Agrícola Comum (PAC) representa uma importante contribuição para o rendimento dos agricultores e tem, sucessivamente, sido justificada pela sua contribuição em termos de produção de bens públicos. Prosseguir e avaliar os efeitos de medidas de política e alternativas que estabeleçam formas adequadas de assegurar a oferta de alimentos, a principal função da agricultura, e de internalizar as suas externalidades positivas, requer a avaliação dos usos e impactos potenciais ou efectivos nos recursos naturais e no ambiente.

Este painel tem por objectivo convocar os investigadores a submeter e apresentar artigos para divulgação e discussão de estudos, de metodologias e de resultados empíricos sobre energia e ambiente na agricultura, a sua relação com os resultados económicos e as políticas que orientam a tomada de decisões dos agentes para objectivos públicos.

INTERPRETANDO O ESPAÇO RURAL: DESENVOLVIMENTO, RECURSOS NATURAIS E INFRA-ESTRUTURA

José Luiz Parré

Professor Associado do Departamento de Economia da Universidade Estadual de Maringá;
Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq. E-mail: jlparré@uem.br
Endereço: Av. Colombo, 5.790 - Maringá - PR, Brasil - CEP: 87.020-900

RESUMO: O artigo procura responder a uma importante questão: até que ponto os recursos naturais limitam o desenvolvimento rural de uma região? Para responder a esse problema de pesquisa, utilizando como base teórica a ótica da Nova Geografia Econômica, o artigo teve como objetivo verificar a existência de relação entre desenvolvimento rural e a disponibilidade de infra-estrutura e de recursos naturais para os municípios do estado do Paraná – Brasil. Especificamente, foi elaborado um índice de desenvolvimento rural para o Paraná, o qual foi utilizado como variável dependente; como variáveis explicativas do modelo foram utilizadas a área com lavouras, a densidade rodoviária e o preço da terra para representar a infra-estrutura disponível; a precipitação, a temperatura e o tipo de solo para representar a disponibilidade de recursos naturais. Para implementar as análises, foi utilizado o modelo econométrico *SAR* (*Spatial Autoregressive Model*) que incorpora os efeitos espaciais; complementado pelo indicador de associação espacial local *LISA* (*Local Indicator of Spatial Association*). Os resultados obtidos corroboraram o modelo proposto na análise, indicando sinais de acordo com o esperado e as variáveis relativas à infra-estrutura mostraram maior capacidade preditiva do que as variáveis de recursos naturais, para inferir o desenvolvimento rural dos municípios do Paraná. A incorporação de técnicas de análise espacial possibilitou avanços consideráveis nos estudos sobre desenvolvimento rural, destacando a questão da vizinhança e da infra-estrutura das regiões.

Palavras-chave: Desenvolvimento rural, uso da terra, dependência espacial, heterogeneidade espacial.

ABSTRACT: This article aims to answer the following question: to what extent natural resources constrains the rural development of a region? To answer this research problem, based on the theoretical perspective of the New Economic Geography, the paper aims to verify the existence of relationship between rural development and the availability of infrastructure and natural resources to the counties of the Paraná state - Brazil. Specifically was drawn an Rural Development Indicator (IDR) for the Paraná, which was used as dependent variable, as explanatory variables of the model were used to crop area, road density and land prices to represent the available infrastructure required; precipitation, temperature and soil type to represent the availability of natural resources. To implement the analysis, was used the Spatial Autoregressive Model (SAR) which incorporates spatial effects; complemented by the Local Indicator of Spatial Association (LISA). Results corroborated the proposed model in the analysis, indicating signs line with expectations and the variables related to infrastructure demonstrated greater predictive ability than variables of natural resources, to infer the rural development of the counties. The incorporation of spatial techniques enabled significant advances in studies on rural development, highlighting the issue of neighborhood and the infrastructure of the regions.

Key-words: Rural Development Indicator; land use; spatial dependence; spatial heterogeneity; Brazil



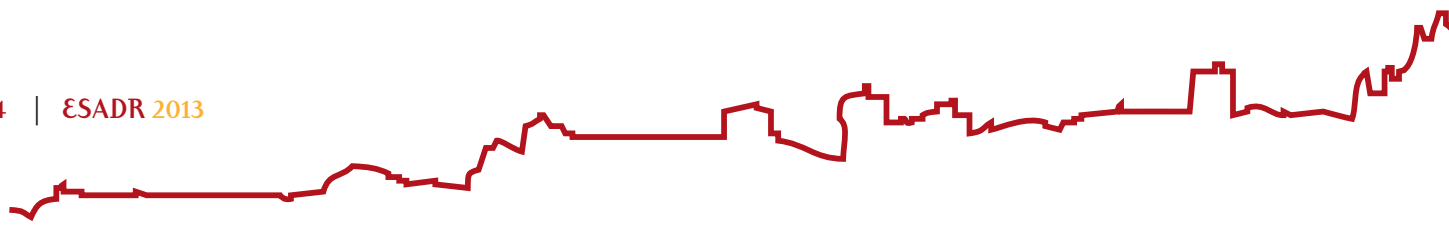
1. Introdução

O Estado do Paraná é um dos maiores produtores de grãos do Brasil, com uma participação em torno de 21% na produção nacional. O Paraná ocupa a primeira posição na produção de milho, trigo, triticale, cevada e feijão; além de ser o segundo maior produtor nacional de soja, aveia e centeio (CONAB, 2010). Para alcançar essa posição de destaque na agricultura brasileira, o setor agrícola paranaense passou por um processo de modernização e inovação tecnológica, apresentando alterações significativas na sua estrutura produtiva. Há, contudo, que se ressaltar que a exemplo do ocorrido em todo o país, tais mudanças foram acompanhadas por importantes reflexos no meio rural paranaense. Assim, mesmo reconhecendo todo o processo como avanço no sentido positivo, é preciso considerar que esse movimento representou também um sentido negativo, na direção das disparidades. De acordo com Melo e Parré (2007), as desigualdades regionais no desenvolvimento rural do estado são consideráveis. Segundo os autores, para o ano de 2000, numa escala de zero a 100, o índice médio de desenvolvimento rural situou-se em 43,6; resultando num total de 179 municípios (44,86%) acima deste valor e 220 municípios (55,14%) abaixo deste índice.

As análises sobre desenvolvimento rural avançaram no sentido de se obter medidas que sintetizassem o estágio de desenvolvimento das regiões, partindo de um conjunto de variáveis e indicadores até chegar à construção de um índice de desenvolvimento rural. A partir daí, regiões são analisadas, municípios hierarquizados e até mapas são confeccionados. Porém, apesar dos autores utilizarem termos que dão idéia de um estudo espacial, na verdade as análises são a-espaciais, ou seja, não incorporam o padrão da interação sócio-econômica dos agentes do sistema no espaço (dependência espacial) e também não consideram as características da estrutura deste sistema no espaço (heterogeneidade espacial).

Incorporar os efeitos decorrentes da dependência espacial e da heterogeneidade espacial sobre desenvolvimento rural e propor um modelo empírico que consiga captar a influência da infra-estrutura e dos recursos naturais sobre esse desenvolvimento é a principal contribuição teórico-metodológica da presente pesquisa para a literatura especializada em economia agrária. Esses efeitos são tratados pela análise exploratória de dados espaciais e pela econometria espacial; métodos que tem como objetivo, segundo Almeida, Perobelli e Ferreira (2008), descrever a distribuição espacial, os padrões de associação espacial (clusters espaciais) e verificar a existência de diferentes regimes espaciais.

Neste sentido, este trabalho tem por objetivo principal mensurar um Índice de Desenvolvimento Rural (IDR) para o Estado do Paraná e verificar a influência da



disponibilidade de infra-estrutura e de recursos naturais sobre o comportamento do IDR para os municípios do Estado.

Como objetivos específicos têm-se: verificar a existência de dependência espacial no desenvolvimento rural no Estado do Paraná, ou seja, municípios com alto (baixo) IDR são vizinhos de municípios com alto (baixo) IDR. Também serão identificados clusters de regiões com padrão de desenvolvimento comum; propor um modelo econométrico espacial para estimar os efeitos de variáveis representativas da infra-estrutura e de recursos naturais sobre o valor do IDR dos municípios do Paraná.

2. Fundamentação Teórica

Os estudos sobre desenvolvimento rural geralmente partem de um conceito adotado pelo autor e, a partir deste conceito, são realizadas análises para compreender as dinâmicas dos espaços agrários. Como explica Kageyama (2008), o desenvolvimento rural pode ser interpretado a partir de uma combinação de forças internas (desenvolvimento endógeno) e externas (desenvolvimento exógeno) que atuam sobre a região em estudo; os atores podem estar envolvidos tanto em redes internas quanto externas. Regiões com redes locais (mercados e recursos territoriais) organizadas devem apresentar elevado nível de desenvolvimento rural, em contraste com áreas isoladas, carentes de recursos naturais e sem instituições locais organizadas.

A análise do desenvolvimento não é simples, pois trata de um fenômeno que envolve uma série de transformações tecnológicas, sociais, distributivas e econômicas. Abrange, pois, um conjunto de indicadores demográficos, econômicos, sociais e ambientais sendo, portanto, um conceito complexo e multissetorial. De acordo Conterato, Schneider e Waquil (2007), ao se estudar o desenvolvimento rural é importante considerar cinco dimensões: social, demográfica, político-institucional, econômica e ambiental.

Neste contexto, a literatura que trata do desenvolvimento rural no Brasil e no exterior tem crescido e canalizado esforços no sentido de obter informações sintéticas que retratem a diversidade do espaço rural (Kageyama, 2008; Rizov, 2005; Melo e Parré, 2007; Conterato, Schneider e Waquil, 2007; Barrios, 2008). Porém, apesar de chamarem a atenção sobre a importância da heterogeneidade do espaço rural para compreender as dinâmicas do desenvolvimento rural, estes estudos não utilizaram um instrumental adequado para captar os efeitos espaciais sobre o desenvolvimento rural, pois trataram municípios vizinhos e distantes identicamente e desconsideraram as dependências espaciais entre eles. Como afirma Abramovay (2003, p.52): “Embora existam traços comuns da ruralidade, é claro que o meio



rural caracteriza-se por sua imensa diversidade. Estabelecer tipologias capazes de captar esta diversidade é uma das importantes missões das pesquisas contemporâneas voltadas para a dimensão espacial do desenvolvimento.”

Conforme descrito por Almeida, Perobelli e Ferreira (2008) não é difícil verificar que a agricultura é sensível aos efeitos espaciais, pois o desenvolvimento das culturas agrícolas é heterogêneo ao longo do espaço. As técnicas de produção, a condição climática, o tipo de solo e topografia influenciam na escolha do que produzir. Além desses fatores, os efeitos de interdependência nas diversas regiões produtoras manifestam-se através da difusão espacial de alguns fenômenos que influenciam a vizinhança, dos processos de competição espacial para a expansão da fronteira agrícola ou na formação dos cinturões agrícolas.

Neste sentido, torna-se fundamental inserir os efeitos espaciais nos estudos sobre o desenvolvimento rural, o que permitirá verificar se existe ou não autocorrelação espacial (dependência espacial) e heterogeneidade espacial (diferenças estruturais) entre os municípios do Estado e como as relações de vizinhança e contigüidade entre os municípios influenciam no desenvolvimento rural.

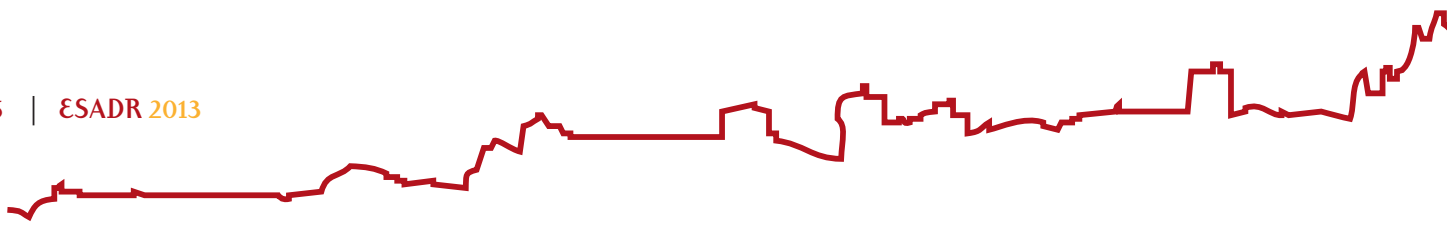
Além disso, os modelos econométricos espaciais ao utilizarem informações georeferenciadas a partir da matriz de pesos, permitirão verificar se as condições de infra-estrutura que o Estado disponibiliza para os municípios como a malha rodoviária e a demanda por infra-estrutura através da área plantada e do preço da terra; juntamente com a disponibilidade de condições favoráveis em relação ao regime de chuvas e de temperaturas e do tipo de solo; apresentam efeitos significativos sobre o desenvolvimento rural dos municípios. Essa será a principal inovação metodológica da presente pesquisa.

3. Referencial Metodológico

Para o presente estudo, dado o caráter multidimensional do conceito de desenvolvimento, utilizou-se a técnica da análise estatística multivariada, mais especificamente, a análise fatorial, para a mensuração do IDR. A segunda etapa da pesquisa será a interpretação da distribuição espacial do IDR utilizando técnicas de análise espacial de dados.

3.1 Análise fatorial

A Análise Fatorial permite transformar grandes conjuntos de dados em um número reduzido de fatores, explicando, com o mínimo de perda de informação, as variáveis originais. Para estimar o modelo de análise fatorial, o presente artigo utiliza o método dos



componentes principais, que consiste na extração dos fatores de modo a maximizar a contribuição dos mesmos para a variância comum (comunalidade). Desta forma, o primeiro fator irá possuir o maior percentual de explicação da variância total das n variáveis da amostra, o segundo fator irá conter o segundo maior percentual, e, assim sucessivamente para os demais fatores (MELO e PARRÉ, 2007).

A medida denominada de Eigenvalue ou raiz característica expressa a variância total do modelo explicada por cada fator. De acordo com Ferreira Junior, Baptista e Lima (2003), na determinação do número de fatores necessários para representar o conjunto de dados, usualmente consideram-se apenas os fatores cuja raiz característica é maior que a unidade. O seu valor é o somatório dos quadrados das cargas fatoriais de cada variável associada ao fator específico. O eigenvalue dividido pelo número de variáveis determina a proporção da variância total explicada pelo fator.

Para facilitar a interpretação destes fatores é realizada uma rotação ortogonal pelo método *varimax*, que procura minimizar o número de variáveis fortemente relacionadas com cada fator, permitindo, assim, obter fatores mais facilmente interpretáveis.

No modelo de análise fatorial, há uma medida de adequação dos dados, o Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy (KMO). O KMO é a razão da soma dos quadrados das correlações de todas as variáveis dividida por essa mesma soma acrescentada da soma dos quadrados das correlações parciais de todas as variáveis. Outro teste que precede a análise fatorial com vistas à verificação de suas premissas, é o Barlett Test of Sphericity (BTS), que testa a hipótese de que a matriz de correlação é uma matriz identidade, ou seja, que não há correlação entre as variáveis.

Serão obtidos os fatores e selecionados os que apresentaram valores maior que 1. O escore para cada observação (município) é resultado da multiplicação do valor (padronizado) das variáveis pelo coeficiente do escore fatorial correspondente. Os escores fatoriais possuem distribuição normal com média zero e variância unitária, podendo ser "... utilizados para indicar a posição relativa de cada observação relativamente ao conceito expresso pelo fator" (MONTEIRO e PINHEIRO, 2004, p. 376). Desta forma, os escores fatoriais definem os fatores de desenvolvimento rural para cada um dos municípios analisados.

A verificação do grau de desenvolvimento de cada município paranaense será feita através dos escores fatoriais, ou seja, dos valores dos fatores para cada uma das 399 observações (municípios). Através da fórmula (1), pode-se obter o Índice de Desenvolvimento Rural (IDR), por meio do cálculo da média dos fatores (ponderada pela variância) pertencentes a cada observação (município). Ao realizar a análise fatorial pelo



método de componentes principais, a ponderação pela proporção de explicação da variância total exprime a importância relativa de cada fator, procedimento semelhante pode ser encontrado em Melo e Parré (2007) e Stege e Parré (2011).

$$IDR_i = \frac{\sum_{j=1}^P (w_j f_{ij}^*)}{\sum_{j=1}^P w_j} \quad (1)$$

Em que P é o número de fatores com valores maior que 1; w_j é a proporção da variância explicada por cada fator; e, f_{ij}^* são os escores fatoriais para cada município i.

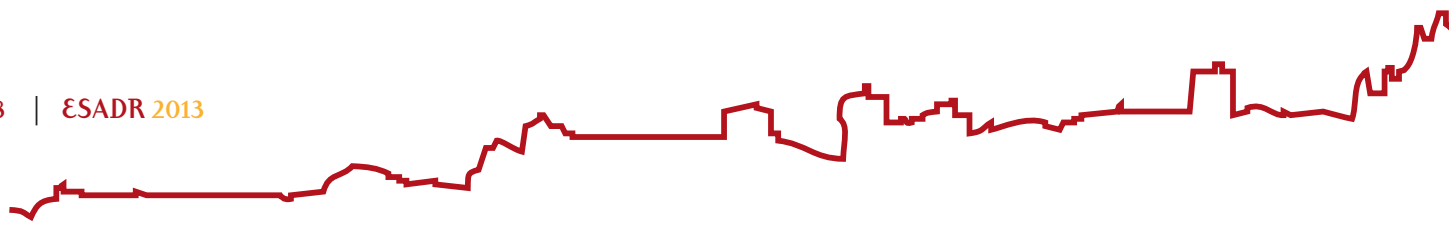
A partir daí, interpola-se os resultados, considerando-se o maior valor como 100 e o menor como zero, obtendo o IDR na escala de 0 a 100 para cada município. Os municípios foram agrupados em classes de desenvolvimento da considerando a média e o desvio-padrão do IDR: classe A - aqueles que apresentaram resultados com três desvios-padrão acima da média; classe B2 - aqueles com resultados entre dois e três desvios-padrão acima da média; classe B1 - aqueles com valores entre um e dois desvios-padrão acima da média; classe C - os que apresentaram resultado entre a média e um desvio-padrão acima da média; classe D1 - aqueles com resultados no intervalo entre a média e um desvio-padrão abaixo da média; classe D2 - os que tiveram resultados no intervalo entre um e dois desvios-padrão abaixo da média e, por último, classe E - os municípios com resultados com três desvios-padrão abaixo da média.

3.2 Análise Explanatória de Dados Espaciais (AEDE)

O estudo da econometria espacial cada vez mais vem conquistando espaço na literatura econômica. Segundo Figueiredo (2002), este fato tem ocorrido por causa da constatação de que, na maioria dos casos de dados de corte seccional, existe autocorrelação espacial, e também porque existem efeitos de interdependência nas diferentes regiões, principalmente, quanto mais próxima uma região for da outra.

Anselin (1999, p. 1) define econometria espacial da seguinte forma: “spatial econometrics is a subfield of econometrics that deals with the treatment of spatial interaction (spatial autocorrelation) and spatial structure (spatial heterogeneity) in regression models”. Sendo assim, a econometria espacial leva em consideração dois efeitos espaciais na sua estimação, sendo que o primeiro é a dependência espacial ou autocorrelação espacial, e o segundo, a heterogeneidade espacial.

A autocorrelação será calculada pela estatística I de Moran, a qual fornece indicação do grau de associação linear entre os vetores de valores observados no tempo e a média ponderada dos valores da vizinhança. A fórmula desta estatística é expressa como:



$$I = \frac{n}{\sum \sum w_{ij}} \frac{\sum \sum w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

onde n é o número de unidades espaciais, y_i é a variável de interesse e w_{ij} ¹ é o peso espacial para o par de unidades espaciais i e j , medindo o grau de interação entre elas.

O coeficiente I de Moran tem um valor esperado (média teórica) de $-[1/(n-1)]$, isto é, o valor que seria obtido se não houvesse padrão espacial nos dados. O valor calculado de I deveria ser igual ao seu valor esperado, dentro dos limites da significância estatística, se y_i é independente dos valores nas regiões vizinhas. Valores de I que excedem $-[1/(n-1)]$ indicam autocorrelação espacial positiva. Valores de I abaixo do valor esperado sinalizam uma autocorrelação negativa.

Outro indicador utilizado para verificar dependência espacial de uma variável é a estatística c de Geary, que pode ser formalmente apresentada como:

$$c = \frac{n-1}{2 \sum \sum w_{ij}} \frac{\sum \sum w_{ij} (y_i - y_j)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

Diferentemente da estatística I de Moran, o valor obtido com a estatística c de Geary situa-se entre 0 e 2. Seu valor esperado é 1, ao passo que valores encontrados situados entre 0 e 1 indicam dependência espacial positiva e valores entre 1 e 2 indicam autocorrelação espacial negativa (ALMEIDA, 2012).

A fim de observar a existência de clusters espaciais locais de valores altos ou baixos e quais as regiões que mais contribuem para a existência de autocorrelação espacial, serão utilizados métodos que visam a complementação do I de Moran como o diagrama de dispersão de Moran e estatísticas *LISA* (Indicadores Locais de Associação Espacial) (ANSELIN, 1988; 1995).

Para finalizar a apresentação da AEDE é necessário destacar a importância da matriz de pesos (W) na análise espacial, pois todos os passos subsequentes (ou resultados) dependerão dessa matriz. A matriz de pesos é a forma de expressar a estrutura espacial dos dados. Há na literatura um grande número de matrizes de pesos espaciais. É possível implementar um AEDE com base em uma matriz de continuidade binária ou por meio de uma estrutura de conectividade mais complexa. A matriz de pesos espaciais W utilizada neste trabalho é uma matriz Binária do tipo rainha.

¹ Apesar da mesma simbologia, o significado desse w é diferente daquele apresentado na análise fatorial.



3.3 Modelos Econométricos Espaciais

Após realizar a AEDE, desenvolve-se a modelagem econométrica espacial. O modelo econométrico espacial incorpora elementos espaciais na modelagem clássica de análise de regressão linear.

- Modelo de defasagem espacial (*Spatial Autoregressive Model – SAR*)

O modelo de defasagem espacial ou *Spatial Autoregressive Model (SAR)* incorpora um coeficiente auto-regressivo espacial a fim de captar o efeito de “vizinhança” do fenômeno em estudo, que captaria a forma como um fenômeno seria espreado pelas regiões próximas. O modelo pode ser expresso como:

$$y = \rho Wy + X\beta + \varepsilon \quad (4)$$

em que y é o vetor $n \times 1$ de observações da variável dependente; ρ é o coeficiente auto-regressivo espacial (um escalar); Wy o vetor $n \times 1$ de defasagens espaciais para a variável dependente; X é a matriz $n \times k$ de variáveis explicativas; β é o vetor $k \times 1$ de coeficientes de regressão e ε o vetor $n \times 1$ de termos de erro aleatório normalmente distribuídos com média zero e variância constante. Ressalta-se que uma vez estimado pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO) as estimativas obtidas seriam viesadas e inconsistentes e que para que não se incorra em tais problemas, este deverá ser estimado pelo método da máxima verossimilhança (MV) ou pelo método das variáveis instrumentais (VI).

- Modelo de erro espacial (*Spatial error model – SEM*)

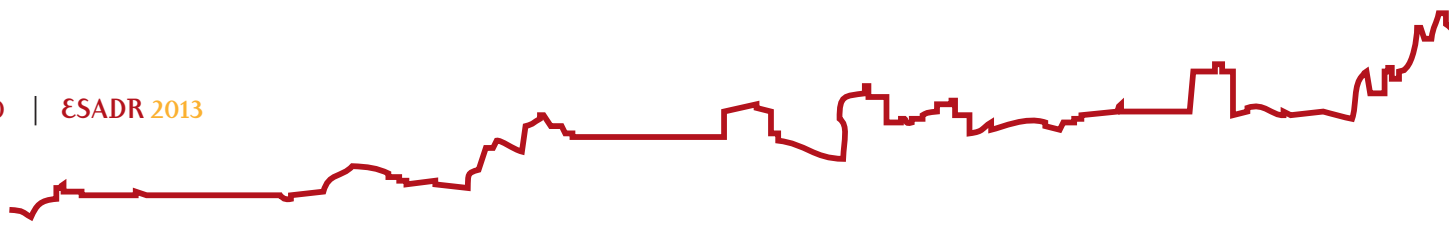
O modelo com erro auto-regressivo espacial expressa no termo de erro aqueles efeitos que não podem ser modelados. Dessa forma, os efeitos espaciais nesse modelo se apresentam apenas no termo de erro da regressão, podendo ser interpretado da seguinte forma:

Nesse modelo o padrão espacial manifestado no termo de erro é dado por efeitos não modelados e que não são distribuídos aleatoriamente no espaço, mas, ao contrário, estão espacialmente autocorrelacionados.

Assim, o modelo proposto pode ser expresso da seguinte forma:

$$y = X\beta + \mu ; \quad \mu = \lambda Wu + \varepsilon \quad (5)$$

em que y é o vetor $n \times 1$ de observações da variável dependente; X é a matriz $n \times k$ de variáveis explicativas; β é o vetor $k \times 1$ de coeficientes de regressão e μ é um vetor N por 1 nos termos de erro. $W\mu$ é o vetor de erros defasados espacialmente, λ é o parâmetro do erro



auto-regressivo espacial e ε é o vetor $n \times 1$ de termos de erro aleatório normalmente distribuídos com média zero e variância constante.

Para a escolha do modelo mais adequado serão adotados os procedimentos sugeridos por Florax *et al.* (2003). Consiste nos seguintes passos: estimar o modelo clássico de regressão linear por meio do método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO); testar a hipótese de ausência de autocorrelação espacial devido a uma defasagem ou a um erro por meio das estatísticas do Multiplicador de Lagrange (ML) para defasagem (ML ρ) ou erro (ML λ); caso ambos os testes não sejam significativos, usar MQO como método de estimação; caso ambos os testes sejam significantes, estimar o modelo sugerido como mais significativo pelas versões robustas do teste de Multiplicador de Lagrange.

3.4 Modelo empírico proposto no estudo

Segundo Anselin (1999), o aumento da atenção dada à análise espacial pelas ciências sociais deve-se ao interesse comum de economistas, sociólogos e cientistas políticos em compreender como se dá a interação entre o indivíduo e o grupo. Saber como o comportamento coletivo é influenciado pelas interações individuais tem levado a se desenvolver conceitos sobre normas sociais, efeitos de vizinhança, capital social e interação estratégica. Nessas situações, torna-se central o papel da localização, do espaço e da interação espacial. Ainda segundo o autor, a verificação empírica dessas novas teorias requer a utilização de técnicas econométricas que incorporem os efeitos espaciais. Neste sentido, o modelo proposto se baseia na Nova Geografia Econômica, tendo como destaque o trabalho de Fujita *et al.* (1999).

Como foi justificado na introdução e definido nos objetivos, esse artigo procura avançar em relação aos estudos de desenvolvimento rural em duas frentes: no sentido de incorporar os efeitos espaciais na análise do IDR através de uma técnica consolidada como a AEDE; e propor um modelo econométrico que consiga “explicar” o comportamento do IDR nos municípios utilizando como fatores explicativos indicadores representativos dos recursos naturais e da disponibilidade de infra-estrutura.

Neste sentido, o seguinte modelo é proposto:

$$IDR_i = \beta_0 + \beta_1 area_i + \beta_2 rodpi_i + \beta_3 preço_i + \beta_4 chu_i + \beta_5 temp_i + \beta_6 solo_i + \varepsilon_i \quad (6)$$

em que $i = 1, 2, \dots, 399$; são os municípios paranaenses

Uma descrição completa das variáveis será apresentada na próxima seção. O IDR foi construído a partir de um conjunto de 11 variáveis, portanto devemos considerar a dificuldade em encontrar variáveis que não sejam um reflexo daquelas que foram utilizadas na



elaboração do índice, ou seja, devemos garantir a exogeneidade das variáveis explicativas. A função descrita pela equação (6) será utilizada no estudo para o IDR, inserindo os efeitos espaciais necessários para a melhor estimação do modelo.

3.5 Descrição das variáveis utilizadas na pesquisa

O banco de dados georreferenciados construído para a pesquisa possui um total de 17 variáveis para cada município do Estado do Paraná. As variáveis podem ser divididas em 3 grupos: variáveis utilizadas no cálculo do IDR (11 variáveis); variáveis utilizadas para verificar os efeitos do espaço geográfico em termos de recursos naturais e as variáveis que foram coletadas para serem usadas como *proxy* da infraestrutura disponível aos municípios e que podem influenciar o desenvolvimento do espaço rural.

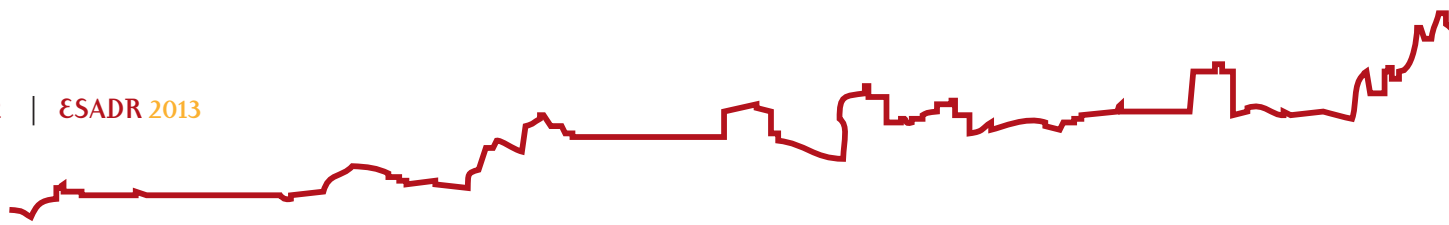
As variáveis para calcular o IDR procuram captar aspectos qualitativos e quantitativos inerentes ao desenvolvimento rural dos municípios do estado do Paraná e são apresentadas na Tabela 1. Os dados utilizados são secundários e têm como fontes: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES), Ministério da Saúde (DATASUS).

Tabela 1: Variáveis utilizadas na construção do IDR do Paraná, para o ano de 2010.

	VARIÁVEIS	Fontes
X ₁	Consumo de Energia Elétrica Rural (MWH)	IPARDES
X ₂	Valor Adicionado Bruto da Agropecuária (R\$1000)	IPARDES
X ₃	População Ocupada - Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura	IPARDES
X ₄	Nº Estabelecimentos - Agricultura, Silvicultura, Criação de Animais, Extração Vegetal e Pesca	IPARDES
X ₅	Proporção dos domicílios rural com abastecimento de água de rede pública	DATASUS
X ₆	Proporção dos domicílios rural que possuem energia elétrica	DATASUS
X ₇	Proporção dos domicílios rural que possuem lixo coletado por empresa pública ou privada	DATASUS
X ₈	Proporção da População Economicamente Ativa (10 anos ou mais) Rural em relação à Total	IPARDES
X ₉	Proporção da População Ocupada Rural em relação à Total	IPARDES
X ₁₀	Milho - Rendimento médio da produção (Quilogramas por Hectare)	IBGE
X ₁₁	Soja - Rendimento médio da produção (Quilogramas por Hectare)	IBGE

Para verificar as diferenças de recursos naturais disponíveis aos municípios e seus efeitos sobre o desenvolvimento rural serão consideradas as diferenças edafoclimáticas dos municípios, através da densidade pluviométrica e da temperatura média municipal. Outra riqueza natural considerada será o tipo de solo predominante no município.

A variável climática precipitação total anual (*chu*) representa o volume total de chuvas nos municípios do Paraná durante um ano e é medida em milímetros (mm). Essa variável, também chamada de pluviosidade total, foi obtida junto a Agência Nacional das Águas (ANA) e os municípios foram classificados em seis categorias em função da precipitação anual. A variável climática temperatura média anual (*temp*) dos municípios do Paraná é



medida em graus centígrados (°C). Essa variável foi obtida junto ao Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar) e os municípios foram classificados em sete categorias em função da temperatura média. Considerando a classificação da Embrapa (1999) e as informações do mapa de solos do Instituto Paranaense de Terras, Cartografia e Geociências (ITCG) foi possível elaborar uma classificação dos tipos de solos predominantes (variável *solo*) para os municípios do Paraná.

Com relação às variáveis que representam a infra-estrutura disponível para os municípios, a variável densidade rodoviária é medida pela disponibilidade de rodovias pavimentadas (*rodp*) medida em quilometro de rodovia por quilometro quadrado de área do município (Km/Km^2) e foi obtida junto ao Departamento de Estradas e Rodagem (DER) do Paraná. A variável área das atividades agrícolas (*area*) reapresenta a área plantada total medida em mil hectares para o ano de 2010, obtida junto ao IBGE (2012). Essa variável mede a dimensão das atividades rurais dos municípios, além de servir como uma *proxy* da necessidade de infra-estrutura de armazenagem e de escoamento. A variável preço da terra (*preço*) representa o preço médio em mil reais por hectare (1000R\$/ha) das terras agrícolas mecanizadas nos municípios paranaenses para o ano de 2010 e também reflete as condições de infra-estrutura do setor rural. A pesquisa de preços é realizada anualmente pela Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná, através de seu Departamento de Economia Rural (DERAL/SEAB, 2102).

4. Resultados e discussão

4.1 Resultados da Análise Fatorial

De acordo com a metodologia de análise fatorial, para representar o conjunto de dados são considerados apenas os fatores cujos valores de *eigenvalue* ou raiz característica são maiores que um. Sendo assim, verifica-se que as informações contidas nas 11 variáveis originais são sintetizadas por 4 Fatores, os quais, após a rotação ortogonal, conseguem explicar no seu conjunto 85,9% da variância total do modelo multivariado.

Os resultados dos testes de ajustamento do modelo se mostraram adequados. O teste de KMO, para análise da adequabilidade da amostra apresentou valor de 0,729, um valor considerado bom pela escala do teste, indicando que a amostra é passível de ser analisada pelas técnicas da análise fatorial. O teste de Bartlett apresentou resultado significativo, rejeitando a hipótese nula de que a matriz de correlação é uma matriz identidade.

Após a rotação ortogonal dos fatores pelo método *varimax*, a Tabela 1 apresenta as cargas fatoriais e as comunalidades para os fatores considerados. Inicialmente, é importante



destacar que todas as cargas fatoriais apresentam valores superiores a 0,75, o que possibilita considerar todas as variáveis na análise, pois todas têm sua variabilidade captada e representada por um determinado fator.

Tabela 1: Cargas Fatoriais e comunalidades após a rotação ortogonal *varimax*.

Variável	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	comunalidade
X ₁	0,856	0,009	-0,069	0,162	0,764
X ₂	0,890	-0,015	-0,027	0,097	0,802
X ₃	0,884	-0,024	0,154	0,003	0,807
X ₄	0,804	-0,041	-0,350	0,035	0,772
X ₅	-0,028	0,977	0,091	0,011	0,964
X ₆	0,031	0,844	0,427	0,016	0,895
X ₇	-0,050	0,979	0,018	0,007	0,962
X ₈	-0,026	0,223	0,934	-0,003	0,923
X ₉	-0,116	0,105	0,937	0,100	0,913
X ₁₀	0,137	0,047	-0,019	0,898	0,828
X ₁₁	0,072	-0,022	0,105	0,895	0,817

Fonte: Resultados da pesquisa.

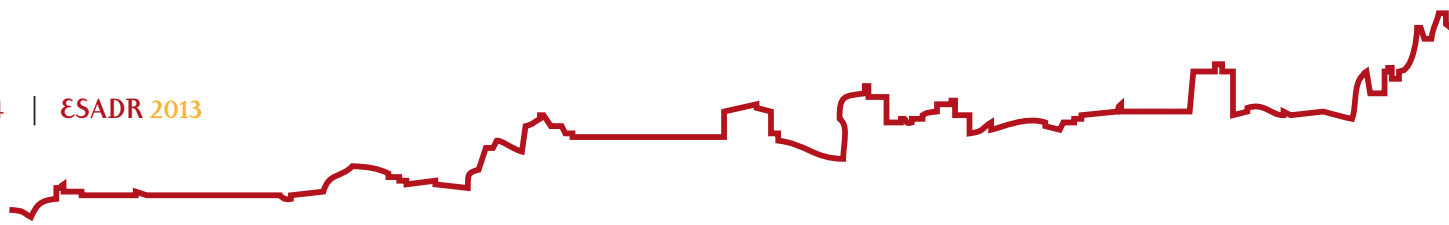
Além disso, a associação entre as variáveis e os Fatores gerou diferentes aspectos ou dimensões do desenvolvimento rural para os municípios do estado do Paraná. De modo sintético, podemos interpretar o que representa cada um dos fatores em termos de desenvolvimento rural dos municípios do Paraná: Fator 1 – dimensão econômica, estrutura produtiva do setor rural; Fator 2, dimensão social, qualidade de vida da população rural; Fator 3, dimensão demográfica, dinamismo da população rural; Fator 4, dimensão tecnológica, produtividade do setor rural.

4.2 Distribuição do desenvolvimento rural no estado do Paraná

A metodologia adotada no estudo se mostrou bastante adequada para mensurar um Índice de Desenvolvimento Rural (IDR) para os municípios do Estado do Paraná, o qual se apresentou bastante representativo da realidade rural paranaense.

De acordo com esses resultados obtidos a partir da análise fatorial e da fórmula (1), observa-se que as desigualdades regionais no desenvolvimento rural do estado são consideráveis. Para o ano de 2010, numa escala de zero a 100, o índice médio de desenvolvimento rural situou-se em 33,6; resultando num total de 183 municípios (45,86%) acima deste valor e 216 municípios (54,14%) abaixo deste índice.

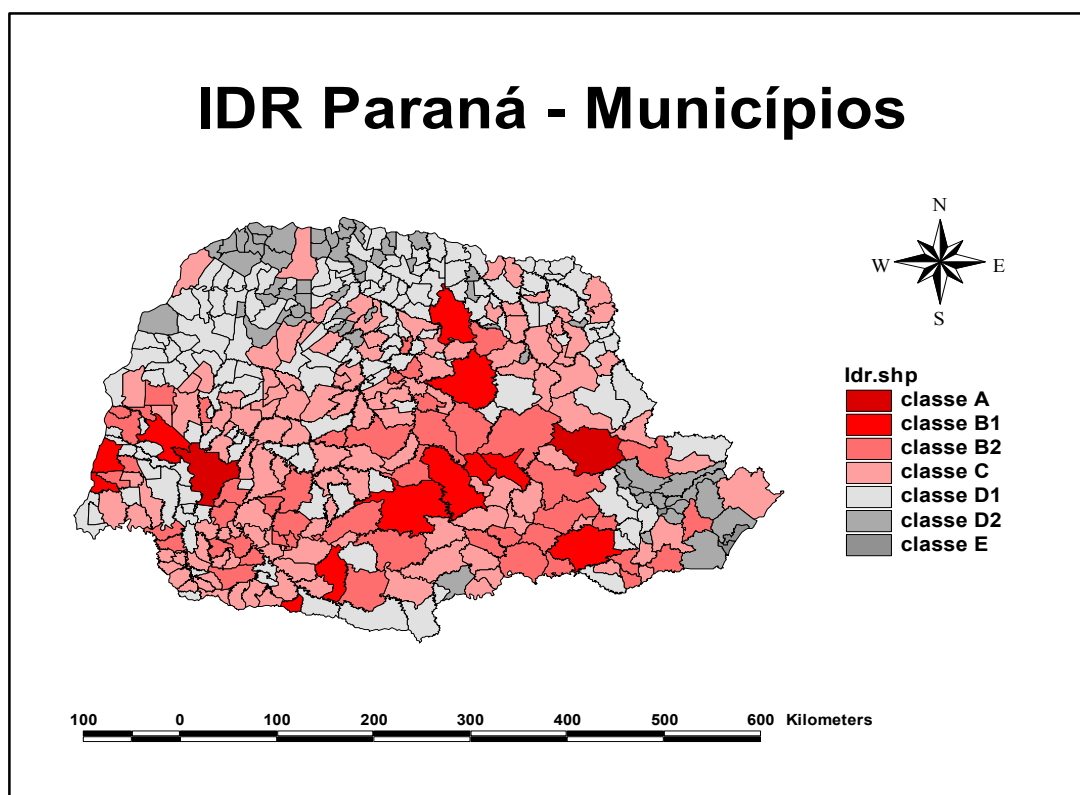
Uma análise geral sobre a distribuição do desenvolvimento rural dos municípios paranaenses permite verificar que as mesorregiões que se destacam no índice construído para 2010 de um modo geral foram as mesmas que se destacaram no índice construído por Melo e



Parre (2007)² para o ano de 2000, principalmente as mesorregiões Oeste e Centro Oriental. As mesorregiões Centro Ocidental, Noroeste, Norte Pioneiro e Metropolitana de Curitiba apresentaram valores modestos em ambos os índices.

A análise do desenvolvimento rural do Paraná tendo como foco os municípios reforça a importância de utilizar informações desagregadas nos estudos sobre esse tema, pois a realidade dos municípios é única, o que sugere que os estudos sobre desenvolvimento rural devem se aproximar do enfoque utilizado nos estudos sobre desenvolvimento local e de territórios específicos.

O Mapa 1 apresenta as classes de desenvolvimento rural dos municípios do estado do Paraná par o ano de 2010. Recordando que, de acordo com a metodologia adotada, os municípios foram agrupados em 7 classes: as classes C, B1, B2 e A indicam valores de IDR acima do valor médio; e as classes D1, D2 e E classificam os municípios que possuem valores abaixo da média.



Mapa 1: Classes de desenvolvimento rural dos municípios do estado do Paraná, 2010.
Fonte: Resultados da pesquisa. Mapa gerado no ArcView.

² É importante destacar que Melo e Parré (2007) construíram um IDR a partir de 18 variáveis sendo que a maioria é diferente das utilizadas no presente estudo.



4.3 Efeitos espaciais dos recursos naturais e da infra-estrutura.

Inicialmente será verificada a presença de autocorrelação espacial global entre os municípios em relação ao IDR através dos índices de Moran e de Geary. De acordo com a Tabela 2, o *I de Moran* apresenta valor 0,477 e o *C de Geary* valor 0,576, ambos com significância estatística de 1%.

Esses resultados indicam a presença de autocorrelação espacial global positiva³. Isso significa que municípios que apresentam elevado nível de desenvolvimento rural (IDR) são vizinhos de outros municípios que também apresentam a mesma característica ou, alternativamente, que municípios com baixo valor de IDR são circundados por municípios que também apresentam baixos valores de IDR. Vale lembrar que foi adotado um padrão de vizinhança binário através de uma matriz do tipo rainha.

Tabela 2: Testes de autocorrelação espacial para o IDR.

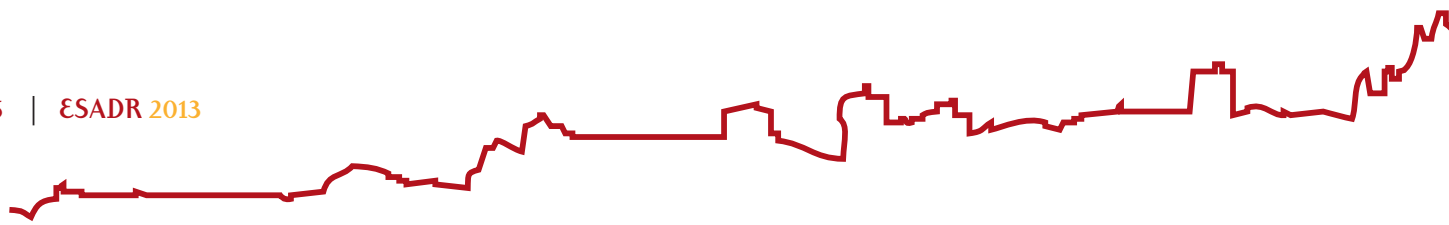
Índice	Valor	Prob.
<i>I de Moran</i>	0,477062	0,001
<i>C de Geary</i>	0,576032	0,001

Fonte: Resultados da pesquisa, utilizando o SpaceStat.

Para complementar o resultado dos indicadores é necessário visualizar e interpretar o diagrama de dispersão de Moran, que está representado na Figura 1. O diagrama revela detalhes importantes do padrão de associação espacial, enquanto o valor do indicador revela apenas a tendência geral de agrupamento dos dados.

Cada ponto no diagrama representa um município paranaense. O diagrama de dispersão de Moran apresenta no eixo horizontal o IDR e, no eixo vertical, a defasagem espacial do IDR, ou seja, a média do IDR para os vizinhos, os quais são definidos de acordo com a matriz de vizinhança. O diagrama de dispersão de Moran classifica os municípios de acordo com quatro diferentes regimes espaciais. Estes regimes, definidos na metodologia são: alto-alto (AA), que denota que municípios com alto IDR são vizinhos de outros que também apresentam alto IDR; regime baixo-alto (BA), que indica que municípios que apresentam baixo IDR são vizinhos de outros com alto IDR; regime alto-baixo (AB), que mostra que municípios com alto IDR possuem vizinhos com baixo IDR; e, finalmente, o regime baixo-baixo (BB), implica que municípios com baixo IDR são vizinhos de municípios que apresentam a mesma situação.

³ O valor esperado para o I de Moran considerando os 399 municípios do Paraná é igual a $-1/(n-1)$. Portanto, valores de I acima desse valor indicam autocorrelação espacial positiva e os valores abaixo indicam autocorrelação espacial negativa.



A visualização do diagrama corrobora o resultado de autocorrelação espacial positiva indicado nos testes da Tabela 2, pois a maioria dos municípios está localizada nos quadrantes AA e BB do diagrama, indicando uma relação espacial positiva para o IDR.

Os pontos coloridos no diagrama referem-se aos municípios que exercem grande influência sobre a tendência central e funcionam como pontos de alavancagem de uma suposta linha de regressão que teria inclinação positiva e confirmaria uma autocorrelação positiva para o IDR, no caso dos quadrantes AA e BB.

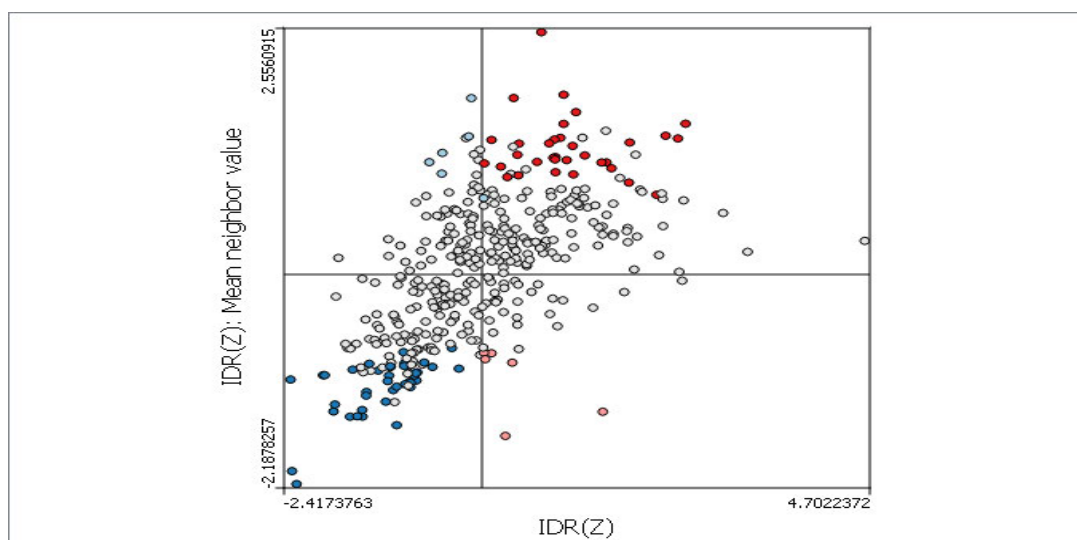


Figura 1: Diagrama de dispersão de Moran para o IDR no estado do Paraná.

Fonte: Resultados da pesquisa. Diagrama gerado no SpaceStat.

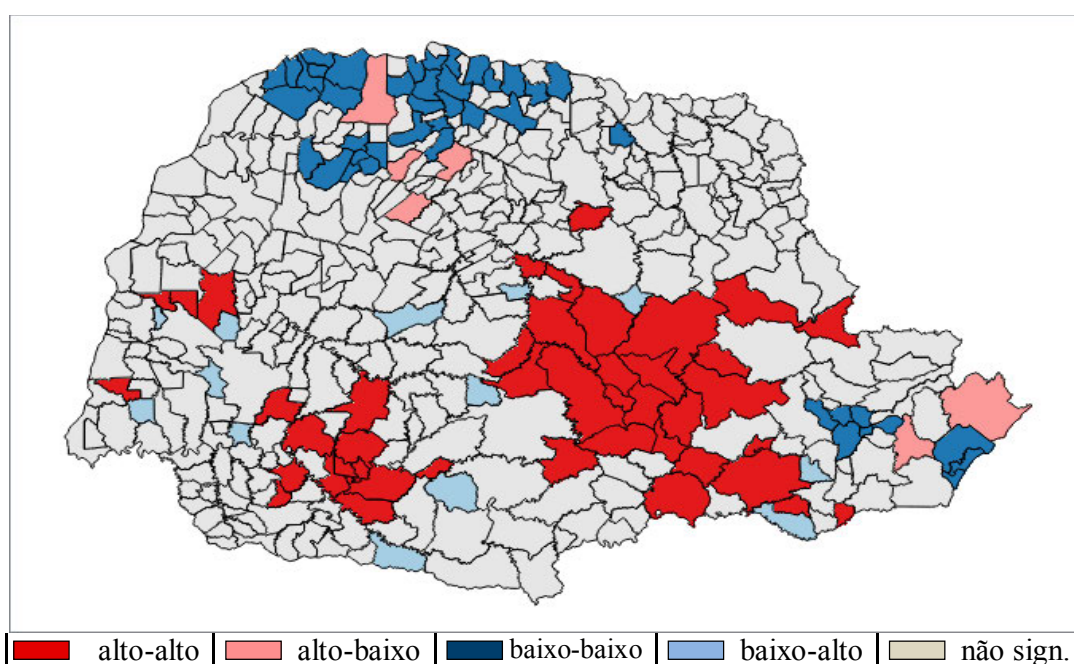
Os padrões globais de associação linear podem não estar em concordância com os padrões locais. Sendo assim, a literatura de análise espacial (Anselin, 1995; Le Gallo e Erthur, 2003) apresenta medidas estatísticas que avaliam o padrão de associação espacial local. A estatística I de Moran local, segundo Almeida (2012), decompõe o indicador global de autocorrelação em relação à contribuição local individual em cada um dos quatro quadrantes do diagrama de dispersão de Moran. A forma mais clara de especificação da estatística é através de mapas. Basicamente, é feito um mapa do diagrama da Figura 1 destacando os municípios com valores significativos para o I de Moran local onde se analisada a possível formação de clusters. Ou seja, permite verificar a situação individual de cada município e comparar com seus vizinhos.

O Mapa 2 apresenta a formação de clusters espaciais para o IDR no estado do Paraná. A análise do mapa reforça a importância de alguns municípios já verificada nas seções anteriores desse artigo. Porém, agora, as conclusões são baseadas em um método robusto com resultados estatisticamente significativos.



Verifica-se a ocorrência de dois *clusters* do tipo alto-alto; o primeiro é grande e envolve municípios da mesorregião Centro Oriental, o que indica um transbordamento do desenvolvimento rural nessa região. O segundo *cluster* é formado por alguns municípios das mesorregiões Oeste e Sudeste do Paraná.

Quanto aos *clusters* baixo-baixo, o Mapa 2 permite a visualização de 4 clusters. Sendo que dois estão bem próximos, separados por poucos municípios. Considerando essa proximidade, fica reforçado a preocupante situação das mesorregiões Noroeste, Norte Central e Norte Pioneiro. Para completar os *clusters* do tipo baixo-baixo, deve-se incluir a mesorregião de Curitiba e Litoral.

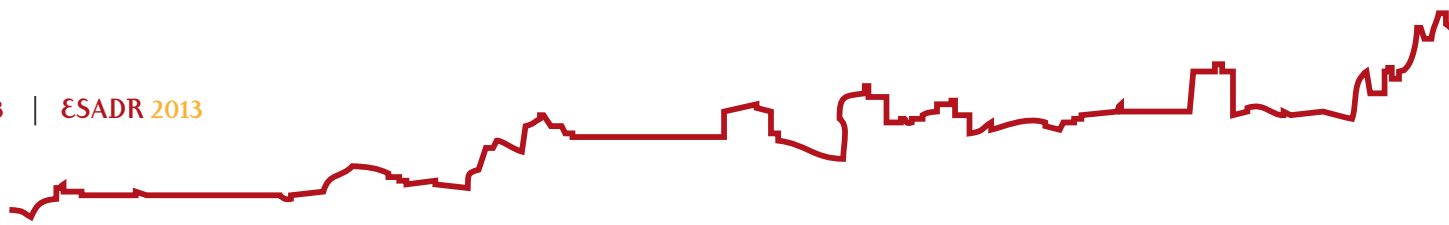


Mapa 2: Clusters univariados do IDR – PR, 2010.

Fonte: Resultados da pesquisa. Mapa gerado no SpaceStat.

De acordo com o modelo proposto, será verificado o efeito de variáveis representativas de recursos naturais e de infra-estrutura sobre o IDR nos municípios do Paraná. É importante, então, realizar o estudo do I de Moran bivariado que tem como objetivo central descobrir se os valores de uma variável observadas numa região apresentam uma relação com os valores de outra variável observada nas regiões vizinhas. Ou seja, a localização da variável endógena (IDR) é comparada com cada variável exógena do modelo.

Como pode ser verificado na Tabela 3, existe autocorrelação espacial global positiva entre o IDR e todas as variáveis explicativas, com exceção, da variável temperatura. Isto significa, numa análise global, que municípios com altos (baixos) valores do IDR estão associados a municípios com altos (baixos) índices da variável considerada (área, rodovias



pavimentadas, preço da terra, chuvas e tipos de solos). O nível de pseudo-significância para todos os casos é de 1%, o que indica uma significativa relação espacial entre as variáveis do modelo.

Tabela 3: Coeficiente de I de Moran Bivariado do IDR do Paraná e as variáveis espaciais.

	I de Moran	Probabilidade
Área plantada (<i>area</i>)	0,2585	0,001
Rodovias pavimentadas (<i>rodp</i>)	0,0870	0,001
Preço da terra (<i>preço</i>)	0,1243	0,001
Chuvas (<i>chu</i>)	0,3293	0,001
Temperatura (<i>temp</i>)	-0,2656	0,001
Solos (<i>solo</i>)	0,0528	0,001

Fonte: Resultados da pesquisa, utilizando o OpenGeoda.

4.4 Estimação e análise do modelo econométrico espacial

Inicialmente, estimou-se um modelo clássico de regressão linear, pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), sem correção para dependência espacial, porém com a utilização da matriz de pesos espaciais de modo a permitir a identificação da ocorrência de efeitos espaciais sobre os dados. A especificação do modelo é aquela apresentada na equação (6) com as variáveis explicativas, *area*, *rodp*, *preço*, *chu*, *temp* e *solo*. Foram realizados alguns testes para verificar efeitos espaciais e eventuais problemas de estimação.

O teste *Condition Number* apresentou valor 14,0; esse teste é utilizado na verificação da existência de multicolinearidade e valores abaixo de 30 indicam ausência de multicolinearidade. A seguir, testou-se a hipótese de ausência de autocorrelação ou dependência espacial que ocorre quando a variável dependente ou o termo do erro em cada posição se correlaciona com a variável dependente ou o termo de erro de outras posições. De acordo com Anselin (1992), existem duas importantes alternativas para o modelo espacial, sendo a primeira quando a autocorrelação pertence à variável dependente (modelo de defasagem espacial – lag) e a segunda especificação do modelo espacial é definida quando a autocorrelação pertence ao termo de erro (modelo de erro espacial – error).

A decisão de escolha entre os modelos pode ser realizada analisando-se a saída obtida no software OpenGeoda (Tabela 4), onde são apresentados os testes do Multiplicador de Lagrange (*Lagrange Multiplier*) e do Multiplicador de Lagrange Robusto (*Robust LM*). A análise da Tabela 4 indica que os testes Multiplicador de Lagrange para defasagem (*Lag*) e Multiplicador de Lagrange para o erro (*Error*) foram significativos. Sendo assim, há a indicação de presença de autocorrelação espacial, evidenciando a necessidade de se optar por



modelos econométricos que considerem os efeitos espaciais. A versão robusta dos testes de Multiplicador de Lagrange para defasagem (valor de 20,38) e do Multiplicador de Lagrange para o erro (3,34) apontam que o modelo mais indicado seria o de defasagem espacial, pois o valor desse teste foi superior, além do ML erro não ser significativo a 5%.

Tabela 4: Diagnóstico para autocorrelação espacial do modelo de regressão.

TESTE	VALOR	PROBABILIDADE
<i>Lagrange Multiplier (lag)</i>	87,6605966	0,00000
<i>Robust LM (lag)</i>	20,3834206	0,00000
<i>Lagrange Multiplier (error)</i>	70,6179092	0,00000
<i>Robust LM (error)</i>	3,3407333	0,06758

Fonte: Resultados da pesquisa, utilizando o OpenGeoda.

O modelo definido na equação (6) foi estimado por MQO e também pelo método da máxima verossimilhança, considerando o termo de defasagem espacial (*SAR*). A Tabela 5 apresenta os valores dos coeficientes estimados de cada uma dessas regressões, e fazendo uma análise geral, pode-se ver que o coeficiente de determinação (R^2) apresentou valor 0,41 no modelo estimado por MQO e 0,53 no modelo SAR, indicando uma melhoria no ajuste do modelo. O valor relativamente baixo do R^2 expressa a necessidade de ampliar as variáveis explicativas para aumentar o poder preditivo do modelo. Entretanto, como já foi justificado, a escolha de variáveis para esse modelo enfrenta um problema de endogeneidade visto que o IDR é um índice constituído por 11 variáveis.

O parâmetro ρ é o coeficiente de defasagem espacial, que capta os efeitos de transbordamento do IDR sobre os municípios vizinhos. O parâmetro da defasagem apresentou valor positivo e significativo a 1%, confirmando o efeito espacial em relação ao desenvolvimento rural dos municípios do Paraná. Essa é uma conclusão importante do estudo.

As variáveis que representam a influência da infra-estrutura como a área e o preço da terra foram significativas a 1% nos dois modelos; além da variável climática precipitação (*chu*). A única variável não significativa em ambos os modelos foi a variável de infra-estrutura rodovias pavimentadas (*rodpa*).

Como o modelo *SAR* apresentou melhor ajuste, apenas seus resultados serão interpretados com mais propriedade. Portanto, a segunda conclusão que se obtém do estudo é que a infra-estrutura é mais influente do que os recursos naturais (aqui representados pelo clima e o tipo de solo) para explicar o desenvolvimento rural dos municípios do Paraná.

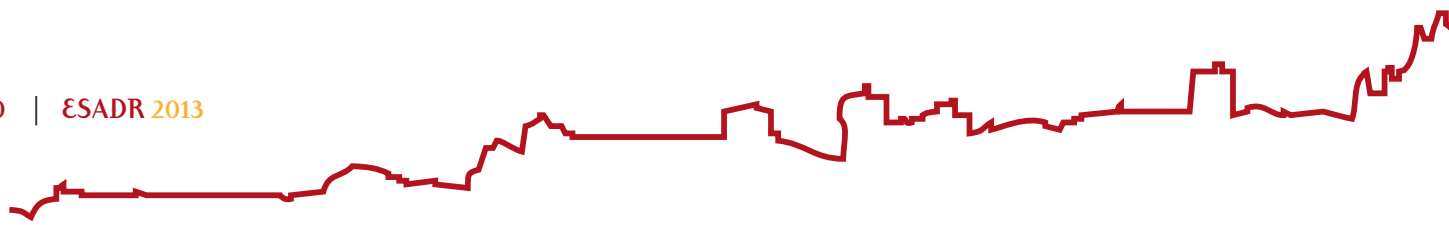


Tabela 5: Resultados dos modelos econométricos MQO e SAR.

Variable	Variável dependente: IDR	
	MQO	SAR
Intercepto	33,6679 ^A (2,6577)	16,5951 ^A (2,9924)
AREA	0,3176 ^A (0,0259)	0,2707 ^A (0,0236)
RODP	7,8509 (9,2497)	8,1932 (8,1617)
PREÇO	-0,4207 ^A (0,1353)	-0,4027 ^A (0,1193)
CHU	3,1114 ^A (0,4486)	1,8279 ^A (0,4074)
TEMP	-1,3856 ^A (0,3307)	-0,4841 (0,3041)
SOLO	-0,6366 (0,3399)	-0,6058 ^B (0,3000)
ρ		0,4542 ^A (0,0495)
N	399	399
R²	0,41	0,53

Fonte: Resultados da pesquisa. Regressões realizadas no Software SpaceStat.

A - significativo a 1%; B - significativo a 5%. O valor entre parênteses refere-se ao desvio-padrão.

Ainda de acordo com a Tabela 5, a variável área apresentou valor 0,27 e o seu sinal deve ser considerado positivo. É necessário cuidado ao interpretar o efeito dessa variável, para não confundir com o tamanho das propriedades, o que resultaria em grande polêmica. Da forma como foi construída a variável representa apenas os efeitos positivos da infraestrutura sobre o desenvolvimento rural (IDR).

A variável rodovia (*rodp*) assumiu sinal positivo de acordo com o esperado, pois servem para escoar a produção e apresentam importante papel para diminuir o isolamento e com isso ter um efeito positivo no desenvolvimento rural dos municípios do Paraná, porém essa variável não apresentou significância estatística.



A variável preço da terra (*preço*) apresentou sinal negativo (-0,40) e significativo a 1%. Essa variável é interessante, pois sua formação é bastante discutida na literatura e reflete efeitos variados que vão desde políticas econômicas até variação de preço de produtos agrícola. Aqui foi usada para captar efeitos de infra-estrutura, mas não se mostrou adequada, talvez por uma questão de endogeneidade.

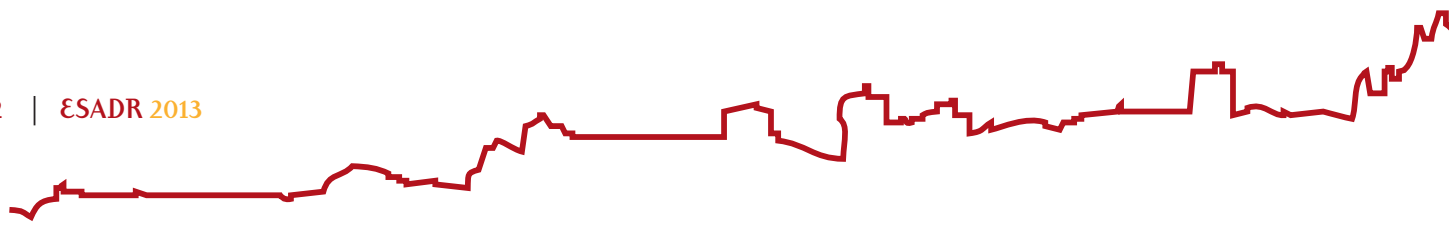
A única variável de recursos naturais que se mostrou significativa a 1% e com sinal positivo foi a precipitação ou regime de chuvas (*chu*). A produção agrícola é muito dependente do regime de chuvas, com as quantidades bem distribuídas ao longo do ano. Foi utilizado um valor médio, o que indica que em locais com pouca chuva, pode ocorrer um efeito sobre o IDR, provavelmente esse efeito será indireto através de uma baixa produção e consequentemente, tendo efeitos sobre os indicadores econômicos que constituem o IDR.

As variáveis temperatura (*temp*) e tipos de solos (*solo*) apresentaram sinais negativos, sendo que a variável temperatura não apresentou significância estatística. Temperaturas muito baixas podem levar a ocorrência de geadas, fenômeno comum no estado do Paraná, que prejudicam a produção agropecuária e consequentemente afeta determinados aspectos captados pelo índice de desenvolvimento rural (IDR) elaborado para esse estudo; portanto, se justifica o sinal negativo obtido para essa variável. Em relação à variável tipo de solos (*solo*) o sinal negativo reflete o que foi verificado na classificação dos municípios em relação ao IDR, pois as regiões que apresentaram bons níveis de IDR não apresentam boas condições de solo, principalmente o Centro-Oriental do Estado. Além disso, é necessária atenção para o método de construção da variável, pois foi considerado apenas o tipo de solo predominante nos municípios.

5. Considerações finais

Utilizando como base teórica idéias da Nova Geografia Econômica e do conceito de um indicador de desenvolvimento rural multidimensional, o artigo desenvolveu uma análise econométrica espacial do desenvolvimento rural dos municípios do estado do Paraná. Foram utilizadas variáveis explicativas que representassem os efeitos da infra-estrutura e dos recursos naturais do estado.

Foi detectada a presença de acentuada dependência global e local do desenvolvimento rural no território paranaense, além da identificação de clusters espaciais do tipo alto-alto (AA) e baixo-baixo (BB). Também foi demonstrada a importância de se



incorporar os chamados efeitos espaciais no modelo econométrico do tipo *SAR* que foi utilizado para analisar o desenvolvimento.

De modo geral as variáveis apresentaram sinais de acordo com o esperado e, além disso, as variáveis relativas à infra-estrutura mostraram maior capacidade preditiva do que as variáveis de recursos naturais, para inferir o desenvolvimento rural dos municípios do Paraná.

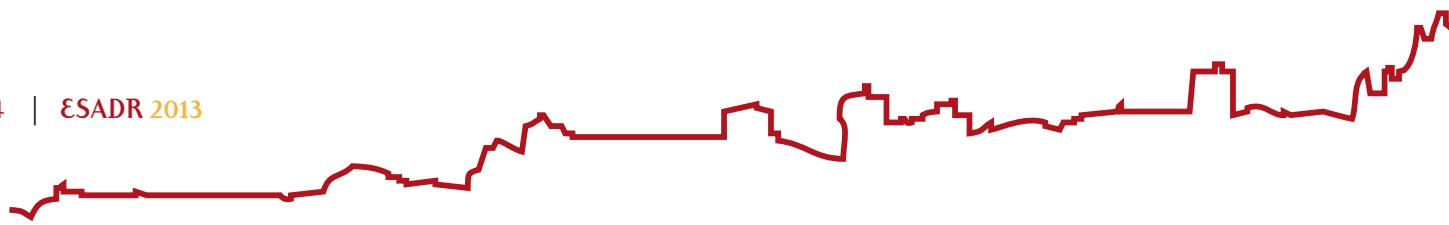
Esses resultados indicam a importância em dar continuidade ao estudo sobre o desenvolvimento rural no Estado, verificando a importância das políticas públicas como condicionantes do processo de desenvolvimento rural e delineando perspectivas para a trajetória do desenvolvimento rural no Estado do Paraná. Para consolidar os resultados obtidos nesse estudo é necessário, em estudos futuros, ampliar as observações, partindo para um modelo de painel de dados espacial e testar novas variáveis explicativas, como por exemplo, a infra-estrutura de armazenagem.

Referências bibliográficas

- Abramovay, R. (2003). *O futuro das regiões rurais*, Porto Alegre: Editora UFRGS.
- Almeida, E. S. (2012). *Econometria Espacial Aplicada*, 1ª ed. Campinas: Alínea Editora.
- Almeida, E.S.; perobelli, F.S. e ferreira, P.G.C. (2008). Existe convergência espacial da produtividade agrícola no Brasil? *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 46 (1), 31-52.
- ANA – Agência Nacional das Águas. *Dados hidrográficos* – Disponível em: <<http://www.ana.com.br>>.
- Anselin, L. (1988). *Spatial Econometrics: methods and models*, Boston: Kluwer Academic.
- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association – LISA. *Geographical Analysis*, 27 (2), 93-115.
- Anselin, L. (1999). The Future of Spatial Analysis in the Social Sciences. *Geographic Information Sciences*, 5 (2), 67-76.
- Barrios, E.B. (2008). Infrastructure and rural development: Household perceptions on rural development. *Progress in Planning*, 70 (1), 1-448.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. (2010). *Acompanhamento de safra brasileira: grãos*, décimo segundo levantamento, Brasília: Conab.
- Conterato, M.A.; Schneider, S.; e Waquil, P.D. (2007). Desenvolvimento rural no Estado do Rio Grande do Sul: uma análise multidimensional de suas desigualdades regionais. *REDES*, 12 (2), 163-195.
- EMBRAPA- Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (1999). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Embrapa. Rio de Janeiro.
- DERAL/SEAB - Departamento de Economia Rural/ Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. (2012). *Preço terra agrícolas*. Deral
- Ferreira Júnior, S.; Baptista, J.M.S. e Lima, J.E. (2003). A modernização agropecuária nas microrregiões do estado de Minas Gerais. *Congresso da SOBER*, Juiz de Fora.
- Figueiredo, A. M. R. (2002). Resposta da produção agrícola aos preços na região Centro-Oeste: uma análise de econometria espacial para o período 1975/1995-1996. Tese (Doutorado em Economia) – Universidade Federal de Viçosa. 2002.



- Florax, R. J. G. M., Folmer, H., Rey, S. J. (2003). Specification searches in spatial econometrics: The relevance of Hendry's methodology. *Regional Science and Urban Economics*, 33 (5), 557-579.
- Fujita, M.; Krugman, P.; Venables, A. (1999). *The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade*, MIT Press.
- IBGE. (2012). *Produção Agrícola Municipal*. Rio de Janeiro: IBGE.
- IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. (2007). *Diagnóstico socioeconômico do Território Centro-Sul: 1.a fase: caracterização global*. Curitiba : IPARDES.
- ITCG – Instituto Paranaense de Terras Cartografia e Geociências. Mapa de Solo do Estado do Paraná. Disponível em: <<http://webgeo.pr.gov.br/mapserver/itcg/geo.html>> (Acesso em: 31/05/2012).
- Kageyama, A. (2008). *Desenvolvimento rural: conceito e aplicações ao caso brasileiro*. Porto Alegre: Editora da UFRGS.
- Manly, B. F.J. (1994). *Multivariate Statistical Methods - A Primer*. Chapman & Hall.
- Melo, C.O.; Parré, J.L. (2007). Índice de desenvolvimento rural dos municípios paranaenses: determinantes e hierarquização. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 45 (02), 329-365.
- Monteiro, V.P.; Pinheiro, J.C. (2004). Critério para implantação de tecnologias de suprimentos de água potável em municípios cearenses afetados pelo alto teor de sal. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 42 (02), 365-387.
- Parré, J. L. et al. (2010). “Análise espacial da produção e produtividade pecuária leiteira paranaense”, In: Santos, G .T. et al. (Eds.). *Bovinocultura leiteira: bases zootécnicas, fisiológicas e de produção*. Maringá: EDUEM, 29-46.
- Rizov, M. (2005). Rural development under the European CAP: The role of diversity. *The Social Science Journal*, 42, 621–628.
- Schneider, S. (2008). A economia política dos estudos sobre desenvolvimento rural no Brasil. In: *XLVI Congresso da SOBER. Anais...* Brasília: SOBER, CD-Rom, 2008.
- SIMEPAR - Sistema Meteorológico do Paraná. Disponível em: <<http://www.simepar.gov.br>>.
- Stege, A. L., parré, J. L. (2011). Desenvolvimento rural nas microrregiões do Brasil: um estudo multidimensional. In: *39 Encontro Nacional de Economia da ANPEC*, Foz do Iguaçu.



SUPPLY BEHAVIOR OF HYDROUS ETHANOL IN BRAZIL

Cinthia Cabral da Costa (Resercher, Embrapa Instrumentação, Brazil)

Heloisa Lee Burnquist (Associate Professor, University of Sao Paulo, Brazil)

Luciano Rodrigues (Manager, Economics Department of UNICA, Brazil)

Maurício Jorge Pinto de Souza (Ph.D Professor University of Sao Paulo, Brazil)

Acknowledgement: The authors acknowledge financial support from ERS/USDA, CNPq, FAPESP.

Abstract

This study describes the behavior of Brazilian hydrous ethanol supply, with particular emphasis on how producers responded to own prices and to price of substitute products based on sugarcane - such as sugar and anhydrous ethanol - emphasizing factors that have affected the supply of the product through the last decade. For this purpose, an econometric model of hydrous supply and of sugarcane supply was built, based on panel data model for the main producer states in Brazil. The data period selected to estimate the model was 2000/01-2011/12. The results indicated that the supply price elasticity for hydrous ethanol was 1.94 and the price of sugar has no influence on hydrous ethanol price through this period. For the sugarcane supply, the planted area and the number of newly installed plants at each state were important determinants of the current planted area. The sugarcane supply price elasticity lagged by one period was 0.25. As expected, the supply price response was higher in ethanol production than in that of sugarcane.

Keywords: hydrous ethanol; fuel; sugarcane; supply; Brazil

1. Introduction

In view of continuously rising petroleum costs and the historical dependence on fossil fuel resources, considerable efforts are being spent to identifying substitute energy resources. The use of gasohol (mixture of ethanol and gasoline) as an alternative motor fuel has been increasing steadily around the world. In Brazil, domestic production and use of fuel ethanol is expected to reduce the dependence on foreign oil, avoiding negative effects of trade deficits, while stimulating jobs in rural areas, reducing air pollution and global climate change due to carbon dioxide

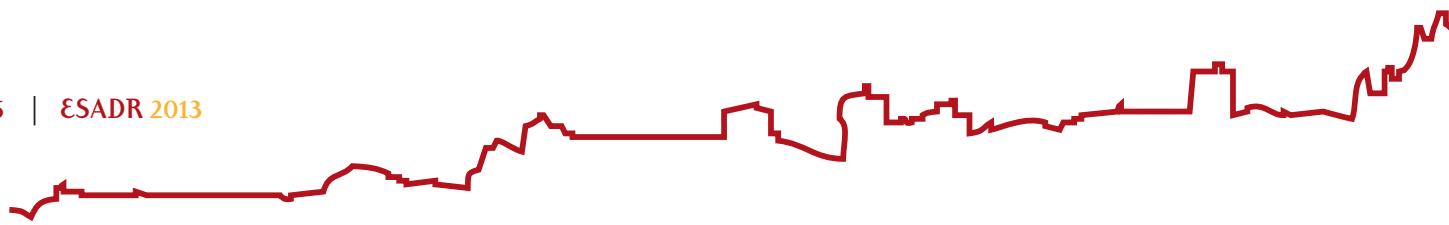


emissions. Ethanol, unlike gasoline, is an oxygenated fuel that contains 35% oxygen, which reduces particulate and NO_x emissions from combustion. Most importantly, when burned, ethanol derived from fermentation produces no net increase in carbon dioxide, the main greenhouse gas, in the atmosphere (Lang et al., 2001b). Ethanol is currently the most widely used liquid biofuel. Most fuel ethanol is produced from sugar cane or sugar beet.

While ethanol represents an important renewable liquid fuel for motor vehicles (Lewis, 1996), Brazil is a country with a highly developed system of production, distribution and consumption of this biofuel. Since the introduction of the ProAlcohol in 1975, in response to the first oil crisis, the Brazilian government has provided incentives to build ethanol distilleries along with the development of the infrastructure for ethanol distribution. Two types of ethanol fuel are obtained from sugarcane biomass, namely hydrous and anhydrous ethanol. The latter is added to gasoline A in a proportion established by federal Brazilian law, which can vary from 18 to 25 percent to produce gasoline C (or gasohol). Hydrous ethanol can be used as a substitute for gasoline C in vehicles moved exclusively by ethanol – introduced in the 1970s with the ProAlcohol program – and, more recently, mixed in different proportion in cars with flex-fuel engines.

In the past 30 years, Brazil became not only a leader in renewable energy but also a virtually energy independent country. The introduction of flex-fuel engines in 2003 was an innovation of outstanding importance that stimulated the demand for hydrous ethanol in the country. In response, the supply of ethanol was expanded from the relatively low level of 5 billion liters in 2000 to 18 billion liters in 2008.

The objective of this study is to identify the related supply price elasticities in the Brazilian sugarcane market, given the impact of hydrous ethanol supply expansion after the introduction of the flex-fuel vehicles in Brazil. These elasticities are important to understand the main determinants in this market affecting hydrous ethanol production, as well as their impact upon sugarcane production. In addition, these results can be important to form expectations and provide information for policymaking. The price elasticity of supply is essential to identify market responses and policy directions. More specifically, the analysis is developed to identify what would be the consequence of price control in the economy for ethanol production, and - what is the magnitude of policy stimulus required to produce sufficient to





stabilize prices, given the increasing demand.

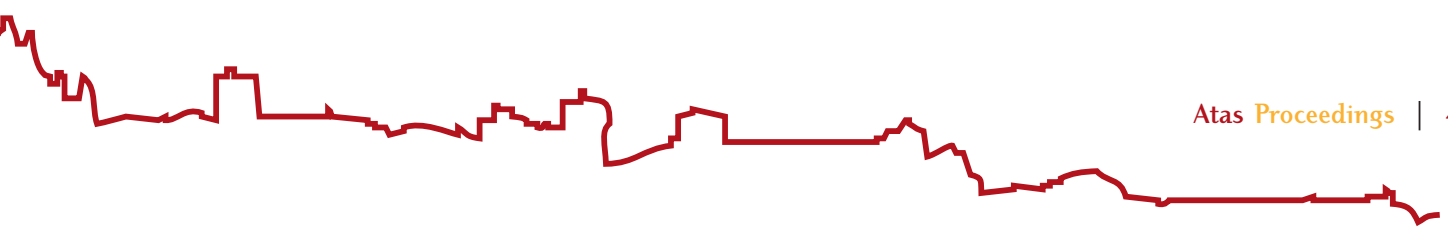
In part 2 we describe the background of the ethanol production in Brazil and make a review of the other studies that focus on the supply of the sugarcane industry. Part 3 describes the main forces that could affect hydrous ethanol production and in 4 we explain the methods and data used in this study, in order to improve on the results described in section 2. Part 5 describes and analyzes the results and finally, conclusions are drawn in part 6.

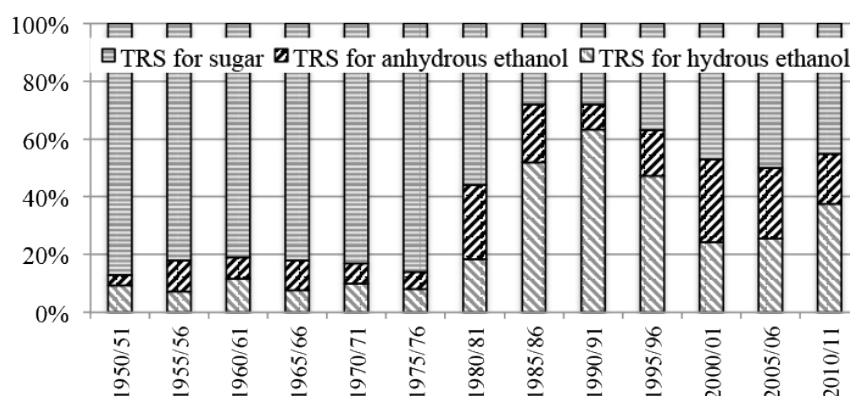
2. Background

2.1. Ethanol production

Sugar, anhydrous and hydrous ethanol are produced in Brazil through sugarcane processing - so that an increase in the production of one of these co-products implies a decrease in the proportion of the others in the total potential production. This trade-off can be represented by using the percentage of total recoverable sugar (TRS) from the sugarcane needed to obtain each of these products. As shown in Figure 1, the sum of TRS used to produce both anhydrous and hydrous ethanol production amounted to less than 20 percent of TRS until the end of the decade of the 1970s. In the first years of the 1980s, however, ethanol production showed a rapid expansion, taking its participation in TRS up to almost 50 percent. With the implementation of the ProAlcohol Program, ethanol production expanded. By 1986, however, the participation of sugar production in the TRS had been reduced to less than 30 percent. When the first ethanol supply crises developed at the end of the 1980s, the Brazilian sugarcane sector was expanding its sugar production again. Ethanol's importance as transformed sugar started to be restored only in the mid 2000s, when the flex-fuel car fleet expanded and consumers were again stimulated to consume fuel ethanol, which presented became relatively cheaper than gasoline. At the 2010/11 harvest, 38 percent of the cane was allocated to hydrous ethanol production; 17 percent to anhydrous and the 45 percent was left for sugar production (Figure 1).

Figure 1 – Sugarcane used for sugar, anhydrous ethanol and hydrous ethanol (E100) in Brazil. Period: from 1950/51 to 2010/11



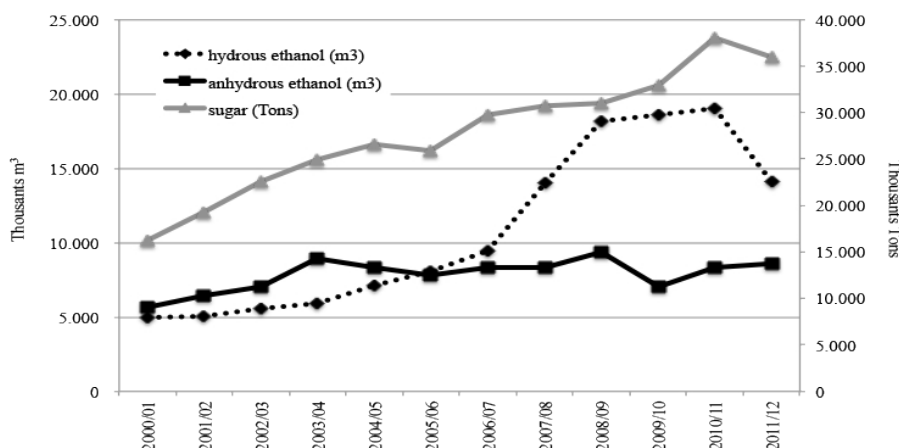


Note: TRS is total recoverable sugar.

Sources: Brazil (2009) and Unica (2012a).

Figure 2 illustrates the impressive growth of hydrous ethanol production (with an annual growth rate of 10 percent), at the expense of anhydrous ethanol which suffered a drop of 4 percent in the same period. Sugar production was also boosted, showing an annual growth rate of 7 percent in the last decade.

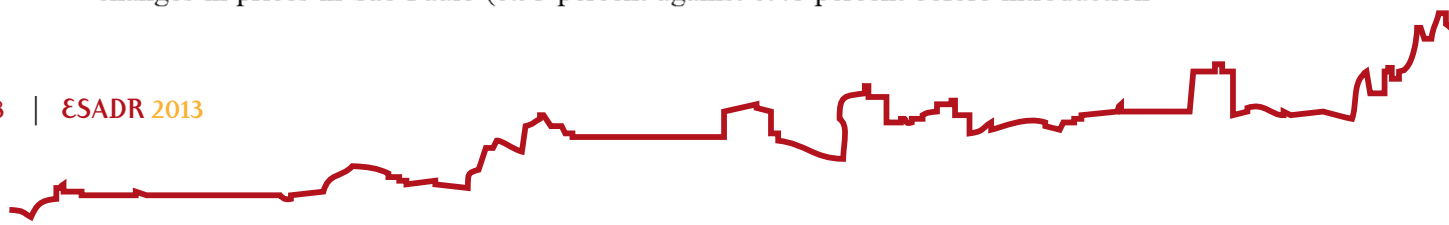
Figure 2 – Brazilian production of sugarcane, sugar, anhydrous and hydrous ethanol in the decade of the 2000s



Source: Unica (2012a).

2.1. Empirical evidence on the sugarcane industry supply

Selected articles have been written about the price elasticity of supply for sugarcane in Brazil, focusing on different time periods are listed in Table 1. Barros (2010) estimated two price elasticities for Brazil, considering different time periods, such as before the introduction of the flex-fuel vehicle (1998-2004) and after its adoption by consumers (2005-2009). The purpose of the study was to verify if the new technology affected the sugarcane supply in Brazil. The results indicated that after the introduction of the flex-fuel cars, sugarcane supply became more sensitive to changes in prices in São Paulo (0.93 percent against 0.48 percent before introduction



of the flex-fuel vehicle). For the period 1976-2006, Satolo and Bacchi (2009) obtained an estimated price elasticity of sugarcane supply of 0.25, which is more inelastic than that found by Barros (2010). However, Barros (2010) did not consider prices in real terms. Santos (2001) found relatively low price elasticity for the sugarcane supply in the northeastern region of Brazil, indicating that for a 1 percent increase in sugarcane price, the supply rose 0.06 percent.

Table 1 – Supply price elasticities for sugarcane in Brazil for different periods

Source	Price elasticity	Period analyzed	Region analyzed
Barros (2010)	0.29	1998-2004	São Paulo
	0.69	2005-2009	
Satolo & Bacchi (2009)	0.25	1976-2006	Brazil
Santos (2001)	0.06	1980-1995	Brazilian Northwest

Table 2 lists a larger number of studies that analyze the behavior of sugar supply. A possible explanation for this greater emphasis on sugar than hydrous ethanol in Brazil is that the market for this commodity is well established, while the ethanol market is still subject to greater variability in its basic parameters. In addition, since Brazil is the main sugar exporter in the global market, it is an important reference for policymakers. Barros (1975) was one of the first studies that obtained estimates of sugar price elasticity for the Brazil. This study found that sugar supply is less responsive to price change in the short run (with an elasticity of 0.25) than in the long run (price elasticity of supply of 3.94), which might be explained by the period of this analysis (1947-1973). Comparing these results with those obtained by Arend (2001), who considered a more recent period (1969-1998), it can be observed that the sugar supply price elasticity was relatively higher in the short run (0.332) and lower for the long-run 0.979 than the values identified by Barros (1975). However, Arend (2001) did not consider ethanol prices in his model. Caruso (2002) estimated the sugar supply for São Paulo State during the period from January, 1994 to October, 2000, using hydrous ethanol price as an explanatory variable. The sugar supply elasticity identified by this author for own prices was a 1.89 percent, while the value of the sugar supply response to a change in ethanol price was negative, as expected, due to the substitutability between sugar and ethanol. Shikida et al. (2007) analyzed data from Parana, another important sugarcane producing state in Brazil for the period between 1980-2004 and found that sugar supply increased by 1.239 percent in



response to a rise of 1 percent in sugar prices. In addition, they found that the sugar supply also increased by 1.976 percent when the ethanol price fell by 1 percent.

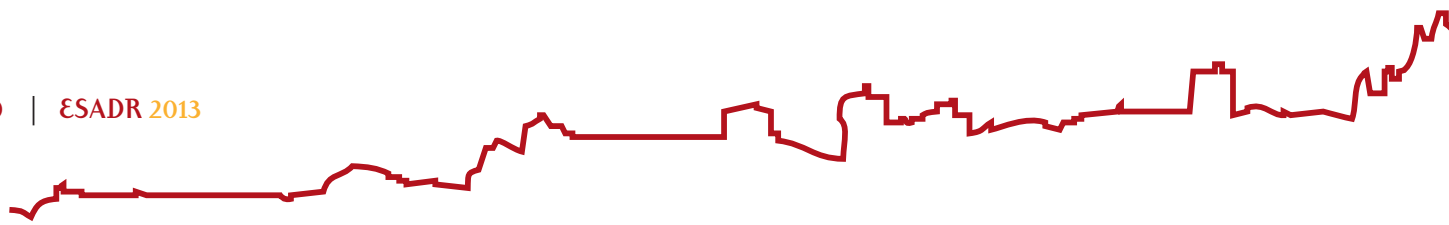
Table 2 - Estimated price elasticities of supply for sugar in Brazil

Source	Price elasticity	Period analyzed	Region analyzed
Barros (1975)	0.25 (short run) 3.94 (long run)	1974-1973	Brazil
Arend (2001)	0.332 (short run) 0.979 (long run)	1969-1998	Brazil
Caruso (2002)	1.89	Jan.1994- Out.2000	São Paulo State
Shikida et al. (2007)	1.239	1980-2004	Parana State
Bertotti et al. (2009)	1.106	1990-2006	Brazil

Bertotti et al. (2009) analyzed the sugar supply through the period 1990-2006, including ethanol production and the size of ethanol vehicles fleet as explanatory variables in the sugar supply model. The variables used to explain sugar supply and their respective elasticities values were: sugarcane supply (0.79), sugar price in the domestic market (1.106) and international sugar price (-1.091). These authors concluded that ethanol production and the size of the ethanol vehicles fleet were not show statistical significant effects and seemed to distorted the results of the sugar supply model when included in the estimated equation.

Unlike sugar, the production of hydrous and anhydrous ethanol seems just sufficient to supply the domestic demand, so that only a small volume of the anhydrous ethanol produced has been exported in recent years. This might explain why there are fewer studies that analyze their supply elasticities. Marjotta-Maistro & Barros (2003) estimated the price elasticity of supply for anhydrous ethanol in Brazil, arriving at a value of 0.084. The period used for the analysis was January 1995 to December 2000. The authors defend that the price inelasticity could be explained by the fact that producers did not follow market changes to determine their supply, since the Brazilian government had, for a long time, assured them that all ethanol produced would be purchased at a predetermined price.

Analyzing specifically hydrous ethanol supply, in Parana State, Shikida et al. (2007) found that, although the signs for price elasticities were as expected, these were non-significant. The authors blamed this result on instabilities that affected the ethanol market after the 1980s. Oliveira et al. (2008) analyzed the Brazilian ethanol supply for a more recent period (1995-2006) and found significant price elasticity, but



at a low value (0.207), which represents an inelastic supply. In their model, those authors used ethanol price alone as an explanatory variable, plus a dummy variable for a period 2002-2006, due to an increase in oil prices in the international market.

Table 3 – Supply price elasticities for ethanol in Brazil and U.S. for different periods

Source	Price elasticity	Period analyzed	Region analyzed
Marjotta-Maistro & Barros (2003)	0.084 (anhydrous)	1995-2000	Brazil
Shikida et al. (2007)	Not significant	1980-2004	Parana State
Oliveira et al. (2008)	0.207	1995-2006	Brazil
Rask (1998)	0.75	1984-1993	U.S.
Luchansky & Monks (2009)	0.2	1997-2006	U.S.

Supply price elasticities were estimated for the US ethanol market by Rask (1998) and Luchansky & Monks (2009). Rask analyzed the period from 1984 to 1993 and found a value of 0.75 for supply price elasticity. Luchansky & Monks (2009) analyzed a more recent period (1997-2006) and found a supply price elasticity of 0.2. These authors considered corn oil price as an explanatory variable in the supply model and found a significant, positive and inelastic elasticity. In this case, price elasticity for corn oil in the ethanol supply was positive because it is a co-product of corn ethanol in the U.S. In Brazil, however, sugar and anhydrous ethanol compete for sugarcane and we expect negative values for their price elasticities in the hydrous ethanol supply model.

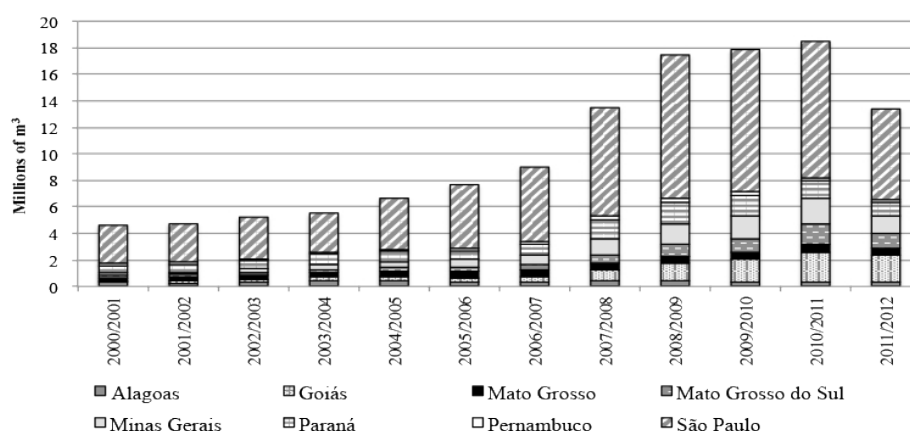
The next section describes some specificities of the hydrous ethanol and sugarcane supply in the period analyzed and relations between the prices of the sugarcane industry products. These results were used in the supply economic model, presenting better adjustment and results than those described before.

3. Supply of sugarcane and hydrous ethanol in Brazil

The production of sugarcane and hydrous ethanol has been limited to specific regions of the country. Figures 3 and 4 show how hydrous ethanol and sugarcane production evolved, respectively, developed in the main producer states through the last decade. The production of the eight states included in these figures represented more than 90 percent of the Brazilian production from all 27 states in the whole period analyzed. It can be observed that the behavior of hydrous ethanol supply has been different by each of the Brazilian states represented in Figure 3.



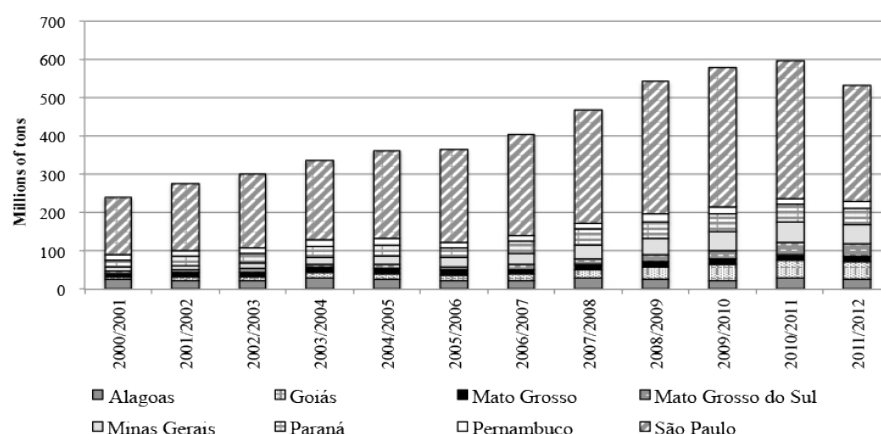
Figure 3 – Profile of hydrous ethanol production in the main Brazilian States from 2000



Sources: Unica (2012a).

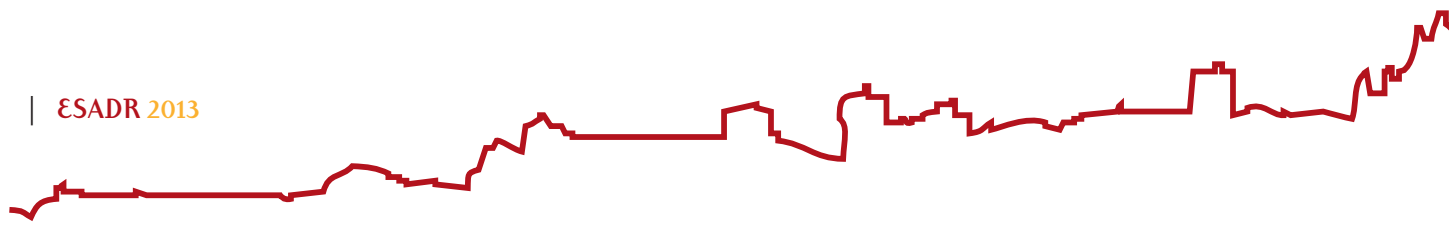
Considering the last harvest analyzed (2011/12), there are some interesting variations among the states: on the one hand, Goiás supplied only eight percent of the sugarcane produced in Brazil (third largest share), but 14 percent of hydrous ethanol (second largest share); on the other hand, São Paulo supplied a higher percentage of sugarcane (54 percent) than of hydrous ethanol (49 percent) in Brazil. Thus, the spatial distribution of production seems to be an important variable to be taken into account in this analysis.

Figure 4 – Profile of sugarcane production in the main Brazilian States from 2000



Sources: Unica (2012a).

Sao Paulo state was responsible for 60 percent of the Brazilian production of sugarcane and hydrous ethanol during the whole period chosen for the analysis. Table 4 shows that the production growth rate differed between the states: while in Goiás



the annual growth rate for hydrous ethanol was 25 percent, in the northeastern states, Alagoas and Pernambuco, it was zero and two percent, respectively.

Table 4 – Annual growth rate and share of Brazilian production in 2011/12 for hydrous ethanol and sugarcane, in the main Brazilian States

	Growth rate per year		Share of Brazilian production in 2011/12	
	Hydrous ethanol	Sugarcane	Hydrous ethanol	Sugarcane
Alagoas	0%	1%	2%	5%
Goiás	25%	18%	14%	8%
Mato Grosso	9%	4%	4%	2%
Mato Grosso do Sul	19%	16%	9%	6%
Minas Gerais	18%	15%	9%	9%
Paraná	6%	7%	7%	7%
Pernambuco	2%	2%	1%	3%
São Paulo	8%	7%	49%	54%

Source: Unica (2012a). Elaborated by authors.

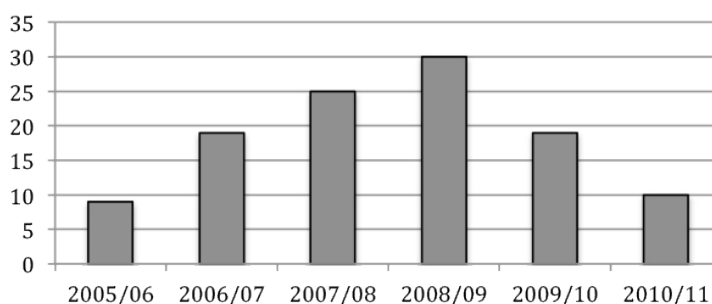
Figures 3 and 4 show others two specificities: (i) stabilization in hydrous ethanol and sugarcane production from 2009 and (ii) the fall in production of hydrous ethanol and sugarcane in 2011/12. The understanding of these events is important for building good models that capture the producers' response to price changes in this market. First, the economic difficulties generated by the international crisis of 2008 led to lower investments and a slowdown in the installation of new plants in Brazil, especially in the Centre-South states, which are the main generators of the increase in production (FNP, 2011). As described in Figure 5, while in the 2008/09 there were 30 new plants, at the 2011/12 harvest year only 5 new plants started to produce. Besides the 2008 financial crisis, profits made by mills were also lower, slowing investments and production expansion. As shown in Figure 6, the profitability for hydrous ethanol was negative after 2008.

Unica, cited by FNP (2011) indicated that after this period, foreign investments were directed to acquisition of companies facing difficulties instead of the constructing new mills (or starting greenfields). The mills were unable to cover the costs of essential procedures and the rate of renewal of the sugarcane fields was reduced. This, together with climate problems over sugarcane harvests, resulted in sharp losses in agricultural productivity, as described in Figure 7, and explained the lower production.



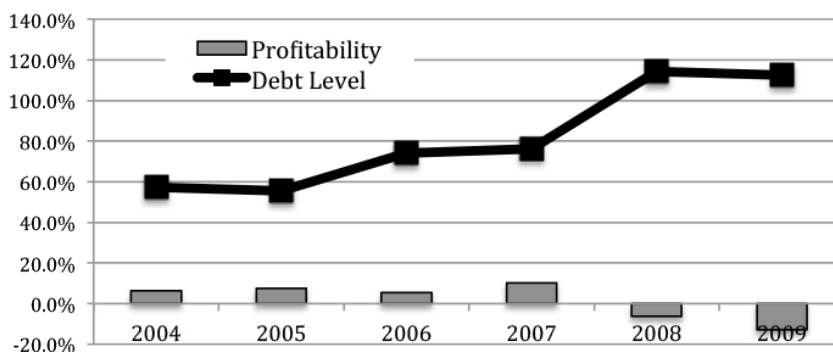
As mentioned above, another factor that interferes with the hydrous ethanol supply is the price of products that compete with it: anhydrous ethanol and sugar. Robust statistics prices of these products are available only for three states in Brazil: São Paulo; Alagoas and Pernambuco. These prices present a very similar behavior among the states for each product. As São Paulo is the main sugarcane products producer, the prices in this State are plotted in Figure 8 for the period analyzed.

Figure 5 – Yearly numbers of greenfield investments in Brazil. Period: 2005-2011



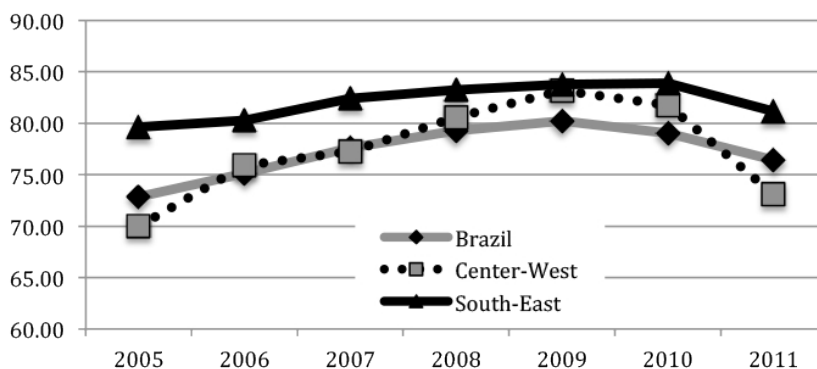
Source: Unica, cited by FNP (2011).

Figure 6 – Profile of profitability (liquid profit/liquid heritage) and debt of the largest group in the sugarcane sector. Period 2004-2009



Source: Unica, cited by FNP (2011).

Figure 7 – Profile of sugarcane productivity in Brazil. Period: 2005-2011



Sources: IBGE (2012).

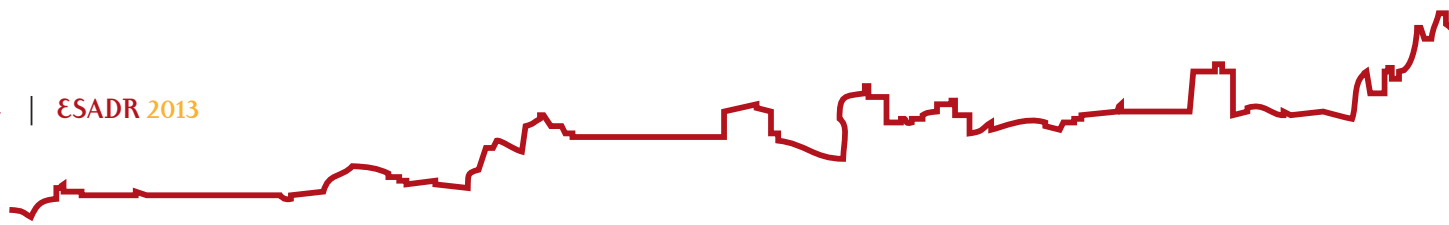
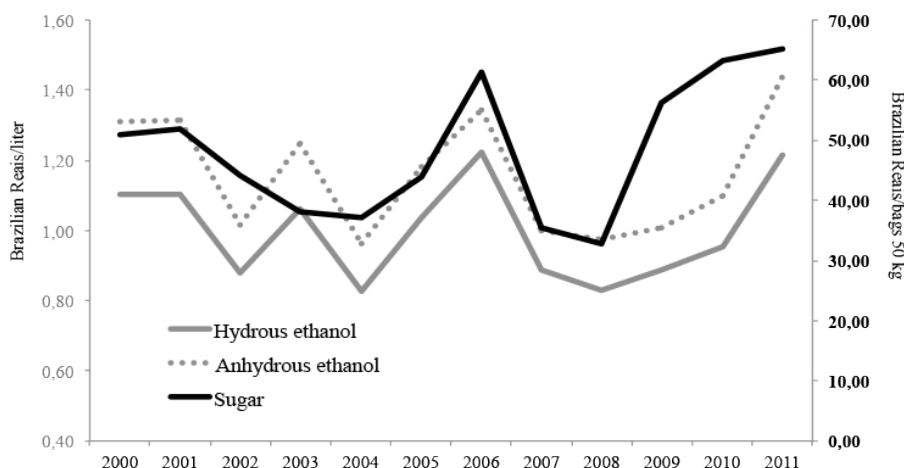


Figure 8 – Variation in sugarcane products prices: sugar, hydrous and anhydrous ethanol in São Paulo State. Period: 2000-2011



Source: CEPEA (2012). Elaborated by authors.

Figure 8 shows that hydrous and anhydrous ethanol prices trends are very similar, while the sugar prices varies differently, such that price correlation between hydrous ethanol and sugar was 63 percent and between hydrous and anhydrous ethanol was 98 percent. The positive and high correlations between these prices mean that one price influences another.

Therefore, the relative independence of the sugar price can be due to plants producing only sugar. This independence between sugar and ethanol price possibly explains the models for the studies described in part 2. Caruso (2002), for instance, concludes that the ethanol price had no influence on sugar supply. However, there is some evidence that the reverse causality might be a plausible assumption. In the anhydrous ethanol supply model estimated by Marjotta-Maistro and Barros (2003), sugar prices explained the anhydrous supply.

The price transmission between sugar and anhydrous ethanol prices, was studied by Alves (2002) for the period of May 1998 to June 2002. This author concluded that these relations were not as strong as expected. Venâncio et al. (2010) analyzed the effects of interdependence between the sectors of sugar and ethanol in the price and supply of the sugarcane sector, from 1979 to 2007. They found that the variation in the ethanol price has more influence on the sugar price than the reverse. As a limitation of that study, the data used correspond largely to the period of regulation in this sector. However, no studies can be found estimating price transmission between anhydrous and hydrous ethanol.



These studies illustrated that an evaluation of estimates considering the changes in hydrous ethanol market in Brazil after the introduction of the flex-fuel vehicle, as those obtained in this study, can be important and useful for policymaking.

4. Methods and data

This section describes the economic models for hydrous ethanol and sugarcane supplies, the econometric approach for estimates and the data used. In order to obtain good estimates for the model explaining hydrous ethanol and sugarcane producer behavior in the last decade, the data was separated by the main producer states in Brazil. As explained in section 3, the states had different performance profiles. Consequently, a panel data was applied to obtain these estimates.

The model proposed for hydrous ethanol supply (Sh) is represented by equation (1):

$$Sh_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 Ph_{i,t} + \alpha_2 Pa_{i,t} + \alpha_3 Ps_{i,t} + \mu_{i,t} \quad (1)$$

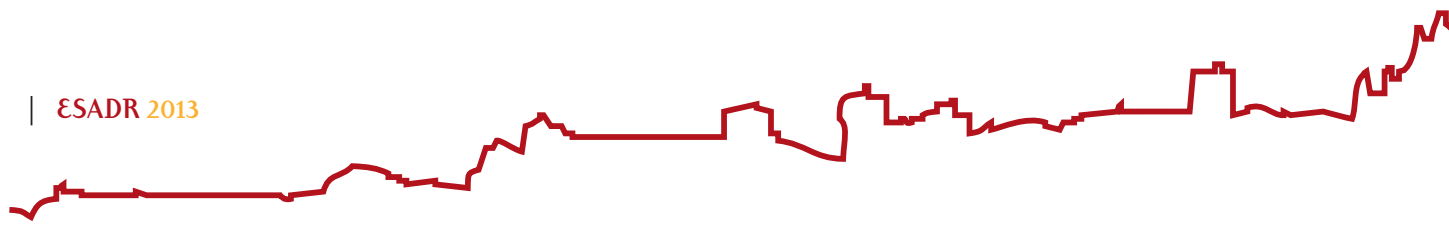
where Ph is the hydrous ethanol price; Pa is the anhydrous ethanol price; Ps is the sugar price and; μ is the error term for the model.

The subscript i in equation (1) indicates the data from each of the main producer states and; t symbolizes the series of times used to estimate this model, which comprehends the harvests years between 2000/01-2011/12. The states analyzed in equation (1) were: São Paulo (SP), Minas Gerais (MG), Paraná (PR), Goiás (GO), Mato Grosso (MT), Mato Grosso do Sul (MS), Alagoas (AL) and Pernambuco (PE).

Price data received by producers for the hydrous ethanol (Ph), anhydrous ethanol (Pa) and sugar (Ps) were obtained from CEPEA (2012). As the producer prices for these products were only provided for São Paulo, Alagoas and Pernambuco, the reference considered for the other states was the São Paulo producer price, given its relevance for price formation in Brazil. This model also confirmed the no significance of the influence of the sugar price variable in the ethanol market though the relation between the sugar and ethanol prices was not significant in other estimations (Caruso, 2002 and Shikida et al., 2007).

The model proposed to explain the sugarcane area (Ssc) is represented by the equation (2):

$$Ssc_{i,t} = \gamma_0 + \gamma_1 Ssc_{i,t-1} + \gamma_2 Psc_{i,t-1} + \gamma_3 Mills_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$



where P_{sc} is the ATR (Total Recoverable Sugar) price, which is a technical combination of the sugar, hydrous and anhydrous ethanol prices; $Mills$ is the number of the new cane-processing plants and; ε is the error terms for the model.

The subscript i represents each of the main producer states and t symbolizes the time series used to estimate this model, equivalent to the harvest years between 2000/01-2011/12. The producer states referred to equation (2) were: São Paulo (SP), Minas Gerais (MG), Parana (PR), Goias (GO), Mato Grosso (MT) and Mato Grosso do Sul (MS). The northeastern states, Alagoas and Pernambuco, were not included, given that there is no area for expansion of sugarcane in these states.

The data used for the sugarcane area (S_{sc}) were provided by IBGE (2012). The price for the sugarcane producer that was considered the ATR price (P_{sc}) was obtained from Consecana (2012) and the same price was used for all eight states analyzed in each year. The variable $Mills$ was provided by Unica (2012b). The lagged endogenous variable was included in the model to represent the sugarcane harvested in the same area among the period of the analysis. The lagged ATR price was used, given the assumption that the producer takes at least one year to decide whether to increase or decrease the planted area. Finally, the number of the new mills installed in each state analyzed was considered to represent the additional area needed to sustain an economic production.

All prices were deflated by the General Price Index (GPI) estimate for Brazil (FGV, 2012).

The coefficients α_1 and γ_2 , described respectively in equations (1) and (2), are expected to be positive, such that an increase in their price will lead to an expansion in production. Coefficients α_2 and α_3 are expected to be negative, considering that an increase in sugar or anhydrous ethanol price should reduce the hydrous ethanol production. Coefficients γ_1 and γ_3 are expected to be positive, considering that the previously area planted and new mills should contribute positively to the total area planted with sugarcane.

Econometric models

According to Hsiao (1986), a model based on panel data provides several advantages over cross-sectional and time-series models. This is particularly so when there is heterogeneity among the units covered in the study, such as the States in the present study, since these can be controlled in this modeling procedure.

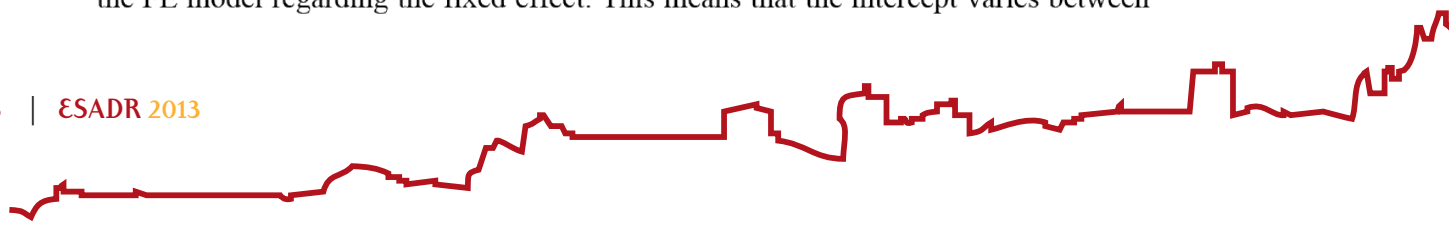


It is believed that there are several characteristics of the States that affect the variable being explained - the production of hydrous ethanol - which cannot be observed and thereby included in the model as explanatory variables. The capacity of the rural worker to produce cane instead of cattle, can be an example, as well as the interaction between soil, climatic conditions, and the influence of culture and history of the State upon its agricultural activities. Although these are not trivial to measure, the omission of these variables in the model can lead to biased results. The panel-data model is indicated for this type of estimation, since the model takes account of the differences between individual units (such as the States, in this case). Hsiao (1986) also highlighted a further advantage of panel data, *viz* the greater number of observations that can be used within the panel model procedure, such that number of degrees of freedom is increased and collinearity between the explanatory variables is reduced. It is well known that in the presence of collinearity, it is hard to determine the extent to which an individual regressor affects the endogenous variable. By solving this problem, the quality of the estimated parameters can be improved.

Panel data estimation relies on the hypothesis that in the estimation procedure, the heterogeneity of each cross-sectional unit is taken into account. The one-way random effect (RE) and fixed effects (FE) models are the most frequently used on panel data.

The fixed effects model is set to control for the omitted variables that vary between the units (States in this study) but are constant through time. Thus, it is assumed that the intercept varies from one individual to another, but is constant for each one. The parameters of the explanatory variables are constant for all individuals and all time periods (Griffiths, Hill and Judge, 1993). Since these response parameters do not vary between individuals nor through time, all the behavioral differences between individuals will be captured by the constant term. Therefore, the estimated constant term in the fixed effects model can be interpreted as the effect of the variables that are omitted in the model. Another important assumption of the fixed effects model is that the fixed coefficient is a constant and unknown parameter that captures the differences between individuals of the sample.

A basic characteristic of these models is that they rely on the hypothesis that differences between cross-sectional units can be captured by means of an intercept term, specific for each unit. The random effect models make the same assumption as the FE model regarding the fixed effect. This means that the intercept varies between



individuals but not through time, while the explanatory variable coefficient is constant for all individuals and all periods of time. The difference between the models is how the intercept is interpreted. In the fixed effects model, the intercept is considered as a constant (fixed value), correlated with the explanatory variables in any period of time, while in the variable effects model the intercept is recognized as a random variable. This means that the random effects model considers that the set of individuals for which there is information are a random sample from a larger number of individuals. The fixed effects model is appropriate when the observations are available for the whole population.

There are tests, such as that introduced by Hausman, to identify whether the model should be estimated as a fixed or variable effects model, when the construction of the model is unclear regarding this question. In this analysis, the FE model can be considered more appropriate, since there is no reason to believe that constant characteristics of the States are randomly related to fuel prices in any period of time.

More recently developments model for panel data is related to the introduction of lagged-response or dynamic models. These are used when it is important to include lagged variables in the model, as seen for sugarcane supply model in equation (2). The conventional lagged-response model is described by Rabe-Hesketh and Skrondal (2012) as the autoregressive lag-1 (AR(1)) model, where the dependent variable ($Y_{i,t}$) is regressed on the previous response ($Y_{i,t-1}$).

When lagged variables are included in the model, estimation by OLS, FE and RE are biased. In order to solve this problem, Rabas et al (2011), Anderson and Hsiao (1981) suggested first differencing of variables. Although this method leads to consistency, it is not necessarily efficient, since it does not use all available moment conditions; and does not take into account the differenced structure on the residual disturbances. Rabe-Hesketh and Skrondal (2012) suggest the use of additional lags can be used as instrumental variables in the Anderson and Hsiao approach to increase efficiency. Arellano and Bond (1991) proposed a more efficient estimation procedure, as an extension of instrumental-variables estimation called generalized method of moments (GMM) for this purpose, and which was used in this study to estimate equation (2).

The next section describes and discusses the results obtained with the models presented in equations (1) and (2) and estimation methods explained above.



5. Results and Discussion

The price elasticity of production of hydrous ethanol fuel to its own price and to that of the major substitutes - anhydrous ethanol and sugar - were estimated from a panel function with the expected effects of the variables based on economic theory, as described in equation (1). The results of the estimations of supply equation are presented in Table 6.

Table 6 – Hydrous ethanol production function estimate for Brazil, 2000-2011

	Coefficient estimated	Elasticity
Fixed coefficient	α_0	13.61*
Hydrous ethanol price	α_1	1.94**
Anhydrous ethanol price	α_2	-2.55*

*Denotes statistical significance at 1% level. ** Denotes statistical significance at 5% level.

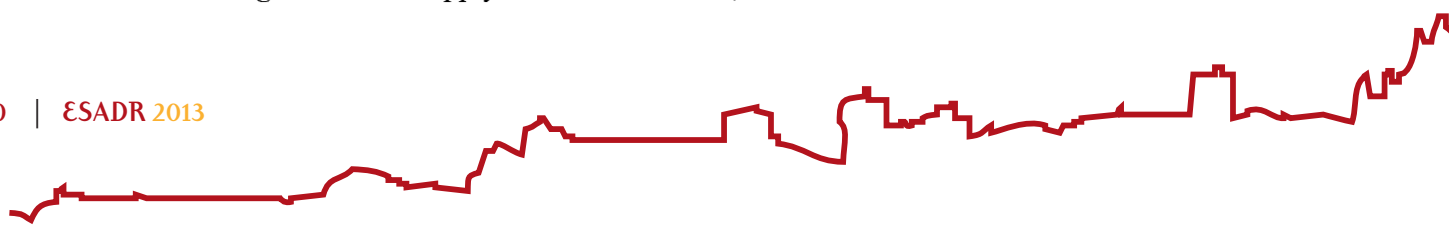
All the parameters described in Table 6 presented the expected signs and were statistically significant. The F test, applied to the fixed effects model indicated that the model can be considered adequate to control for the non-observed characteristics of the units or country regions. However, sugar price was not included in final model although it was a component of equation (1), since sugar price was non significant. A possible explanation is that all mills that produced hydrous ethanol could produce anhydrous, while only some of these mills could also produce sugar.

The Hausman test indicated that the fixed effects model was a robust method to take the heterogeneity in sugarcane supply of the States into account.

The results for the estimation of the hydrous ethanol supply indicated that both the direct price elasticity of supply (1.94), and the cross price elasticity of supply with respect to anhydrous ethanol (-2.55), were relatively more elastic than those identified in previous studies (Marjotta-Maistro & Barros , 2003; Shikida et al., 2007; Oliveira et al., 2008; Rask, 1998; Luchansky & Monks, 2009). These results were expected, in view of the expansion of the flex-fuel car fleet in recent years, such that consumers can choose between fuels considering their relative price.

The estimated coefficient for the response of sugarcane area to producers prices – lagged by one period - was significant and inelastic (0.26), similar to what has been observed in others studies, such as Satolo & Bacchi (2009) and Santos (2001). The estimates for the coefficients in equation (2) are shown in Table 7.

Table 7 – Sugarcane area supply estimate for Brazil, 2000-2011



		Elasticity
Sugarcane area (t-1)	γ_1	0.93*
Sugarcane price (t-1)	γ_2	0.26**
Number of new plants	γ_3	0.05*

*Denotes statistical significance at 1% level. ** Denotes statistical significance at 5% level.

Differently from other sugarcane supply estimations, this study took panel data for the main sugarcane producing states (MG, SP, PR, MT, MS and GO) and included all the decade of the 2000s. Besides, the model considered the previously produced area and the number of new mills installed in those states.

These estimations are important because they provide information about what could happen in the sugarcane industry when there are exogenous changes. They also help the comprehension of the supply response to changes that are relevant information for policymakers.

The results of the estimates suggest, for instance, that an increase by 10 percent on the hydrous ethanol producer price would raise the hydrous ethanol supply in 19 percent. Indirectly, this would increase the sugarcane producer's price by 2 percent, taking into account the sugarcane price parametric formula (Consecana). Consequently, the area planted with sugarcane in the following year would growth 0.52 percent, because of the 10 percent increase in the hydrous ethanol price. This effect takes the relationship between the prices of the other two sugarcane products - sugar and anhydrous ethanol – as given and constant. Therefore, these estimated elasticities are important to support forecasts about the Brazilian ethanol market. Considering that in 2010 and 2011 the U.S. and Brazil were responsible for 76 and 74 percent of the all ethanol produced in world (LMC, 2011), such previsions are important to understand the world market in ethanol, which is an outstandingly important new energy source.

6. Conclusion

This study shows that the introduction of flex fuel cars, as a major technological breakthrough in the Brazilian market, resulted in substantial changes in the fuel market, increasing the supply response of hydrous ethanol to price changes. This is relevant, since it complements the evaluation of the effects of relative price



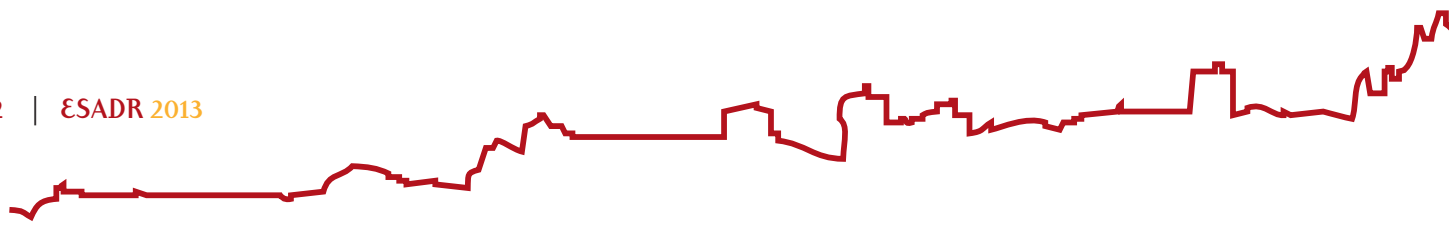
changes considering the demand for fuel, focused by several studies for the period before and after the expansion of the participation of flex fuel cars in the Brazilian fleet.

The results suggest that the introduction of the new technology promoted an important market advance towards greater efficiency, as the competition through prices would lower prices to consumers, at a given demand level, up to a point where these still sustain economic feasibility of production. The price elasticity has increased when all the years of the decade of the 2000s are included in the estimation – compared to previous studies, which did not consider for more recent period. In addition, as the effects of difference in state characteristics are considered, this seems to contribute to a better model.

The results also confirm that in Brazil, the production of cane is less responsive to prices than one of its products - the hydrous ethanol used as a biofuel in flex-fuel cars. This was expected since the cane, as an agricultural product with a relatively long cycle requires a longer period to implement changes in the volume produced. This is relevant, considering that the introduction of policies to stimulate the expansion of cane, as a raw material for ethanol production, would require a different timing compared to investments in expansion of the industrial processing. In addition, for planning investments in cane production and area expansion, producers and investors must foresee a growing and sustained expansion of demand for biofuels and sugar. Considering sugar as a *commodity* that is subject to price uncertainty and fluctuations, if the Brazilian government supports biofuel production as a long-run initiative, it should consider the importance of establishing targets to be reached along time and mechanisms to reduce uncertainty in cane production.

In general, the results confirm that when government policies toward fuel prices are used, there can be expressive changes in the product supply at a relatively short period of time. However, in order to have a sustained increase, there must be enough sugarcane to assure that hydrous, anhydrous and sugar could all respond to market incentives.

The analysis considering the differences among the main producer states in Brazil is also important to capture the producer behavior. When the analysis considers only the period after deregulation, it can be seen that hydrous ethanol producers present a stronger response to our prices, unlike what was indicated by other studies.



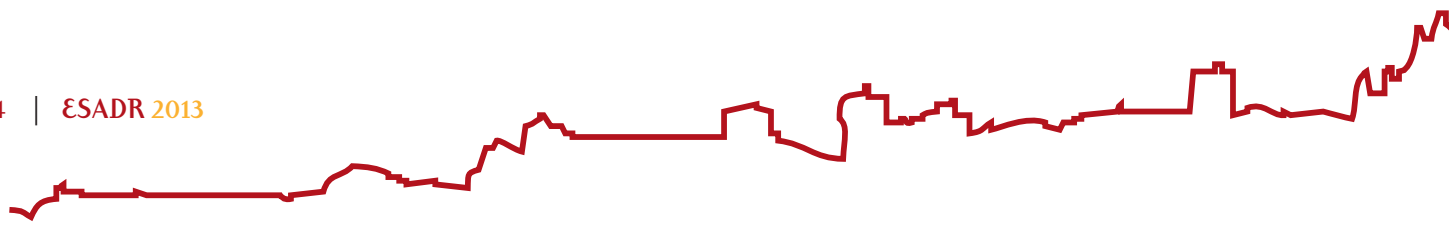
By estimating a complete hydrous ethanol supply model that considers the supply of cane, regional differences in Brazil for the period after the sector's deregulation and isolated events as new mills were installed mainly between 2005 and 2008, this study fills a gap presented by previous studies which were also applied to the period after the introduction of flex-fuel vehicles. However, to analyze impacts in policies, it seems that a comprehension of the producer behavior is as important as understanding consumer behavior.

Bibliography

- Alves, L.R.A. (2002). Transmissão de preços entre produtos do setor sucroalcooleiro do Estado de São Paulo. Tese de Doutorado em Economia Aplicada, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo, Universidade de São Paulo.
- Anderson, T.W., Hsiao, C. (1981). Estimation of dynamic models with error components. *Journal of the American Statistical Association*, v. 76, pp. 598-606.
- Arellano, M., Bond, S. (1991). Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. *Review of Economic Studies*, vol. 58, pp. 277–297.
- Arend, S.C. (2001). “O Instituto do Açúcar e do Alcool”: os usineiros e a busca de rendas. Porto Alegre, Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 249p.
- Barros, W.J. (1975). Análise econométrica dos mercados interno e de exportação de açúcar. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa.
- Barros, F.R.T. (2010). Os impactos da agroenergia no mercado de terras: dinâmica de preço e elasticidade de uso. Fundação Getúlio Vargas. São Paulo.
- Bertotti, G.; Ness, M.L. (2009). Massuquetti, A. A influência do preço internacional e o impacto da produção de veículos a álcool sobre a produção de açúcar no Brasil no período 1990-2006. *In: 47º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural*, Porto Alegre.
- Brazil (2009). Brazilian Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply. **Agrienergy Statistical Yearbook 2009**. Disponível em: www.agricultura.gov.br/desenvolvimentosustentavel/agroenergia/publicacoes.
- Brazilian Automotive Industry Association (2010). Brazilian Automotive Industry Yearbook, 2010. Disponível em: www.anfavea.com.br/anuario.html.
- Caruso, R.C. (2002). Análise da oferta e demanda de açúcar no Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado em Economia Aplicada, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo – USP.
- CEPEA. Ethanol. Monthly Prices. Available at: cepea.esalq.usp.br. Accessed: September 12, 2012.
- CONSECANA – São Paulo State Council of Sugarcane, Sugar and Alcohol Producers. Circulares. Available at: <http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=15>. Accessed: August 13, 2012.
- FNP. Renewable Energy Yearbook. 2011.



- Griffiths, W.E., Hill, R.C., Judge, G.C. (1993). Learning and practicing econometrics. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1993.
- Hsiao, C. (1986). Analysis of panel data. New York: Cambridge University Press.
- IBGE — The Brazilian Institute of Geography and Statistics. Agriculture Production. Available at: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/>. Accessed: August 20, 2012.
- FGV – Fundação Getúlio Vargas. Índice de Preços. Available at: <http://portalibre.fgv.br/main.jsp?lumChannelId=402880811D8E2C4C011D8E33F5700158>.
- LMC International, (2011). Total ethanol production.
- Luchansky, M.S.; Monks, J. (2009). Supply and demand elasticities in the U.S. ethanol fuel Market. Energy Economics. 31, pp. 403-410.
- Marjotta-Maistro; M.C.; Barros, G.S.C. (2003). Relação comerciais e de preços no mercado nacional de combustíveis. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 41, n. 4, pp.829-857.
- Oliveira, M. P.; Alencar, J. R.; Souza, G. S. (2008). Energia renovável: uma análise sobre oferta e demanda de etanol no Brasil. In: 46º Congresso da SOBER, Rio Branco.
- Rabe-Hesketh, S., Skrondal, A. (2012). Multilevel and Longitudinal Modelling Using Stata. Volume I: Continuous Responses. Third Edition. Stata Press.
- Rask, K.N. (1998). Clean air and renewable fuel: the Market for fuel etanol in the U.S. from 1984 to 1993. Energy Economics. 20, pp. 325-345.
- Santos, F.A.A. (2001). Análise da oferta e demanda da cana-de-açúcar na região Nordeste. In: XVI Congresso da ANGE. Maceió, AL.
- Satolo, L.F.; Bacchi, M.R.P. (2009). Dinâmica econômica das flutuações na produção de cana-de-açúcar. Revista Economia Aplicada, v.13, n.3, pp.377-397.
- Shikida, P.F.A.; Alves, L.R.A.; Souza, E.C.; Carvalheiro, E.M. (2007). Uma análise econométrica preliminary das ofertas de açúcar e álcool paranaenses. Revista de Economia Agrícola, São Paulo, v. 54, n.1, pp.21-32, Jan./June.
- UNICA (2012a). Sugarcane Industry Association. Unica data. Produção. Available at: www.unica.com.br.
- UNICA (2012b). Sugarcane Industry Association. Undisclosed data. Obtained by personal contact
- Venâncio, M.M.; Lírio, V.S.; Gomes, M.F.M.; Batalha, C.M.S. (2010). Efeitos da interdependência dos mercados de açúcar e álcool sobre os preços e a oferta do setor sucroalcooleiro. Revista de Estudos Sociais, n.12, v.2, pp.90-104.



AGROINDÚSTRIAS FAMILIARES DE ÓLEO VEGETAL NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: DO BIODIESEL A UMA PERSPECTIVA DE DESENVOLVIMENTO TERRITORIAL

ARNOLDO SANTOS DE LIMA

Geógrafo, Mestre e Doutorando pelo Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília (CDS/UnB). Email: arnoldosan@gmail.com

JOÃO NILDO DE SOUZA VIANNA

Professor adjunto do Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília (CDS/UnB). Email: vianna@unb.br

RESUMO

O objetivo deste artigo é identificar os desafios socioeconômicos para a consolidação de agroindústrias familiares de óleo vegetal no Semiárido Brasileiro, e identificar suas sinergias ao processo de desenvolvimento territorial. O objeto de estudo é a miniusina da Cooperativa de Agricultores Familiares do Território de Irecê, localizada em Lapão, Bahia. A metodologia intitulada de Direcionadores de Competitividade é utilizada para tratamento dos dados de forma quantitativa, e o modelo de Zylbersztajn para uma análise qualitativa. Além da literatura pertinente, foram pesquisados atores e instituições interligados ao empreendimento. Foram avaliados tanto no elo industrial quanto agrícola: a estrutura de mercado, o ambiente político-institucional, a tecnologia, a gestão, os recursos produtivos e a infraestrutura. Os resultados revelaram um processo que demanda alavancagens específicas e uma mudança de foco. Fragilidades na tecnologia industrial, na escala de produção, no custo do óleo, na precariedade do elo agrícola, e, sobretudo, na concepção da miniusina centrada no mercado de biodiesel, comprometem sua viabilidade. Entretanto, a incorporação de outras oleaginosas e o suprimento de óleo para demais mercados podem ser opções economicamente promissoras, e fortalecer esses arranjos produtivos e suas articulações institucionais como instrumentos de desenvolvimento territorial.

Palavras-chave: agroindústrias familiares, óleo vegetal, biodiesel, direcionadores de competitividade, desenvolvimento territorial.

INTRODUÇÃO

O conceito de *agricultura familiar* é relativamente recente no Brasil, especialmente, quando se analisa a origem das primeiras políticas públicas dirigidas ao setor e a construção de seu marco legal. A *agroindústria familiar* é um tipo de arranjo socioprodutivo da agricultura familiar de natureza ainda mais recente.

Vieira (1998) é pioneiro em analisar a gênese e as implicações socioeconômicas das agroindústrias familiares no desenvolvimento rural no Brasil. Ele conclui que a



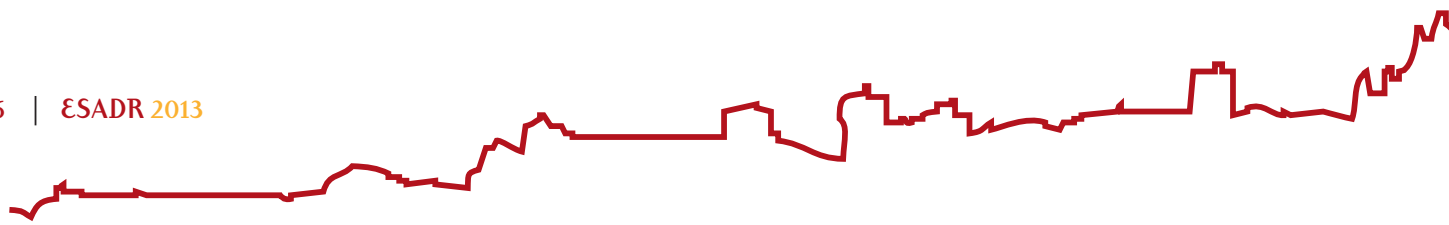
agregação de valor e tecnologia na produção agropecuária de pequena escala, apesar de um procedimento aparentemente estratégico, seria insuficiente, caso não ocorressem investimentos na capacitação gerencial, industrial e comercial.

A partir dessa observação, autores como Prezzoto (2002) e Trentin & Wesz (2004) enfatizam o papel das associações e das cooperativas na coordenação e otimização de recursos humanos e naturais. A gestão cooperativista em arranjos agroindustriais permitiria a constituição de redes de trabalho, capacitação e coordenação, além da expectativa de associar a competição à colaboração, o conflito à participação e o conhecimento prático ao conhecimento científico. Uma estratégia com condições de promover a “sobrevivência sustentável” de produtores familiares, e superar obstáculos de mercados oligopolizados (Cribb, 2008 e Batalha *et al.*, 2009).

O setor de oleaginosas no Semiárido baiano, sobretudo, o da mamona no Território de Irecê, é caracterizado justamente por um mercado oligopolizado e uma série de dificuldades socioambientais e produtivas. Os agricultores são pressionados tanto a montante de sua atividade principal, pela dificuldade de adquirir insumos adequados (sementes, fertilizantes, maquinários, crédito, assistência), quanto à jusante, gerados pela falta de organização, gestão e canais diversificados de comercialização.

Mesmo com a ampliação de mercado, marcado pela indústria do biodiesel, a partir de 2005, e por políticas públicas setoriais, não houve significativa modificação das áreas de produção. Elas continuam desorganizadas, desarticuladas, com infraestruturas inadequadas, baixos índices de produtividade e múltiplas dificuldades na gestão da propriedade rural. Apesar de elementos-chave na cadeia produtiva e no arcabouço socioeconômico da região, os agricultores são os que obtêm menores retornos de seus investimentos e de seu trabalho (Osaki & Batalha, 2011 e Lima, 2011).

Diante da expectativa de superação desse quadro é que se estabelece a Cooperativa da Agricultura Familiar do Território de Irecê (Coafti). Primeiro, como cooperativa de produção e comercialização, empenhada em melhorar as condições produtivas e comerciais dos agricultores. Em segundo lugar, e objeto de estudo desse artigo, com a finalidade de implantar uma miniusina de óleo vegetal de mamona. Um projeto ambicioso envolvendo um arranjo socioprodutivo inédito entre a cooperativa, agricultores familiares, associações rurais, órgãos de pesquisa, empresas e poderes públicos Federal, Estadual e Municipal.



GESTÃO TERRITORIAL, O TERRITÓRIO DE IRECÊ, A COAF TI E A MINIUSINA DE LAPÃO.

A *gestão territorial*, tal qual o conceito de agricultura familiar, é igualmente um enfoque recente no Brasil. Ela surge a partir de mudanças estruturais na dinâmica das relações entre o meio rural e o urbano, na diversificação das economias rurais e no questionamento do caráter exclusivamente agrícola das políticas de desenvolvimento rural. O Território é definido levando em consideração não apenas critérios físicos, mas um conjunto inédito de relações e redes socioeconômicas, políticas e culturais (Duncan & Guimarães, 2003 e Sayago, 2007).

Sua concepção está ligada a perspectiva de descentralização parcial de atribuições do poder público central, sobretudo, pelo estímulo as articulações institucionais e de parcerias entre os atores públicos e privados. A perspectiva de um sistema de governança com maior distribuição na responsabilidade de gerir os processos de desenvolvimento local, promovendo e articulando medidas oficiais, intermediando conflitos de interesse e estimulando novos projetos (Duncan, 2010).

A implementação desses princípios na esfera governamental brasileira acontece no ano de 2003, a partir da criação da Secretaria de Desenvolvimento Territorial (SDT), vinculada ao Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA). A Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Territórios Rurais (Pronat) institui a abordagem territorial como um mecanismo propulsor da formação de um capital social capaz de organizar e articular atores e instituições pelo estímulo, organização e desenvolvimento de cadeias produtivas locais. (Oliveira, 2003 e Grossi *et al.*, 2010).

A Bahia é um estado precursor na implantação da abordagem territorial do desenvolvimento, instituindo-a no mesmo ano de criação da SDT. Vinte e seis *Territórios de Identidade* foram criados com a participação da sociedade civil (organizações sociais e não governamentais) e dos poderes públicos, Federal e Estadual. O Território de Irecê é um deles, com uma área de 27.490 km², distribuídas por 20 municípios, e uma população total de 403.070 pessoas, sendo 155.392 (38,55% do total) residentes no meio rural. (Brasil, 2010). Localizado na porção setentrional da Chapada Diamantina, banhado a leste pela bacia do médio rio São Francisco, o território é um espaço Semiárido típico com um histórico socioeconômico e ambiental peculiar.

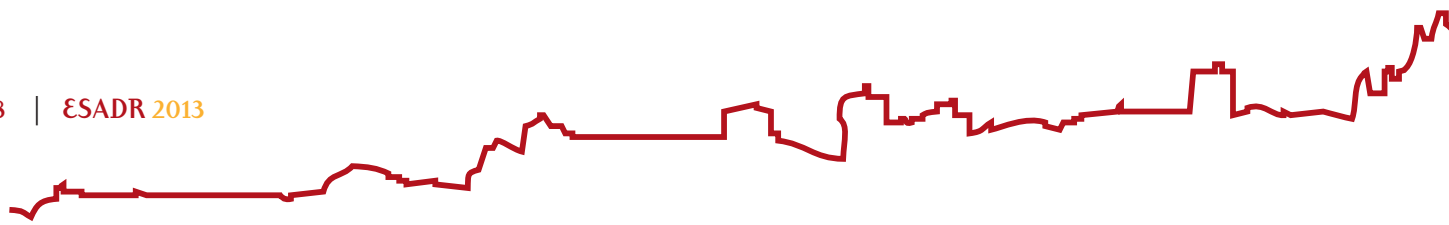


Os seus solos férteis e uma topografia plana incentivaram, a partir da década de 1950, um processo de ampliação da agricultura intensiva. As monoculturas do algodão e do feijão expandiram-se sustentadas pelas fartas linhas de crédito oficial para custeio e investimento. Entretanto, décadas de alterações no uso e ocupação do solo resultaram em terras exauridas e compactadas. Longos períodos de estiagens, e uma pluviosidade cada vez mais irregular, causaram quebras sucessivas na produção, e Irecê e os municípios integrantes do território, foram retirados do zoneamento agrícola necessário para novos financiamentos (Brasil, 2010).

Os agricultores familiares convivem atualmente com as adversidades desse passivo ambiental, realçado pelo baixo acesso às políticas de assistência técnica, crédito rural, educação, capacitação e organização. Poucos estabelecimentos agropecuários possuem mais de 500 hectares, apesar de ocuparem a maior parte do território (32,80% da área total). Por outro lado, predominam pequenas e médias propriedades de até 20 hectares, (79,61% dos estabelecimentos), distribuídas por um espaço reduzido (16,35%), mas responsáveis pela maior participação no nível de pessoal ocupado (72,46%) e no valor bruto da produção agrícola (37,72%), (Brasil, 2010).

Como resultado, o território tem sido palco do surgimento e reorganização de associações e cooperativas de produtores familiares. A Cooperativa de Agricultores Familiares do Território de Irecê (Coafti) é um exemplo. Focada em ações de assistência técnica e auxílio na viabilização de créditos agrícolas para produtores rurais, a entidade destaca-se pela organização de seminários e cursos de capacitação para agricultores e técnicos extensionistas.

Desde 2008, a cooperativa firmou acordo com a Petrobrás Biocombustíveis (Pbio) para compra e comercialização de mamona. A parceria promoveu o cadastramento, assistência técnica e a organização de 1.600 estabelecimentos agropecuários familiares. A compra dos grãos pela Pbio, intermediada pela cooperativa, possibilitou os recursos necessários para consolidar dezesseis núcleos de produção, cada um deles com 100 famílias, 16 técnicos agrícolas, e um engenheiro agrônomo. A parceria feita dentro da do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) e do Projeto Pólos de Biodiesel, do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), resultou em 4.000 toneladas de grãos apenas para a safra de 2010 (Bahia, 2010).



O desempenho da cooperativa fez dela uma referência para elaboração de novos projetos de aprimoramento dos sistemas agrícolas familiares, em especial, a construção da miniusina de óleo de mamona de Lapão. Um projeto que envolveu a Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação (Secti - BA), a Superintendência de Agricultura Familiar (Suaf – BA) e as políticas estaduais: Bahiabio e Biosustentável, destinadas respectivamente, ao desenvolvimento de biocombustíveis e à agregação de valor a produção agrícola familiar no estado (Bahia, 2009).

O beneficiamento agroindustrial familiar já havia sido destacado em um estudo propositivo do Governo Federal, como uma estratégia de desenvolvimento do Território de Irecê. O Colegiado Territorial de Irecê, fórum de gestão instituído pelo Pronat, composto por membros da sociedade civil e do poder público, apoiou a implantação da planta industrial da Coafti. A doação de um terreno pela Prefeitura municipal de Lapão e recursos federais/estaduais viabilizou a construção das instalações industriais e administrativas, além da aquisição de seus primeiros equipamentos (Brasil, 2005).

Como resultado, a unidade de extração de Lapão possui 1.131 m² de área construída em um terreno de 7.000 m² a margem da rodovia BA-330, em uma importante área de produção agrícola. A tecnologia da usina utiliza o sistema de prensagem mecânica, sem a utilização de solventes químicos, em um sistema de operação e controle simples. A primeira parte da miniusina encontra-se pronta para processar 12 toneladas de grãos por dia, operando em dois turnos de 8 horas e 300 dias por ano (25 dias por mês). A capacidade instalada é da ordem de 2.400 toneladas de óleo bruto clarificado e 3.600 toneladas de torta ao ano.

A ideia é que ao assumir a etapa de beneficiamento agroindustrial, será possível controlar os ganhos ao longo da cadeia produtiva, conciliando oferta, padronização e qualidade. A expectativa é que a agregação de valor e de tecnologia elevará o poder de troca dos produtores cooperados e promoverá uma abertura de novos postos de trabalho, bem como a eliminação dos graus de subordinação e intermediação (Brasil, 2007b).

Entretanto, diagnósticos realizados por Azevedo *et al.* (1998); Oliveira *et al.* (2002) e Pettan (2005) destacam que, de maneira geral, a taxa de sobrevivência de agroindústrias familiares em novos ambientes concorrenciais é muito baixa. Eles destacam que é de suma importância a identificar gargalos ou pontos de fragilidade nesses projetos de modo a auxiliar sua continuidade e replicação.

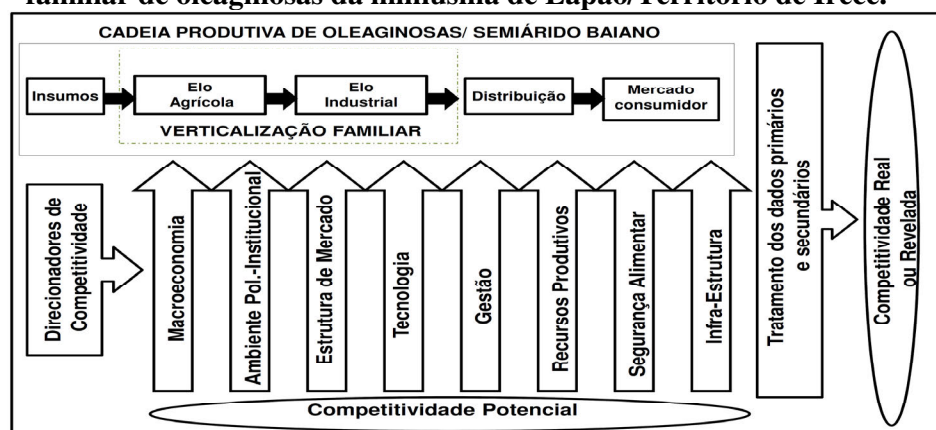


METODOLOGIA E MÉTODOS

Além dos dados secundários selecionados na literatura correlata, todos dados primários foram obtidos por ocasião de pesquisa de campo realizados por Lima (2011). Foram realizadas cerca de setenta entrevistas envolvendo estabelecimentos agrícolas, cooperativas, associações, prefeituras, sindicatos rurais, órgãos de pesquisa e representações governamentais. Entre elas, a Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrário (EBDA); a Companhia de Desenvolvimento e Ação Regional da Bahia (CAR); a Secretaria de Agricultura, Reforma Agrária e Irrigação (Seagri), Superintendência de Agricultura Familiar (Suaf) e a Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação (Secti).

Dois processos metodológicos são utilizados nesse trabalho. Primeiramente, é utilizada a metodologia intitulada “Direcionadores de Competitividade” (Gráfico 1), proposta por Batalha & Silva (1999).

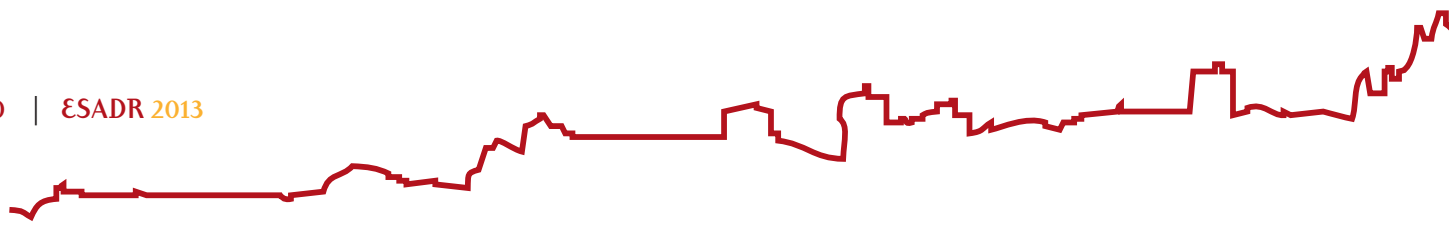
Gráfico 1 - Direcionadores de competitividade do processo de verticalização familiar de oleaginosas da miniusina de Lapão/Território de Irecê.



Fonte: elaborado a partir de Batalha & Silva (1999), Pettan (2005) e Henry *et.al.* (2006).

Espécie de indicador de coordenação e eficiência de cadeias produtivas agrícolas e sistemas agroindustriais, esse procedimento tem a função de compilar uma variada gama de dados primários e secundários, separando-os por eixos temáticos que facilitam o tratamento, a organização e a obtenção de resultados numéricos em tabelas e gráficos.

Os Direcionadores de Competitividade, representados pelas setas verticais no Gráfico 1, refletem os principais aspectos socioeconômicos que incidem ao longo de toda cadeia produtiva de oleaginosas, sobretudo sobre o elo agrícola e industrial, etapas que representam a verticalização familiar da usina de Lapão. São eles: Macroeconomia,



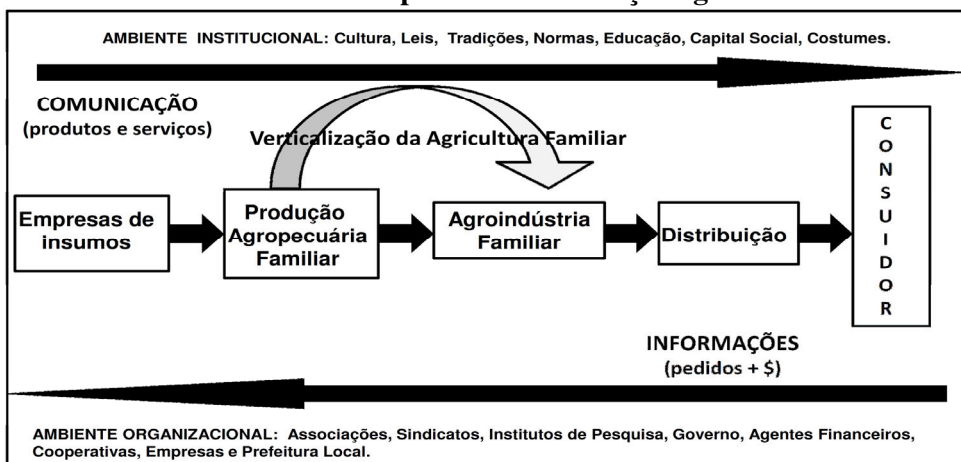
Ambiente Político-Institucional, Estrutura de Mercado, Tecnologia, Gestão, Recursos Produtivos, Segurança Alimentar e Infraestrutura.

Cada um dos oito Direcionadores é avaliado por meio do desempenho de seus subfatores. Para esse objetivo, cada subfator é julgado pelo seguinte critério: muito desfavorável (MD) = - 2; desfavorável (D) = - 1; neutro (N) = 0; favorável (F) = + 1; e muito favorável = + 2. De acordo com parâmetros da pesquisa, para cada subfator é então atribuído um peso relativo (0,10; 0,20; 0,30...) que varia de acordo com o grau de relevância em termos de contribuição para o peso total do Direcionador (1,00 ou 100%). Os pesos relativos dos subfatores são então multiplicados por suas avaliações, e o resultado obtido entre a soma de todos os subfatores serve para calcular o valor final de desempenho do Direcionador a partir de uma regra de três. Como suporte avaliativo, os subfatores também são classificados de acordo com diferentes níveis de controle: fatores controláveis pela firma (CF), fatores controláveis pelo governo (CG), fatores quase controláveis pela firma (QC) ou incontroláveis (I).

Esse procedimento permitiu a construção de quatro tabelas (Tabela 1 e 2 - elo industrial e Tabela 3 e 4 - elo agrícola), com resultados dentro da escala -2 a 2, que permitem indicar gargalos, mas também, potencialidades do empreendimento. O resultado de cada um desses direcionadores e o seu conjunto formam a base de análise quantitativa de avaliação da competitividade real do projeto.

Em segundo lugar, como suporte de análise dos resultados, e com o objetivo de ponderar qualitativamente a miniusina esmagadora de oleaginosas da Coafti é utilizado o modelo de verticalização agroindustrial familiar (Gráfico 2) de Zylberstzajn (1995).

Gráfico 2 - Modelo de análise para a verticalização agroindustrial familiar.



Fonte: Zylberstzajn (1995).



O modelo sugere que o bom desempenho de um processo de verticalização da agricultura familiar deve ser acompanhado de ambientes organizacionais e institucionais propícios. O sucesso estaria interligado ao estímulo de uma esfera de participação ativa e sinérgica entre associações, sindicatos, cooperativas, empresas privadas, agentes financeiros, institutos de pesquisa, poderes públicos, universidades, sociedade civil e produtores. Zylbersztain (1995) destaca que é o grau de organização (representado pela flecha horizontal inferior) e cooperação entre esses atores sociais que pode promover um caminho possível para reduzir a assimetria de informações e atenuar o nível de incerteza que costuma acompanhar e prejudicar os custos de transações comerciais desses empreendimentos.

Simultaneamente, deve haver uma articulação eficiente entre medidas oficiais, como: leis, programas e políticas oficiais em relação às tradições, costumes, cultura e educação locais. Para o autor do modelo, o grau de diálogo intra e interinstitucional (representado pela flecha horizontal superior) colabora para construção de um ambiente desejável de gestão participativa, com reflexos diretos na oferta e qualidade de produtos e serviços oferecidos por esses empreendimentos.

RESULTADOS

Alguns Direcionadores de grande importância no elo industrial impactaram o desempenho geral do elo industrial da miniusina de Lapão. São eles: Estrutura de Mercado, Tecnologia e Recursos Produtivos.

O primeiro obstáculo está correlacionado ao Direcionador Estrutura de mercado (item 3, Tabela 1). A estratégia de verticalização tem potencial de atenuar a dominação de mercado, por meio da coordenação entre os elos da cadeia produtiva, reduzindo os custos de transação, a incerteza e assimetrias concorrenciais. Entretanto, é elevado o grau de fechamento de mercado e a oposição que as grandes indústrias de óleo vegetal fazem as esmagadoras geridas por cooperativas familiares.

Além disso, os custos de produção, fixos e variáveis, são elementos de vulnerabilidade, agravados, sobretudo, pela instabilidade nos preços da mamona que oscilam ao fim de cada safra, refletindo nos valores do óleo vegetal e inviabilizando sua utilização para produção de biodiesel. Tais características afetam a lucratividade operacional, a taxa e o tempo de retorno esperado dos investimentos.

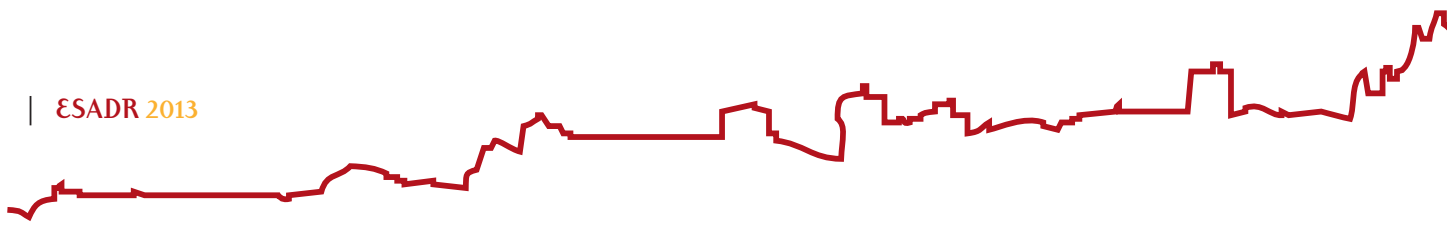


Tabela 1 - Direcionadores de Competitividade do elo industrial – parte 1/2

Direcionador e respectivos subfatores	Grau de controle				Peso do Direcionador e seus subfatores	Memória de cálculo		
	CF	CG	QC	I		Avaliação		Avaliação X Peso
						Qualitativa	Quantitativa	
1) Macroeconomia					0,1			0,02
- Oferta de crédito		X			0,3	F	1	0,3
- Taxas de juros		X			0,2	F	1	0,2
- Cotações internacionais				X	0,1	F	1	0,1
- inflação				X	0,1	D	-1	-0,1
- Câmbio				X	0,1	D	-1	-0,1
- Impostos		X			0,2	D	-1	-0,2
Total					1			0,2
2) Ambiente Político-Institucional					0,15			0,15
- PRONAT (Territórios/PDTRS)		X			0,15	F	1	0,15
- PNPB e Projeto Pólos		X			0,15	F	1	0,15
- PBIO e Programa de Estruturação Produtiva		X			0,1	F	1	0,1
- PRONAF		X			0,15	F	1	0,15
- BAHIABIO		X			0,2	F	1	0,2
- PAP/BA		X			0,2	F	1	0,2
- PROGRAMA BIOSUSTENTÁVEL		X			0,05	F	1	0,05
Total					1			1
3) Estrutura de Mercado					0,2			-0,1
- Economia de Custos de Transação (ECT)	X	X			0,2	MF	2	0,4
- Custos de Produção (fixos e variáveis)				X	0,2	D	-1	-0,2
- Economia de Escala			X	X	0,2	MD	-2	-0,4
- Nível de fechamento do segmento de Mercado		X		X	0,2	MD	-2	-0,4
- Demanda Interna e Externa		X	X		0,1	MF	2	0,2
- Diversificação dos canais de Comercialização e Distribuição			X	X	0,1	D	-1	-0,1
Total					1			-0,5
4) Tecnologia					0,15			-0,09
- Produtividade e nível das máquinas e equipamentos			X	X	0,3	MD	-2	-0,6
- Versatilidade da planta Industrial				X	0,3	D	-1	-0,3
- Qualidade do óleo	X				0,15	F	1	0,15
- Qualidade da Torta			X	X	0,05	D	-1	-0,05
- Apoio oficial em Pesquisa e Desenvolvimento		X			0,2	F	1	0,2
Total					1			-0,6

Fonte: Lima (2011).

O segundo obstáculo diz respeito à tecnologia industrial (item 4, Tabela 1). O sistema de prensagem simples da fábrica de Lapão apresenta desvantagens em relação aos sistemas mistos modernos. As desvantagens estão correlacionadas a limitações para atingir grandes volumes de produção e uma economia de escala. Soma-se a isso, o fato

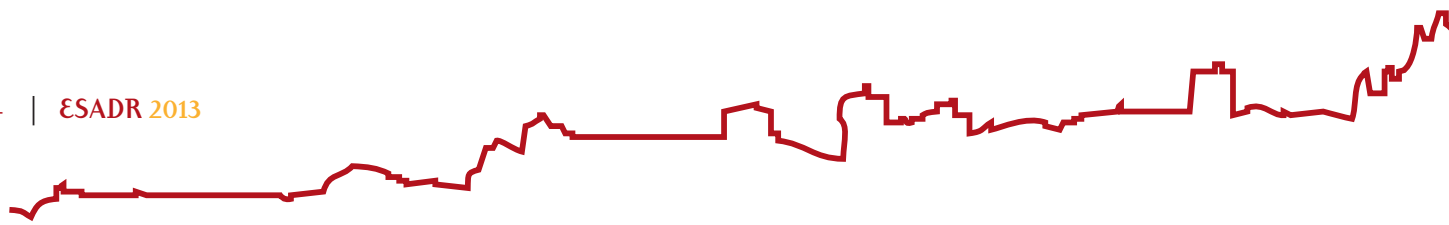


de ser um procedimento incapaz de retirar todo óleo vegetal da torta, reduzindo a produção total de óleo e comprometendo a qualidade do subproduto.

Tabela 2 - Direcionadores de Competitividade do elo industrial - parte 2/2.

Direcionador e respectivos subfatores	Grau de controle				Peso do Direcionador e seus subfatores	Memória de cálculo		
	CF	CG	QC	I		Avaliação		Avaliação X Peso
						Qualitativa	Quantitativa	
5) Gestão e Estrutura					0,15			0,135
-Financeira	X				0,15	N	0	0
-Industrial	X				0,15	N	0	0
-Planejamento Estratégico	X				0,15	F	1	0,15
-Coordenação Vertical entre elos agrícola e industrial	X				0,2	MF	2	0,4
-Gestão cooperativista	X				0,2	F	1	0,2
-Capacitação de pessoal e geração de empregos diretos e indiretos	X	X			0,15	F	1	0,15
Total					1			0,9
6) Recursos Produtivos					0,15			-0,045
-Proximidade das áreas de plantio	X				0,1	MF	2	0,2
-Produtividade das áreas de plantio	X				0,1	D	-1	-0,1
-Regularidade na oferta dos grãos	X		X		0,2	F	1	0,2
-Qualidade dos cultivares			X		0,2	D	-1	-0,2
-Condições Edafoclimáticas				X	0,2	MD	-2	-0,4
-Mão-de-obra qualificada	X	X	X		0,1	D	-1	-0,1
-Insumos industriais (água, energia, comunicação)		X			0,1	F	1	0,1
Total					1			-0,3
7) Segurança Alimentar					0,05			0,1
-Áreas consorciadas mamona e feijão/ girassol e feijão/ girassol e outras culturas	X	X			0,5	MF	2	1
-Estímulo a agricultura familiar	X	X			0,5	MF	2	1
Total					1			2
8) Infraestrutura					0,05			0,0375
-Condições das instalações (Galpão, escritórios, laboratórios, oficina mecânica, restaurante)	X	X			0,45	MF	2	0,9
-Armazenamento (silagem de grãos e óleo)	X				0,2	F	1	0,2
-Veículos de apoio	X				0,15	D	-1	-0,15
-Estradas e vias de acesso		X			0,2	D	-1	-0,2
Total					1			0,75
TOTAL GERAL DO ELO								0,2075

Fonte: Lima (2011).



O terceiro empecilho revelado pela metodologia quanto ao desempenho do elo industrial está correlacionado aos recursos produtivos (item 6, Tabela 2). Apesar de a usina estar localizada no meio da maior área produtora de mamona do país, ocorrem sérios entraves correlacionados a vulnerabilidade edafoclimática nas áreas de plantio. Somam-se ainda as práticas rudimentares de manejo agrícola e a baixa utilização de sementes padronizadas e qualificadas, que comprometem os índices de produtividade, fornecimento e, conseqüentemente, os valores dos grãos e do óleo produzido.

Os Direcionadores: Macroeconomia e Infraestrutura, (item 1, tabela 1 e item 8, Tabela 2) com valores muito próximos a 0,00 ajudaram a compor o baixo índice de competitividade na avaliação do elo industrial. Embora sejam favoráveis ao ambiente macroeconômico, as cotações internacionais do óleo, as políticas creditícias e as taxas de financiamento para a agroindústria familiar, a instabilidade cambial e a carga tributária contrabalanceiam negativamente o desempenho do Diretor.

Em relação a infraestrutura, são muito favoráveis as instalações hidráulicas, elétricas, escritórios, laboratórios, áreas de trabalho, galpões industriais e de armazenamento; mas a ausência de veículos adequados e o nível de conservação das estradas e das vias que interligam a miniusina até as áreas de plantio prejudicaram a avaliação.

De forma positiva se destacaram os Direcionadores: Ambiente Político-Institucional, Gestão e Segurança Alimentar (item 2, tabela 1 e itens 5 e 7, Tabela 2). O ambiente político-institucional - transversal a cadeia produtiva de oleaginosas e a usina de Lapão - ajudou a viabilizar a construção do empreendimento e impactou positivamente a avaliação. A forte articulação entre a Coafti, sociedade civil e o poder público nas suas três escalas viabilizou a formação inicial do empreendimento, em especial, pela conjugação das ações da Pbio e de políticas públicas federais (Pronat e Pronaf) e os Programas estaduais (BahiaBio e Biosustentável).

No Diretor Gestão, por razão da unidade industrial não ter iniciado suas operações em plena atividade, essa pesquisa partiu do pressuposto da neutralidade na avaliação em relação à gerência industrial. Ressaltando, porém, que esse é um elemento crucial para o sucesso da miniusina. Entretanto, as relações já existentes com os produtores em geral, na esfera da gerência agrícola, especialmente com os cooperados é muito favorável. O empenho com relação à assistência técnica, social e de extensão



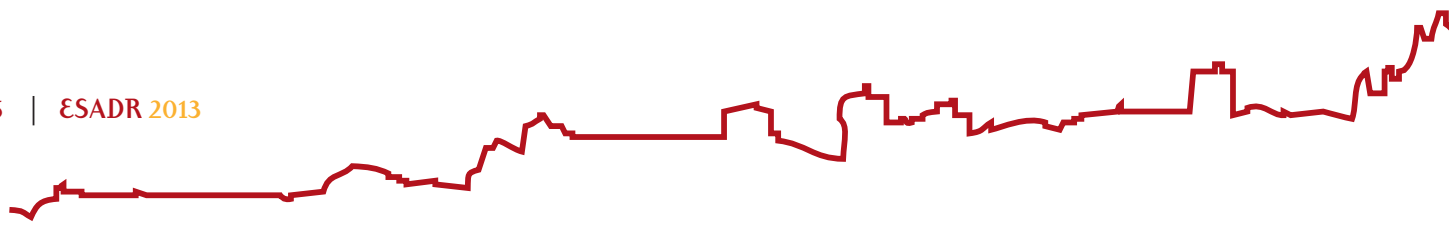
rural da cooperativa, impactou positivamente o resultado. Vale destacar que o nível de coordenação da miniusina com o elo agrícola é o que afeta diretamente o abastecimento de grãos e a eficiência na produção de óleo vegetal dentro dos volumes adequados para manutenção das margens de lucro necessárias.

Em relação aos Direcionadores de competitividade do elo agrícola, o resultado obtido demonstrou o alto nível de vulnerabilidade das áreas de plantio e indicou a fraca competitividade do empreendimento, sobretudo, no que diz respeito ao desempenho dos Direcionadores: Gestão, Recursos Produtivos, Infraestrutura e Tecnologia. Somente os Direcionadores: Ambiente Político-Institucional e Segurança Alimentar obtiveram boas avaliações. Contudo, as sinergias entre políticas setoriais, ações das cooperativas e associações locais em prol da reestruturação e expansão da agricultura familiar pouco contrabalancearam o fraco desempenho do elo agrícola.

O Direcionador Estrutura de Mercado (item 3, Tabela 3) com uma avaliação de 0,02 não impactou o resultado do elo agrícola. É positiva a perspectiva da demanda dos grãos pelas atividades da usina, representando um canal seguro para os grãos e a estruturação de preços mínimos. Entretanto, é desfavorável o custo de produção para o consórcio de mamona com feijão, em torno de R\$ 849,13/ha (Lima, 2011). Um valor bastante expressivo, sobretudo, quando considerado o nível de renda desses produtores.

No tocante ao Direcionador Gestão da propriedade rural (item 5, Tabela 4), fatores como: planejamento, logística e controle da produção nas propriedades foram considerados como desfavoráveis para a competitividade do elo agrícola. Não foram observadas práticas voltadas para um manejo mais eficiente dos recursos produtivos nos estabelecimentos rurais. De maneira geral, os produtores desconhecem práticas de planejamento e controle da produção, contabilização dos custos, insumos e resultados, menos ainda da redução de desperdícios e controle da qualidade dos grãos. Adicionalmente, poucos produtores fazem ideia dos fluxos comerciais e potencialidades que estão a montante ou a jusante de sua atividade primária.

Com relação ao Direcionador Tecnologia (item 4, Tabela 4), os recursos tecnológicos disponíveis nas áreas de plantio no Território de Irecê são muito desfavoráveis. De uma maneira geral, os produtores da região relutam em modificar suas formas tradicionais e por muitas vezes precárias de produção, recusando a adoção de novas técnicas de cultivo e manejo da produção. Mesmo agricultores mais



capitalizados preferem continuar disseminando os seus próprios grãos, o que pode refletir um comportamento ligado ao baixo interesse ou receio de comprometer-se com a cooperativa (uma das principais fornecedoras de sementes qualificadas no Território).

Tabela 3 - Direcionadores de Competitividade no elo agrícola – parte 1/2.

Direcionador e respectivos subfatores	Grau de controle				Peso do Direcionador e seus subfatores	Memória de cálculo		
	CF	CG	QC	I		Avaliação		Avaliação X Peso
						Qualitativa	Quantitativa	
1)Macroeconomia					0,1			-0,09
- Oferta de crédito		X			0,4	D	-1	-0,4
- Nível de endividamento		X			0,3	D	-1	-0,3
- Inflação		X			0,1	D	-1	-0,2
- Impostos		X			0,2	N	0	0
Total					1			-0,9
2)Ambiente Político-Institucional					0,15			0,105
- Pronat (Territórios/PDTRS)		X			0,15	F	1	0,15
- PNPB e Projeto Pólos		X			0,15	F	1	0,15
- PPIO e Programa de Estruturação Produtiva		X			0,1	F	1	0,1
- Pronaf					0,15	D	-1	-0,15
- Bahiabilio		X			0,2	F	1	0,2
- PAP/BA		X			0,2	F	1	0,2
- Programa Biosustentável		X			0,05	F	1	0,05
Total					1			0,7
3)Estrutura de Mercado					0,2			0,02
- Economia de Custos de Transação (ECT)	X	X			0,25	MF	2	0,5
- Custos de Produção (fixos e variáveis)			X		0,25	MD	-2	-0,5
- Economia de Escala			X		0,2	MD	-2	-0,4
- Demanda dos grãos		X	X		0,2	MF	2	0,4
- Diversificação dos canais de Comercialização e Distribuição					0,1	F	1	0,1
Total					1			0,1

Fonte: Lima (2011).

Quanto aos recursos produtivos (item 6, Tabela 4), esse Direcionador representou o pior desempenho do elo agrícola. A avaliação está correlacionada a várias carências que vão desde a fase de plantio, escoamento da produção, acesso a insumos e implementos, até as graves condições edafoclimáticas, especialmente, o severo nível de compactação dos solos e a sobre-exploração dos aquíferos.

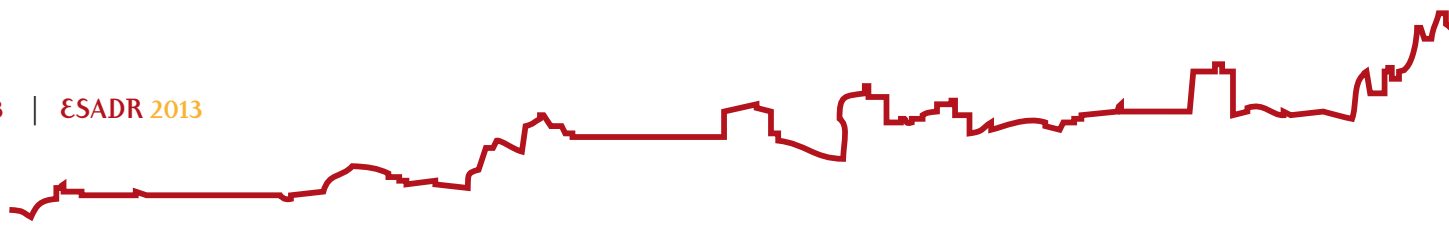


Tabela 4 – Direcionadores de Competitividade no elo agrícola – parte 2/2.

Direcionador e respectivos subfatores	Grau de controle				Peso do Direcionador e seus subfatores	Memória de cálculo		
	CF	CG	QC	I		Avaliação		Avaliação X Peso
						Qualitativa	Quantitativa	
4)Tecnologia					0,15			0
- Recursos tecnológicos disponíveis		X		X	0,25	MD	-2	-0,5
- Desenvolvimento de cultivares		X			0,25	MF	2	0,5
- Apoio oficial em Pesquisa e Desenvolvimento		X			0,25	F	1	0,25
- ATER	X	X			0,25	D	-1	-0,25
Total					1			0
5)Gestão e Estrutura					0,15			-0,1125
- Planejamento/ controle da produção	X				0,25	MD	-2	-0,5
- Coordenação com o Elo Industrial	X	X			0,25	MF	2	0,5
- Associativismo e cooperativismo	X	X			0,25	D	-1	-0,25
- Nível de absorção de tecnologia	X	X			0,25	MD	-2	-0,5
Total					1			-0,75
6)Recursos Produtivos					0,15			-0,195
- Qualidade das sementes utilizadas	X	X			0,3	MD	-2	-0,6
- Adubos e fertilizantes	X	X			0,2	D	-1	-0,2
- Disponibilidade de água			X	X	0,25	D	-1	-0,25
- Condições edáficas				X	0,25	D	-1	-0,25
Total					1			-1,3
7)Segurança Alimentar					0,05			0,05
- Áreas consorciadas mamona e feijão	X	X			1	F	1	1
Total					1			1
8)Infraestrutura					0,05			-0,1
- Maquinário e Irrigação					0,25	MD	-2	-0,5
- Armazenamento (silagem de grãos e óleo)					0,25	MD	-2	-0,5
- Estradas e vias de acesso					0,25	MD	-2	-0,5
Total					1			-2
TOTAL GERAL DO ELO								-0,3225

Fonte: Lima (2011).

Essa situação é ainda mais comprometida pela avaliação do Direcionador Infraestrutura (item 8, Tabela 4). De maneira geral o acesso a implementos e irrigação no Território de Irecê é extremamente baixo, um fator muito desfavorável para o nível de competitividade do elo agrícola. É comum visualizar produtores utilizando arados de tração animal, embora existam localidades em que a média de tratores e mesmo de irrigação estejam acima dos outros municípios. Também não há estruturas de

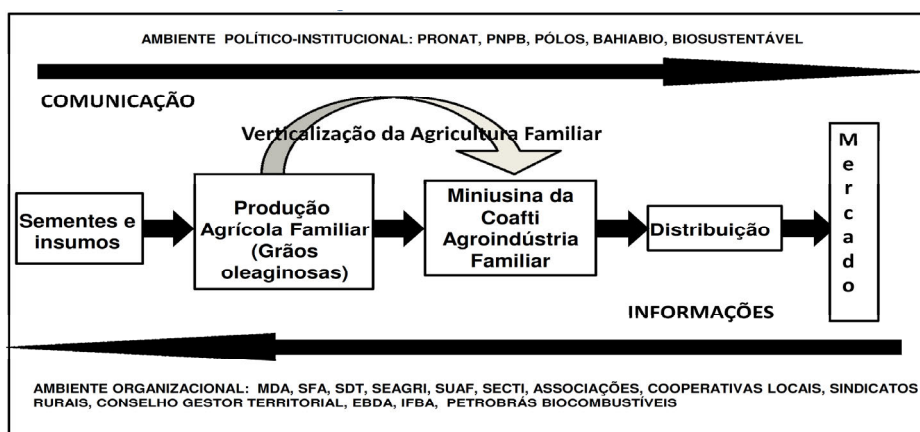


armazenagem. Nas propriedades visitadas poucos agricultores praticam o armazenamento dos grãos colhidos, mesmo por que, os índices brutos de produção e a produtividade não dão margem a excedentes. Em geral quando os produtores estocam grãos, fazem em poucas quantidades junto as suas casas ou pequenas construções.

Por outro lado, a aplicação do modelo de Zylberstajn como instrumento de avaliação qualitativa da miniusina de Lapão (descritos no Gráfico 3) sugere que há um bom potencial para o processo de verticalização agroindustrial familiar atualmente tocado pela Coafti. Isso decorre de um razoável atendimento dos requisitos necessários à formação dos ambientes organizacionais e institucionais considerados como adequados e necessários ao sucesso desse tipo de arranjo socioprodutivo.

No caso específico da miniusina de Lapão, existe um ambiente político-institucional propício, envolvendo as ações do Pronat, por meio do Conselho Gestor Territorial, do Programa Nacional de Produção e uso de Biodiesel (PNPB), da Pbio; das ações dos Programas Bahiabio e Biosustentável do Governo Estadual. As ações convergem para o estímulo de práticas associativistas, de projetos de educação profissional e ambiental, incluindo a recuperação da caatinga, matas ciliares e o manejo sustentável do uso do solo. Algumas dessas medidas oficiais vêm se desenvolvendo de forma incipiente, mas têm potencial para mitigar alguns dos pontos fracos identificados pelos Direcionadores de competitividade, fragilidades que são justamente as principais deficiências sociais e estruturais do próprio território.

Gráfico 3 - Modelo de Zylbersztajn aplicado à usina de Lapão.



Fonte: elaborado a partir de Zylbersztajn (1995).

Quanto ao ambiente organizacional, de forma semelhante, estão envolvidos direta e indiretamente na estruturação da usina de Lapão uma quantidade expressiva de



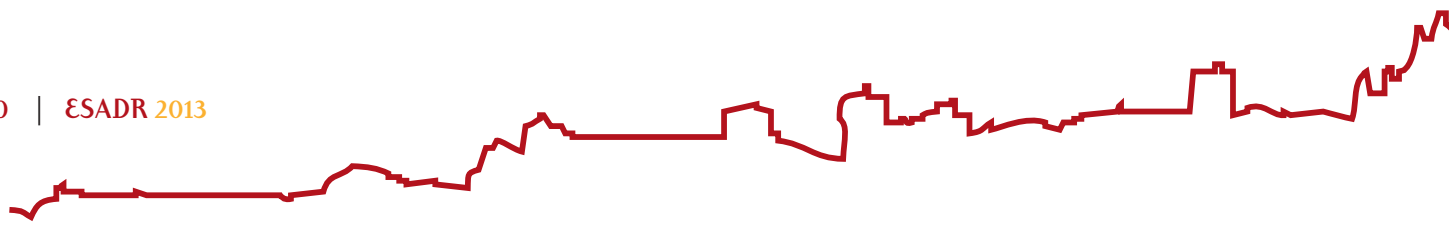
atores estratégicos, entre eles: o Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), por meio das Secretarias de Agricultura Familiar e Desenvolvimento Territorial (SAF e SDT), a Secretaria de Agricultura e Irrigação da Bahia (Seagri), especialmente por meio da Superintendência da Agricultura Familiar (Suaf), a Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação (Secti), a Empresa Baiana de Desenvolvimento Agropecuário (EBDA) e a Petrobrás Biocombustíveis (Pbio). Entretanto, os destaques estão correlacionados a participação ativa das associações de produtores rurais, sindicatos rurais, sociedade civil, institutos de pesquisa e desenvolvimento rural no processo de consolidação das atividades da miniusina.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A metodologia de direcionadores de competitividade permitiu averiguar que existem importantes entraves na consolidação das atividades econômicas da miniusina esmagadora da Coafti. A estrutura de mercado e a tecnologia são os principais aspectos que afetam o projeto em seu elo industrial. Gestão, tecnologia, recursos produtivos e infraestrutura são os principais entraves dentro do elo agrícola. Ressalta-se, entretanto, que tal fragilidade está ligada em grande parte pela concepção da miniusina ser atrelada à apenas um tipo de oleaginosa, a mamona, e a perspectiva de comercialização do óleo vegetal direcionada para apenas um canal: a indústria de biodiesel.

Entretanto, sem levar em consideração as razões técnicas que questionam a utilização do óleo de mamona para essa finalidade, as razões de mercado, por si só, inviabilizam sua utilização para o setor energético. O valor do óleo vegetal representa algo em torno de 80% do custo de produção final do biodiesel (Amaral, 2009). O óleo de mamona, de baixa escala de produção e altíssima demanda, requisitado por um nicho industrial de alto valor agregado, acaba alcançando valores inviáveis para produção de biodiesel. Na lógica de oferta *versus* demanda, o óleo de soja domina esse setor, pois é um insumo abundante e barato, produzido em larga escala como um coproduto da produção de farelo proteico para a alimentação de aves e suínos no Brasil.

A tecnologia de prensagem simples dificulta o alcance de uma produção em larga escala sendo incapaz de modificar significativamente os custos do óleo para produção de biodiesel. Para viabilizar economicamente o empreendimento o setor energético, seria necessário: primeiramente, um planejamento voltado para organizar as



áreas de plantio, consolidando as áreas de produção e aumentando a produtividade; em segundo lugar, seriam necessários investimentos na capacidade de esmagamento, com a incorporação de tecnologia de extração mista. Nenhuma das duas estratégias parece razoavelmente realizável em curto prazo.

Por outro lado, a miniusina tocada pela Coafti poderia adotar em suas opções de comercialização o fornecimento de óleo ao setor ricinoquímico. Parte dessa significativa demanda é atualmente suprida por óleo importado, conforme se observa pela análise da balança comercial do óleo de mamona bruto e hidrogenado nos períodos entre 2009 e 2010, detalhados na Tabela 5.

Tabela 5 - Balança comercial de óleo de mamona no Brasil entre 2009 e 2010.

Produto/Subproduto	2009		jan./set. 2009		jan./set. 2010	
	toneladas	mil US\$	toneladas	mil US\$	toneladas	mil US\$
Mamona	-21.147	-33.172	-11.028	-18.749	-13.749	-23.278
Óleo de Ricino	-7.973	-8.138	-3.000	-2.783	-4.752	-6.176
Óleo Hidrogenado	-13.174	-25.035	-8.028	-15.789	-8.996	-17.102

Fonte: Conab (2010). Sinais negativos: déficit entre importação e exportação.

O fornecimento direto de óleo de mamona ao setor ricinoquímico poderia representar uma fonte de recursos altamente rentável, mas esse procedimento parece romper com as bases contratuais da cooperativa com a Petrobrás no tocante ao atual formato de compra das sementes pela empresa. De forma similar, a miniusina poderia diversificar as matérias-primas utilizadas com a introdução de sementes oleaginosas com altos potenciais produtivos para o Semiárido, como o girassol e o amendoim (Embrapa, 2010, Enparn 2011; Filho & Santos, 2010). O Brasil vem igualmente ao caso do óleo de mamona, registrando saldos negativos em sua balança comercial de óleo bruto, refinado e farelo, tanto de girassol quanto de amendoim (Conab, 2010). A incorporação de outras oleaginosas pode ser produtivamente explorada pela miniusina, diversificando os canais de mercado e contornando em parte a oscilação de fornecimento e de preços ligados à safra e a produtividade da mamona.

Porém, antes de tudo, deve-se considerar que há potencialidade nesses arranjos socioprodutivos para auxiliar na formação de uma mentalidade de participação no nível local/territorial, em uma construção de medidas sinérgicas construídas “de cima para baixo” e de “baixo para cima”, conciliando forças locais e medidas oficiais, na elaboração de objetivos e metas comuns. Essa sobreposição entre a lógica de gestão



territorial e o modelo de verticalização agroindustrial familiar da miniusina de Lapão é visível a partir da modelagem proposta por Zylberstajn.

Por essa razão, a experiência de cooperativas agroindustriais deve ser encarada não apenas como estratégia de fortalecimento e incorporação da agricultura familiar na cadeia produtiva do biodiesel. Dada às condições de mercado dificilmente esse objetivo será alcançado. Esses projetos de potencial produtivo no Semiárido devem ser incorporados como ferramentas estratégicas de gestão e desenvolvimento territorial, não importando qual segmento de mercado essas usinas podem acessar. Tal convicção se dá pelo potencial de concertação que esses projetos podem exercer no ambiente político-institucional e organizacional, indo além do ponto de vista meramente produtivo e comercial para uma ferramenta de inclusão socioeconômica e cultural.

BIBLIOGRAFIA

Amaral, D. (2009). Desmistificando o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel: A visão da indústria brasileira de óleos vegetais. Relatório Abiove. São Paulo. Disponível em: <http://www.abiove.com.br/>. (acesso em: 01/09/2009).

Azevedo, P. R.; Colognese, S. A.; Shikida, P. F. A. (1998). Agroindústrias familiares no Oeste do Paraná: um panorama preliminar. Francisco Beltrão: UNIOESTE. Disponível em: www.sober.org.br/palestra/12/05O287.pdf. Acesso em: 01/05/2009.

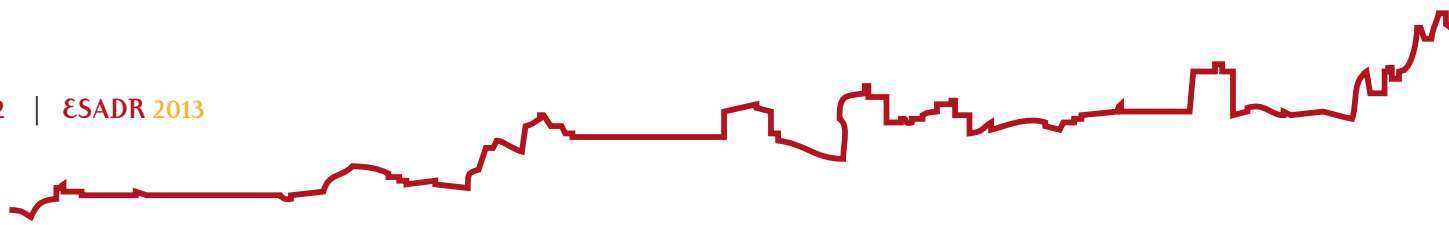
Bahia. (2010). Secretaria de agricultura, Reforma agrária e Irrigação do estado da Bahia (Seagri). A Produção de Oleaginosas na Bahia e sua Inserção no Programa Biodiesel. Salvador. Disponível em: http://www.seagri.ba.gov.br/palestra_oleaginosas.pdf. Acesso em: 04/05/2010.

Bahia. (2009). Secretaria de Ciência, Tecnologia E Inovação do estado da Bahia (Secti); Superintendência da Agricultura Familiar da Bahia (SUAF). Projeto de implantação de uma Unidade de Esmagamento de Oleaginosas. Salvador.

Batalha, M. O; Buainain, A. M; Filho, H. M. S. Tecnologia de gestão e agricultura familiar. (2009) In: MPOG. Disponível em: <http://www.biblioteca.planejamento.gov.br>. (acesso em: 20/10/2009).

Batalha, M. O e Silva, C. A. B. (1999). Competitividade em sistemas agroindustriais: metodologia e estudo de caso. In: Anais do II Workshop Brasileiro de Gestão de Sistemas Agroalimentares. p.9-20. PENSA/FEA/USP. Ribeirão Preto.

Brasil. (2010). Plano Territorial de Desenvolvimentos Rural Sustentável do Território de Irecê. Conselho Gestor de Desenvolvimento Sustentável do Território de Irecê. Disponível em: http://sit.mda.gov.br/biblioteca_virtual (acesso em:01/09/2010).



Brasil. (2005). Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA). Secretaria de Desenvolvimento Territorial (SDT). Estudo Propositivo para Dinamização Econômica do Território Rural de Irecê. Disponível em: http://www.mda.gov.br/biblioteca_virtual/ep/EP_BA_Irece.pdf. (acesso em 20/05/09).

Brasil. (2007). Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA). Secretaria de Desenvolvimento Territorial (SDT). Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável. Disponível em: http://www.mda.gov.br/biblioteca_virtual/. (acesso em 20/05/09).

Brasil. (2007). Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA). Universidade Federal de Viçosa (UFV). Projeto Biodiesel. Análise da cadeia de produção de óleo vegetal no território de Irecê – BA. Disponível em: http://www.mda.gov.br/biblioteca_virtual/. (acesso em 20/05/09).

Conab. (2010). Companhia Nacional de Abastecimento. Indicadores da Agropecuária.. Banco de dados 2010. Ano XIX. nº 10. Brasília: 2010. Disponível em: www.conab.gov.br/OlalaCMS/(acesso em: 10/02/2011).

Cribb, A. Y. (2008). Gestão cooperativista e verticalização agroindustrial estratégias para a agricultura familiar. Revista Tecnologia e Inovação Agropecuária, São Paulo, v. 1, nº. 2, p. 110–119.

Duncan, M e Guimarães, A. (2003) Desenvolvimento Sustentável Dos Territórios Rurais, IICA/NEAD. Disponível em: <http://nead.gov.br/mapeamento/desenvolvimento.doc>. (acesso em: 05/06/2010).

Duncan, M. A. (2010). Construção de uma política de desenvolvimento: os territórios rurais do Brasil. *Habitus*. Goiânia. v.8, nº 1/2, p. 187-223.,

Embrapa. (2010). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Opções de uso e manejo de girassol, mamona e amendoim em áreas de agricultura familiar. Seminário e dia de campo. Jaguariúna. Disponível em: <http://www.embrapa.br/imprensa/noticias>.

Emparn. (2011). Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte. Avaliação das potencialidades da cultura do girassol, como alternativa de cultivo no Semiárido nordestino. Natal- RN, 40 p. Disponível em: http://www.emater.rn.gov.br/contentproducao/aplicacao/emparn/arquivos/publicacoes/d_t_a%20cultura%20do%20girassol.pdf

Filho, P. A. M e Santos, R. C.(2010) A cultura do amendoim no Nordeste: situação atual e perspectivas. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônoma*, Recife, vol. 7, p.192-208.



Grossi, M. *et. al.* (2010). Avanços e desafios das políticas de desenvolvimento rural no Brasil. VIII Congresso Latino-americano de Sociologia Rural, Porto de Galinhas. Disponível em: <http://www.alasru.org/cdaldasru2010/1%20trabalhos%20completos/GT-15/26-8/GT15%20Mauro%20Del%20Grossi.pdf>. (acesso em: 09/02/11).

Henry, G; Cap, E; Junker, F; Britz, W; Filho, H. M.S. e Batalha, M. (2006). *Agriculture competitiveness and trade agreement impacts: Preliminary results for Argentina and Brazil*. Acralenos Seminar, Santiago de Chile. Disponível em: www.inta.gov.ar/ies/docs/otrosdoc/Acralenos (acesso em: 01/03/2011).

Lima, A. S. (2011). Desafios a verticalização agroindustrial familiar de oleaginosas no semiárido baiano: direcionadores de competitividade das usinas de Lapão e Olindina. Dissertação de Mestrado. Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, Brasília.

Oliveira, J. A. V.; Prezotto, L.L.; Voigt, L. (2002). Diagnóstico do Potencial das Agroindústrias Familiares do Estado do Rio Grande do Sul. Florianópolis: In: Anais do 2º Congresso Estadual de Engenheiros Agrônomo. Uneagro.

Osaki, M e Batalha , M. O. (2011). Produção de biodiesel e óleo vegetal no Brasil: realidade e desafio. Revista Organizações Rurais e Agroindustriais, Lavras, v. 13, n. 2, p. 227 – 242.

Pettan, K. B. (2005). Análise comparativa do desempenho da competitividade das agroindústrias familiares no oeste de Santa Catarina em relação ao ambiente institucional. Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v. 22, n. 3, p. 667-689.

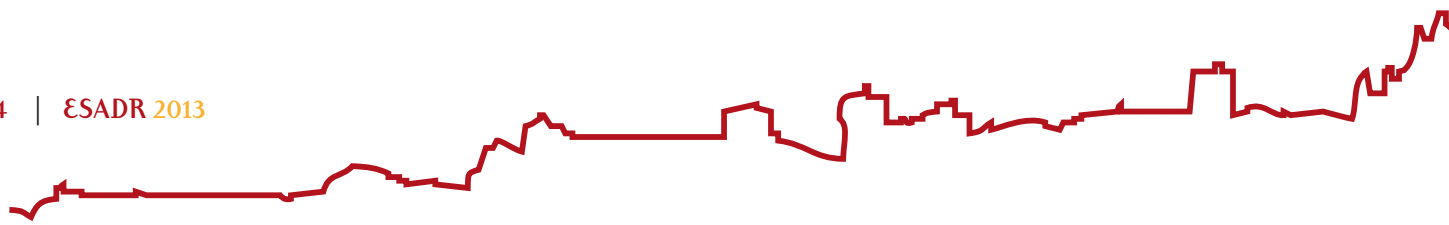
Prezotto, L. L. (2002). Uma concepção de agroindústria rural de pequeno porte. Revista de Ciências Humanas. EDUFSC. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Florianópolis, n. 31., p.133-154.

Sayago, D. (2007). Os Conselhos de Desenvolvimento Territorial: entre a participação e a representação. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, v. 3, nº 4 (número especial), Taubaté, SP, Brasil p. 9-21.

Trentin, I. C. L. & Wesz Junior, V. J. (2004). Desenvolvimento e Agroindústria Familiar. In: Anais do XLII Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural. Cuiabá.

Vieira, Luís Fernando. (1998). Agricultura e agroindústria Familiar - Revista de Política Agrícola, Brasília, p. 14-31. Disponível em: http://www.embrapa.br/publicacoes/tecnico/revista_Agricola/rpa-anos-anteriores-1/de1996-a-1999/Rev_Pol_Agr_v7_n1-1998.pdf. (acesso em: 05/03/11).

Zylbersztajn, D. (1995). Estruturas de governança e coordenação de sistemas agroindustriais: uma aplicação da nova economia das instituições. Tese de Livre-Docência. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, Brasil.



LESS OR MORE INTENSIVE CROP ARABLE SYSTEM OF ALENTEJO REGION OF PORTUGAL: WHAT IS THE OPTION TO SUSTAINABLE PRODUCTION ?

Carlos Marques

University of Évora, Department of Management, CEFAGE, Apartado 94, 7000 Évora, Portugal, cmarques@uevora.pt

Fátima Baptista

University of Évora, Department of Rural Engineering, ICAAM, Apartado 94, 7000 Évora, Portugal, fb@uevora.pt

Luis Leopoldo Silva,

University of Évora, Department of Rural Engineering, ICAAM, Apartado 94, 7000 Évora, Portugal, llsilva@uevora.pt

Dina Murcho,

Research assistant for AGREE project, University of Évora, Department of Rural Engineering, dinamurcho@hotmail.com

Maurícia Rosado

University of Évora, Department of Animal Science, ICAAM, Apartado 94, 7000 Évora, Portugal, mmcr@uevora.pt

José Rafael Silva,

University of Évora, Department of Rural Engineering, ICAAM, Apartado 94, 7000 Évora, Portugal, jmsilva@uevora.pt

José Peça,

University of Évora, Department of Rural Engineering, ICAAM, Apartado 94, 7000 Évora, Portugal, jmop@uevora.pt

Abstract

Competitiveness of traditional arable crop system of Alentejo region of Portugal has been questioned for long. Discussion and research on the sustainability of the system has evolved on two contrasted alternative options for production technologies to traditional system. On the one hand reduced and **no tillage** systems aim to more extensive technical operations reducing costs and maintaining production, or even to increase it in the long run as soil fertility improves. On the other hand, input intensification using **irrigation**, as a complement in the last stage of crop cycle or always when needed, aimed to increase system production levels. To evaluate competitiveness and sustainability of arable crop system we evaluated traditional rotation technology and alternative no tillage and irrigation systems and analyze their farm economic results as well their energy efficiency and environmental impacts. The analysis of the impact of no tillage and irrigation on arable land production system showed that **both alternatives** contributed to cost savings and profit earnings, energy



savings and reduced GHG emissions, **increasing physical and economic factor efficiency**. Research and technological development of both options are worthwhile to promote competitiveness and sustainability of arable crop production systems of the Alentejo region of Portugal.

Key Words: Alentejo, Arable crop system; Economic and environmental analysis; Trade-offs; energy efficiency.

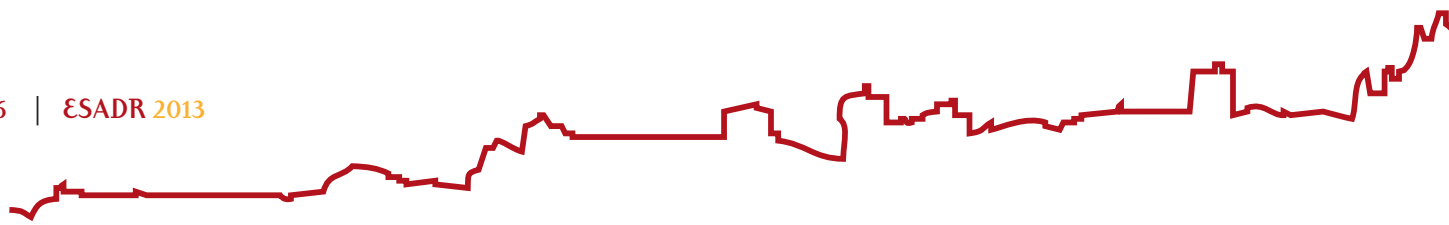
LESS OR MORE INTENSIVE CROP ARABLE SYSTEM OF ALENTEJO REGION OF PORTUGAL: WHAT IS THE OPTION TO SUSTAINABLE PRODUCTION ?

1. Introduction

Production of cereals, namely wheat for production of bread to provide a basic food for population, the base cereal of the traditional arable crop system of dryland in Alentejo, has been for long encouraged and supported by Portuguese agricultural and food policies. Since the wheat campaigns of Salazar, in the early decades of the past century until the preparation adjustments and procedures of Portuguese entrance to the European Economic Community (EEC), a couple years before the formal date of 1986 due to need to adopt the Common Agriculture Policy (CAP), a set of domestic policies were in place to guarantee high producer prices and maintain consumer prices low. As a result Portuguese market prices for producers and consumers were above and below international levels, respectively.

Competitiveness of traditional arable crop systems of Alentejo has been long questioned (Marques, p.10). In more recent times, discussion and research has evolved on two contrasted alternative evolution options for production technologies. On the one hand reduced and no tillage systems aim to more extensive technical operations reducing costs and maintaining production (or even to increase it in the long run as soil fertility gets better). On the other hand, input intensification using irrigation, as a complement in the last stage of crop cycle or always when needed, aimed to increase system production levels.

The context of an European project on AGRiculture and Energy Efficiency (<http://www.agree.aua.gr>) involving case studies that were analyzed to understand potential changes and drawbacks associated with energy efficiency measures for agricultural production systems of several European countries, including Portugal, that



included a work package on interactions and trade-offs of energy used in agricultural production systems with environmental impacts and farm economic results, provided the right opportunity to raise and evaluate the issue of these options on the competitiveness and sustainability of Alentejo arable crop system. Hence, one of the Portuguese case studies that were set is the arable crop system of Alentejo. In the context of AGREE alternatives constitute energy efficiency measures. In this paper and in general terms these measures constitute alternative technologies.

The objective is to evaluate competitiveness and sustainability of less and more intensive crop arable systems in the Alentejo. These two options are represented by considering the two alternative technological evolutions of no tillage and of irrigation to traditional technology. This paper reports their evaluation based on energy efficiency parameters of traditional dryland wheat production rotation technology and alternative no tillage and irrigation systems and analysis of their farm economic results as well as environmental impacts. Results will evaluate potential gains and trade-offs and provide orientation for future research and development of this system.

In addition to this introduction, this paper includes four parts. In the following section a brief characterization of the farm setting and technology alternatives considered that characterize the case. The third part lays out the major aspects of the methodology used. Results are presented and discussed in the next part. The paper ends with major conclusions and their policy implications.

2. The case study and the scenarios

Alentejo is the largest agricultural region of Portugal, with a Mediterranean climate characterized by mild winters and dry and hot summers. Rainfall is between 400 to 600 mm, concentrated in autumn and winter. Average temperature is between 21 and 25 °C, but maximum temperature can be higher than 40 °C in the summer while minimum is frequently below zero during winter nights. The main limitations imposed by climate on Alentejo's agricultural activities are due to the very dry summer. Only winter-spring crops can be produced. Spring-summer crops cannot except in deep soils that preserve some moisture or where irrigation is available (Marques, 1988).

Alentejo has the more than half of Portuguese agricultural usable area and the most extensive area of arable land in Portugal (2.2 million hectares). Therefore, arable



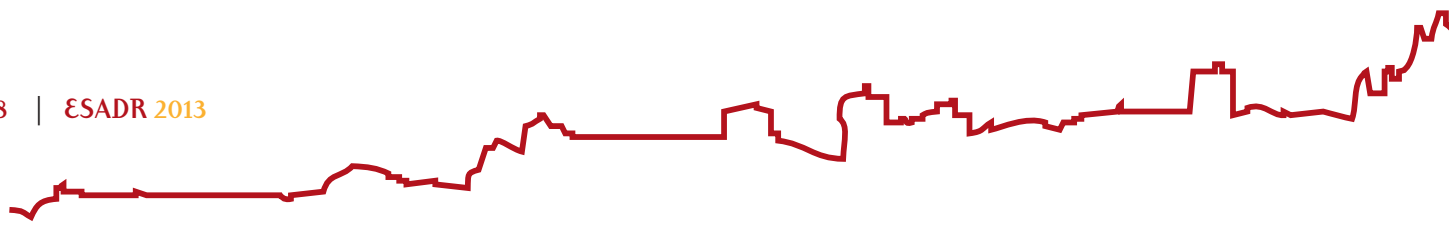
crop systems of dryland agriculture that sustain land use in agricultural use are very relevant in territorial, economic and environmental terms.

Evaluation of traditional crop farming system of dryland agriculture in the Alentejo is based on a typical farm of 250 hectares, with clay soils (Bvc+Cb representing 85 %), in the Beja district (Rosado, 2009).

2.1 Conventional technology

The farm production system is based in a four years crop rotation (sunflower – durum wheat 1 – green peas – durum wheat 2) established to achieve high production levels of cereals. Usually, cereal, namely durum wheat, because of specific subsidy policies, or other cash cereal crop, alternates with sunflower and peas. Sunflower is used to profit from soil preparation in the winter of the year before wheat growing and green peas are included to restore soil fertility and avoid consecutive years of wheat. Traditional technology is based on soil preparation with deep plowing followed by two chisel passages during winter, and one before sunflower sowing, early in the spring. Sowing density is 4 kg/ha of seeds (75 000 plants). Sunflower is harvested in August with a productivity of 850 kg/ha. Durum wheat installation is then prepared with chisel and disc harrowing followed by sowing (200 kg seeds/ha) and fertilization (300 kg/ha of N20: P20: K0). Usually a crop weed control operation takes place (0.02 kg/ha of Tribenuron-Methyl and 0.5 L/ha of Clodinafop + Cloquintocete) followed by a fertilization with 150 kg/ha (N 27%). Harvest is in July, with average yield of 3 ton/ha of grain and 1.5 ton/ha of straw. Green peas sowing occurs in January, with 150 kg/ha, after harrowing and two chisel passages for soil preparation. As for sunflower, green peas require neither herbicides nor fertilization treatments. Harvest is also in July, with productivities of 1100 kg/ha.

To perform the above described field operations the farm machinery consists in one 105 HP tractor, one 9 tons trailer, one disc harrow, one chisel, one drill with 25 lines, a fertiliser distributor, a straw baler, a rake and a precision seeder. All the machines and agricultural equipment's are stored in a 75 m² building. The farmer also rents an 85 HP tractor with a plow implement, a 1000 L sprayer, and a combine harvester.



2.2 No tillage technology

Reduced tillage has been identified as an efficient measure to reduce input use in agricultural systems. Agricultural systems with reduced tillage need less fuel associated with lower greenhouse gas emissions and lower costs for the farmer. Furthermore, a carbon sequestration effect in the soil may further mitigate the net greenhouse gas emissions from agriculture. However, with respect to soil and climate conditions, reduced tillage may also impact crop yields, which counteracts the positive effects.

This technological alternative in Alentejo has been for long focus of continuous research and evaluation in technological and economic terms (Azevedo e Cary, Carvalho et al., Basch, Martins, Martins e Marques, Rosado). No tillage or direct seeding is being applied in wheat for several years in Portugal, by a small number of farmers, but it's a practice that has been increasing over the years as a sustainable and environmental friendly agricultural practice for wheat production.

No tillage was considered as an alternative technology farming system for all crops. Instead of conventional soil preparation, in late February an herbicide (glyphosate) is applied to prepare the sunflower sowing during March, with a direct precision seeder. In the following year, normally in the third week of October, a weed control operation is performed using glyphosate (3 L/ha). Wheat sowing is in November, using a direct drill seeder, also with seed density of 200 kg/ha and fertilization level of 250 kg/ha (N 15: P 15: K 15). In late January there is a fertilization with 140 kg/ha (27% N). During February it takes place a crop weeding operation (0.02 kg/ha of Tribenuron-Methyl and 0.5 L/ha of Clodinafop + Cloquintocete). The harvest is in July. The average productivities are the same of the traditional farming system, for all crops.

To use no tillage technology the farmer besides renting a 1000 L sprayer and a combine harvester needs to rent a direct drill seeder.

2.3 Irrigation

In Mediterranean conditions, wheat is a traditional rainfed crop, because generally there is sufficient available water for wheat production. However, and especially in dry years wheat can benefit from supplemental irrigation applied in spring. Irrigation will contribute to increase directly the input use of water and energy required for pumping the water. However, improved energy efficiency can be achieved with



higher productivity resulting in higher yields with small increase in energy use. The use of irrigation for wheat production can lead to a great increase in productivity.

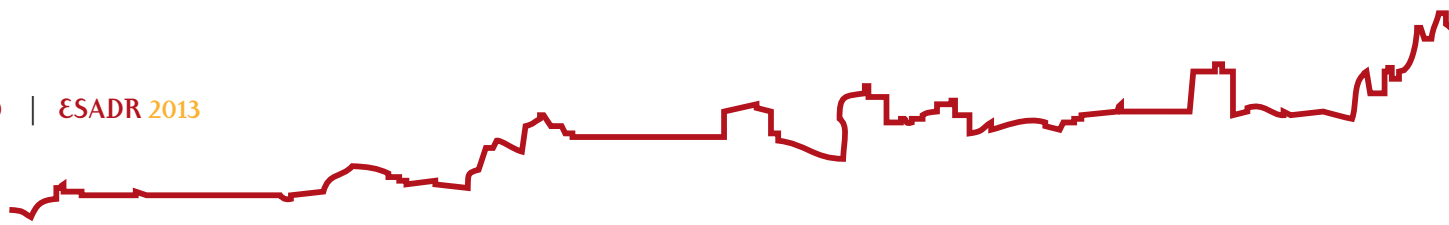
Irrigation of wheat in the Alentejo became in economic terms particularly interesting with PAC adjustments in 1996, the beginning of decoupling process, when payments per hectare replaced institutional prices and a specific class for irrigated land was set. Investments for furos e charcas and irrigation equipments were also publically heavily supported by the orientation policy. The objective of many of the projects that were implemented was to complement conventional technology to apply water in the last part of the crop cycle to increase yields or before if climacteric conditions imposed hydric stress avoiding negative impacts on production levels, and of course be eligible and receive the compensation subsidy which also contributed to the financial and economic feasibility of the project.

However, an additional factor of the irrigation is also important for mixed systems of crops and livestock. Since during summer there is scarcity of field pasture and feed, there is need to produce conserved feed for livestock, namely hay and straw, and to complement feeding with purchased concentrated. The availability of water can be used to increase production and consequently availability of conserved feeds but also be used on irrigated pastures that can substitute for the concentrate and fulfil the feeding requirements of livestock during the summer. These aspects and risk for livestock producers have also been studied for farms in the Alentejo (Anselmo, Neto, Marreiros, Carvalho).

Not only wheat, but also sunflower and green peas can benefit from irrigation. Most sprinkler irrigation systems can be used with these crops, but as the crop area increases moving sprinkler systems present more economic and technical advantages compared to fixed sprinkler irrigation systems.

Soil preparation, sowing and fertilization operations are the same described in the basic scenario but fertilizer levels are increased. The number of irrigations and the amount of applied irrigation water can vary based on the rainfall occurred in each year, with an annual average value of 1200 m³/ha for all crops of the rotation.

To irrigate investments for water availability and irrigation equipments are necessary and expertise and technological adjustments are required with the increase in some inputs namely water, fertilizers and electricity.



3. Methodological framework for the analysis of alternative technologies and their impact on energy use, economics and the environment

The analysis of the environmental and economic trade-offs includes the analysis of energy efficiency measures on the use of direct and indirect energy, greenhouse gas emissions and farm economics. The energy use, environmental and economic analysis are based on a cradle to farm gate analysis, taking all costs and emissions into account needed to produce the agricultural products. The economic cost calculations were based on the economic settings in the considered countries, while for the energy use and greenhouse gas estimates, whenever possible, common methodologies were used.

In order to model potential trade-offs between energy savings, GHG-emissions and farm economics it was necessary to model the relevant energy efficiency measures in simple spreadsheet based models.

The calculations of the energy savings and GHG emissions with the energy efficiency measures were based on the report “State of the Art on Energy Efficiency in Agriculture” (AGREE website¹, Gołaszewski et al. 2012) and extended with regard to GHG emissions. Data on assumptions were, if not stated otherwise, drawn from published data from the Biograce database (www.biograce.net).

Estimates for cost savings associated with the energy efficiency measure are based on the use of resources calculated with the farm models. Fixed costs were allocated according to the useful life of the used implements for owned machinery and storage. Prices for outputs, inputs and machinery rented were taken from regional specific data.

EU subsidies considered include the RPU (“Single Payment Scheme”), with the national average value attributed for the year of the study of 174 euros/ha and an additional aid (“PRODER, Programme for Rural Development) for the no tillage alternative of 174 euros/ha. Methodology and results development and analysis for different systems and countries are based on the report “Economic and Environmental Analysis of Energy Efficiency Measures in Agriculture (Agree Website¹, Andreas Meyer-Aurich et al., 2013) which includes the Portuguese team contribution.

¹ www.agree.aua.gr

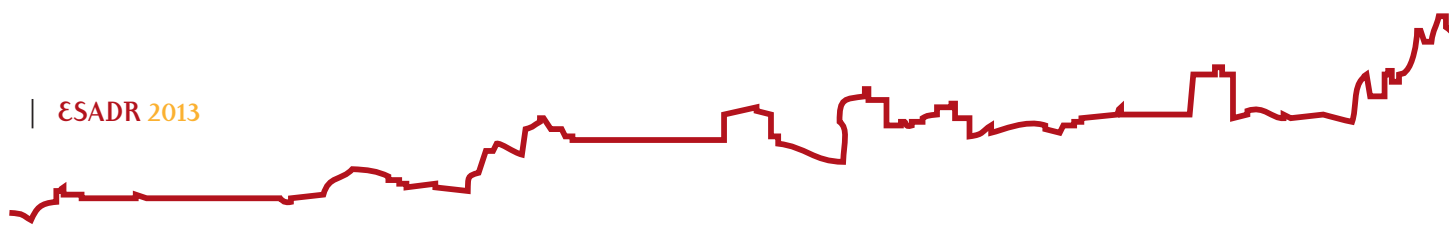


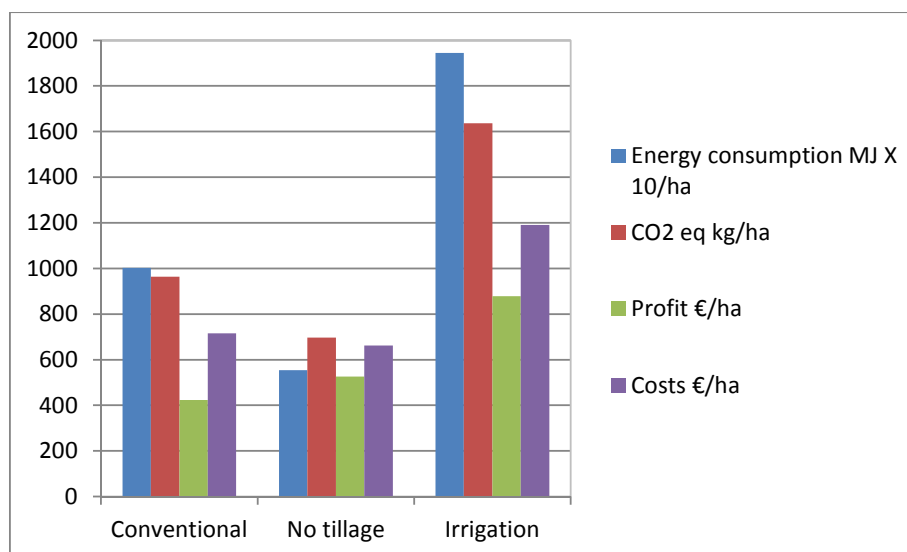
4. Relative contribution of different factors on farm energy, CHG emissions and costs and impact of different technologies on energy use, economics and the environment

Figure 1 shows the relative contribution of the different inputs in total energy consumption, GHG emissions (CO₂eq) and farm costs for the crops considered in the conventional production system of this farm, assumed as the base scenario.

Diesel and lubricants followed by fertilizers are responsible for more than 50 and 40 %, respectively, of total energy consumed in the production system. The relative importance of these factors is reversed in terms of environmental impacts evaluates in CHG emissions which are particularly high for fertilizers with almost 60 % of total and more than 30 % for diesel and lubricants. Seeds are particularly important for farm costs. The relative high contribution of seeds for the total costs is explained by the fact that two of the crops do not require fertilization and pesticides. Fertilizers and diesel and lubricants represent 25 and 20 % of costs, respectively. Hence, factors have different relative contributions to primary energy consumption, CHG emissions and costs. Small changes in factor use might have high impacts on energy use and GHG emissions but induce relatively lower changes in costs.

Figure 1: Relative contribution of different factors used on farm energy, greenhouse gas emissions (GHG) and costs under conventional technology





Source: AGREE spreadsheat results for arable crop system of Alentejo

This is clear in Table 1 that presents costs, energy consumption and GHG emissions per hectare for conventional and alternative systems described before. Option 1 (no tillage) decreases energy consumption by 42.7 %, GHG emissions by 19.5 % and costs by only 8.6. The opposite occurs with option 2 (irrigation). In fact, primary energy consumption increases 94.9 %, CHG emissions by 68 % and production costs increase 54.2 %. The decrease in the first option is explained by less use of machinery/diesel and fertilisers and the increase in the last one is due to the increase inputs of fertilisers and electricity for irrigation.

Table 1: Annual costs, PEC and GHG emission for different technologies in the farm rotation

	Annual Costs		PEC		GHG	
	€/ha	%	MJ/ha	%	CO ₂ e/ha	%
Conventional	528.43	100.0	7171.26	100.0	535.97	100.0
No Tillage	482.90	91.4	4109.36	57.3	431.70	80.5
Irrigation	770.25	145.8	13979.11	194.9	900.23	168.0

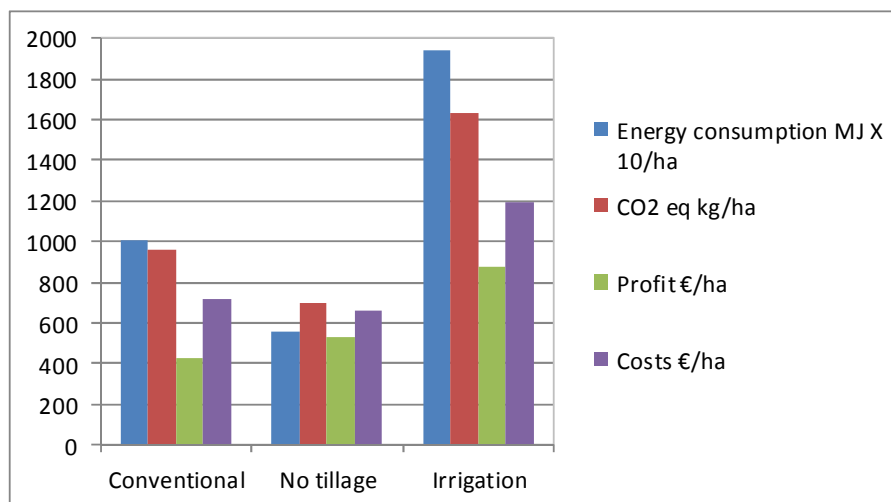
Source: AGREE spreadsheat results for arable crop system of Alentejo

Figure 2 represents these effects and also includes farm profit for different options. It is possible to see that the two options allow an increase of farm profit (43% with no tillage mainly due to an agro-environmental subsidy in place given specially for this type of production technology and more than double with the irrigation option). In the first the increase is due to a decrease of the production costs and an increase in



subsidies and in the second due to the increase of yield and receipts that more than compensates cost increase.

Figure 2: Impact of different technologies on costs, profit, energy use and greenhouse gas emissions (GHG) per ha..

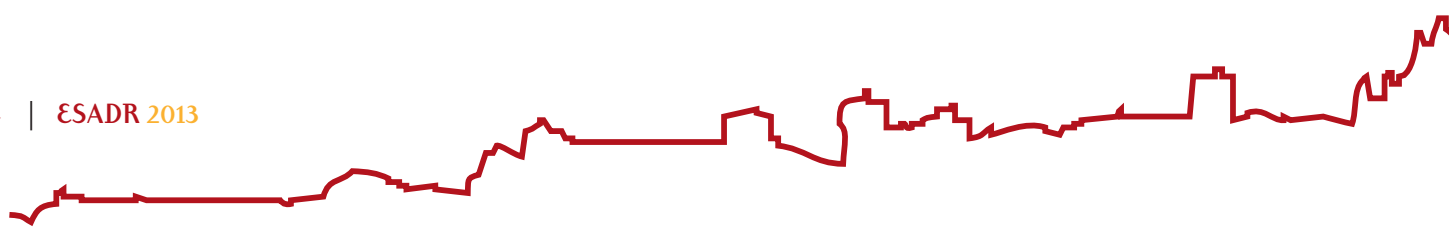


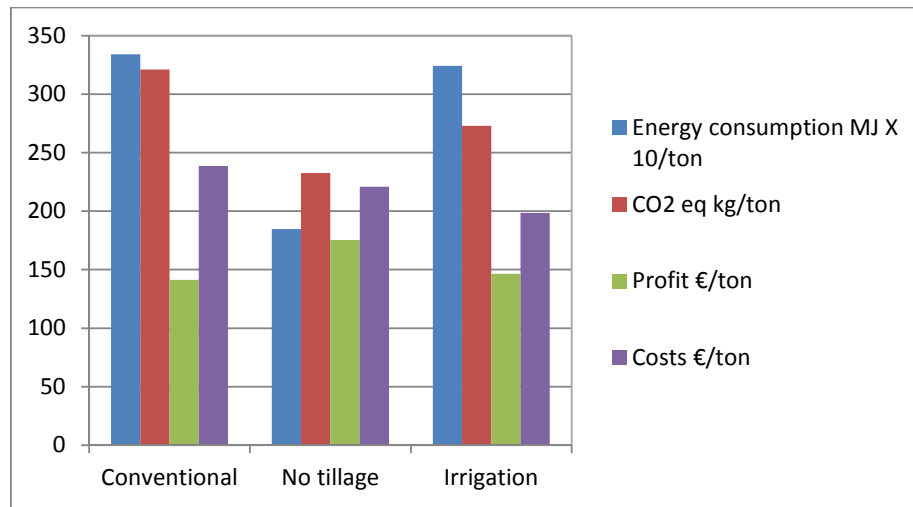
Source: AGREE spreadsheet results for arable crop system of Alentejo

Source: AGREE spreadsheet results for arable crop system of Alentejo

presents impact on energy consumption, greenhouse gas emissions (GHG), profits and costs per ton of wheat produced. Results per ton are very different from those presented on a hectare base. In fact, when considering the productions obtained both options result in higher resource efficiency. No tillage and irrigation are win win situations in terms of energy, environmental and economic efficiency. Less energy is consumed, less GHG are emitted and higher farm profit and lower costs are obtained due to reduction of the production costs or either due to the increase of the receipts due to higher productivity in the irrigated option or specific subsidy levels in the no tillage system.

Figure 3: Impact of different technologies on costs, profits, energy use and greenhouse gas emissions (GHG) per ton wheat.



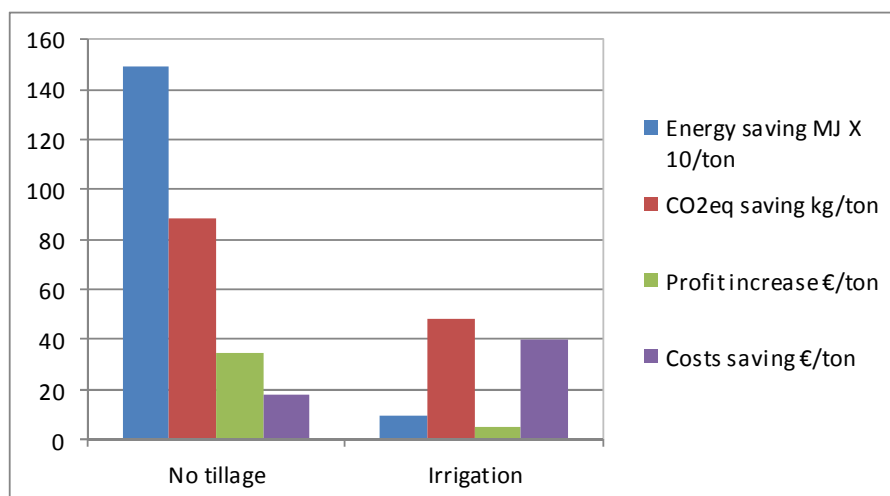


Source: AGREE spreadsheet results for arable crop system of Alentejo

Costs experience a small decrease with a variation per ton of wheat produced of around 8% with no tillage and 7% with irrigation and profits per ton for these options, with a 24% for no tillage and 4% for irrigation per ton produced. The no tillage option proves to be particularly relevant as an energy efficiency measure with a reduction of energy consumed by 45% per ton of wheat produced. The irrigation option also improves energy efficiency with a 3% reduction. For the CO₂e a reduction of 30% and 15% was attained with these alternative technologies.

Figure 4 shows the differences between the conventional system and the analysed options, on energy, GHG emissions, costs and farm profit per ton of attained wheat yield. It is possible to see that the introduction of irrigation can contribute to the highest savings in the production costs. No tillage allows the higher savings in energy consumption and GHG emissions and the highest increase in farm profit.

Figure 4: Differences of costs, profit, energy-use and greenhouse gas emissions (GHG) per ton between conventional and alternative technologies



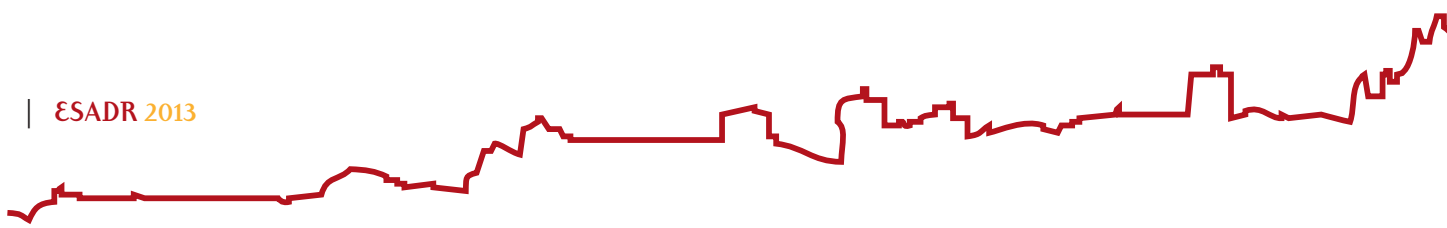
Source: AGREE spreadsheet results for arable crop system of Alentejo

5. Conclusion

Different inputs contribute in different percentages to total costs, primary energy consumption (PEC) and greenhouse gas emissions (GHG). Diesel and fertilizers represent more than 90 % of energy consumption and emissions but around 45 % of costs. Hence, changes in diesel and fertilizers mix used will have little cost changes but large impacts on energy use and greenhouse gas emissions.

The analysis of the impact of no tillage and irrigation on arable land production system showed that both alternatives contributed to energy savings and reduced GHG emissions, increasing physical and economic factor efficiency. However, cost savings and profit earnings with these measures are relatively lower than reductions of energy consumed and GHG emissions which suggest an important role for policy incentives. Agro-environment measures in place for no tillage result in relevant positive profit impacts which are important for adapting this technology. Irrigated system increases profits as well as resource efficiency with lower primary energy consumption and GHG emissions per unit of production.

In the long run research and technological development of both options are worthwhile to promote competitiveness and sustainability of arable crop production systems of the Alentejo region of Portugal.



References

Andreas Meyer-Aurich, Hasan Jubaer, Lukas Scholz, Thomas Ziegler, Tommy Dalgaard, Hannu Yli-Kojola, Jussi Esala, Hannu Mikkola, Mari Rajaniemi, Tapani Jokiniemi, Jukka Ahokas, Janusz Gołaszewski, Mariusz Stolarski, Zbigniew Brodziński, Ryszard Myhan, Ewelina Olba-Zięty, Chris de Visser, Marcel van der Voort, Cecilia Stanghellini, Hilko Ellen, Arie Klop, Harm Wemmenhove, Fátima Baptista, Dina Murcho, Luis Leopoldo Silva, José Rafael Silva, José Oliveira Peça, Mário Louro, Carlos Marques, Antonis Mistriotis, Athanasios Balafoutis, Panagiotis Panagakis, Demetres Briassoulis (2013), Economic and Environmental Analysis of Energy Efficiency Measures in Agriculture, Report WP3 AGREE, Available on the internet: <http://www.agree.aua.gr>.

Anselmo, R., (1990), “Planeamento de uma Exploração Agro-Pecuária localizada no Distrito de Évora sob Risco”, Trabalho de fim de curso de Engenharia Zootécnica, Universidade de Évora.

Azevedo A.L. e Cary, F.C, (1972), Sistemas de Exploração da Terra – Aspectos da Adaptação de Sistemas de Mobilização Mínima na Agricultura Mediterrânica, Separata do Volume XXXIII dos Anais do Instituto Superior de Agronomia.

Basch, G., (1991) Alternativas para o Sistema Tradicional de Exploração da Terra no Alentejo tendo em consideração especial a Mobilização do Solo, Dissertação para a obtenção de equivalência ao grau de doutor em Ciências Agrárias, Universidade de Évora.

Basch, G et al., (1989), Comparação de três Sistemas de Mobilização de solo em várias Culturas de Sequeiro, Resultados dos projectos de Investigação Agrária, Cooperação Luso-Alemã entre Universidades no domínio da Investigação Agrária Aplicada, Vila Real, p. 197-210

Carvalho M., Lourenço, E. (2013),” Conservation agriculture – a Portuguese case study” Proceedings of the SWUP-MED Project Final International Conference ”Sustainable water use for securing food production in the Mediterranean region under changing climate”. Agadir, Morocco, p. 36-50. Carvalho et al., (1991), Notas sobre a terminologia a utilizar em Sistemas de Mobilização do Solo, Revista de Ciências Agrárias, XIV, p. 3-8.

Carvalho, M. e Pinheiro, C., (1994), Rendimento das Explorações Agrícolas do Alentejo à face da variabilidade da produção de pastagens e forragens”. Economia e Sociologia, 58, p. 55 a 91.

Carvalho, M. (1994), Efeitos da Variabilidade das Produções Vegetais na Produção Pecuária – Aplicação em Explorações agro-pecuárias do Alentejo: Situações actual e Decorrente da Nova PAC, Dissertação de Doutoramento em Economia, especialidade Economia Agrícola, Universidade de Évora.



Gołaszewski J., de Visser C, Brodziński Z, Myhan R, Olba-Zięty E, Stolarski M, de Buissonjé F, Ellen H, Stanghellini C, van der Voort M, Baptista F, Silva L, Murcho D, Meyer-Aurich A, Ziegler T, Ahokas J, Jokiniemi T, Mikkola H, Rajaniemi H, Balafoutis A, Briassoulis D, Mistriotis A, Panagakis P, Papadakis G (2012). State of the Art on Energy Efficiency in Agriculture. Report WP2 AGREE. Available on the internet: http://www.agree.aua.gr/Files/Agree_State.pdf.

Gołaszewski J., de Visser C, Brodziński Z, Myhan R, Olba-Zięty E, Stolarski M, de Buissonjé F, Ellen H, Stanghellini C, van der Voort M, Baptista F, Silva L, Murcho D, Meyer-Aurich A, Ziegler T, Ahokas J, Jokiniemi T, Mikkola H, Rajaniemi H, Balafoutis A, Briassoulis D, Mistriotis A, Panagakis P, Papadakis G (2012a). Energy Saving Measures in Agriculture- Overview on the Basis of National Reports, Project Deliverable 2.3 AGREE, <http://www.agree.aua.gr/Files/Publications/D2.3%20Energy%20Efficiency%20Measures%20in%20Agr.pdf>.

INE, I.P. 2011. Recenseamento Agrícola 2009. Análise dos principais resultados. Lisboa, Portugal. 185 pp.

INE I.P. 2012. Estatísticas Agrícolas 2011. Lisboa, Portugal. 171 pp.

MADRP, 2009. Plano Estratégico Nacional. Desenvolvimento Rural 2007–2013. Portugal. Revisão Novembro 2009. 115 pp.

Marques, C.A.F. (1988), Portuguese Entrance into the European Community: Implications for Dryland Agriculture in the Alentejo Region, Ph.D. thesis, University of Purdue, USA.

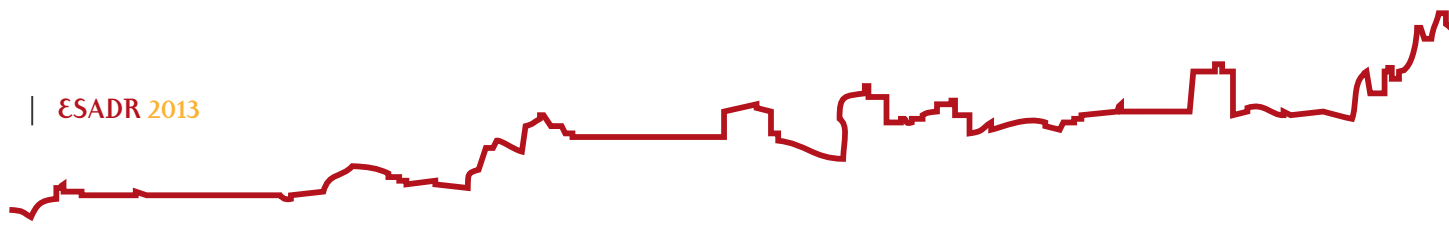
Marques et al., (1990), “Yield, Product and Factor Price Risk in a representative farm of the Alentejo Region of Portugal, poster paper VI Congresso Europeu de Economistas Agrícolas, Haia, Holanda.

Marques, F. e Basch, G. (2002). Comparação da viabilidade económica de quatro sistemas de mobilização do solo. I Congresso Nacional de Mobilização de Conservação do Solo, pp. 283-298. Aposolo. Universidade de Évora, Évora, Portugal.

Marreiros, C., (1992), “A Variabilidade das Produções Intermédias e a Produção Pecuária em Extensivo numa Exploração Agro-pecuária do Distrito de Évora”, Trabalho de fim de curso de Engenharia Zootécnica, Universidade de Évora.

Martins, M. B. (2003) Avaliação Económica de Tecnologias Alternativas de mobilização do Solo em Situação de Risco, PhD Thesis, Universidade de Évora, Portugal.

Martins, M. B. (1994) Avaliação Económica de Tecnologias Alternativas para a Mobilização do Solo numa Exploração Agrícola Característica da Zona dos Barros de Beja, Mestre em Economia Agrícola, Universidade de Évora.



Martins, M. B. & Marques C. (2007) – “Does risk influence the adoption of alternative soils tillage technologies? A compromise programming approach.”, *New Medit*, vol. VI - n. 4, p. 4-13.

Martins, M. B. & Marques, C. (2006) - “Methodological Aspects of a Mathematical Programming Model to Evaluate Soil Tillage Technologies in a Risky Environment.” *European Journal of Operational Research*, Vol. 177/1 pp. 556-571.

Martins, M. B. & Marques, C. (1996) - “Tecnologias Alternativas de Mobilização do Solo: Avaliação Económica numa Exploração Característica da Zona dos Barros de Beja”. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. XIX, nº1.

Martins, M. B. & Marques, C. (1995) - “Avaliação Económica de Tecnologias Alternativas de Mobilização do Solo”. Publicações “Universidade de Évora”, Série Ciências Económicas e Empresariais, nº3, Évora.

Neto, M., (1992), “Duas Perspectivas de análise do risco no rendimento dos agricultores do Alentejo – Variabilidade na Produção e variabilidade dos custos”, Trabalho de fim de curso de Engenharia Agrícola, Universidade de Évora.

Portaria nº 229-B/2008, 6 de Março. Valorização de modos de produção. Do programa de desenvolvimento rural do continente, designado por PRODER. Portaria nº 427-A/2009, 23 de abril. Alteração à portaria nº 229-B/2008.

Rosado, Maurícia, (2009), Contributo para a Integração da Componente Ambiental na Avaliação Económica de Sistemas de Produção Agro-Pecuários, Dissertação de Doutoramento em Zootécnica, Universidade de Évora.

**AGRICULTURE AND ENERGY EFFICIENCY IN PORTUGUESE AGRICULTURE
AND TRADE-OFFS WITH FARM ECONOMICS AND ENVIRONMENTAL
IMPACTS: CASE STUDIES FOR SELECTED AGRICULTURAL PRODUCTION
SYSTEMS**

Fátima Baptista

University of Évora, Department of Rural Engineering, ICAAM, Apartado 94, 7000
Évora, Portugal, fb@uevora.pt

Carlos Marques

University of Évora, Department of Management, CEFAGE, Apartado 94, 7000 Évora,
Portugal, cmarques@uevora.pt

Luis Leopoldo Silva,

University of Évora, Department of Rural Engineering, ICAAM, Apartado 94, 7000
Évora, Portugal, llsilva@uevora.pt

Dina Murcho,

Research assistant for AGREE project, University of Évora, Department of Rural
Engineering, dinamurcho@hotmail.com

José Rafael Silva,

University of Évora, Department of Rural Engineering, ICAAM, Apartado 94, 7000
Évora, Portugal, jmsilva@uevora.pt

José Peça,

University of Évora, Department of Rural Engineering, ICAAM, Apartado 94, 7000
Évora, Portugal, jmop@uevora.pt

Abstract

This paper aims to present and discuss an economic and environmental analysis based on case studies for selected Portuguese agriculture production systems which show potentials and constraints of energy efficiency measures in agriculture with respect to the specific environment of Portugal. Results are the Portuguese part of one work package of AGREE (**AG**Riculture and **E**nergy **E**fficiency) an European project. It illustrates case studies and shows trade-offs associated with energy efficiency measures for selected case studies of production systems with their estimated impact on energy use, economic costs and greenhouse gas emissions. Production systems include arable crops (wheat), animal husbandry (dairy, pork and poultry), greenhouse (tomato) and permanent crops (olive trees and vineyards). Results for energy efficiency measures including reduced tillage, fertilizer management and use, including organic and precision farming, and irrigation show large gains in energy consumption and relevant reductions for greenhouse gas emissions but small effects in economic costs and profits. However, if energy efficiency measures impacts are evaluated with respect to production levels of agricultural systems economic effects become more expressive and relevant in private but mainly in social terms. This is due to differences in the relative importance of inputs in energy use, emissions and costs and also to differences of inputs for different agricultural systems. For arable crops diesel and fertilizer contributions are



relevant for energy and emissions but seeds are more important to costs. For animal husbandry feeding is important for energy use and costs but animal purchases are more relevant to emissions. For greenhouse crops diesel and electricity are very important for energy and emissions but plants are more important for costs. For permanent crops diesel and lubricants are particularly important for olives and pesticides for vineyards in energy use and emissions with fertilizer also being important to costs. As a result out of the energy efficiency measures considered there are potential savings of energy and positive economic and environmental impacts but of different magnitude for agricultural systems considered.

Key Words: Agricultural systems, Energy efficiency, economic and environmental analysis; Trade-offs.

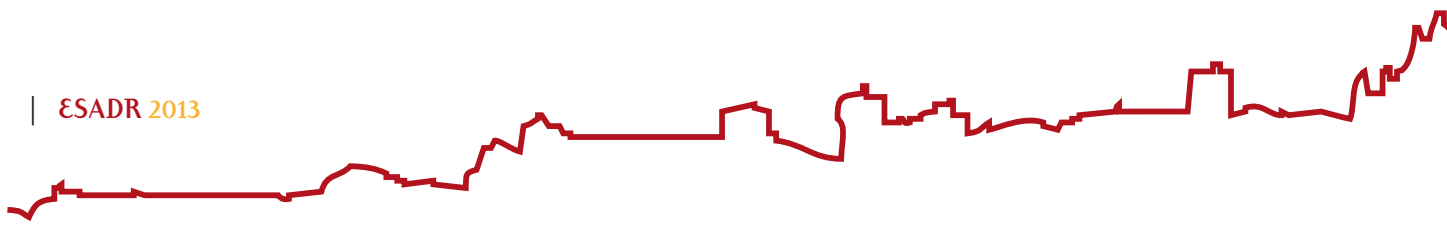
AGRICULTURE AND ENERGY EFFICIENCY IN PORTUGUESE AGRICULTURE AND TRADE-OFFS WITH FARM ECONOMICS AND ENVIRONMENTAL IMPACTS: CASE STUDIES FOR SELECTED AGRICULTURAL PRODUCTION SYSTEMS

1. Introduction

AGREE project is about agriculture and energy efficiency in Europe. It involves six countries (Portugal, Greece, Germany and Holland, and Poland and Finland) to represent four broad European regions (SW, SE, NW and NE) and deals with major agricultural production systems, including arable crops, livestock (dairy/beef, pork/poultry), greenhouse production (tomatoes) and permanent crops (olive trees and vineyards).

For case studies across Europe energy efficiency measures were analyzed to understand potential changes and drawbacks associated with different agricultural production systems. In spite of displaying a wide range of different perspectives of energy efficiency in agriculture a common methodological approach has been applied to all case-studies. The project includes one work package on interactions and trade-offs of energy used in agricultural production systems and products with environmental impacts and farm economic results. This AGREE work-package, “Economic and environmental analysis” (Andreas Meyer-Ulritch et al.) is based on case study analyses of the partners of different countries of the EU. The case studies show economic and environmental trade-offs of agricultural systems in the different regions in the EU.

This paper focuses on that work package and is about results found for case studies in Portuguese agriculture. The paper presents an economic and environmental analysis based on in-depth case studies which show potentials and constraints of energy



efficiency measures in agriculture with respect to the specific environments in Portugal. It illustrates show cases with an in-depth analysis of the interactions of energy efficiency measures with farm economics and the environmental impact of the measures. It shows trade-offs and situations associated with energy efficiency measures for selected show cases with their estimated impact on energy use, economic costs and greenhouse gas emissions.

Besides this introduction the paper has four additional sections. In the second AGREE types of energy efficiency measures for overall project and for Portuguese agricultural systems are presented. The third section sets out the main methodological framework used for all European countries and regions involved for agricultural systems under study. During the fourth section results for primary energy consumed (PEC), greenhouse gas emissions (GHG) and costs are presented and trade-offs of energy used and their farm economic and environmental impacts for each agricultural system. The fifth and last section concludes contrasting the main differences of agricultural systems with respect to the relative importance of different inputs on energy, emissions, costs and profits.

2. Energy Efficiency Measures in Agriculture

In AGREE project we are looking at energy efficiency. Improved energy efficiency is achieved if energy input per unit yield from the agricultural system is reduced. Therefore, energy efficiency can either be realized with increased or decreased energy inputs depending on the input-output relationship. Energy efficiency can be realized by the use of improved technologies and adjustments in the level of energy input into agricultural systems (AndreasMeyer-Auritch et al.).

Energy efficiency measures in agriculture were grouped in seven clusters, according to the technology addressed with the energy efficiency measure, namely: 1.Reduced tillage and controlled traffic farming; 2.Waste/side stream valorization; 3.Storage, drying, ventilation and cooling processes; 4.Irrigation; 5.Fertilizer management (reduced inputs and precision farming); 6.Housing (light, construction and insulation); and 7.Animal husbandry.

Energy efficiency measures considered for Portuguese case studies of different agricultural systems, including arable crop (wheat), animal husbandry (dairy, poultry

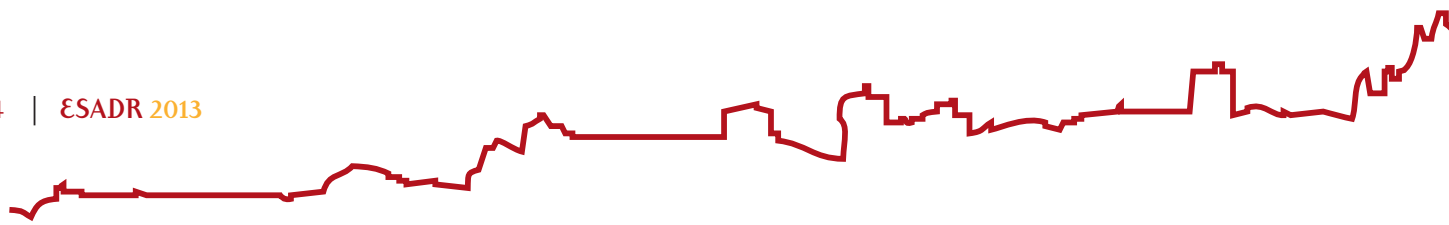


and pigs), greenhouse crops (tomato) and permanent crops (olive groves and vineyards), are included in those general clusters and are indicated in table 1.

Technical, characterization, cost analysis and environmental data sources used in spreadsheet farm models for current agricultural systems and alternatives considered for each system are described in detail and can be found in AGREE 3.1 report (Andreas Meyer-Auritch et al.).

Table 1: Production systems for in-depth analyses of case studies in Alentejo/Portugal and energy efficiency measures considered

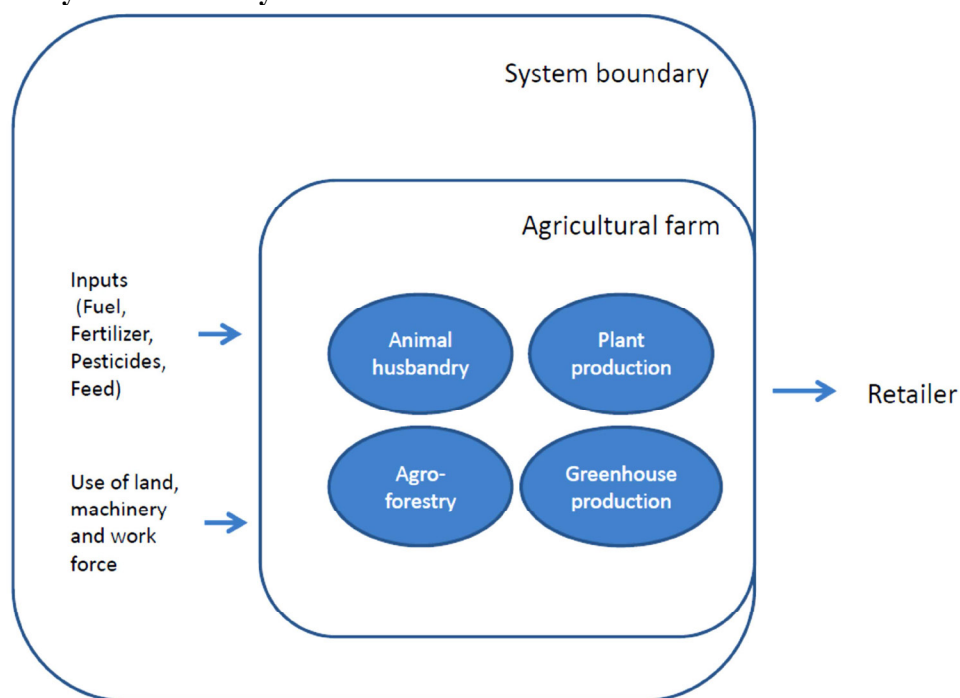
Production systems	ENERGY EFFICIENCY MEASURES				
	Base Scenario	(1)	(2)	(3)	(4)
Arable crops: wheat	Conventional Dryland	(1) No Tillage	(2) Irrigation		
Animal Husbandry:					
Dairy	Average Productivity	(1) Feeding Higher productivity			
Poultry	Air Heating	(1) Floor Heating	(2) Heat Recover		
Pigs	Traditional Feeder	(1) Controlled access			
Greenhouse production: Tomato	Greenhouse soil	(1) Hydroponic Substract	(2) Hydroponic Fertilizer Water	(3) Fert. Water Pest. Control	(4) Integrated Control System
Permanent crops: Olive Trees	Intensive	(1) Fertilizer and Pesticide Managemnt	(2) Superintensive		
Vineyards	Traditional	(1) Organic	(2) Precision Agriculture		



3. Methodological Framework for the analysis of measures for improved energy use efficiency in agriculture and their impact on economics and the environment

The analysis of the environmental and economic trade-offs includes the analysis of energy efficiency measures on the use of direct and indirect energy, greenhouse gas emissions and farm economics. The energy use, environmental (GHG emissions) and economic analysis (costs and profits) are based on a cradle to farm gate analysis, taking all factors into account needed to produce the agricultural products and consequent total energy, emissions and costs and profits (see figure 1).

Figure 1: System boundary of economic and environmental assessments



Source; AGREE, Report WP3, p. 17.

In order to model potential trade-offs between energy savings, GHG-emissions and farm economics it was necessary to model the relevant energy efficiency measures in simple spreadsheet based accounting farm models. Four model frameworks were constructed to estimate the effects of energy saving measures on farm level in cropping systems, animal production systems, greenhouses and permanent crop systems. For permanent crops calculations include installation and operation estimates for the



different inputs. Costs, PEC and CO₂ values are the sum of the values of vineyard operation per ha and vineyard installation also per ha and per year.

Cases for different agricultural systems were constructed based on typical farm situations in the countries expressing a general situation. Hence, their analysis is done within a farm framework and included the related costs and savings on energy, economic costs and GHG emissions to the total costs at farm level.

The calculations of the energy savings and GHG emissions with the energy efficiency measures were based on the report “State of the Art on Energy Efficiency in Agriculture” (AGREE website, Gołaszewski et al. 2012) and extended with regard to GHG emissions. Data on assumptions were, if not stated otherwise, drawn from published data from the Biograce database (www.biograce.net). For the energy use and greenhouse gas estimates, whenever possible, common methodologies were used. Estimates for cost savings associated with the energy efficiency measure are based on the use of resources calculated with the farm models.

The economic cost calculations were based on the economic settings of the considered Portuguese and Alentejo systems. These include costs with all variable and fixed factors, including purchased and owned factors, namely land, labour and machinery. Fixed costs were allocated according to the useful life of the used implements. Prices for inputs and machinery were taken from the country specific data.

4. Relative contribution of different factors on farm energy, CHG emissions and costs and impact of different energy efficiency measures on economics and the environment for selected agricultural systems in Portugal

4.1 Arable crop systems – Wheat

The case of arable crops for Portugal was based on wheat production in a typical farm of 250 hectares, with clay soils and a traditional crop farming system of dryland agriculture in the Alentejo (Rosado, 2009). The arable crop farm production system is based on a four year crop rotation (sunflower–durum wheat 1–green peas–durum wheat 2) established to achieve high production levels of cereals. Energy efficiency measures considered include no tillage, a reduction of fertilizer application of phosphorous (Marques da Silva, 2012) and irrigation.

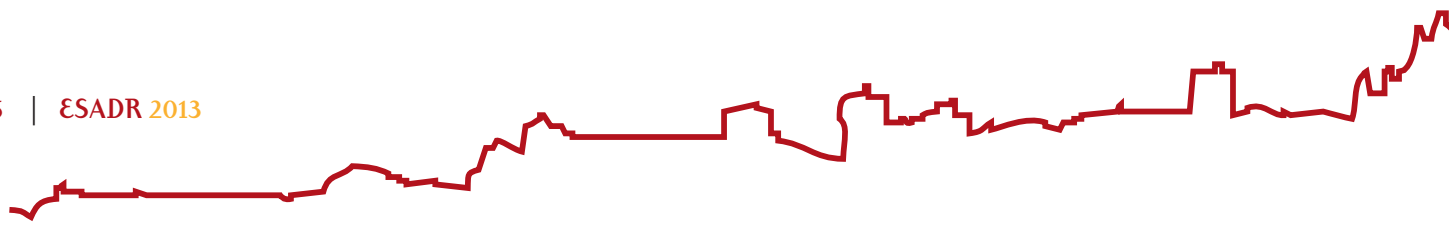
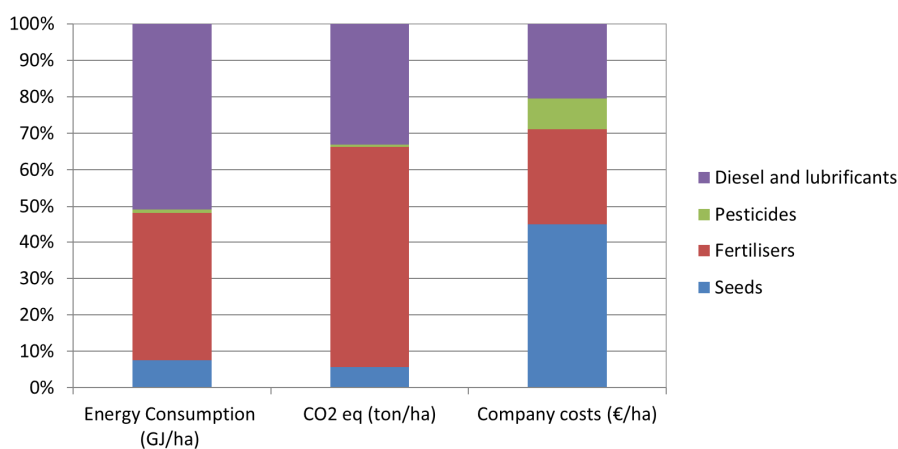


Figure 2 shows the relative contribution of the different inputs in total energy consumption, GHG emissions (CO₂eq) and farm costs for the crops considered in the conventional production system of this farm, assumed as the base scenario. Diesel and lubricants followed by fertilizers are responsible for more than 50 and 40 %, respectively, of total energy consumed in the production system. The relative importance of these factors is reversed in terms of environmental impacts evaluates in CHG emissions which are particularly high for fertilizers with almost 60 % of total and more than 30 % for diesel and lubricants. Seeds are particularly important for farm costs. The relative high contribution of seeds for the total costs is explained by the fact that two of the crops do not require fertilization and pesticides. Fertilizers and diesel and lubricants represent 25 and 20 % of costs, respectively. Hence, factors have different relative contributions to primary energy consumption, CHG emissions and costs. Small changes in factor use might have high impacts on energy use and GHG emissions but induce relatively lower changes in costs.

Figure 2: Relative contribution of different factors used on farm energy, greenhouse gas emissions (GHG) and costs under base scenario.



Source: AGREE project calculations and results

This is clear in table 2 that presents costs, energy consumption and GHG emissions per hectare for conventional and alternative systems described before. Option 1 (no tillage) decreases energy consumption by 42.7 %, GHG emissions by 19.5 % and costs by only 8.6. The opposite occurs with option 2 (irrigation). In fact, primary energy consumption increases 94.9 %, CHG emissions by 68 % and production costs increase 54.2 %. The decrease in the first option is explained by less use of machinery/diesel and



fertilisers and the increase in the last one is due to the increase inputs of fertilisers and electricity for irrigation.

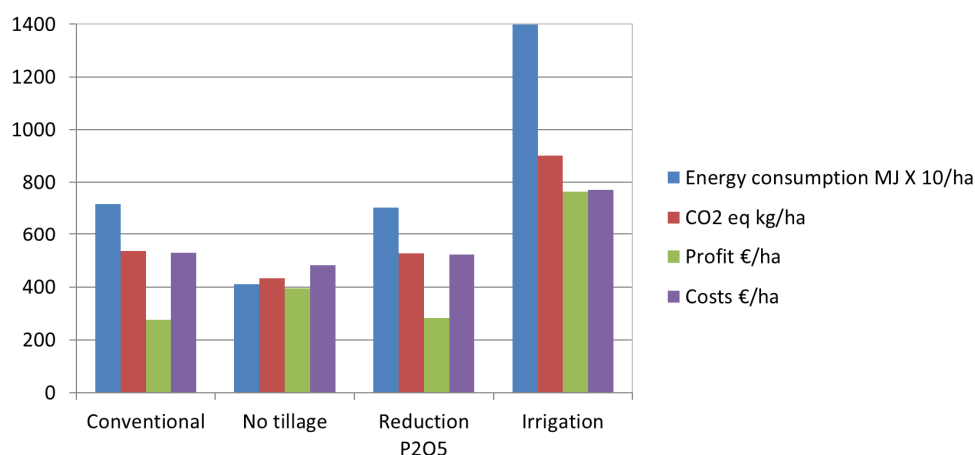
Table 2: Annual costs, PEC and GHG emission for energy efficiency measures in the farm rotation.

	Annual Costs		PEC		GHG	
	€/ha	%	MJ/ha	%	CO ₂ e/ha	%
Conventional	528.43	100.0	7171.26	100.0	535.97	100.0
No Tillage	482.90	91.4	4109.36	57.3	431.70	80.5
Irrigation	770.25	145.8	13979.11	194.9	900.23	168.0

Source: AGREE project calculations and results

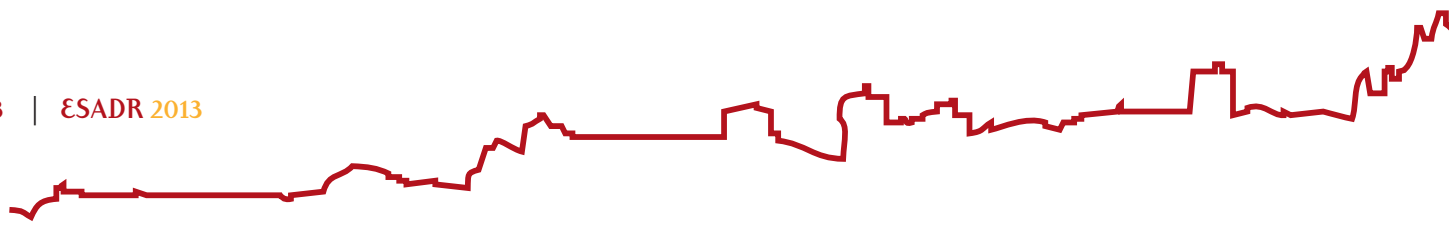
Figure 3 represents these effects and also includes farm profit for different options. It is possible to see that the two options allow an increase of farm profit (43% with no tillage mainly due to an agro-environmental subsidy in place given specially for this type of production technology and more than double with the irrigation option). In the first the increase is due to a decrease of the production costs and an increase in subsidies and in the second due to the increase of yield and receipts that more than compensates cost increase.

Figure 3: Impact of different energy saving measures on costs, profit, energy use and greenhouse gas emissions (GHG) per ha.



Source: AGREE project calculations and results

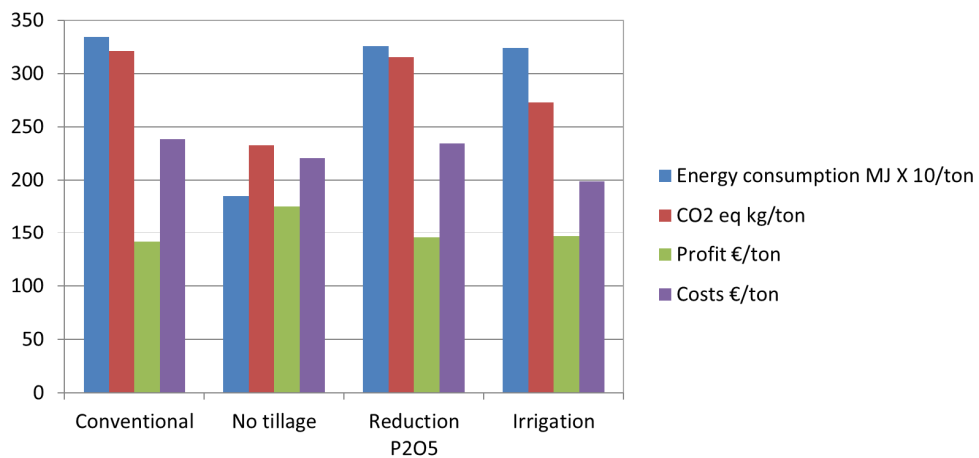
Figure 4 presents impact on energy consumption, greenhouse gas emissions (GHG), profits and costs per ton of wheat produced. Results per ton are very different from those presented on a hectare base. In fact, when considering the productions obtained both options result in higher resource efficiency. No tillage and irrigation are win win situations in terms of energy, environmental and economic efficiency. Less





energy is consumed, less GHG are emitted and higher farm profit and lower costs are obtained due to reduction of the production costs or either due to the increase of the receipts due to higher productivity in the irrigated option or specific subsidy levels in the no tillage system.

Figure 4: Impact of different energy saving measures on costs, profit, energy use and greenhouse gas emissions (GHG) per ton wheat.



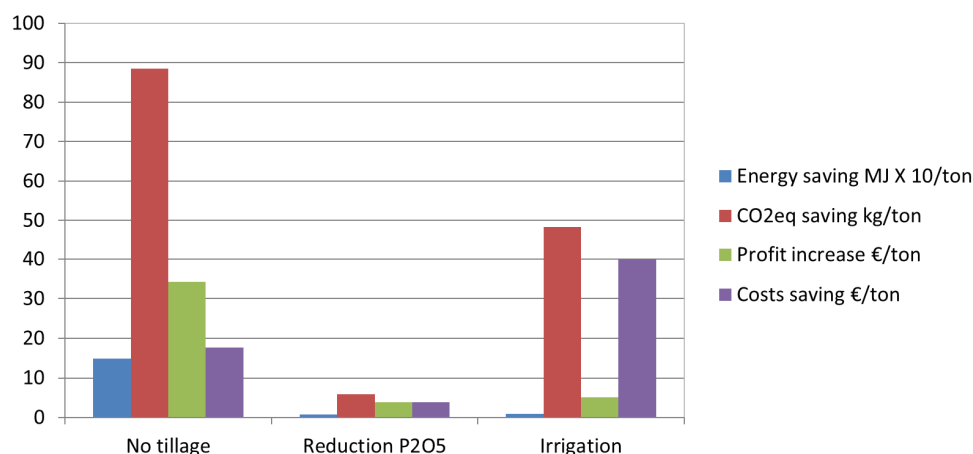
Source: AGREE project calculations and results

Costs experience a small decrease with a variation per ton of wheat produced of around 8% with no tillage and 7% with irrigation and profits per ton for these options, with a 24% for no tillage and 4% for irrigation per ton produced. The no tillage option proves to be particularly relevant as an energy efficiency measure with a reduction of energy consumed by 45% per ton of wheat produced. The irrigation option also improves energy efficiency with a 3% reduction. For the CO₂e a reduction of 30% and 15% was attained with these alternative technologies.

Figure 5 shows the differences between the conventional system and the analysed options, on energy, GHG emissions, costs and farm profit per ton of attained wheat yield. It is possible to see that the introduction of irrigation can contribute to the highest savings in the production costs. No tillage allows the higher savings in energy consumption and GHG emissions and the highest increase in farm profit.



Figure 5: Differences of costs, profit, energy-use and greenhouse gas emissions (GHG) per ton of wheat between the basic scenario and the different energy saving measures.



Source: AGREE project calculations and results

4.2.1 Animal Husbandry systems - Dairy

The dairy case is based on a typical farm of 140 dairy cows in the Alentejo. Energy efficiency measure considered aims to evaluate the effects of introducing changes in feeding diet (quantity and quality) to obtain higher farm milk production, from 7,500 kg milk to 11,000 kg milk/cow/year.

Figure 6 shows the relative contribution of the different inputs in the total costs, GHG emissions (CO₂eq) and energy consumption for the dairy farm in the basic scenario. It is clear that different inputs contribute in different proportion to the total costs, primary energy consumption and GHG emissions. This implies that small changes may induce only a little change in costs but have a high impact on energy use and GHG emissions.

Concerning the cost structure feed represents the highest amount and is around 83% of total costs. For the energy consumption feed contributes 70% and diesel and electricity account for almost 30%. For the GHG emissions the highest factor is from the cows themselves, contributing almost 70% of the emissions, followed by the feed with approximately 25%. This is due to the emission of methane by enteric fermentation and also due to animal manure fermentation. These impacts are well documented in literature (Schils et al. 2006; Van der Hoek & Van Schijndel 2006).

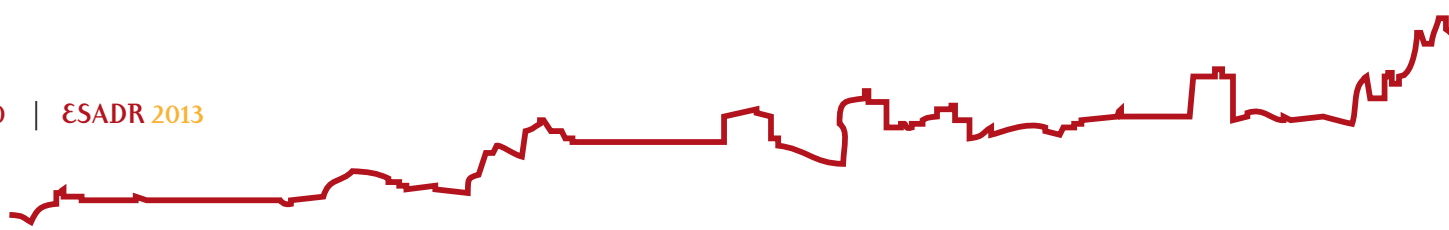
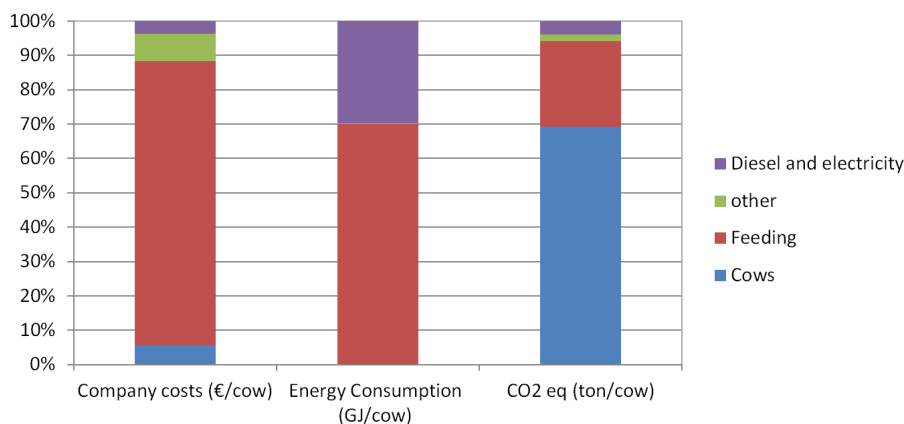


Figure 6: Relative contribution of different inputs in the farm production to farm costs economics, energy use and greenhouse gas emissions (GHG) per cow.



Note: Other inputs include bedding straw, veterinary and water.

Source: AGREE project calculations and results

Table 2 presents costs, energy consumption and GHG emissions per cow. In an overall analysis it can be stated that increasing milk production by changing feed increases production costs, energy consumption and GHG emissions (23%, 47% and 14% respectively). This could be compensated for by the production increase. In fact it is possible to improve resource efficiency by increasing production and decreasing energy and GHG emission per product unit. In figure 7 it is also showed the impact of the different options on farm profit. It is possible to see that intensive production increases the farm profit in more than 700%.

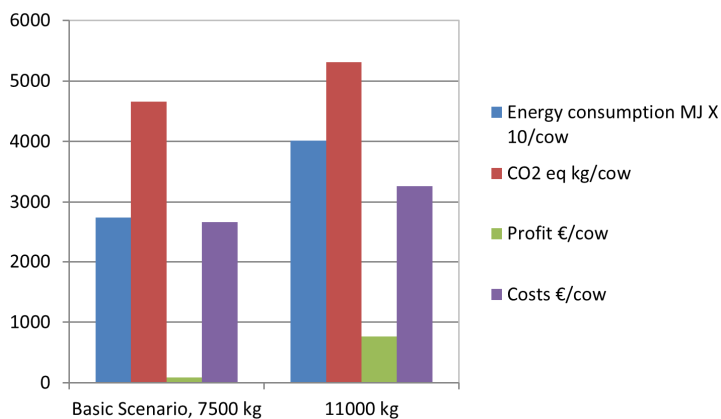
Table 2: Annual costs, PEC and GHG emissions with energy efficiency measures.

	Annual Cost		PEC		GHG	
	€/cow	%	MJ/cow	%	CO ₂ e/cow	%
Aver. Productivity	2652.31	100.00	27257.47	100.00	4656.11	100.00
High Productivity	3263.20	123.03	40138.59	147.26	5308.65	114.01

Figure 8 shows the impact on costs, profit, energy use and greenhouse gas emissions (GHG) per ton of milk produced. We can observe a different picture compared with the analysis performed by cow. Intensive production leads to a decrease of costs (16%), energy consumption is similar and GHG emissions decrease (22%). Profit increases due to the higher income and lower production costs (from 11.88 €/t to 69.55 €/t). The intensive production results in a substantial increase in profit, which seems to be a way to make the activity economically sustainable.



Figure 7: Impact of intensive production on costs, profit, energy use and GHG per cow.



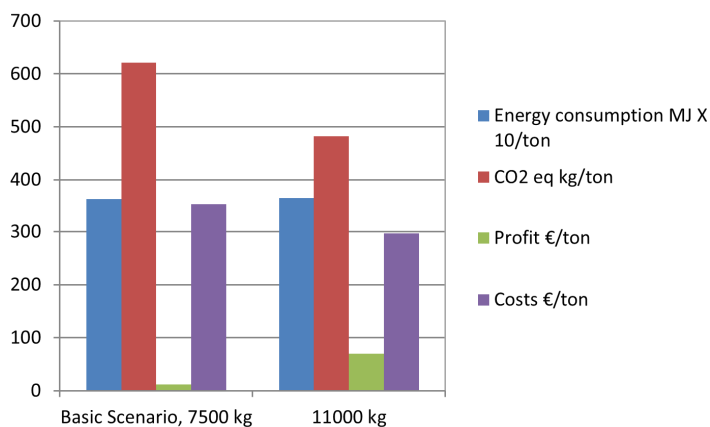
Source: AGREE project calculations and results

Source: AGREE project calculations and results

Figure 9 shows the differences between the basic scenario and the intensive production, on energy, GHG emissions, costs and farm profit per ton of produced milk. Again, it is possible to see that intensive production can contribute to lower GHG emissions and to increased farm profit per unit of production.

Figure 9

Figure 8: Impact of intensive production on costs, profit, energy use and GHG per ton of milk.



Source: AGREE project calculations and results

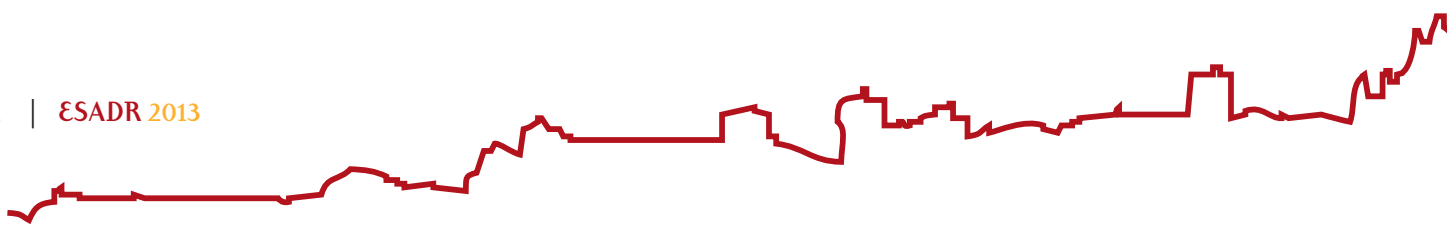
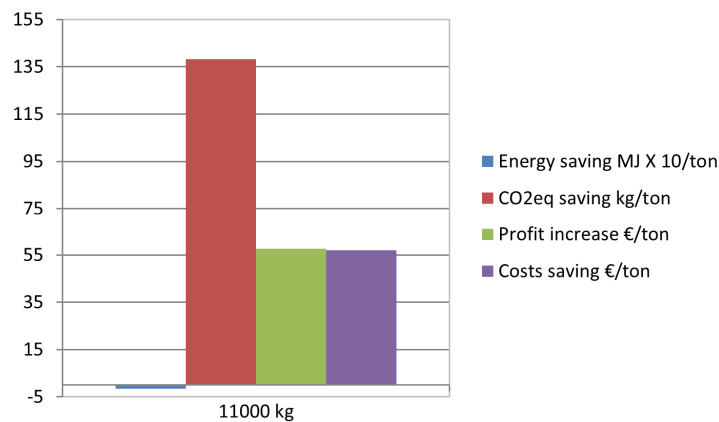


Figure 9 shows the differences between the basic scenario and the intensive production, on energy, GHG emissions, costs and farm profit per ton of produced milk. Again, it is possible to see that intensive production can contribute to lower GHG emissions and to increased farm profit per unit of production.

Figure 9: Differences of costs, profit, energy use and greenhouse gas emissions (GHG) per ton of milk between the basic scenario and the intensive production.



Source: AGREE project calculations and results

4.2.2 Animal husbandry systems - Poultry

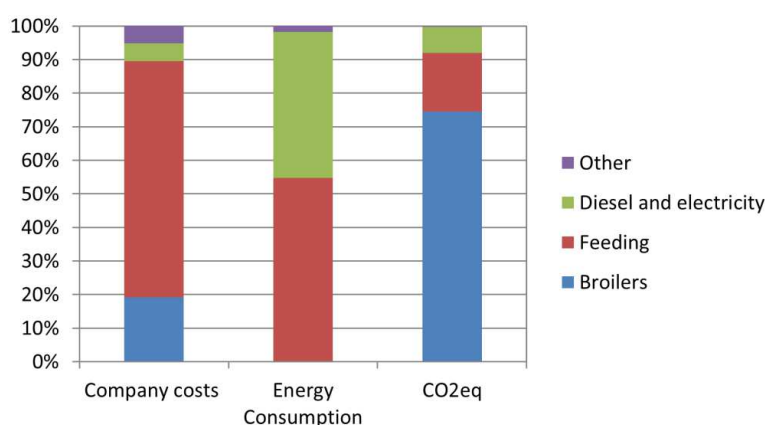
This case is based in an aviary located in the Ribatejo and Oeste region with a production of 20 000 broilers per flock, 5.5 flocks per year, producing a total of 110 000 broilers per year equipped with air heaters. Energy efficiency measures include changing to a floor heating system and introducing a heat exchanger integrated in the ventilation system.

Figure 10 shows the relative contribution of the different inputs in the total costs, GHG emissions (CO₂e) and energy consumption for the broiler farm assumed as the basic scenario. It is clear that different inputs contribute in different proportion to the total costs, primary energy consumption and GHG emissions. This implies that small changes may induce only a small change in costs but may have high impacts on energy use and GHG emissions. CO₂ equivalent emission was calculated using data presented in van der Sluis (2007).



Concerning the costs structure it can be seen that feeding represents the highest value, around 70%. For the energy consumption it contributes for approximately 55% and diesel and electricity 43%. For the GHG emissions the major responsible are the broilers, due to the manure fermentation, contributing with almost 75% of the emissions, followed by the feeding with approximately 20% and diesel and electricity with less than 10%. Feed is a very important input concerning economy, energy and environment, in spite of the feed conversion rate being already a good value. More research about diet composition and industrial processes less energy consumer could be important to reduce this.

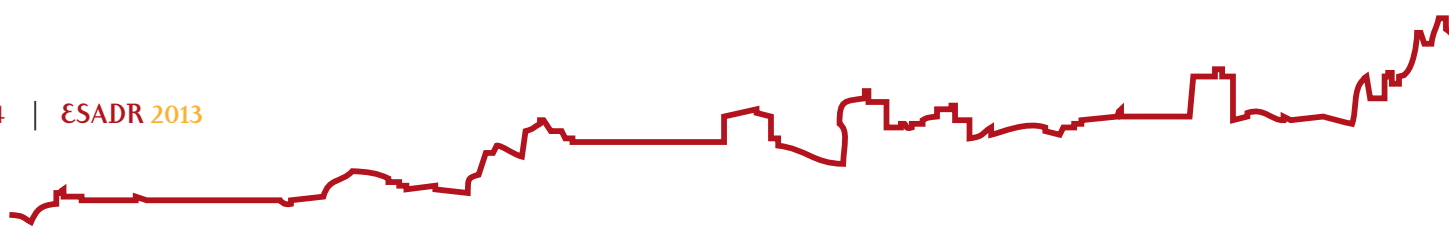
Figure 10: Relative contribution of different inputs in the farm production to economics, energy use and greenhouse gas emissions (GHG). Other include bedding straw, veterinary and water.



Source: AGREE project calculations and results

Table 3 presents the costs, energy consumption and GHG emissions per ton. Again, it can be seen that using the floor heating and the heat recovery will not cause high change in costs (2% and 1% respectively). However, the results concerning the energy consumption and GHG emissions are promising. Changing to floor heating allows reducing the energy consumption around 17% and 11% with the heat recover. Concerning the GHG emissions the reduction is not so high, 4% and 2%, for floor heating and heat recover, respectively, which is explained by the reduced amount of diesel and electricity and high contribution of animals to GHG emissions.

Table 3: Annual costs, PEC and GHG emissions with energy efficiency measures.

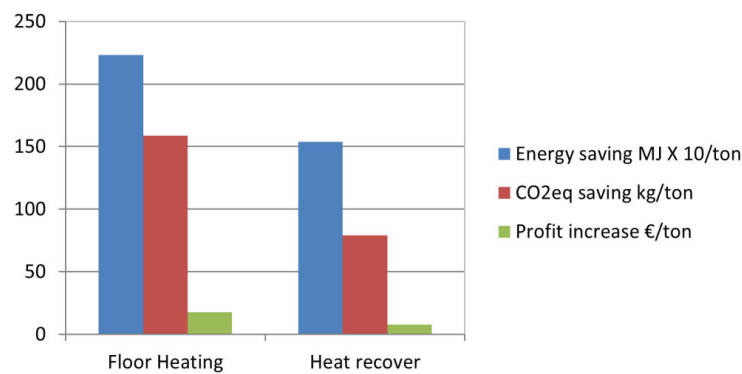




	Annual Cost		PEC		GHG	
	€/t	%	MJ/t	%	CO ₂ e/t	%
Air Heating	1006.64	100.00	13461.72	100.00	4028.54	100.00
Floor Heating	989.11	98.26	11230.33	83.42	3869.64	96.06
Heat recover	998.91	99.23	11923.89	88.58	3949.27	98.03

Figure 11 shows the differences between the basic scenario and the options studied, on energy consumption, GHG emissions and farm profit per ton of broilers produced. Again, it is possible to see that using floor heating or the heat exchanger can contribute to lower energy consumption and GHG emissions and consequently to increased farm profit per unit of production.

Figure 11: Differences of costs, profit increase, energy use and greenhouse gas emissions (GHG) savings per ton of broilers between the basic scenario, the floor heating and the heat exchanger.



Source: AGREE project calculations and results

4.2.3 Animal husbandry systems - Pigs

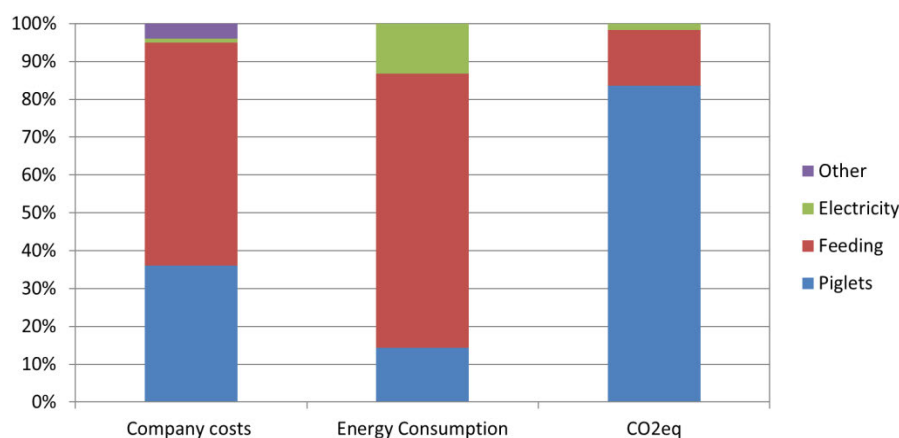
The case studied is based on a farm dedicated to fattening, has a building with 42 pens for 48 pigs each, fattening a total of approximately 2000 pigs. The average number of production cycles is 3 per year, which results in a total production of around 6000 pigs per year, with an average weight of 100 kg live weight. Assuming a mortality rate of 2% total production per year is 588 ton. The energy efficiency measure considered is the introducing new feeder equipment of controlled access which allows for savings of feed reducing waste (Aguiar, 2012).



Figure 12 shows the relative contribution of the different inputs in the total costs, GHG emissions (CO₂eq) and energy consumption for the pig farm assumed as the basic scenario. It is clear that different inputs contribute in different percentages to the total costs, primary energy consumption and GHG emissions. This implies that small changes in factors may have small effects in costs but different impacts on energy use and GHG emissions. Energy consumption for piglet production (feeding and heating) was assumed as 150 MJ/piglet. CO₂eq emission was calculated using data presented in Amon et al. (2007) and Lesschen et al. (2011).

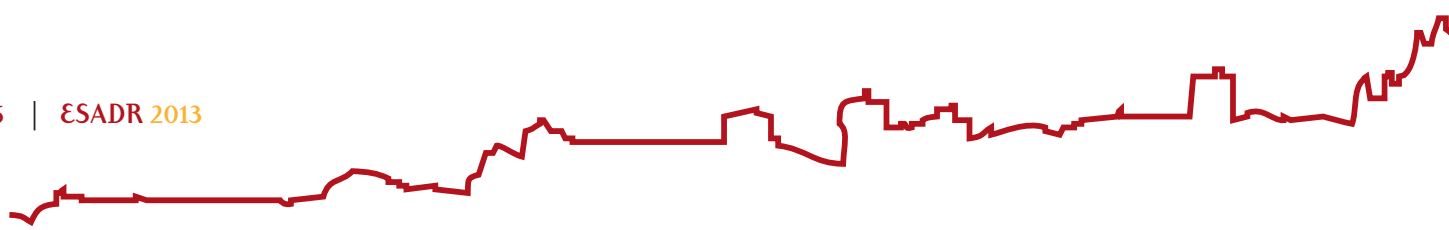
Concerning the cost structure it can be seen that feeding represents the highest share, around 59% followed by the piglets themselves with 36%. For the energy consumption feeding contributes for approximately 73% followed by the piglets and electricity with 14% and 13%, respectively. Regarding the GHG emissions, as expected, pigs account for the largest share, mainly due to enteric fermentation and also due to the manure fermentation, contributing to 83.5% of the emissions, followed by feeding to approximately 14.8% and electricity to 1.7%. Feed is a very important input concerning economy, energy and environment, in spite of the feed conversion rate being already a good value. Research into diet composition and industrial processes with less energy consumption could be important.

Figure 12: Relative contribution of different inputs in the farm production to economics, energy use and greenhouse gas emissions (GHG). Other includes veterinary and water for drinking and cleaning.



Source: AGREE project calculations and results

Table 4 presents the costs, energy consumption and GHG emissions per ton. Again, it can be seen that using the feeder alternative will not cause a high change in costs (3%).





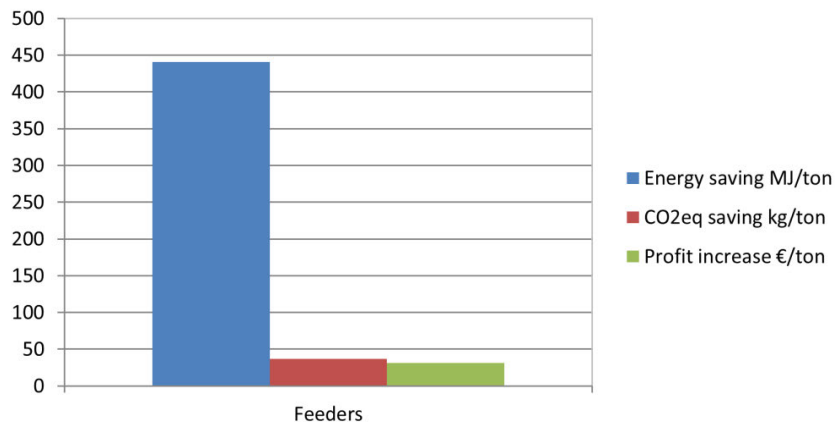
The same happens with the GHG emissions, with a reduction of less than 1% because of the high contribution of the pigs themselves. Concerning the energy consumption using the feeder option allows a reduction of almost 4% in energy consumption.

Table 4: Annual costs, PEC and GHG emissions with energy efficiency measures.

	Annual Cost		PEC		GHG	
	€/t	%	MJ/t	%	CO ₂ e/t	%
Traditional. Feeder	1019.04	100.00	10732.36	100.00	4376.96	100.00
Controlled access	987.99	96.95	10291.55	95.89	4340.23	99.16

Figure 13 shows the differences between the basic scenario and the option analyzed, on energy consumption, GHG emissions and farm profit per ton of pigs produced. Again, it is possible to see that the use of the feeder with controlled access can contribute mainly to lower energy consumption per unit of production.

Figure 13: Differences of profit, energy use & GHG emissions (per ton) between the basic scenario and the studied option.



Source: AGREE project calculations and results

4.3 Greenhouse systems – tomato

This case is based on a real farm with 7 ha of unheated greenhouses producing tomato crops grown in soil. The alternative energy efficiency measures considered include the production options of hydroponics with substrate, hydroponics and fertilizer and water doses adjusted, rationalised use of fertilizers, pesticides and water in soil production and use of an integrated control system.

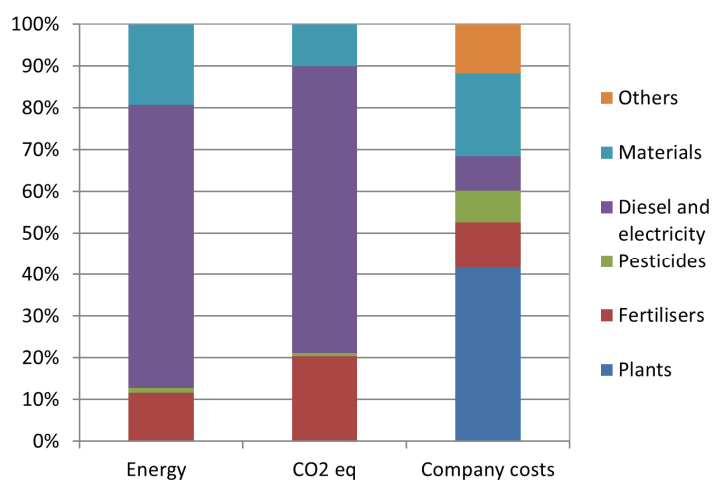
Figure 14 shows the relative contribution of the different inputs in the variable costs, GHG emissions (CO₂eq) and energy consumption for the farm assumed as the



basic scenario. It is clear that different inputs contribute in different percentages to the total costs, primary energy consumption and GHG emissions. As in other crop and livestock systems this implies that small changes may have little effects on costs but high impacts on energy use and GHG emissions.

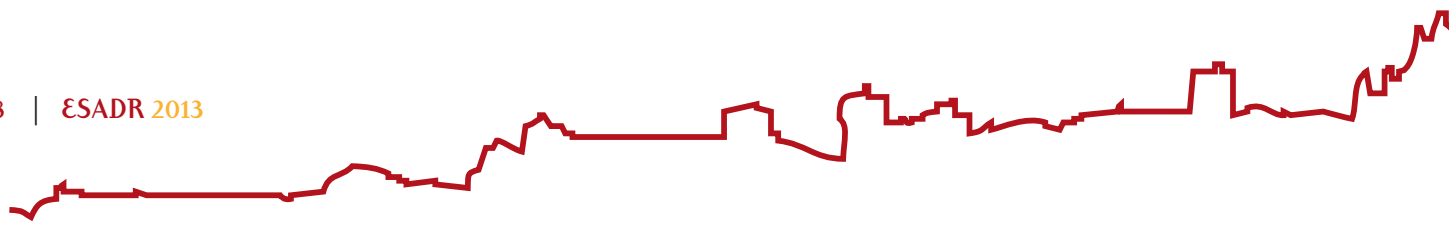
Concerning the business cost structure it can be seen that plants (42%), materials (20%), fertilizers (11%) and others (12%) are the most important. Other costs include the bumblebees (10%) and water. Direct energy (diesel and electricity for irrigation) and pesticides both contribute 8% to the costs. In terms of energy consumption direct energy (diesel and electricity) used for the field operations and the electricity used for the irrigation represents the most important factor, contributing approximately 68% and materials and fertilizers, with approximately 19% and 12%, respectively. The same order applies for the GHG emissions, with diesel and electricity responsible for 69%, fertilizers 20% and materials 10%. Pesticides do not have a great contribution on energy consumption or GHG emission, which agrees with a previous study of Antón et al. (2012).

Figure 14: Relative contribution of different inputs in the farm production to economy, energy use and greenhouse gas emissions (GHG). (Materials are the LDPE and raffia for tutoring. Others include bumblebees and water).



Source: AGREE project calculations and results

Table 5 presents total costs, energy consumption, GHG emissions and profit per ha and year. The basic scenario presents total costs per hectare around 58 500 € and the only option that allows reducing costs is option 3, with the reduction of fertilizers, pesticides and water, to approximately 56 600 €. All other alternatives have higher production



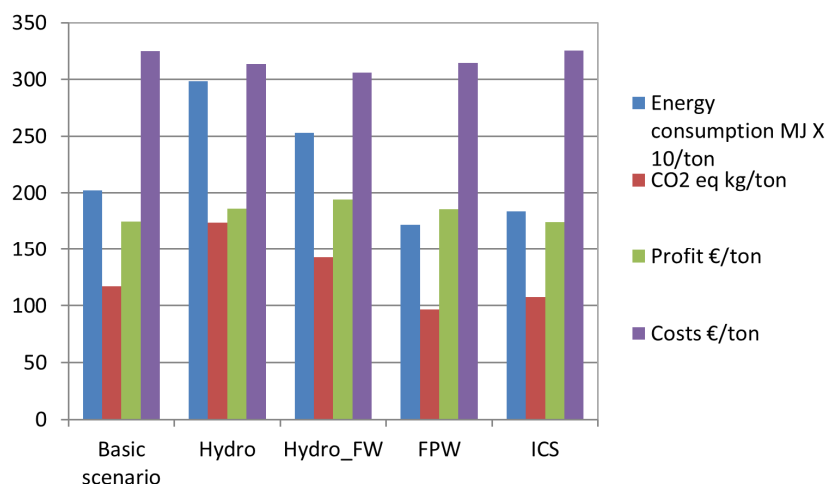
costs that vary between 0.2 to 7.2%. Concerning energy consumption, options 1 and 2 (hydroponics) show an increase of 64 and 39%, while options 3 and 4 allow a decrease, from the basic scenario, of 15 and 9%, respectively. The same occurs with GHG emissions, expressed as CO₂eq. Options 1 and 2 increased emissions by 65 and 36%, respectively and options 3 and 4 decreased it around 17 and 8%, respectively. Concerning profit, the best results are attained with the hydroponic options. Option 2 presents the best results, with an increase of 23%. Option 4, using an integrated control system to improve greenhouses management, does not significantly change farm profit which is explained by the necessary investment in equipment, not translated into sufficient input savings. More research is necessary to improve the efficiency of this alternative.

Figure 15 shows the impact on costs, profit, energy use and greenhouse gas emission (GHG) per ton of tomatoes produced. We can observe the same trend as mentioned before. The major difference is related to costs/t, which decreased in the two hydroponics options, due to higher crop yields.

Table 5: Total annual costs, PEC, GHG emissions and Profit with energy efficiency measures.

	Annual Cost		PEC		GHG		Profit	
	€/ha	%	MJ/ha	%	CO ₂ e/ha	%	€/ha	%
Greenh. Soil	58528	100	364165	100	21037	100	31472	100
Hydro	62733	107	597312	164	34785	165	37267	118
Hydro_FW	61175	105	505915	139	28559	136	38825	123
FPW	56612	97	309611	85	17418	83	33388	106
ICS	58613	100	330908	91	19322	92	31387	100

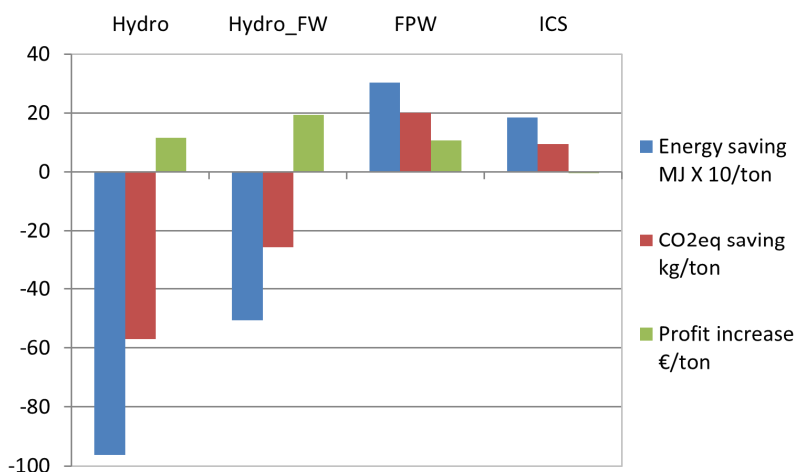
Figure 15: Impact of different energy saving measures on costs, profit, energy use and greenhouse gas emissions (GHG) per ton of tomato.



Source: AGREE project calculations and results

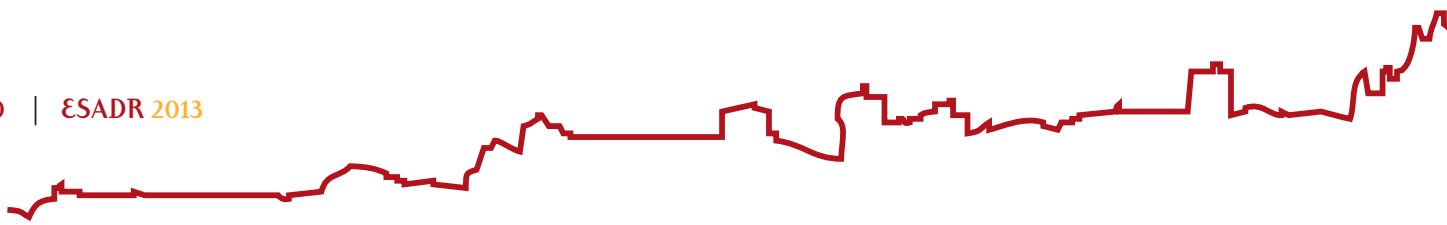
Figure 16 shows the differences between the basic scenario and the other options on energy, GHG emissions and farm profit per ton of yield. It is possible to conclude that a more rational use of input factors can contribute to save energy, to lower GHG emissions and to increase farm profit. It is also possible to increase productivity and consequently to improve the efficiency of resources use. However, several factors interact in the production system, and more research is needed in order to obtain experimental data that could allow a more detailed analysis.

Figure 16: Differences of profit, energy use and greenhouse gas emissions (GHG) savings per ton of tomato between the basic scenario and the different options studied.



Source: AGREE project calculations and results

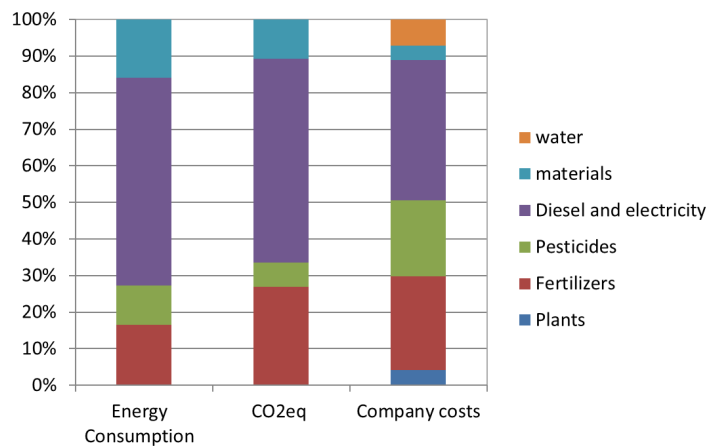
4.4.1 Permanent crop systems - Olive groves



Olive groves case is based on a typical farm located in the Alentejo region with 143 hectares with an intensive plantation production system, with an average of 314 trees per ha. Alternatives considered were a reduction of water for irrigation, fertilizers and pesticides through improved irrigation scheduling and fertilizer and pesticide application strategies based on precision farming and the super intensive production.

Figure 17 shows the relative contribution of the different inputs in total energy consumption, GHG emissions (CO₂eq) and farm costs for olive production system of this farm. Diesel and electricity represents 57 % of total energy consumption, followed by fertilizer which represents about 16%. This order holds but with relatively different proportions of each factor holds for CHG emissions (56% and 27%) and for farm costs (38% and 26%, respectively). This means that changes in diesel and electricity quantities will tend to have relatively more impact on energy consumption and CHG emissions than on costs and fertilizer changes on costs than on CHG emissions and energy consumption.

Figure 17: Relative contribution of different inputs in the farm production to economics, energy use and greenhouse gas emissions (GHG).



Source: AGREE project calculations and results

Table 6 presents costs, energy consumption, GHG emissions per ha. The super-intensive option represents an increase of 21.5% in annual costs relatively to the basic system (an increase from 1,772 € to 2,154 € per ha). Concerning energy consumption and GHG emissions the results of energy consumption and GHG emissions for the



super intensive system increase 14.9 and 26.4%, respectively, due to the use of more inputs in the production factors.

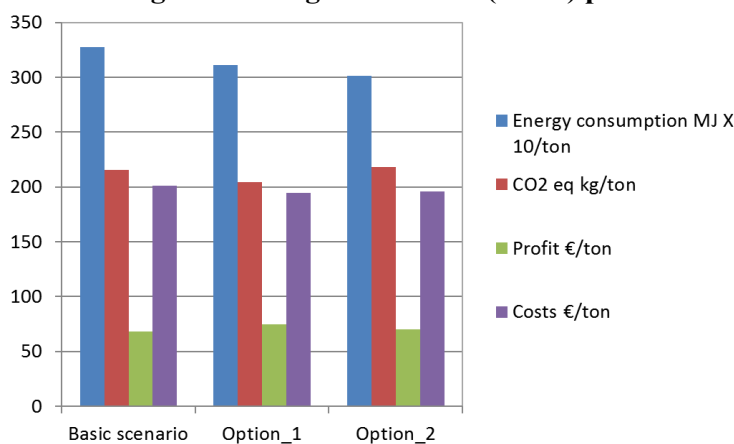
Table 6: Annual costs, PEC and GHG emissions with energy efficiency measures.

	Annual Cost		PEC		GHG	
	€/ha	%	MJ/ha	%	CO ₂ e/ha	%
Intensive	1772.38	100.0	28819.08	100.0	1898.08	100.0
Fert&Pest.Mana	1712.01	96.6	27383.18	95.0	1800.87	94.9
Super-intensive	2153.76	121.5	33113.84	114.9	2399.90	126.4

Source: AGREE project calculations and results

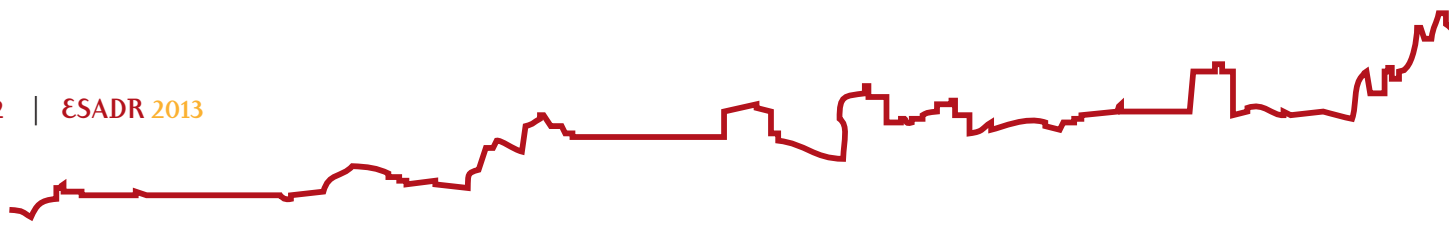
In figure 18 it is shown the impact energy use and GHG emissions, profit and costs per ton of olives produced. Results differ when we analyse them per unit of production. They are more favourable for energy consumption, with a reduction of 8%, than for other indicators, that present small changes, an increase in CHG emissions (1%), a decrease in costs (5%) and increase in profits (3%) per ton.

Figure 18: Impact of different energy saving measures on costs, profit, energy use and greenhouse gas emissions (GHG) per ton of olives.



Source: AGREE project calculations and results

Olive groves are the most important permanent crop in Portugal. In Portugal, simple precision agriculture methods were selected to be analysed for energy consumption mitigation and it was shown that energy consumption and GHG emissions was reduced by approximately 9%, when the farm profit increased around 11%. In Greece, the impact of organic farming (irrigated or non-irrigated) was investigated in a



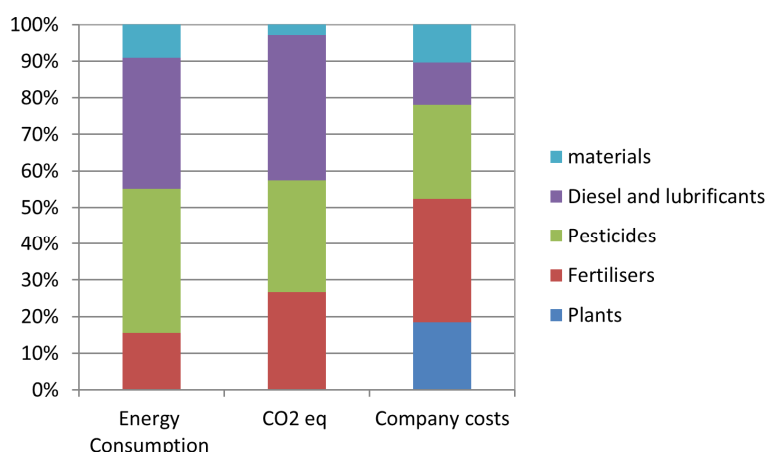
typical farm in the central part of the country. It was found that organic farming has positive effects in energy (13.2 and 11% reduction respectively) and greenhouse gas emissions (37.8 and 56.8% reduction respectively) with a significant profit increase of 46.2% and 39.3% respectively. The result in energy and greenhouse gases was based on the fact that the inputs were highly reduced (especially in terms of chemical fertilizers that were substituted by animal manure) in combination with a lower yield (but not as much as the inputs decrease). Profit was increased significantly, mainly due to higher olive prices gained from organic farming.

4.4.2 Permanent crop systems - Vineyards

The case of vineyards system is based on a typical farm of 300 hectares and a traditional vineyard cropping system in the Alentejo region. The two energy efficiency measures studied were the effect of using precision agriculture techniques for differential, spatial, application of fertilizers and pesticides and an organic cropping system which uses alternative crop protection products.

Figure 19 shows the relative contribution of the different inputs in total energy consumption, GHG emissions (CO₂eq) and costs for the vineyard farm production system assumed as the basic scenario. Different inputs contribute in different percentages to primary energy consumption, GHG emissions and total cost. Hence, changes in factor levels and mix may have different impacts on energy use, GHG emissions and costs. Pesticides, diesel and fertilizers are the most important factors concerning energy consumption and GHG emissions, by that order. Fertilizers are the most important in costs followed by pesticides. Plants and other materials are also a relevant component of costs. These refer to annual costs of plants and to tutors used in the vineyard installation.

Figure 19: Relative contribution of different processing units and inputs in the farm production to economics, energy use and greenhouse gas emissions (GHG).



Source: AGREE project calculations and results

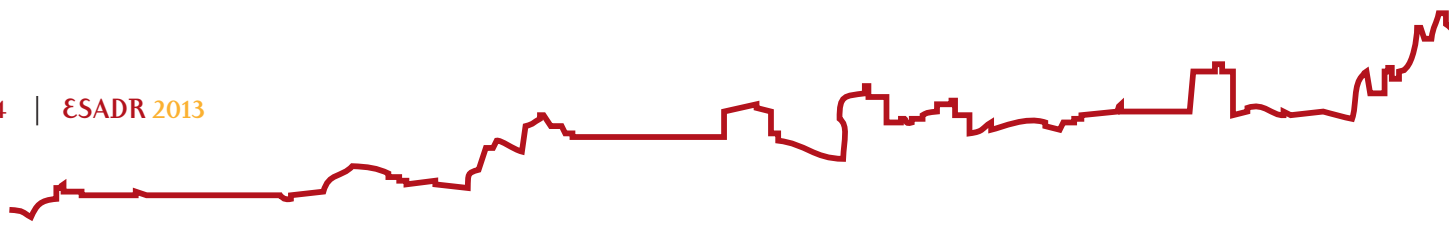
Table 7 presents the total annual costs, energy consumption and GHG emissions per hectare. Organic production and precision agriculture alternative systems decrease energy consumption, GHG emissions and costs relative to basic system. In fact, production costs decrease about 12% with organic production and 5% with the precision agriculture technologies. Energy consumption levels are reduced by 22.2 and 7.4% for organic production and precision agriculture, respectively. For the CO₂eq emissions a decrease of 25% is obtained with organic production and approximately 8% with precision agriculture. These reductions are explained in the first case with the reduction of the inputs quantity due to the differential rate application and in the second case with the use of products with organic origin, with reduced or none contribution for the GHG emissions.

Table 7: Annual costs, PEC and GHG emissions with energy efficiency measures.

	Annual Costs		PEC		GHG	
	€/ha	%	MJ/ha	%	CO ₂ e/ha	%
Traditional	2874.86	100.0	20391.68	100.0	1109.20	100.0
Organic	2539.20	88.3	15873.06	77.8	831.65	75.0
Precision Agriculture	2738.10	95.2	18875.88	92.6	1019.12	91.9

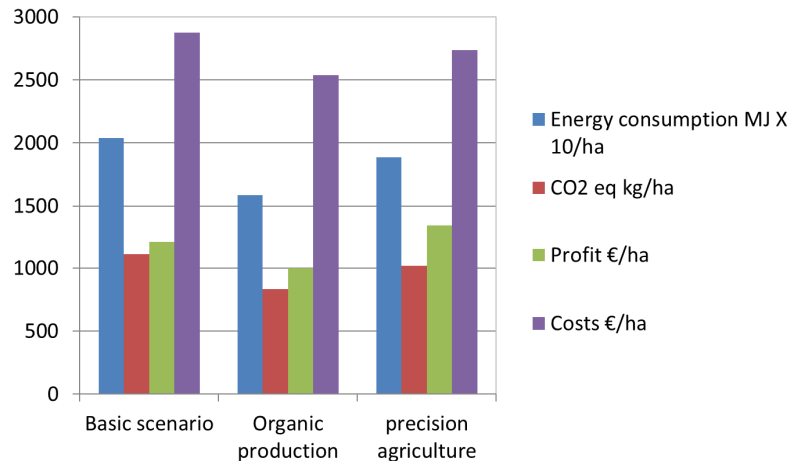
Source: AGREE project calculations and results

In figure 20 it is also showed the impact of the different options on farm profit. Organic production results in a decrease of the farm profit (approximately 17%) due to lower yield levels. In fact, higher production prices do not fully compensate negative effects of reduction of production on profits. This question must be addressed for this



kind of products because farmers will not invest to adopt these systems and produce these products. Precision agriculture profit increases around 12%. In the case of precision agriculture, the same yield level with lower costs results in profit increase.

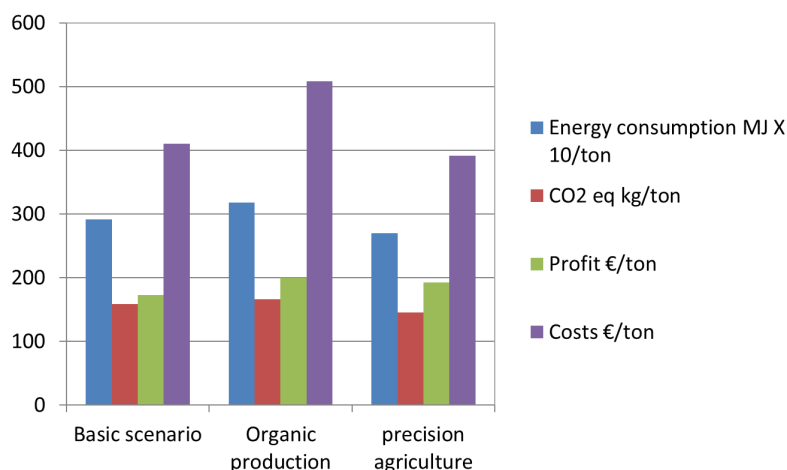
Figure 20: Impact of different energy saving measures on costs, profit, energy use and greenhouse gas emissions (GHG) per ha.



Source: AGREE project calculations and results

Figure 21 presents the impact on energy use, greenhouse gas emissions (GHG) costs and profit per ton of grapes produced. Alternative systems have different effects in energy consumption and GHG emissions per ton of product. Organic production leads to increase energy consumption (9%) and GHG emissions (5%) due to the lower productivity per ha (5t instead of 7t). Since productivity is the same in precision agriculture and factors levels are reduced energy consumption and GHG emissions per ton produced decrease, 7 and 8 %, respectively. Organic production leads to an increase of costs (24%) but profits also increase (16%) due to the higher price paid for the grapes. The use of precision agriculture technologies allows for reducing production costs (5%) and increasing farm profit (11%).

Figure 21: Impact of different energy saving measures on costs, profit, energy use and greenhouse gas emissions (GHG) per ton of grapes.

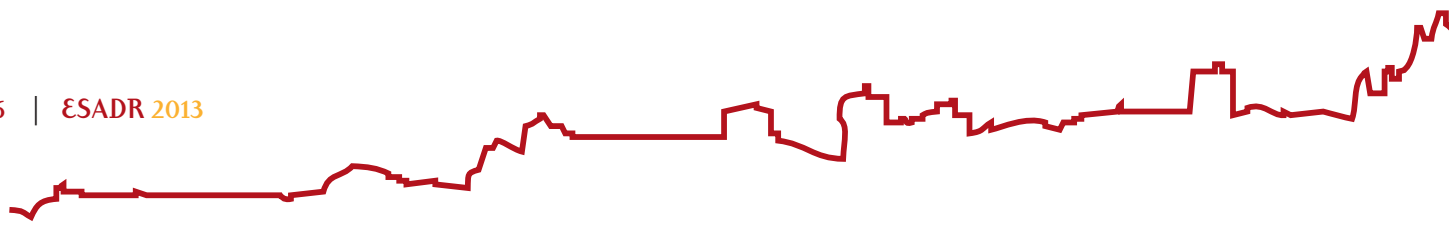



Source: AGREE project calculations and results

Alternative organic and precision agriculture production systems have different potential to reduce energy consumption and GHG emissions per hectare contributing to increase the efficiency use of resources, lowering costs and increasing farm profits. In the case of organic production, a lower productivity results in lower energy efficiency and higher environmental impact per tonne of production, higher average costs but still ending up in a higher profit per ton produced due to the product price increase effect. Precision farming alternative allows for factor decreases maintaining product productivity and therefore promotes physical and economic factor efficiency.

5. Conclusion

For the selected types of agricultural systems different inputs contribute in different percentages to total costs, primary energy consumption (PEC) and greenhouse gas emissions (GHG). For arable crops diesel and fertilizers represent more than 90 % of energy consumption and emissions but around 45 % of costs. Hence, changes in diesel and fertilizers mix used will have little cost changes but large impacts on energy use and greenhouse gas emissions. As expected in animal husbandry systems feeding takes up more than half of the energy used and represent more than half of the costs. However feeding share of GHG emissions is not so relevant with animals by itself being responsible, in all cases (dairy, poultry and pigs) for 70 % or more of total emissions. Greenhouse systems have diesel and electricity as major component on energy use and emissions but plants are the larger component on costs. For permanent crops diesel and electricity are the largest component of energy use and emissions for olives but





pesticides take this place for vineyards. These inputs, diesel and electricity, fertilizers and pesticides represent important relative parts with the latter two representing the larger shares in vineyards.

The analysis of the impact of no tillage and irrigation on arable land production system showed that both alternatives contributed to energy savings and reduced GHG emissions, increasing physical and economic factor efficiency. However, cost savings and profit earnings with these measures are relatively lower than reductions of energy consumed and GHG emissions which suggest an important role for policy incentives. Energy efficiency measures for animal husbandry systems also have different impacts in terms of decreasing or increasing energy use, emissions and costs per animal unit depending on the additional effort of factor use or intensification, respectively. However, in both cases when results are related to animal system outputs measures considered increase energy efficiency use and decrease emissions per unit of output. For greenhouse crops the same applies. In general, the options considered save energy used and reduce emissions per unit of output but cost effects and profit increase are in relative terms less significant. Permanent crops represented by olive groves and vineyards systems are the agricultural systems less responsive to energy measures considered with estimates of energy used, emissions and costs revealing small variations in negative and positive terms, i.e., reflecting relative small changes in energy efficiency per unit of output and impacts on environment and costs.

Results for energy efficiency measures and economic and environmental impacts have further to be analysed looking at questions related to quantity versus quality of agricultural products used as raw materials of differentiated products. This is for instance particularly important for vineyards, but also applies to other products, such as for olives and durum wheat, that can get capture additional value due to specific characteristics of products produced related to quantity produced that can be different when other agricultural systems technologies are used and focus is exclusively or primarily on quantity produced and on efficiency of factors used such as energy in the case of AGREE project.



References

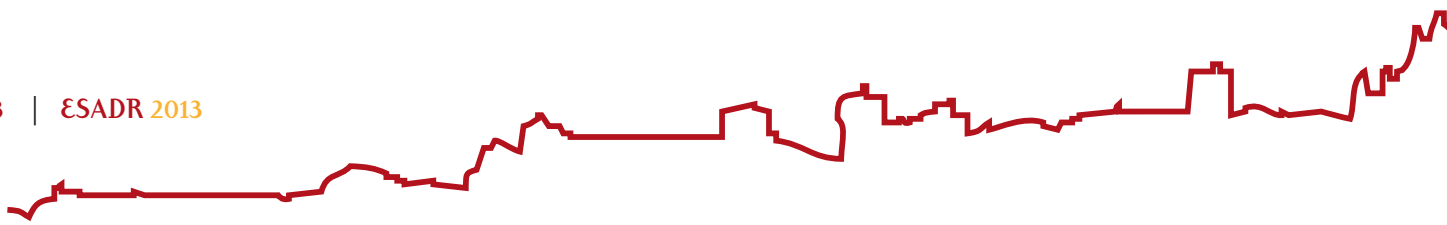
Andreas Meyer-Aurich, Hasan Jubaer, Lukas Scholz, Thomas Ziegler, Tommy Dalgaard, Hannu Yli-Kojola, Jussi Esala, Hannu Mikkola, Mari Rajaniemi, Tapani Jokiniemi, Jukka Ahokas, Janusz Gołaszewski, Mariusz Stolarski, Zbigniew Brodziński, Ryszard Myhan, Ewelina Olba-Zięty, Chris de Visser, Marcel van der Voort, Cecilia Stanghellini, Hilko Ellen, Arie Klop, Harm Wemmenhove, Fátima Baptista, Dina Murcho, Luis Leopoldo Silva, José Rafael Silva, José Oliveira Peça, Mário Louro, Carlos Marques, Antonis Mistriotis, Athanasios Balafoutis, Panagiotis Panagakis, Demetres Briassoulis (2013), Economic and Environmental Analysis of Energy Efficiency Measures in Agriculture, Report WP3 AGREE, Available on the internet: <http://www.agree.aua.gr>.

Batista, F. et al. (2013), Energy efficiency measures for different portuguese agricultural systems, in Andreas Meyer-Aurich et al. (2013), Economic and Environmental Analysis of Energy Efficiency Measures in Agriculture, Report WP3 AGREE, Available on the internet: <http://www.agree.aua.gr>.

Gołaszewski J., de Visser C, Brodziński Z, Myhan R, Olba-Zięty E, Stolarski M, de Buissonjé F, Ellen H, Stanghellini C, van der Voort M, Baptista F, Silva L, Murcho D, Meyer-Aurich A, Ziegler T, Ahokas J, Jokiniemi T, Mikkola H, Rajaniemi H, Balafoutis A, Briassoulis D, Mistriotis A, Panagakis P, Papadakis G (2012). State of the Art on Energy Efficiency in Agriculture. Report WP2 AGREE. Available on the internet: http://www.agree.aua.gr/Files/Agree_State.pdf.

Gołaszewski J., de Visser C, Brodziński Z, Myhan R, Olba-Zięty E, Stolarski M, de Buissonjé F, Ellen H, Stanghellini C, van der Voort M, Baptista F, Silva L, Murcho D, Meyer-Aurich A, Ziegler T, Ahokas J, Jokiniemi T, Mikkola H, Rajaniemi H, Balafoutis A, Briassoulis D, Mistriotis A, Panagakis P, Papadakis G (2012a). Energy Saving Measures in Agriculture- Overview on the Basis of National Reports. Project Deliverable 2.3 AGREE. Available on the internet: <http://www.agree.aua.gr/Files/Publications/D2.3%20Energy%20Efficiency%20Measure%20in%20Agr.pdf>.

Rosado, Maurícia, (2009), Contributo para a Integração da Componente Ambiental na Avaliação Económica de Sistemas de Produção Agro-Pecuários, Dissertação de Doutoramento em Zootécnica, Universidade de Évora.



ECONOMICAL AND ENVIRONMENTAL TRADE-OFFS OF TRADITIONAL MEDITERRANEAN DRY FARMING SYSTEMS IN THE ALENTEJO REGION OF PORTUGAL

Maurícia Rosado

University of Évora, Department of Animal Science, ICAAM, Apartado 94, 7000 Évora, Portugal, mmcr@uevora.pt

Carlos Marques

University of Évora, Department of Management, CEFAGE, Apartado 94, 7000 Évora, Portugal, cmarques@uevora.pt

Rui Manuel de Sousa Fragoso

University of Évora, Department of Management, CEFAGE, Apartado 94, 7000 Évora, Portugal, rfragoso@uevora.pt

Abstract

This paper aims assessing the economic and environmental trade-offs of traditional Mediterranean dry farming systems in the Alentejo region, southern Portugal. An environmental analysis using environmental indicators, such as the nitrogen balance, energy input, greenhouse gas emissions, acidification, eutrophication impacts, as well as an aggregated eco-indicator were developed. For assessing economic returns of farming systems, a budgeting analysis was carried out. Then the environmental and economic analysis was integrated in a linear programming model which was developed for a regional farm type. This model was used to assess the farm net profit under different policy measures, as well as to obtain the economic trade-off of each environmental indicator through its dual solution regarding the respective shadow prices. Results show that farm net profit greatly varies among crops for the different policy scenarios considered and the economic and environmental trade-offs highlights the important role of other crops than cereals in rotations for promoting the sustainability of Mediterranean crop system.

Key Words: Trade-offs; Economic and environmental analysis; linear programming; shadow prices.



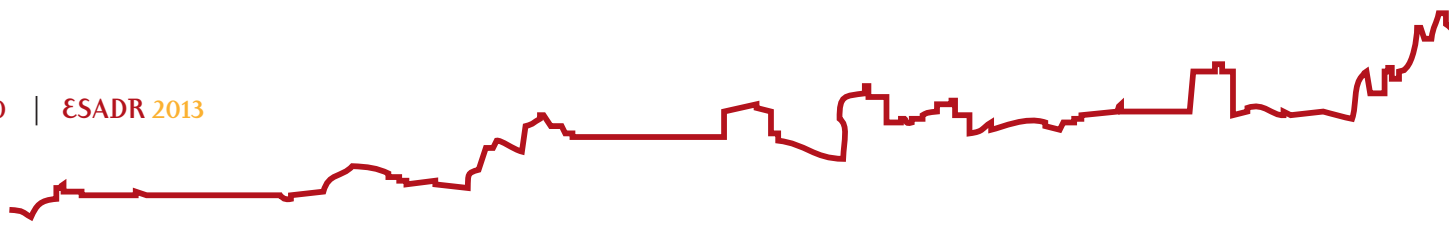
ECONOMICAL AND ENVIRONMENTAL TRADE-OFFS OF TRADITIONAL MEDITERRANEAN DRY FARMING SYSTEMS IN THE ALENTEJO REGION OF PORTUGAL

1. Introduction

The concept of sustainable development arose at the end of the last century, when the demand for fossil fuel energy exceeded its ecological limits and society looked for a concept that reconciled the ecological, economic and social goals of the present with those of future generations. Nowadays, managing the present and future in a sustainable way is a task that will accompany humanity into the future (Schlör et al., 2012). To address this challenge in a global and interconnected world, the world's agriculture must be competitive but also sustainable. European agriculture is, obviously, no exception. Public policies, such as the Common Agricultural Policy (CAP) in the European Union (EU), must deal with this challenge and provide guidance. That is their major role.

There is evidence and public concern about the environment, namely regarding loss of biodiversity, climatic change and air, soil and water degradation, and the recognition that farmers, due to the specific characteristics of their activity and connection with environmental and natural resources, play a role in producing public goods and services that markets undersupply (Cooper et al., 2009; Marques, 2010). The introduction of sustainability objectives requires the redefinition of reference values for agricultural activities, which must be based not only on the recognition of multifunctional land use but also on the complex role that agriculture plays in society (Gomiero et al., 2006, Newman et al., 2013).

CAP has extended its first and foremost objective of agriculture as that of supplying food to include policies relating to environmental effects and concerns, namely by decoupling, promoting agro-environmental policy measures and adopting ecological cross compliance requirements. Thus, support and orientation for farmers is expected to be closely tied to the environmental performance of their farming systems, which requires effective integrated economic and environmental evaluation (Pacini et al., 2004; Van Ittersum et al., 2008). Indeed, in the current CAP reform, part of farm support payments already includes a required *greening* to implement this orientation.



The environmental component of sustainable development is usually addressed in a very general way and the variety of impacts is rarely considered. However, it is essential to consider the full range of impacts for accurate and transparent environmental assessment (Joumard, 2011). To meet this challenge, evaluation of the sustainability of agricultural systems and methods to determine those with greater yields relative to their resource use and environmental degradation have been proposed (Martin et al., 2006). To provide effective guidance and deliver public results, policies must be based in real and appropriated evaluation of farmer actions and their environmental contribution. This requires an integrated economic and environmental evaluation of agricultural systems (Pacini et al., 2004; Van Ittersum et al., 2008).

Facing to those challenges, this paper presents the case study of the Alentejo region, southern Portugal, in which a comparison between two traditional Mediterranean dry land farming systems is done based on an integrated economic and environmental analysis. Thus, the contrast between a traditional dry land farming system and an extensive livestock mixed farming system in the Alentejo region seeks to explore and analyze economic, production and environmental trade-offs. Another question that the paper treats is the relationships between environment and policy measures, such that results can be used to guide CAP instruments.

The paper is organized in three more sections. The following section describes the material and methods. First a general overview about the analytical framework used is done and then the two traditional Mediterranean farming systems are presented, as well as, the linear programming models developed. Section 3, regards to environmental and economic results and trade-offs are analyzed and explored. In the final section the major conclusions and future research implications are presented.

2. Material and methods

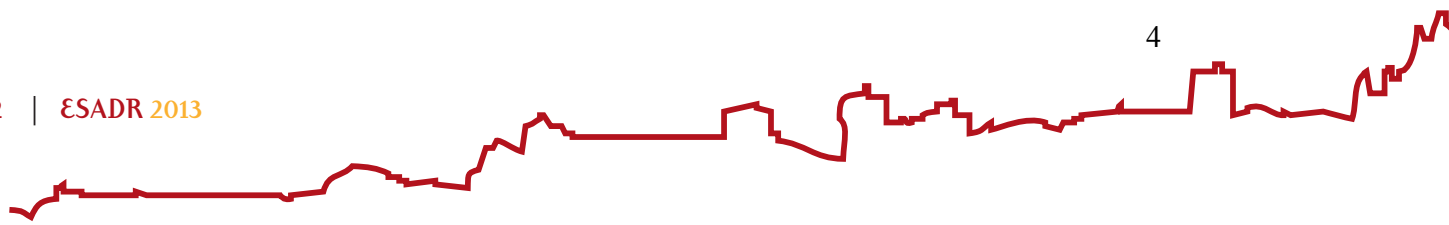
Analytical systems and methodologies for obtaining quantitative descriptions of the trade-offs between different objectives, such as gross margin, greenhouse emissions and the energy input use in farm, has been developed (Ten Berge et al., 2000). Linear programming models applied at farm level allows integrate economic, production and environmental issues based on micro accounting data and technical knowledge of farming systems.



In order to meet the purpose of this paper a linear programming model was developed to analyze the economic, production and environmental trade-offs in the Alentejo region, located in southern Portugal between Tagus River and Algarve. The analysis was based on two traditional Mediterranean farming systems: a dry land cropping system; and an extensive livestock mixed system. The model maximizes the farm profit in the long term (net margin) and was developed at the farm level for each one of the two farming systems studied, considering land as a fixed resource and that the farmer's behaviour is subjected to crop area in the rotation. The environmental analysis is integrated with economic analysis considering in the model counter equations to model the input-output relationships between production and environmental impacts. Therefore, the farmers' behaviour regarding crops and production technologies is based on farming system profit and after has been taken the decision the model allows to assess its environmental impacts. In this structure is easy considering several indicators and for each one is possible to have a shadow price, which represents the trade-off between economic profit and environmental impact.

Among the agro-environmental issues and respective indicators that have been proposed to evaluate environmental effects of production system technologies at farm level, nutrient (Simon et al., 2000; Bassanino et al., 2007), pesticide use (Padovane et al., 2004), energy (Pervanchon et al., 2002; Koga, 2008), soil organic matter (Ernest and Siri-Prieto, 2009), soil preparation and sowing (Borin et al., 1997; López-Fando and Pardo, 2009) and biodiversity (Manhoudt et al., 2005) are frequently used and reported in the literature. The agro-indicators selection depends upon project objectives, data availability, policy options and scenarios.

Rosado et al. (2012) presents a critical review of methods and different evaluations reported in scientific literature for crops under different systems and conditions (Tsatsarelis, 1993; Nguyen and Haynes, 1995; Legendre, 1997; Moerschner and Gerowitt, 2000; Mattson, 2003; Loges et al., 2005; Nemeck and Baumgartner, 2006; Charles et al., 2006; Koga, 2008), including prior evaluations for the different Portuguese systems and regional conditions, namely for Alentejo crop activities, such as wheat and sunflower (Teixeira et al., 2008), as well as for similar conditions in regions of Spain (Hernández et al., 1995).



Selected indicators in this study include nutrient balance for nitrogen, input level for energy and life cycle assessment (LCA) approach for greenhouse gas emissions, acidification and eutrophication effects and a composite eco-indicator impact factor calculated with SimaPro 6.0 software.

The nitrogen indicator evaluation is based on Simon et al. (2000), with inputs coming from fertilizer contents, biological incorporation of legume crop and atmospheric deposition, and output calculated from crop production quantities and nitrogen content tables (Soltner, 2004).

The energy input analysis includes the use of direct and indirect energy (Hulsbergen et al., 2001). Direct energy is related to the consumption of fossil fuels and lubricants in cropping operations (Audsley, 2000). The indirect energy includes the energy associated with seeds (Safe, 2003), fertilizers (Hulsbergen et al., 2001), pesticides (Green, 1987) and machinery (Rosado, 2009)

Total absolute values for greenhouse gas emissions, acidification, eutrophication and composite eco-indicator were based in coefficient unit values of SimaPro software package of life cycle analysis. Output file of SimaPro provides data on eleven environmental indicators (including those three), and a composite weighted and normalised single value indicator of global environmental effect (Eco95).

A description of the traditional Mediterranean dry land farming system and of the traditional Mediterranean extensive livestock mixed system and corresponding models are presented follows..

2.1. The traditional Mediterranean dry land farming system

The traditional dry land farming system is based on a typical farm of 250 hectares, with clay soils and without trees, in the Beja district (Rosado, 2009). This farming system is based on a crop rotation of four years (sunflower – durum wheat – green pea – durum wheat) in which cereal alternates with sunflower and pea. The crop rotation are established to achieve high production levels of cereal, namely durum wheat that have had specific grants in the past support policy.

Soil conventional preparation with deep plough, in October, is followed by two harrowing soil mobilization, during winter, and one before sunflower seeding, in March, which begins the crop rotation. Sunflower does not receive fertilization or herbicide



treatment and it is harvested in August. The soil for durum wheat is prepared during November with chisel plough followed by harrow. Seeding occurs in December with a seed density of 200 kg per hectare and fertilization levels of 300 kg per hectare (N-P-K respectively 20-20-0). During February a chemical weeding is followed by a nitrogen fertilization with 150 kg per hectare (N 27%). The harvesting (3 tons per hectare of wheat and straw) is in July. The green pea seeding occurs next in January with 150 kg per hectare. After a harrow and two chisel plough operations are done for soil preparation. As with sunflower, pea does not require weeding nor fertilization treatments. The harvest of 1100 kg of pea, per hectare, is also in July. The durum wheat ends crop farming rotation exactly with the same annual calendar as wheat but with expected productivity of 2.9 tons per hectare.

The unitary environmental impacts for crops and for the all farming system are presented in Table 1.

Table 1: Environmental effects for crop activities and system

Environmental indicators	Sunflower	Durum Wheat 1	Green Peas	Durum Wheat 2	Crop System
Nitrogen Balance (kg/ha)	-17.0	22.9	35.7	25.7	16.8
Energy Input (GJ/ha)	2.93	11.37	3.81	9.60	6.93
Greenhouse gas emissions (kg CO ₂ eq./ha)	369	2514	186	2262	1333
Acidification (kg SO ₂ eq./ha)	3.45	33.36	3.21	31.32	17.84
Eutrophication (kg PO ₄ eq./ha)	0.62	10.74	1.47	10.38	5.80
Eco-indicator 95 (pt/ha)	1.92	9.13	1.77	8.10	5.23

Source: Nitrogen and energy accounts and SimaPro output

The mathematical structure of the linear programming model developed to assess this farming system is presented follows:

$$Max Z = \sum_p p_j X_j \tag{1}$$

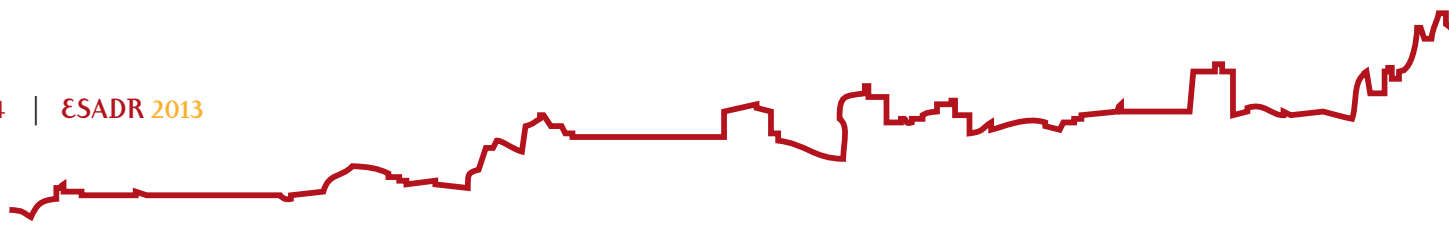
Subject to

$$\sum_j X_j \leq s \tag{2}$$

$$X_j \leq x_j^0 \tag{3}$$

$$\sum_j e_{ij} X_j \leq x_j^0 \quad \forall i \tag{4}$$

where, X_j is the decision variable regarding the area of crop j ; E_i is the endogenous variable that measures the environmental impact respecting to indicator i ; s and x_j^0 are



the exogenous parameters of available land and maximal crop area in the rotation, respectively; p_j is the net margin by crop j ; finally, e_{ij} is the technical coefficient that measures the unitary environmental impact of crop j regarding indicator i .

The expression (1) is the objective function and corresponds to maximizing the farm net margin. The equation (2) represents the land constraint in the model. Equations (3) and (4) are related to crop sheets in rotations and input-output relations between production and environment, respectively.

2.2. The traditional Mediterranean extensive mixed farming system

The second system studied is an integrate crop-livestock production system, where animals use plants and more fibrous resources as feed, transforming raw material efficiently and directly into useful goods for humans and so contributing to enhance sustainability of the system (Bocquier and González-García, 2010).

This crop-livestock system is carried out in a typical farm of 189 ha, with Mediterranean soils in the Évora district. Cropping options at this farm has five annual crops in rotation (wheat – oats – vetch oat - durum wheat – ryegrass), occupying an area of 110 hectares, this is, twenty two hectares per culture. Natural grassland occupies 53.7 hectares in sub-covert of dispersed tree cover of cork and holmoak “montado”, the typical Mediterranean forest. The natural pastures consist of annual grasses and some legumes. There are also twenty five hectares of natural pasture improved with fertilizer, and an olive grove that occupies 23.3 hectares but that will not be subject of the present study.

Vetch oat and ryegrass are for hay production for animal feeding, as well as, oats grains and cereals straws and stubbles. The wheat and durum wheat grain is marketed as well as part (77,3%) of wheat durum straw produced is marketed. Natural grassland and improved pasture will be directly grazed by farm animals. The livestock is based on beef cattle in very extensive systems to addressing the weaknesses of the soil, as well as nature conservation that appears progressively valued by landowners (Menezes et al, 2010).

Soil conventional preparation for the soft wheat is made in the early November with two disc harrowing soil mobilizations, followed by one soil mobilization with a double cultivator. Seeding occurs, in November 15, with a drill lines and a roller

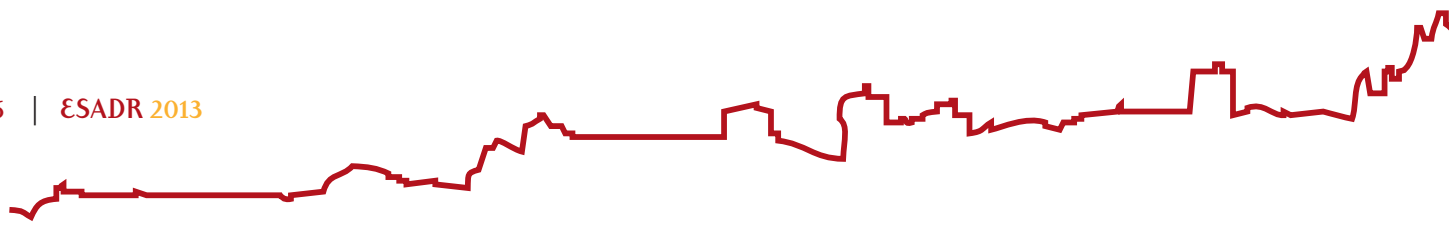


coupled, using a seeding density of 180 kg per hectare and fertilization levels of 250 kg per hectare (N-P-K respectively 18-46-0). Weed spraying is in middle February, and the covering fertilization using 190 Kg (Urey 46%) is at first half of March. The wheat harvesting (2.1 tons per hectare of wheat and straw) is in July. The production technology used for the durum wheat is identical to soft wheat with exception of seeding density, which is 200 Kg per hectare in former and 180 Kg per hectare in the later.

Soil conventional preparation for the oats is made in middle October with disc harrowing and two soil mobilization crossed, followed by seeding, with a drill lines and a roller coupled and using 150 Kg of oat seed and 190 Kg fertilizer per hectare (N:P:K respectively 7-14-14). Cover fertilization is in middle February with 100 Kg per hectare (Urey 46%). Oats harvest is in middle June with grain productivity of 1800 Kg per hectare and 1800 Kg of straw per hectare.

Oat vetch soil preparation occurs in the 1st half of October with harrowing mobilization followed by cultivator. Seeding is made with a drill lines and a roller coupled using 140 kg of seeds per hectare (80 kg oats and 60 kg of vetch), simultaneously is carried out a fertilization using 150 kg of fertilizer (N-P-K respectively 18-46-0). In the 2nd half of January the oats vetch fertilization is made with 100 Kg fertilizer per hectare (N: 27%) using a centrifugal distributor. In the second half of May, the forage is cut using a mower conditioner and two days later a gleaner turns the cut material towards a faster drying of the green material. After drying, the hay is baled, collected and stored and the yield of 4500 kg per hectare is intended for animal feed.

Ryegrass soil preparation sowing occurs in the 1st half of October with a double cross harrowing. Seeding takes place in the 1st half of October, with a drill lines to which it is coupled a roller. The seeding density is 25 kg per hectare and fertilizer application is of 130 kg of fertilizer (N-P-K respectively 15-15-15) per hectare. In the 2nd half of December the animals (beef cattle) graze this ryegrass (cutting teeth), after which it proceeds to a fertilization with 110 kg of fertilizer (N: 27%) using a centrifugal distributor. In the 1st half of May the forage is cut using a mower conditioner. In following days the forage is turning with a gleaner to forage dry enough to be baled.



The average yield per hectare is 4000 Kg of hay and is intended entirely for the livestock feeding.

At natural grassland improvement it is only proceed to fertilizer application in final of the 2nd half of September, applying 220 kg of superphosphate per hectare.

The natural pasture is intended to feed livestock and its availability varies throughout the year, as well as, the chemical composition and nutritive value. Hence, it was considered in the model five periods, which regard different quantities produced and nutritional value through the year (Rosado, 2009).

Livestock activity is based on the production of beef cattle with an extensive system. The breeding stock includes 80 crossbred cows with similar characteristics to Charolaise, twelve replacement heifers and two bulls (one Charolaise and other Limousin). The mating is concentrated between November and December and during this time the bulls accompany the cows grazing. For the reproductive parameters was considered a fertility rate of 90% and a mortality rate up to calves weaning of 3%. Annually has born thirty-five male calves and thirty-five female calves. All the males calves and twenty-three female calves are sold after weaning with live weight of 245 kg and 220 kg, respectively. The replacement of the males is done with animals purchased from abroad the farm. The food requirements of different categories of animals on the farm were calculated based on tables INRA (Soltner, 2004), depending on the weight of the animal and his physiological state.

The unitary environmental impacts for crops and for the all mixed farming system are presented in Table 2.

Table 2: Environmental effects for crop activities and system of crop-livestock

Environmental indicators	Wheat	Durum Wheat	Oat	Vetch x oat	Rye grass	Crop System
Nitrogen Balance (kg/ha)	75.7	79.7	23.4	20.4	2.3	40.3
Energy Input (GJ/ha)	11.52	11.99	8.45	6.59	5.02	16.8
Greenhouse gas emissions (kg CO ₂ eq./ha)	2516	3095	1344	698	1016	1734
Acidification (kg SO ₂ eq./ha)	35.9	43.7	19.0	10.0	12.6	24.2
Eutrophication (kg PO ₄ eq./ha)	11.6	13.1	7.6	6.1	6.4	8.96
Eco-indicator 95 (pt/ha)	9.94	11.31	5.97	3.49	4.15	6.97

Source: Nitrogen and energy accounts and SimaPro output

In this case, the dry farming model presented before was transformed in order to consider livestock production and their complementarities with crop system, namely,



with forage crops and pastures. The mathematical structure of the linear programming model developed for the mixed farming system is presented follows:

$$\text{Max } Z = \sum_k p_k X_k + pY \quad \text{with } k \in j \quad (5)$$

Subject to

$$\sum_j X_j \leq s \quad (6)$$

$$X_j \leq x_j^0 \quad (7)$$

$$\sum_j e_{ij} X_j \leq x_j^0 \quad \forall i \quad (8)$$

$$\sum_l n_{lt} X_l + \sum_f W_{ft} - r_t Y \geq 0 \quad \forall t \text{ and with } l \text{ and } f \in j \quad (9)$$

$$\sum_t \frac{W_{ft}}{n_{ft}} \leq X_f \quad \forall f \quad (10)$$

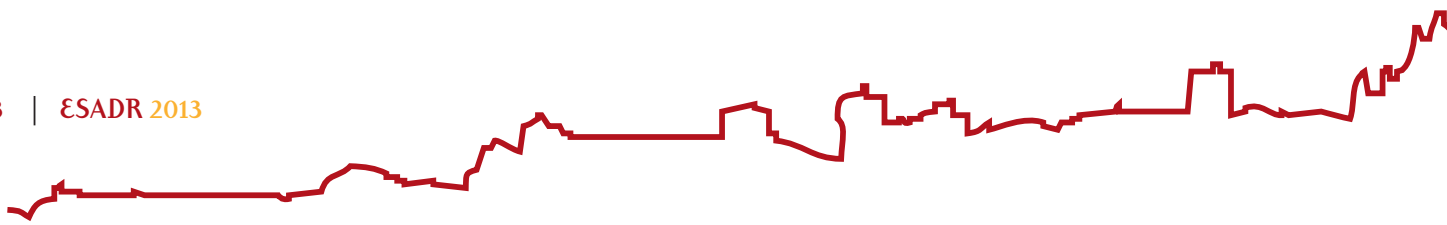
$$Y \leq y^0 \quad (11)$$

where, indexes k, l and f are respecting to selling crops, pastures and forage crops, respectively; Y is a decision variable corresponding to the level of livestock activity; W_{ft} is an endogenous activity that measures the consumption of forage f in the year period t; n are the nutritional coefficient parameters of pasture l or forage f in the period t; r_t are the livestock nutritional requirements in each period t; and x^0 is the up boundary of livestock activity Y.

Face to the former model presented to dry land cropping system, this model has as main changes the addition of livestock activity profits in the objective function (5) and the new equations (9), (10) and (11). The first one regards the feed balance according to the year period. The second assures that forages consumption does exceed the production. The last one bounds livestock activity to the observed levels in the farm.

3. Results

Economic and environmental results for the dry land farm cropping system model are presented in Table 3. Farm results reflect a substantial contribution of subsidies in farm income, making up almost 73 in a total net return of 81 thousand Euros, representing 89 percent of farm net return. Total area of 250 hectares is fully



used with the four crops rotation imposed by the rotational restriction which indicates that sunflower and green peas use 62.5 and durum wheat 125 hectares. Global environmental impacts obtained in absolute values are 4.2 tons of nitrogen, 1.6 GJ of energy, 333.2 tons of CO₂ eq., 4.4 tons of SO₂ eq., 1.4 tons of PO₄ eq. and an overall eco-indicator impact of 1 308 points. These total absolute estimates are particularly important for comparing impacts and trade-offs of different crops, production technologies and farming systems and hence for indicating potential reductions of environmental impacts.

Dual prices represent marginal costs of environmental effects and indicate trade-offs between economic and each environmental criteria. For instance, farm total greenhouse gas emissions is estimated to be around 333 tons CO₂eq. To reduce this value by a ton of CO₂eq., a 0.3 % reduction on the farm emission level, requires a cost in farm return of 244 Euros. The same applies to each agri-environmental indicator selected. In aggregate terms of these effects, to reduce ecological farm impact (Eco 95 indicator) by one point, a 0.0076 percent decrease (because farm score is 1307.5 points), requires a cost of 62.21 Euros.

Table 3 – Farm environmental effects and economic trade-offs for crop system farm

Rows	Values	Dual Prices
Net Farm Income (€)	81 336	d.a.
Subsidies (€)	72 630	d.a.
Land (ha)	250	326 (€/ha)
Rotation implementation 1 st (ha)	0	169 (€/ha)
Rotation implementation 2 nd (ha)	0	28 (€/ha)
Rotation implementation 3 th (ha)	0	157 (€/ha)
Nitrogen Balance (Kg N)	4 203.75	19.35 (€/KgN)
Energy input (GJ)	1 655	49.15 (€/GJ)
Emissions Green house (Kg CO ₂ eq.)	333 175	0.244(€/KgCO ₂ eq.)
Acidification (Kg SO ₂ eq.)	4 458.75	18.24(€/Kg SO ₂ eq.)
Eutrophication (Kg de PO ₄ eq.)	1 450,63	56.07 (€/Kg PO ₄ eq.)
Eco 95 (Pt)	1 307.5	62.21 (€/Pt)

d.a.= doesn't apply

Source: LP model results

Another way to compare results for alternative environmental effects is to compute the environmental effects for the same reduction in costs. For example, with one Euro reduction in the costs the greenhouse gas emissions can be reduced by 4.1 Kg CO₂eq. and the acidification by 0.05 Kg SO₂eq.



Results for the extensive mixed farming system farm model are presented in table 4. All the land available is used with the rotation, which means that each crop included, soft wheat, oats, oats and vetch, durum wheat, ryegrass, natural pasture and improved area use 35,7 ha of land. Feedstuff produced under this rotation is able to meet nutritional requirements of a herd of 118 breeding cows. Mixed system farm economic result is approximately 42.8 thousand euros. However, subsidies to cereals and to cows received of almost 64 thousand euros, value above net farm income, indicating that farm social return is negative and that without heavy policy support this mixed farming system without adjustments is not sustainable.

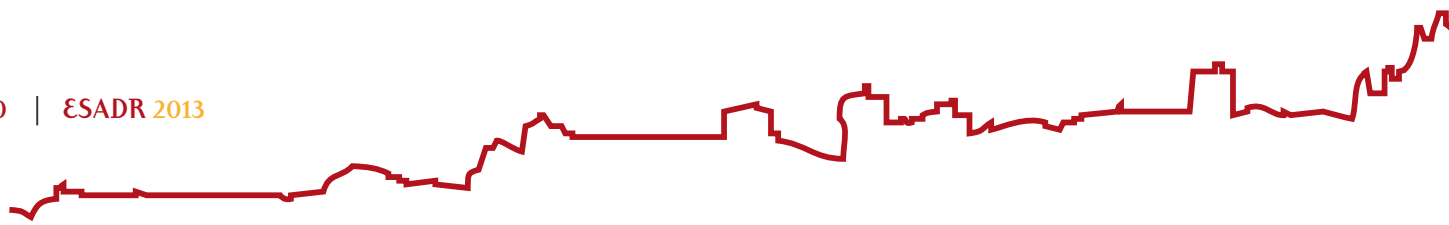
Table 4 – Environmental effects and economic trade-offs for mixed system farm

Rows	Values	Dual Prices
Net Farm Income (€)	42 791	d.a.
Subsidies (€)	63 955	d.a.
Land (ha)	250	171 (€/ha)
Rotation implementation 1 st (ha)	0	3,9 (€/ha)
Rotation implementation 2 ^{sd} (ha)	0	17,3 (€/ha)
Rotation implementation 3 th (ha)	0	0 (€/ha)
Rotation implementation 4 th (ha)	0	246,3(€/ha)
Rotation implementation 5 th (ha)	0	236,2(€/ha)
Rotation implementation 6 th (ha)	0	146,5(€/ha)
Rotation implementation 7 th (ha)	0	35,3(€/ha)
Animal Nutritional Balance 1 st (FU)	0	0,147(€/FU)
Animal Nutritional Balance 2 ^{sd} (FU)	0	0,147(€/FU)
Animal Nutritional Balance 3 th (FU)	0	0,147(€/FU)
Animal Nutritional Balance 4 th (FU)	0	0,147(€/FU)
Animal Nutritional Balance 5 th (FU)	0	0,147(€/FU)
Nitrogen Balance (Kg N)	8 075.4	5.30(€/KgN)
Energy input (GJ)	1 813.6	23.60 (€/GJ)
Emissions Green house (Kg CO ₂ eq.)	395 621	0.11(€/KgCO ₂ eq.)
Acidification (Kg SO ₂ eq.)	4 584.3	9.61(€/Kg SO ₂ eq.)
Eutrophication (Kg de PO ₄ eq.)	1 737.9	24.62 (€/Kg PO ₄ eq.)
Eco 95 (Pt)	1 378.6	31.05 (€/Pt)

d.a.= doesn't apply

Source: LP model results

Global environmental impacts obtained in absolute values are 8 tons of nitrogen, 1.8 GJ of energy, 395.6 tons of CO₂ eq., 4.6 tons of SO₂ eq., 1.7 tons of PO₄ eq. and an overall eco-indicator impact of 1 379 points. Dual prices of environmental effects indicate trade-offs between economic and each environmental criteria. Values vary from 0.11 Euros per €/KgCO₂eq to 24.62 euros per kg of PO₄eq. In aggregate terms costs



with these effects are evaluated by Eco 95. To reduce ecological farm impact (Eco 95 indicator) by one point, a 0.0073 percent decrease (because farm score is 1378.6 points), requires a cost of 31.05 Euros.

4. Conclusions

The Economic and environmental evaluation of dry land cropping systems of the Alentejo agriculture was performed using economic and agro-environmental indicators and the trade-offs between economic and environment criteria were explored. The systems are rotationally based so the contribution of the different included crops was also evaluated.

Economic results for the crop system farm show the importance of cereals in the rotation mechanism. This is also due to subsidies that benefit this crop system since they represent 89 per cent of farm net income and are particularly tied to durum wheat. Durum wheat has net profits two to three times higher than sunflower and green peas. Hence, they have in relative terms a negative impact in the average economic results of the crop system. However, in environmental terms these crops have a substantial positive effect. Environmental estimates indicate that sunflower and green pea effects are 4.5 and 4.9 times lower than the durum wheat's and they reduce the magnitude of the environmental impact of the crop system by almost 40 per cent. Farm economic and environmental effects and trade-offs were estimated for composite eco-indicator and for each environmental issue. Composite ecological impact reduction by one unit costs 62 Euros in the farm profit. Unit costs, for each environmental issue, vary from 244 Euros for a ton. of CO₂eq, of greenhouse emissions, to 56 thousand Euros for a ton of PO₄eq., in terms of eutrophication. To have a relative evaluation of the different environmental issues, trade-offs results should be compared with their weights in the composite ecological indicator.

Mixed system farm net returns are half of net returns of the crop system farm. Economic results for the mixed system farm indicate that subsidies are even more important in relative terms in mixed system farming because of high levels set for breeding cows. In total they represent 150 percent of farm net returns hence indicating farm social net returns negative. Relatively to crop system farm subsidies for mixed system farm represent 88 percent. Although an extensive production technology is

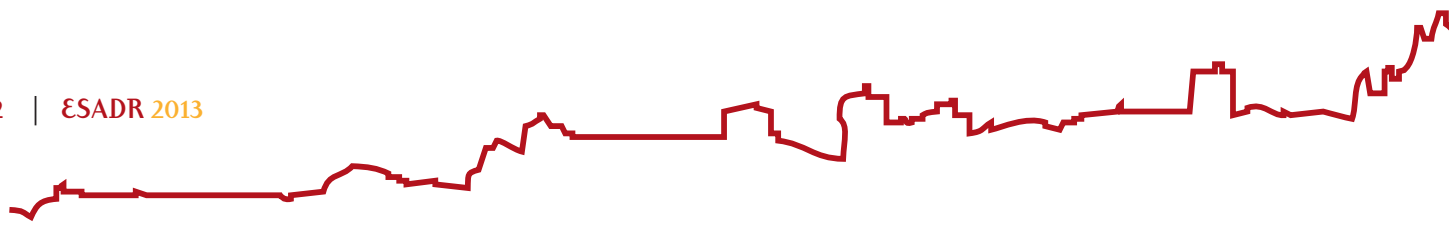


adopted for breeding cows including natural and improved pasture areas complemented with hay and straw forage crops, environmental total impact of the mixed system farm is higher than of crop system farm in all items, varying from 102 to 192 percent for acidification to nitrogen balance, respectively, and in aggregated terms, with an overall ecological indicator score 5.4 percent higher. However, mixed system farm costs to reduce environmental impact are lower than for crop system farm, since they relate with returns sacrifice that are lower for this farm, ranging from 27 to 52 percent for nitrogen balance and acidification, respectively, and 50 percent lower in aggregated ecological terms.

Economic and environmental results presented in this paper for these two system farms in Alentejo may be very helpful to calibrate the effectiveness of environmental policies since they are trade-offs that indicate farmer costs with environmental reduction per item and in aggregated terms. Results also suggest that the relative importance of past subsidies on these dry land system farms can be more effectively used in future agricultural policy to play an important role combining economic and environmental concerns and promoting these systems farm sustainability.

References

- Audsley, E., (2000), Systematic procedures for calculating agricultural performance data for comparing systems, In Proceedings of 2nd European Seminar on LCA of Food Products, 25 e 26 January, Lei-Hague.
- Bassanino, M. Grignani, C., Sacco, D., Allisiardi, E., (2007), Nitrogen balances at the crop and farm-gate scale in livestock farms in Italy, *Agriculture, Ecosystems & Environment* vol.122 (3), pp. 282-294.
- Bocquier, F. and González-García, E., (2010), Sustainability of ruminant agriculture in the new context: feeding strategies and features of animal adaptability into the necessary holistic approach. *Animal*, 4:7, pp. 1258-1273.
- Borin, M., Menini, C. and Sartori, L., (1997), Effects of tillage systems on energy and carbon balance in north-eastern Italy, *Soil & Tillage Research*, 40, pp. 209-226.
- Charles, R., Jolliet, O., Gaillard, G. and Pellet, D., (2006), Environmental analysis of intensity level in wheat crop production using life cycle assessment, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113, pp. 216-225.

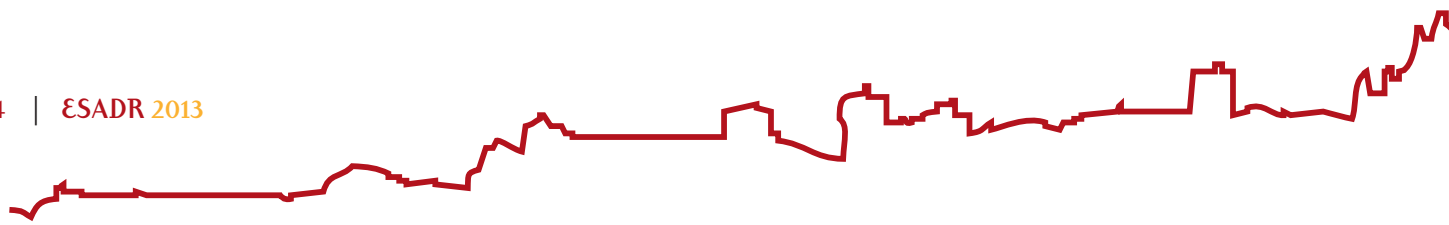




- Cooper, T., Hart, K. and Baldock, D. (2009) The Provision of Public Goods Through Agriculture in the European Union, Report Prepared for DG Agriculture and Rural Development, Contract No 30-CE-0233091/00-28, Institute for European Environmental Policy, London.
- Ernest, O., Siri-Prieto, G., (2009), Impact of perennial pasture and tillage systems on carbon input and soil quality indicators, *Soil and Tillage Research*, 105, pp. 260-268.
- Green, M.B., (1987), Energy in pesticide manufacture, distribution and use. In: Helsel, Z.R. (Ed), *Energy in Plant Nutrition and Pest Control*. Elsevier, Amsterdam, pp. 165-177.
- Gomiero, T., Giampietro, M., Mayumi, K., (2006). Facing complexity on agro-ecosystems: a new approach to farming systems analysis. *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology*, vol. 5 (2-3), pp. 116-144.
- Hernández, J.L., Giron, V.S. and Cerisola, C., (1995), Long-term energy use and economic evaluation of three tillage systems for cereal and legume production in central Spain, *Soil and Tillage Research*, 35, pp.183-198.
- Hülsbergen, K.-J, Feil, B., Biermann, S., Rathke, G.-W, Kalk, W.-D and Diepenbrock, W., (2001), A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 86, pp. 303-321.
- Koga, N., (2008), An energy balance under a conventional crop rotation system in northern Japan: Perspectives on fuel ethanol production from sugar beet, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 125 (1-4), pp. 101-110.
- Joumard, R., (2011). Environmental sustainability assessments: towards a new framework. *International Journal of Sustainable Society*, Vol. 3 (2), pp. 133-150.
- Legendre, J., (1997), Cent bilans apparent en Midi-Pyrénées, *Journée Fourrages*, 16 Juin, Chambre d'Agriculture. Mydi-pyrénées.
- Loges, R., Kelm, M. R. and Taube, F., (2005), Nitrogen Balances and nitrate leaching of conventional and organic crop rotations under German conditions, in Schroeder J. J. and Neeteson (eds), *N management in agrosystems in relation to the Water Framework Directive*, Proceedings of the 14th N Workshop, Maastricht, The Netherlands.



- López-Fando C., Pardo, M., (2009), Changes in soil chemical characteristics with different tillage practices in a semi-arid environment, *Soil and Tillage Research*, Vol. 104, pp. 278-284.
- Manhoudt, A., Udo de Haes, H. and Snoo, G., (2005), An indicator of plant species richness of semi-natural habitats and crops on arable farms, *Agriculture, Ecosystems and Environment* Vol. 109 (1-2) pp. 166-174.
- Marques, Carlos A. F., (2010), A política Agrícola e de Desenvolvimento Rural: O Contributo Conceptual da Gestão Económica, com apartes, *Dia da Universidade*, pp. 17-36.
- Martin, J., Stewart, A. W., Powell, E., Stanton, M. and Levy-Tacher, S., (2006), Emergy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 115 (1-4), pp. 128-140 ...page numbers are missing
- Mattsson, L., (2003), Nitrogen balance in barley and winter wheat, Division of Soil Fertility, Rapport n° 205, Dep. of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala, Sweden (www.cababstractsplus.org).
- Menezes, H., Barroso, F., Pinto-Correia, T., (2010), How can we link farm management to amenity functions, through the landscape pattern? Application to a case study in Southern Portugal. 9th European IFSA Symposium, 4-7 July 2010, Vienna (Austria), pp.1004-1013.
- Moerschner, J., Gerowitt, B., (2000), Direct and Indirect energy use in arable farming, na exemple on winter wheat in Northern Germany, in *Agricultural data for life cycle assessment*, Weidem, B.P. and Meeusen, M.J.G. (eds), The Hague, Agricultural Economics Research Institute, pp. 94-107.
- Nemeck, T. and Baumgartner, D., (2006), Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations and pig feed formulas, *Concerted Action GL-Pro WP4: Environmental Analysis Final Report*.
- Nguyen, M. and Haynes, R., (1995), Energy and labour efficiency for three pairs of conventional and alternative mixed cropping (pasture-arable) farms in Canterbury, New Zealand, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 52 (2-3), pp. 163-172.

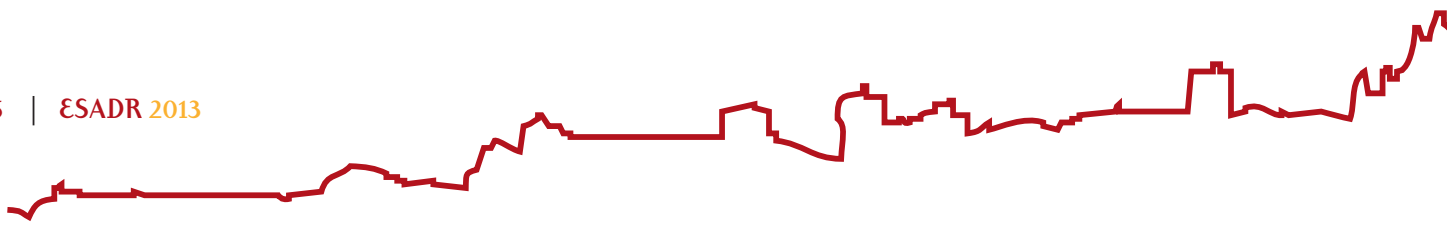




- Pacini, C. Giesen, G., Wossink, A, Omodei-Zorini, L. and Huirne, R., (2004), The Eu's Agenda 2000 reform and the sustainability of organic farming in Tuscany: ecological-economic modelling at field and farm level, *Agricultural Systems*, 80(2), pp. 171-197.
- Padovane, L., Trevisan, M. and Capri, E., (2004), A calculation procedure to assess potencial environmental risk of pesticides at the farm level, *Ecological Indicator*, vol. 4 (2), pp. 111-123.
- Pervanchon, F., Bockstaller, C. and Girardin, P., (2002), Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro-ecological indicator: the energy indicator, *Agricultural Systems* 72, pp. 149-172.
- Rosado, Maurícia, (2009), Contributo para a Integração da Componente Ambiental na Avaliação Económica de Sistemas de Produção Agro-Pecuários, Dissertação de Doutoramento em Zootécnica, Universidade de Évora.
- Rosado, M., Marques, C. and Fragoso, R. (2012), Environmental Evaluation and Benchmarking of Traditional Dryland Crop Framing System of Dryland Agriculture in the Alentejo Region of Portugal, CEFAGE-UE Working paper, 2012/14.
- Safe, (2003), Framework for assessing sustainability levels in Belgian agricultural system, Annual Scientific Report.
- Simon, J-C., Grignani, C., Jacquet, A., Le Corre, L. and Pagés, J., (2000), Typologie des bilans d'azote de divers types d'exploitation agricole: recherche d'indicateurs de fonctionnement. *Agronomie* 20, pp. 175-195.
- Schlör, H., Fischer, W., Hake, J-F., (2012), The history of sustainable development and the impact of the energy system. *International Journal of Sustainable Society*, vol. 4 (4), pp.317-335.
- Soltner, D., (2004). Tables de Rationnement des Bovins, des Ovins et Caprins, des Cheveux e de Porcs – Collection Sciences et Techniques Agricoles. Angers.
- Teixeira, R., Simões, A. e Rodrigues, O. and Domingos, T., (2008), Environmental Optimization of Animal Feed for Finishing Beef Calves in Portugal, In: 6th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector, Zurich, November 12-14, Book of Abstract pp 120-121.



- Tsatsarelis, C. A., (1993), Energy Inputs and Outputs for Soft Winter Wheat Production in Greece, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 43 (2), p. 109-118.
- Ten Berge, H.F.M., Van Ittersum, M.K., Rossing, W.A.H., Van de Ven, G.W.J., Schans, J., Van de Sanden P. (2000). Farming options for The Netherlands explored by multi-objective modelling. *European Journal of Agronomy* 13, 263–277.
- Van Ittersum, M., Ewert, F., Heckelei, T., Wery, J., Olsson, J., Andersen, E., Beslepkina, I., Brouwer, F., Donatelli, M., Flichman, G., Olsson, L., Rizzoli, A., Van der Wal, T., Wien, J., Wolf, J., (2008), Integrated assessment of agricultural systems – A component-based framework for the European Union (SEAMLESS). *Agricultural Systems* 96, pp 150-165.



Avaliação do benefício económico da adopção da tecnologia de taxa variável na cultura do milho no contexto da agricultura de precisão.

Coelho, J.C.², Braga, R.¹, Pinto, P.A.²

Resumo

A agricultura confronta-se hoje, num contexto de crescente escassez de recursos, com o enorme desafio de ser capaz de aumentar significativamente a produção agrícola nas próximas décadas, de modo a sustentar o contínuo aumento da população mundial. Em resultado da actuante limitação de expansão da terra arável sob cultivo, o aumento da produção agrícola terá forçosamente de se fazer por via do aumento da produtividade. No passado recente, a produtividade agrícola aumentou, essencialmente, em consequência dos avanços no melhoramento genético, na intensificação do uso de factores de produção e na inovação tecnológica. A agricultura de precisão visa, precisamente, ser uma resposta eficaz para a complexidade do problema, propondo-nos, através da incorporação e do uso de algumas inovações tecnológicas, uma via de continuidade para o aumento da produtividade e do uso intensivo de factores. O grande desafio é o de produzir mais e melhor com os mesmos ou com menos recursos, concorrendo, em simultâneo, para a redução de impactes ambientais indesejáveis. O aumento da eficiência e da eficácia do uso de factores que lhe está implícito, pode, por exemplo, ser conseguido com recurso à combinação das tecnologias de GPS e de taxa variável, o que permite, sobretudo em grandes parcelas com solos e fertilidade heterogéneas, efectuar uma distribuição espacial mais precisa, ou seja mais de acordo com necessidades e o potencial de produção específicos de cada posição ou zona. Não obstante as teóricas vantagens comparativas da tecnologia de taxa variável (VRT), a verdade é que a sua adopção pelos agricultores tem sido reduzida ou nula. Este aparente paradoxo resulta, em boa parte, da inexistência, ou da falta de divulgação, de exemplos concretos que comprovem claramente a vantagem económica da aplicação da tecnologia. Com este trabalho pretendemos divulgar os resultados de um estudo realizado num pivot de milho na região da Golegã, em que se ensaiaram as hipóteses alternativas de agricultura convencional e de precisão, a propósito da gestão da fertilização azotada. As duas alternativas tecnológicas são comparadas pelos resultados alcançados nas vertentes produtividade, nível de utilização de factores e impacte ambiental.

¹ Professor da Escola Superior Agrária de Elvas do Instituto Politécnico de Portalegre

² Professores do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa



1. Introdução e breve revisão bibliográfica

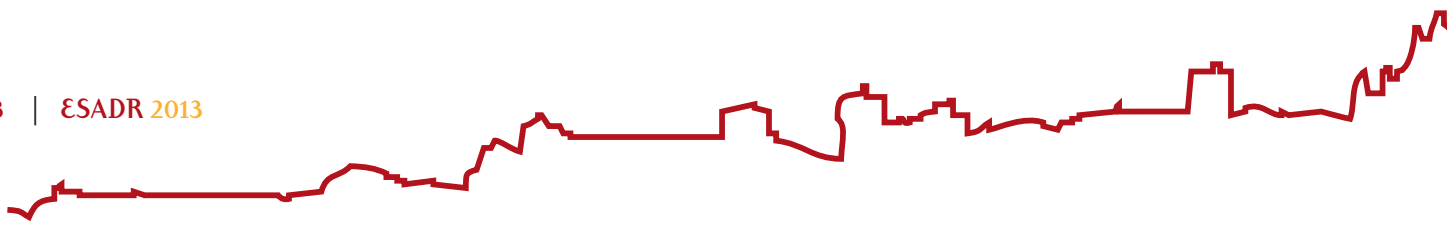
O actual contexto mundial impõe ao sector agrícola três fortes desafios:

- i) continuar a batalha do aumento da produtividade para satisfazer o crescente aumento da necessidade de bens alimentares, fibras, energia, etc., à escala global;
- ii) produzir ao mais baixo custo para aumentar a competitividade da produção no mercado mundial;
- iii) melhorar a eficiência de uso dos recursos naturais e dos factores de produção, de modo a minorar os impactes ambientais da actividade. A actual política da União Europeia estes objectivos através da máxima do desenvolvimento inteligente, inclusivo e sustentável.

Neste contexto, a Agricultura de Precisão surge como um sistema de cultura pertinente para fazer face aos actuais desafios, podendo ser definida como a gestão da aplicação diferenciada e à medida dos factores de produção, tendo em conta a variação espacial e temporal do potencial produtivo do meio e das necessidades específicas das culturas, de forma a aumentar a sua eficiência de utilização e, assim, melhorar o rendimento económico e reduzir o risco e o impacte ambiental da actividade agrícola (Coelho *et al.*, 2004).

A Agricultura de Precisão aparece, pois, associada a dois objectivos genéricos: o aumento do rendimento dos agricultores; e, a redução do impacte ambiental resultante da actividade agrícola. O primeiro destes objectivos pode, por sua vez, ser alcançado por duas vias distintas mas complementares: a redução dos custos de produção; e, o aumento do valor acrescentado (aumento da produtividade e, por vezes, também da qualidade) das culturas. O cumprimento do segundo daqueles objectivos está relacionado com o rigor do controlo da aplicação dos factores de produção (sobretudo, produtos químicos, atendendo às externalidades ambientais negativas que lhes estão normalmente associadas), que deverá ser feita, tanto quanto possível, à medida das necessidades das plantas.

Atendendo a tudo isto, o actual maior desafio da agricultura parecer ser o da gestão da informação e a geração de conhecimento (Braga e Pinto, 2012). A Agricultura de Precisão, sobretudo se em larga escala, como frequentemente sucede nas culturas arvenses, está normalmente associada à utilização de equipamento de alta tecnologia



para monitorizar os recursos ambientais numa determinada parcela de terreno, aplicando depois os diversos factores de produção (sementes, fertilizantes, água, etc.) em conformidade. De forma simplificada estas novas tecnologias podem ser divididas em três grupos:

- i) equipamentos de aquisição de dados ou de diagnóstico (análises de terras, detecção remota, sensores electrónicos de medição de fluxo nas máquinas de colheita, monitores da condutividade eléctrica do solo, etc.);
- ii) ferramentas de gestão e análise de dados e de geração de informação (SIG – Sistemas de informação geográfica);
- iii) meios de actuação (GPS - Global Positioning System - e VRT -variable rate technology / tecnologia de taxa variável).

O advento da vulgarização do uso destas tecnologias, no decurso dos últimos 20 anos, permitindo a generalizada produção e disseminação de cartas de produtividade das parcelas (Braga, 2009a) e a subsequente possibilidade de aplicação de factores de produção em taxas diferenciadas em conformidade com aquelas (Braga, 2009c; Serrano e Peça, 2009) potenciou um novo sistema de cultura designado por Agricultura de Precisão (Braga e Pinto, 2012).

A constatação de que nem todas as parcelas, nem mesmo porções de uma mesma parcela, têm o mesmo óptimo de resposta económica à aplicação de um dado factor de produção (semente, fertilizante, água, etc.), abre as portas para uma nova forma de gestão (Coelho *et al.*, 2009): a gestão racional da variabilidade espacial das características de uma parcela de terreno (a que chamamos gestão intra-parcelar) pode ser considerada como o principal objectivo da Agricultura de Precisão. Na maior parte dos casos, estas características estão associadas às características do solo, como a capacidade de armazenamento de água, o teor em nutrientes, o pH ou a matéria orgânica, do terreno, como o declive, a exposição ao sol, ou a características que favorecem a incidência de pragas e/ou doenças, e que são igualmente responsáveis pela variabilidade espacial da produtividade das culturas. Note-se, ainda, que a variabilidade também pode ser temporal. De facto, se existem algumas variáveis que pouco variam no decurso do tempo, como o pH do solo, outras há que se alteram muito rapidamente, como o teor em água do solo. A avaliação da variabilidade destas características, a par do conhecimento da variação das necessidades ou exigências das culturas ao longo do



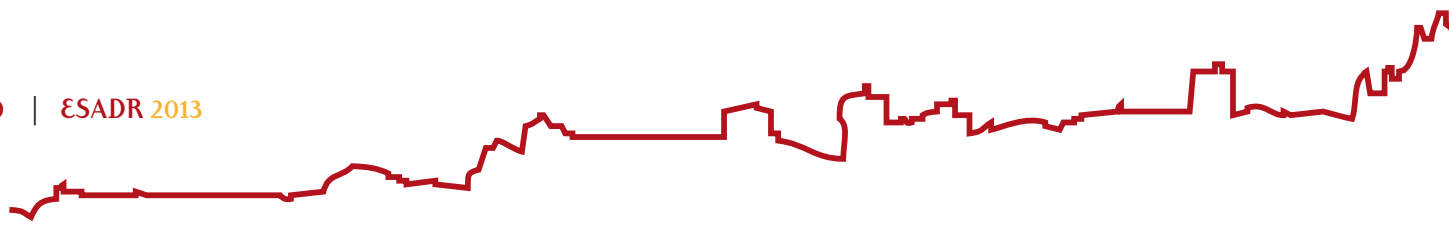
seu ciclo cultural, constitui a base essencial da Agricultura de Precisão. Sendo assim, todo o processo de monitorização das características de uma parcela de terreno deve ter em atenção a variabilidade espacial e temporal.


Actualmente, os exemplos mais comuns de Agricultura de Precisão estão relacionados com a aplicação diferenciada no espaço de sementes, fertilizantes, fitofármacos e água de rega, o que se justifica pelo elevado peso que estes factores normalmente representam nos custos totais das culturas, pela facilidade de relacionar o seu nível de utilização com a produtividade alcançada pelas culturas e pelo, maior ou menor, impacte ambiental que podem ter. Por exemplo, as aplicações diferenciadas de fertilizantes podem não só contribuir para aumentar o rendimento económico das culturas, como ajudam a reduzir o arrastamento de nutrientes e a consequente contaminação das águas residuais e subterrâneas (Birrell *et al.*, 1996; Dingemans, 1997; Serrano e Peça 2009).

No entanto, a inércia na adopção da Agricultura de Precisão no nosso país persiste, podendo ser essencialmente explicada por duas ordens de razões: (1) o elevado nível de conhecimento geral e informático que é exigido aos actores/utilizadores (agricultores, técnicos e empresas ligadas ao sector) e a consequente dificuldade de utilização dos equipamentos; (2) o relativamente elevado custo inicial da mudança, associado à aquisição dos equipamentos (*hardware* e *software*) necessários e a difícil percepção dos ganhos associados, sobretudo, em função da normalmente modesta escala de operação da generalidade das explorações agrícolas portuguesas (Coelho, 2009; Serrano e Peça 2009; Braga e Pinto, 2012).

Com efeito, em Portugal, a taxa de adopção da agricultura de precisão em culturas arvenses é ainda baixa, apesar da sua divulgação se ter iniciado em 1996 (Serrano e Peça 1996). Concretamente, segundo Braga e Pinto (2012), ainda só existem cerca de dez ceifeiras com equipamento de monitorização da produtividade a funcionar em Portugal, o que, na melhor das hipóteses, poderá corresponder a uma taxa de adopção deste tipo de equipamento da ordem dos 2 a 5% da área total de cereais colhida, enquanto noutros países, com os EUA à cabeça, aquela taxa ronda os 40%.

Acreditamos que, apesar de tudo, o futuro se apresenta mais favorável, pois, por um lado, os equipamentos de alta tecnologia tendem a diminuir rápida e significativamente de preço e, por outro, o nível de instrução e conhecimento dos agricultores têm vindo, lenta mas consistentemente, a aumentar, existindo hoje cada vez mais estruturas de





apoio técnico na agricultura. É também de considerar que a facilidade de utilização dos equipamentos também aumentará. O nascimento e desenvolvimento de empresas especializadas no aluguer de máquinas e equipamentos agrícolas é também hoje uma realidade entre nós, que pode igualmente contribuir para ultrapassar uma das maiores limitações à adopção destas tecnologias: a reduzida dimensão das explorações e os elevados custos unitários de amortização daí decorrentes.

As tecnologias disponíveis e o seu custo são determinantes para o exercício da escolha entre diferentes alternativas do itinerário técnico de uma cultura. Porém, em presença de variabilidade espaço-temporal, se for possível medi-la e determinar o modo como afecta a produtividade e a qualidade das culturas e existindo tecnologia para aplicar os factores de produção de forma diferenciada, serão apenas as variáveis de natureza económica a ditar se é vantajoso adoptar a Agricultura de Precisão. No entanto, esta opção não é isenta de risco, já que é impossível ter a exacta percepção dos ganhos ou das perdas, sem incorrer em algum custo prévio na avaliação da variabilidade espacial (por exemplo, na avaliação da variabilidade da produtividade alcançada).

A obtenção de cartas de produtividade (resultantes dos monitores de produtividade) é, pois, particularmente importante para a tomada de decisão sobre a adopção da agricultura de precisão já que, por um lado, elas espelham o resultado final de todo o processo produtivo e, por outro, a produtividade é uma variável essencial na determinação da margem bruta e consequentemente no rendimento das explorações agrícolas (Blackmore, 2000; Arslan e Colvin, 2002; Coelho *et al.*, 2004). É, por isso, muito relevante o rigor das cartas de produtividade.

Infelizmente, as aplicações informáticas fornecidas com os monitores de produtividade nem sempre são capazes de fornecer cartas de produtividade fiáveis (Braga, 2009). O processo de monitorização da produtividade durante a colheita introduz bastantes erros e valores inverosímeis, que se não forem eliminados conduzem a cartas pouco exactas e que não representam correctamente a realidade (Arslan e Colvin, 2002; Basso, *et al.*, 2001; Beck, *et al.*, 1999; Birrell, *et al.*, 1996; Blackmore *et al.*, 1996; Blackmore, 2000; Blackmore, *et al.*, 2003; Braga, 2009a; Dobermann e Ping, 2004; Kleinjan, *et al.*, 2002; Menegatti e Molin, 2003; Moore, 1998; Paes, 2011; Ping e Dobermann, 2005; Simbahan *et al.*, 2004; Sudduth e Drummond, 2007; Thylen *et al.*, 2001).

Os prestadores de serviços que, na maioria dos casos, se limitam a processar os dados em bruto recolhidos pelas aplicações informáticas e a fornecê-los sob a forma de cartas,



acabam por transmitir aos empresários agrícolas inúmeras imprecisões e falhas (Braga, 2009a).

No contexto da reduzida adopção da agricultura de precisão em culturas arvenses no nosso país e face às principais razões apontadas para esse facto, torna-se, então, necessário encontrar formas de melhorar a avaliação bem como a percepção das vantagens para os empresários da sua adopção, por exemplo, do binómio monitor de produtividade na ceifeira + VRT.

Este trabalho tem três objectivos principais: (1) validar um método de correcção dos dados dos monitores de produtividade de forma a possibilitar a elaboração de cartas de produtividade tão correctas quanto possíveis; (2) estudar, com base na informação daquelas cartas, um método de prescrição de alternativas entre a agricultura convencional e a de precisão tendo em vista a gestão do azoto; (3) comparar as duas alternativas tecnológicas ensaiadas, segundo critérios económicos ambientais e técnicos, de forma a melhorar a percepção dos custos e benefícios da agricultura de precisão.

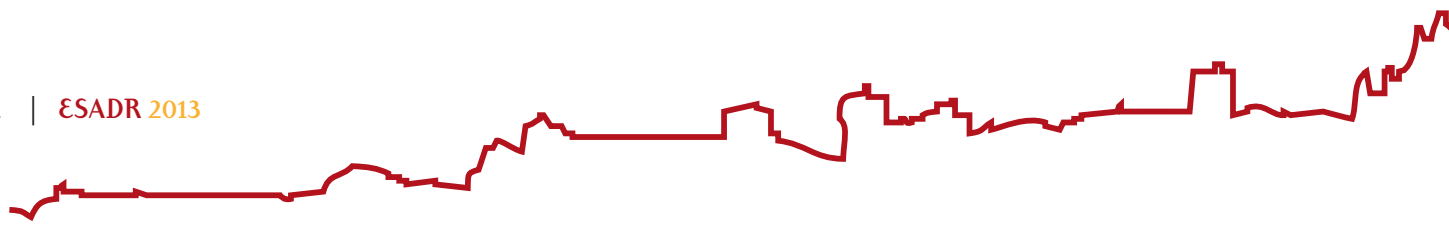
2. Material e métodos

2.1. Dados de base

Os dados deste trabalho provêm da dissertação de Paes (2011) e referem-se às cartas de produtividade da cultura do milho, obtidas em dois anos consecutivos (2010 e 2011), numa parcela de 22,9 hectares, situada na região da Golegã, com topografia plana a quase-plana e regada por uma rampa pivotante (no centro) e um sistema de rega por aspersores fixos (nos cantos).

Os solos desta parcela são aluviosolos modernos profundos de textura ligeira calcários (Alc) ou de textura mediana calcários (Ac). São solos incipientes, não evoluídos, sem horizontes genéticos claramente diferenciados, praticamente reduzidos ao material originário, não hidromórficos, constituídos por depósitos estratificados de aluviões. São constituídos por materiais detríticos minerais e orgânicos, transportados pelas águas fluviais, desde os saibros e areias grosseiras às partículas mais finas de argila (Figueira, 1997).

As condições climáticas dos anos de 2010 e 2011, são representadas nos dois diagramas ombrotérmicos de Gaussen da Figura seguinte. 2011 foi um ano ligeiramente mais quente (temperatura média de 16,9°C) do que 2010 (t. méd. 15,8°C). Contudo, durante o período cultural (entre maio e setembro) a média das temperaturas médias mensais foi



bastante idêntica (21,5°C em 2010; 21,2°C em 2011). Quanto à precipitação, 2010 foi um ano um pouco mais chuvoso (766,8 mm) do que 2011 (607,6 mm). No entanto, durante o período cultural, ocorreu o inverso, pois a precipitação foi de 47,6 mm em 2010 e de 96,8 mm em 2011.

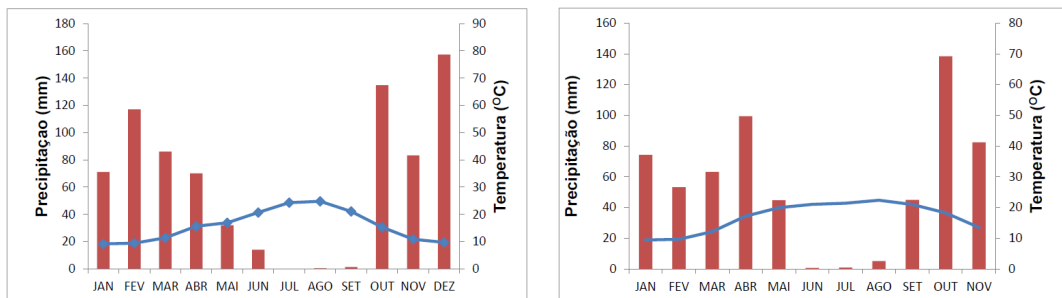


Figura 1 - Diagrama Ombrotérmico de Gaussen relativo à precipitação e temperaturas médias de 2010 (esquerda) e 2011 (direita)

Em ambos os anos a cultura do milho foi efectuada segundo o seguinte itinerário técnico:

- a) fertilização de fundo (200 kg/ha de adubo “Korn-Kali”, contendo: 40% K_2O ; 6% MgO ; 4% Na_2O e 12% SO_3);
- b) sementeira + fertilização localizada (com semeador de sementeira directa: espaçamento entre-linhas 0,75m; densidade de 8 plantas/ m^2 da variedade PIONEER PR33G44; 200 kg/ha de adubo AMICOTE 15-35-0 LZn STARTER, com 2% de azoto nítrico, 13% de azoto amoniacal, 35% P_2O_5 e 1% Zn);
- c) mondas químicas (uma aplicação em pré-emergência e outra em pós-emergência do herbicida ASPECT: herbicida misto, mono e dicotiledóneas, formulado em suspensão concentrada de flufenacete (200 g/l) e terbutilazina (333 g/l), com absorção essencialmente radicular e também foliar, de acção residual e de contacto foliar);
- d) fertirrega (durante o ciclo foram feitas adubações fraccionadas, usando o adubo NITROMAIS Zn 30%, num total de 450 kg/ha);
- e) a quantidade total de macronutrientes principais aplicada durante o ciclo foi de 165 unidades de azoto, 70 de fósforo e 80 de potássio;
- f) a rega, nos dois anos, foi conduzida procurando evitar stress hídrico durante o ciclo. Em 2011, totalizou 548 mm distribuídos por Maio 40mm (3 regas), Junho 95mm (4 regas), Julho 168mm (4 regas), Agosto 215mm (5 regas) e Setembro 30mm (1 rega



na 1ª semana do mês). A dotação média por rega variou entre 13mm em Maio até 54mm em Agosto. A evapotranspiração cultural foi estimada em 676 mm utilizando o método de Hargreaves. Desta forma, fazendo o balanço de água do ciclo, tendo em conta a precipitação de 97mm e a rega de 548mm, resulta uma variação de armazenamento de -31mm o que é consentâneo como a hipótese de ausência de stress durante o ciclo. Em 2010, a evapotranspiração cultural foi estimada em 711 mm, com uma precipitação de 48mm, resultando numa necessidade de rega global de 663 mm;

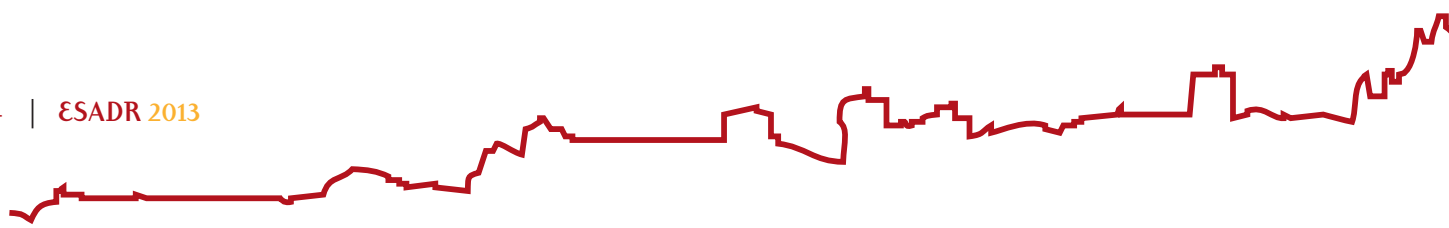
- g) a colheita do milho, em 2010, foi efectuada no dia 4 de Outubro por uma ceifeira John Deere T560, com uma barra de corte com 4,5 m de largura, correspondente a 6 linhas de milho, equipada com um monitor de produtividade GreenStar 2 Display 2600; em 2011, foi efectuada no dia 3 de Outubro por duas ceifeiras iguais equipadas com monitor de produtividade GreenStar 2 Display 2600 e GreenStar 3 Display 2630;
- h) os monitores de produtividade foram calibrados pelo prestador de serviços (John Deere - Golegã) que efectuou a colheita respeitando todos os requisitos explícitos no manual do equipamento. O intervalo entre registos foi de 1s. O prestador de serviços efectuou ainda o transporte dos dados entre o monitor e o computador portátil em que tem instalado o software de gestão de dados da John Deere: APEX.

Os custos variáveis associados ao itinerário acima descrito são os seguintes:

Quadro 1 – Custos variáveis (€/hectare e percentagem) da cultura do milho

Rubrica	Custo (€/hectare)	%
Semente	220	17,8
Herbicida	36	2,9
Fertilização	320	25,9
Fitofármacos	12	1,0
Assistências	30	2,4
Trabalho de máquinas	200	16,2
Água e electricidade	170	13,7
Transportes	45	3,6
Colheita	95	7,7
Secagem	110	8,9
Total	1238	100,0

2.2. Objectivo 1 – método para a elaboração das cartas de produtividade



Os dados resultantes da monitorização da produtividade foram exportados do software APEX (John Deere) em formato cvs e importados para um software específico para SIG onde foram efectuadas todos os passos de filtragem assim como as restantes manipulações dos dados. O processo de filtragem aplicado aos dados em bruto resultou de uma adaptação das metodologias utilizadas por Blackmore e Moore (1999), Arslan e Colvin (2002), Menegatti e Molin (2003) e Simbahan (2004). Deste modo, criou-se um método progressivo de filtragem dos dados com 7 fases:

- **Filtro 1** - remoção de registos que se encontram fora dos limites da parcela;
- **Filtro 2** - remoção dos registos com valor de produtividade 0 (zero);
- **Filtro 3** - remoção de registos com valores de velocidade inferiores a 1,6 km/h e superiores a 10 km/h;
- **Filtro 4** – remoção de registos com fluxo de grão fora dos limites para os quais os monitores se encontram concebidos e calibrados (eliminação dos registos com valores de fluxo de grão acima de 19 kg/s e abaixo de 1,7 kg/s);
- **Filtro 5** – remoção de registos com *outliers* para a humidade (valores mais afastados do que a média ± 3 x o desvio padrão);
- **Filtro 6** – remoção de registos com valores de produtividade acima do limite máximo local de produtividade do milho. Com base na opinião de especialistas locais, aquele valor foi fixado em 22 t/ha, de milho com 14% de humidade;
- **Filtro 7** – remoção, por inspecção visual, dos registos resultantes da largura de trabalho ser inferior a 4,5 metros, que resultam de a ceifeira não estar a cortar com todas as 6 linhas e dessa alteração não ter sido considerada pelo operador.

Finalmente, a validação do método de correcção dos dados por filtragem foi efectuada através da comparação do grau de dependência espacial evidenciado pelos dados originais e filtrados para cada ano. O grau de dependência espacial foi determinado pelo rácio entre a semivariância no ponto (nugget/pepita) e a semivariância total (sill/patamar). Este rácio é frequentemente utilizado para caracterizar o grau de dependência espacial dos dados ($\leq 25\%$ - elevada dependência espacial, i.e. organização da variável em manchas bem definidas; entre 26% e 75% - dependência espacial moderada; $>75\%$ - fraca ou nula dependência espacial). A modelação do semivariograma foi efectuada no *software SURFER*. Os parâmetros do modelo do



semivariograma foram posteriormente incorporados no software de SIG para efectuar a extrapolação espacial propriamente dita. Neste processo, colocou-se como limite espacial os contornos da parcela em causa e utilizou-se uma dimensão de célula igual a 4,5 m. Este valor corresponde à largura da barra de corte da ceifeira-debulhadora uma vez que não faz sentido extrapolar os dados em resoluções superiores às existentes nos dados originais.

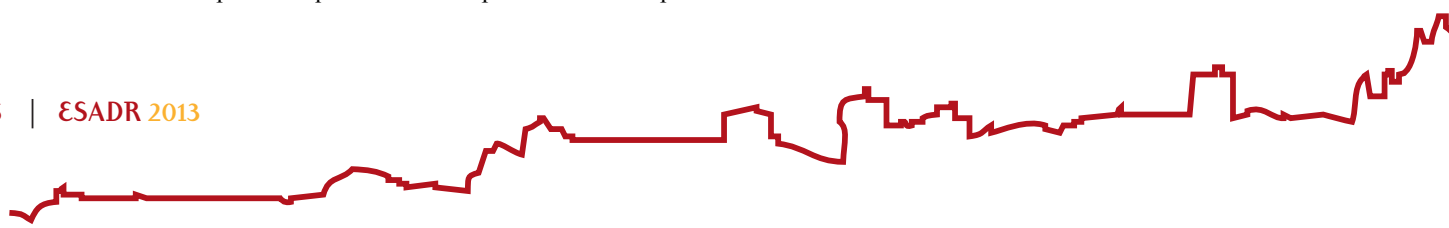
As cartas de produtividade pós processadas, depois de filtradas, apresentam porções da parcela sem qualquer dado. Dessa forma torna-se necessário fazer uma interpolação espacial desses atributos em falta. Existem diversos métodos para fazer a interpolação espacial, no entanto, o método mais aceite é o chamado *kriging*. Segundo Vieira (2000) o *kriging* é uma técnica/processo de geoestatística onde se estimam valores de propriedades espacialmente distribuídas, a partir de valores adjacentes interdependentes (Vieira *et. al.*, 1983; Isaaks e Srivastava, 1989). A estimativa de valores para locais não amostrados, através da técnica de *krigagem*, possibilita estabelecer uma carta da totalidade da área em estudo, para qualquer variável em estudo.

A valorização das cartas de produtividade em ambos os anos (2010 e 2011) iniciou-se pela sua detalhada (1) caracterização através de estatísticas descritivas: média, desvio padrão, coeficiente de variação, máximo, mínimo, quantis, etc. Seguidamente, caracterizou-se o (2) grau de dependência espacial através do alcance³ e do rácio entre a semivariância no ponto (nugget/pepita) e a semivariância total (sill/patamar). Na fase seguinte tentou-se (3) interpretar os padrões de variabilidade espacial encontrada assim como as diferenças de ano para ano. Para esse efeito, os resultados alcançados nas etapas anteriores foram apresentados ao gestor agrícola da parcela (Eng. Abílio Pereira) de forma que em conjunto se conseguisse analisar e perceber as causas da variabilidade.

Posteriormente, as cartas foram (4) convertidas em cartas de produtividade relativas utilizando a menor produtividade como índice zero e a maior produtividade como índice 100. A determinação das cartas de margem bruta foi o passo (5) seguinte. Para tal utilizou-se a equação Margem Bruta = PG * Produtividade (t/ha) – CV, em que PG é o preço do grão (210 €/t) e CV os custos variáveis (1238 €/ha).

As cartas assim obtidas foram, de seguida (6), classificadas pelo algoritmo “Natural Breaks” (Jenks Method). Este método procura determinar o melhor arranjo dos dados

³ Distância a partir da qual as amostras passam a ser independentes

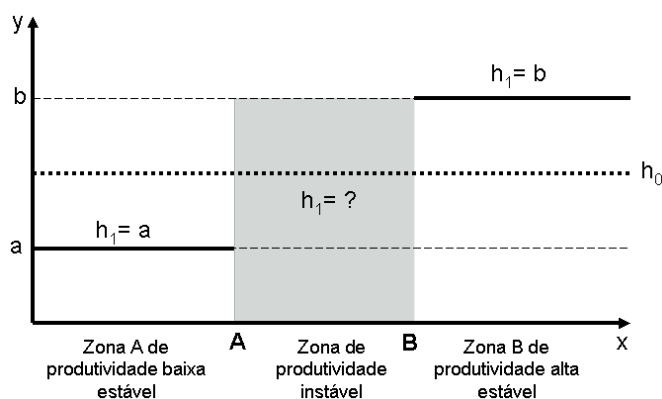


em diferentes classes através da minimização dos desvios para as médias em cada classe e maximização dos desvios de cada classe para as médias das restantes classes.

Finalmente (7), aproveitando a existência de cartas relativas a dois anos, foi feita uma análise espaço-temporal (Blackmore 2000; Blackmore *et al.*, 2003; Marques da Silva 2006), comparando a carta de tendência espacial com a de estabilidade temporal, de modo a classificar as diferentes zonas da parcela como: “produtividade elevada estável”; “produtividade baixa estável”; e “produtividade instável”. Como critério para a definição de elevada e baixa produtividade assim como estabilidade ou instabilidade temporal da produtividade utilizou-se a média das médias e a média das diferenças das produtividades para cada ponto, respectivamente.

2.3. Objectivo 2 – método para prescrever as duas hipóteses alternativas

Com base na integração de toda a informação recolhida anteriormente, procedeu-se à construção duma *carta de zonagem de gestão homogénea* para efeitos da gestão do azoto. Aquela carta visa simplificar a representação espacial da variabilidade intra-parcelar. O seu princípio é o de dividir a parcela num pequeno número de zonas, que, para terem valor operacional, devem ser *contínuas*⁴, *homogéneas* e *distintas*. Este processo possibilita a adopção de uma gestão diferenciada das diferentes zonas da parcela, em contraponto com a opção convencional de gestão homogénea da totalidade da parcela (Roudier *et al.*, 2011). A figura 2, ilustra o racional da prescrição das recomendações de fertilização (y) a aplicar em diferentes zonas (x). Neste exemplo, h_0 é a recomendação de fertilização uniforme em toda a parcela (agricultura convencional) e h_1 é a recomendação diferenciada, a ou b , para as zonas A e B, respectivamente (agricultura de precisão).



⁴Os pontos que as formam devem ser contíguos, a variabilidade e a estabilidade intra-zona deve ser baixa e a variabilidade inter-zonas deve ser alta.



Figura 2 - Ilustração do modelo de raciocínio conceptual de prescrição das recomendações de fertilização (y) a aplicar em diferentes zonas (x): h_0 é a recomendação uniforme em toda a parcela (agricultura convencional) e h_1 é a recomendação diferenciada, a ou b, para as zonas A e B, respectivamente (agricultura de precisão). (Adaptado de Roudier *et al.*, 2011)

A decisão da prescrição de azoto a aplicar nas diferentes zonas é específica e depende da combinação de vários factores: características físicas e de fertilidade do solo, exigências da cultura, máquinas e equipamentos disponíveis para a aplicação, etc. No entanto, de forma pragmática e tendo por base na experiência do empresário agrícola, considerámos que a aplicação uniforme de 165 N/ha foi suficiente para atingir na zona de “produtividade elevada estável” uma produtividade média de 15,5 t/ha. Com base neste pressuposto considerámos que a prescrição da dose de azoto a aplicar para a zona de “produtividade baixa estável” – 9,5 t/ha⁻¹, e para a zona de “produtividade instável” – 12 t/ha –, seria de 100 e 128 unidades de azoto, respectivamente.

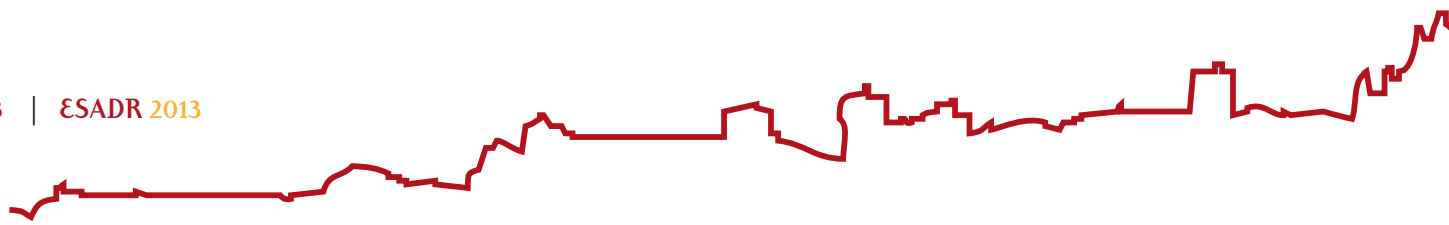
2.4. Objectivo 3 – avaliação das hipóteses de gestão alternativas

Finalmente, com o objectivo de comparar as duas alternativas tecnológicas ensaiadas (h_0 - agricultura convencional vs. h_1 - agricultura de precisão) e de forma a melhorar a percepção dos custos e benefícios duma eventual transição, decidimos avaliá-las sob três critérios:

- Critério Económico: impacte sobre a rendibilidade económica (Margem Bruta) da exploração;
- Critério Ambiental: quantificação (kg) e valorização (Euros) do excesso de azoto aplicado;
- Critério Técnico: estimativa do grau de oportunidade de transição de h_0 para h_1 (Índice de Gini) em função da magnitude da variabilidade espacial.

3. Resultados e sua discussão

As cartas da produtividade em bruto não se apresentam como uma superfície mas sim como um conjunto de pontos em que cada ponto corresponde a uma leitura do monitor de produtividade (Fig. 3). O número total de registos em 2010 foi de 36494 e em 2011 de 34124. Pela observação dos dados da produtividade em bruto pode constatar-se empiricamente que existem diversos pontos que não correspondem a registos correctos quer pela sua localização fora do alinhamento da máquina quer pelos valores irreais apresentados. De facto, por exemplo a produtividade máxima registada nos dados em



bruto foi de 114,03 t/ha em 2010 e 108,34 t/ha em 2011, valores obviamente inverosímeis.

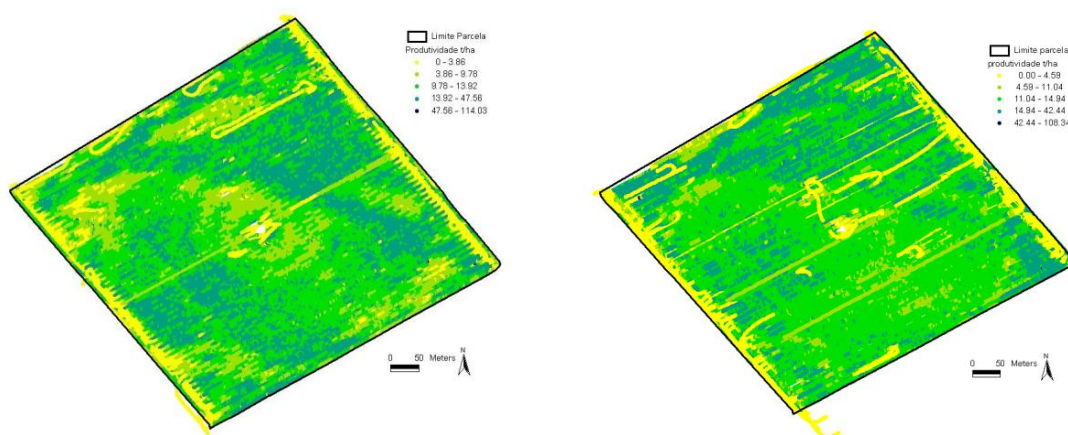


Figura 3 - Cartas com os dados da produtividade em bruto (2010 esquerda; 2011, direita)

Após a aplicação dos 7 filtros resultaram 28013 registos em 2010, ou seja foram removidos um total de 8481 registos (23,24% dos registos originais), e 26575 registos em 2011, ou seja foram removidos um total de 7549 registos (22,12% dos registos originais). O filtro que mais registos eliminou foi, destacadamente, o filtro 2 (registos com produtividade zero), com 16,30% e 16,70% dos registos originais em 2010 e 2011, respectivamente. Todos os restantes filtros eliminaram individualmente menos que 3% dos registos originais.

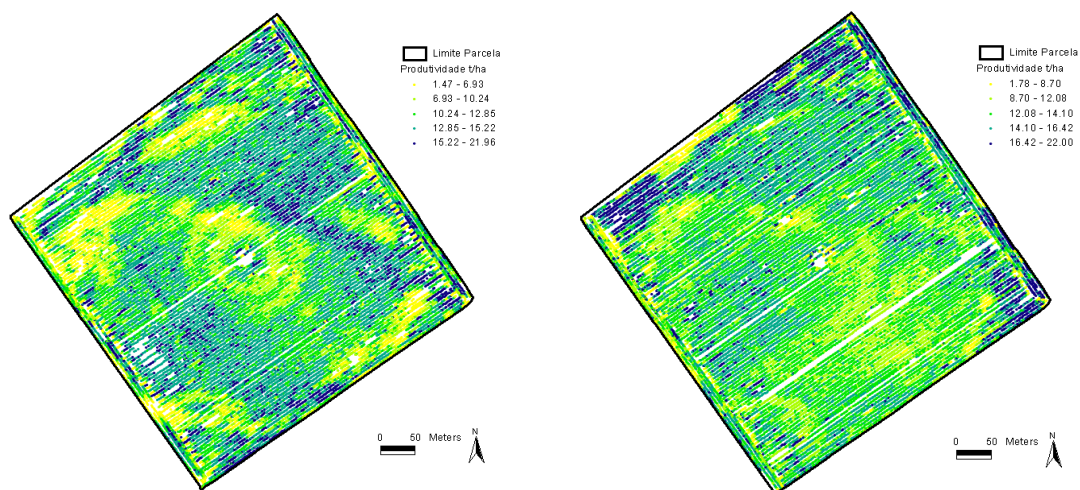


Figura 4 - Cartas com os dados da produtividade após filtragem (2010 esq.; 2011, dir.)

Os semivariogramas dos dados da produtividade após filtragem, em oposição aos dados em bruto, apresentaram uma dependência espacial de alguma magnitude, particularmente para o ano de 2010. Em ambos os anos foi ajustado um modelo de semivariograma exponencial, que evidenciou uma semivariância no ponto (nugget/



pepita) idêntica de $3,8 \text{ (t/ha)}^2$. Em contraste, o alcance foi bastante superior em 2010 (30m) do que em 2011 (15m). Também para a semivariância total (sill/patamar) se verificou que em 2010 se atingiu o dobro ($10,2 \text{ (t/ha)}^2$) do valor de 2011 ($5,3 \text{ (t/ha)}^2$). Deste modo, os rácios entre a semivariância no ponto e a semivariância total foram de 37,2 % em 2010 e quase o dobro em 2011, 71,7%. Embora ambos os rácios se encontrem na classificação de dependência espacial moderada, é de realçar a diferença encontrada. De tudo isto conclui-se que 2010 apresentou uma variabilidade espacial mais elevada, apresentando-se esta mais estruturada e de maior alcance do que em 2011. Seguem-se as imagens das cartas de produtividade resultantes da extrapolação espacial por krigagem (Fig. 5).

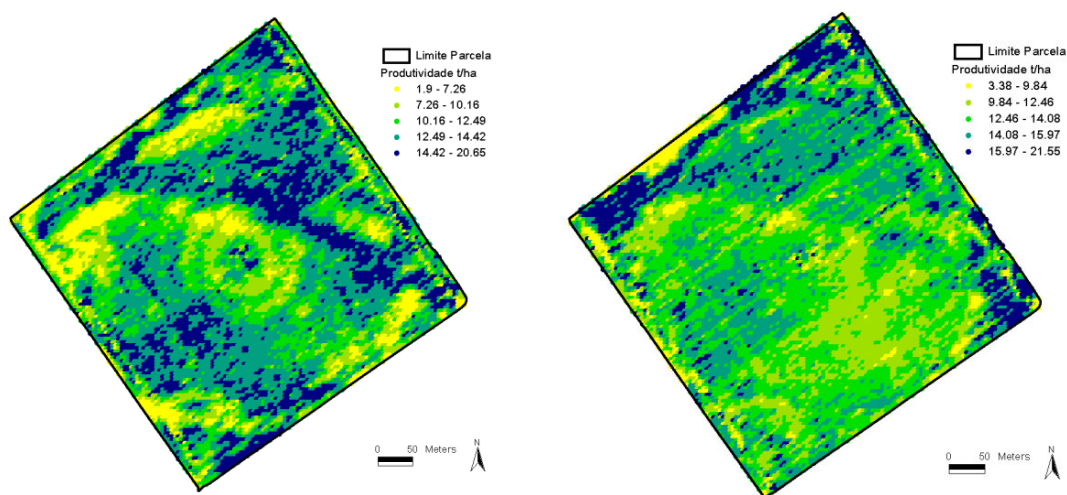
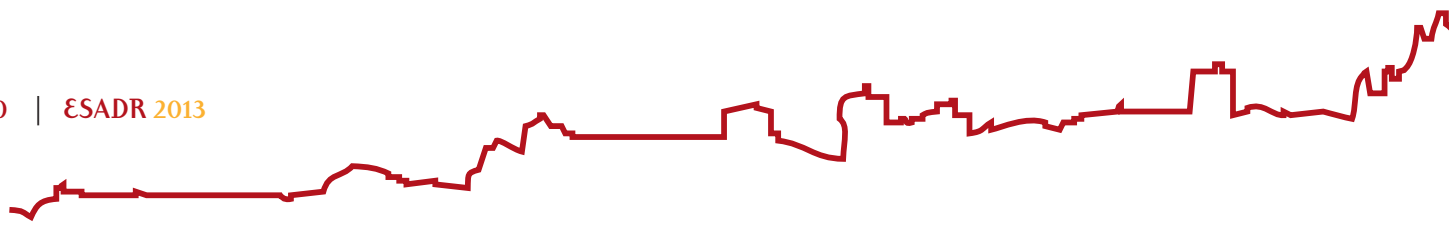


Figura 5 - Cartas da produtividade, após avaliação do grau de dependência espacial dos dados e krigagem, com resolução de 4,5m e com classificação por “natural breaks” (2010 esq.; 2011, dir.).

Em relação ao ano de 2011, procurou-se, em conjunto com o gestor agrícola, tentar perceber a origem da ocorrência de determinadas zonas com produtividades notoriamente diferentes. A conclusão foi a de que essas diferenças podem ter tido origem em diversas fontes, sendo maioritariamente devidas ao sistema de rega, à textura do solo e à topografia do terreno. Por exemplo, a baixa produtividade observada na zona de justaposição da rampa pivotante com o sistema de cobertura total é o resultado de uma má continuidade de aplicação da rega. Tal facto é observável por um anel de baixa produtividade nas regiões de extremidade de alcance da rampa pivotante (Fig. 6 - direita). Outra zona que se evidencia pela observação das cartas, quer de 2011 quer também de 2010, como sendo uma zona de elevada produtividade é uma zona de vale (cota relativa de menos 1 metro) que atravessa a parcela a norte do centro do pivot (Fig. 6 - esquerda).



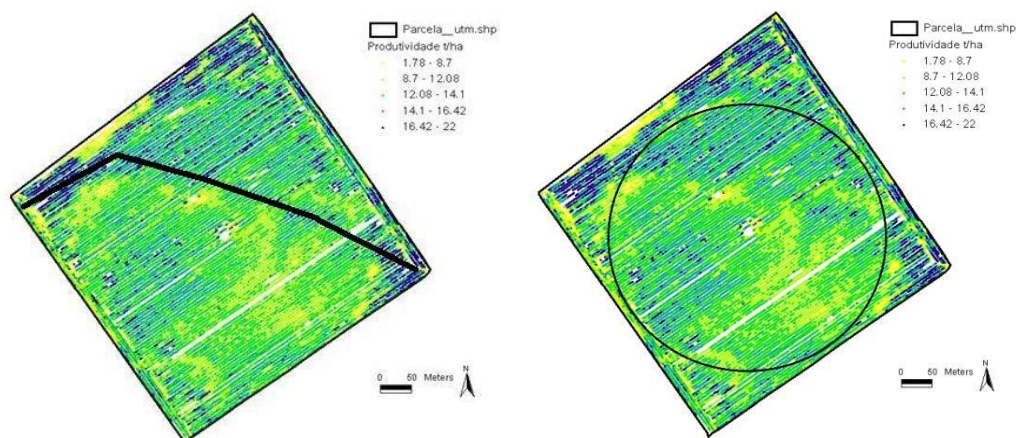


Figura 6 - Exemplo de cartas interpretativas dos padrões da variabilidade: vale de maior produtividade (esquerda) e descontinuidade de rega em 2011 (direita)

A Fig. 7 apresenta as cartas de margem bruta para 2010 e 2011. A utilidade deste tipo de cartas é a de dar a entender ao gestor agrícola as zonas das parcelas onde se ganha, ou perde, mais e menos dinheiro. Como seria de esperar, dado que 2010 foi um ano com menor produtividade média, nesse ano a margem bruta foi menor do que 2011. A percentagem de área com margem bruta negativa foi muito superior em 2010 (4,17%, i.e. 0,96 hectares - zonas com textura mais arenosa) do que em 2011 (0,45%, i.e. 0,1 hectares – zona em que se verificou um problema com os aspersores).

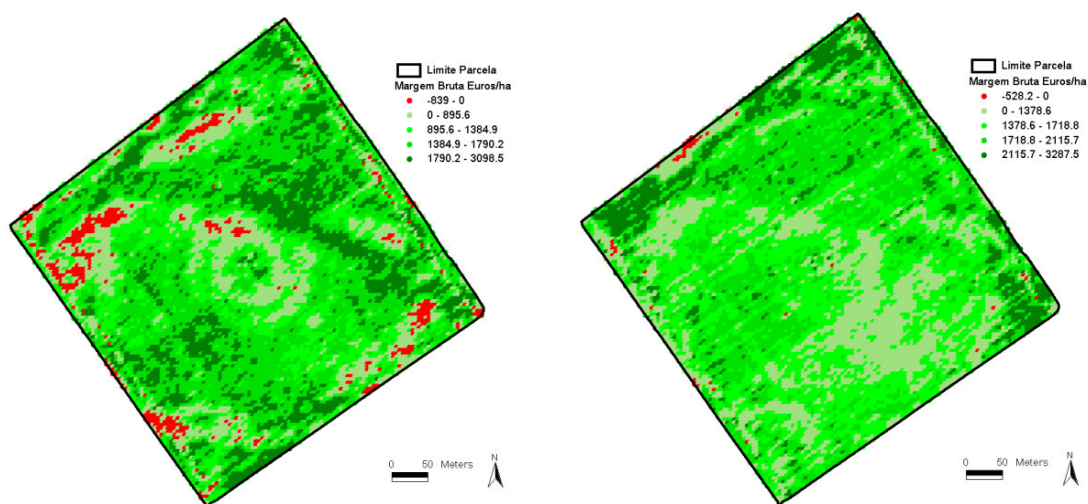


Figura 7 - Cartas de margem bruta (2010 eq.; 2011, dir.)

As imagens seguintes (Fig. 8) apresentam as cartas da produtividade média e de variação absoluta da produtividade para os dois anos. Os valores médios destas duas cartas são de 12,83 t/ha e 2,37 t/ha, respectivamente.

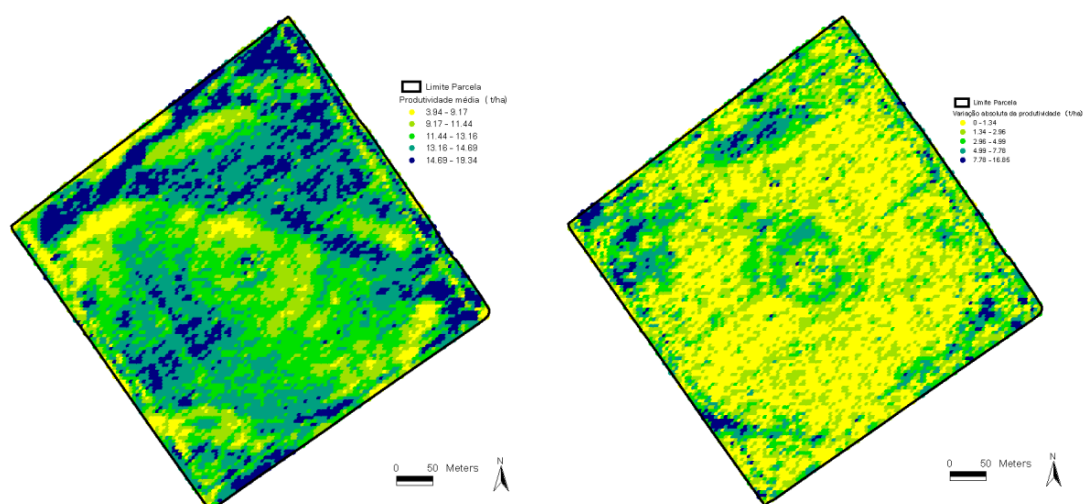


Figura 9 - Cartas de produtividade média (esquerda) e de variação absoluta da produtividade (direita) nos dois anos

Chegados aqui, importa criar uma carta de classificação do comportamento da produtividade (Fig. 10), que possa ser útil no delineamento duma futura estratégia de actuação. Com este propósito consideraram-se 3 classes:

- Zona de produtividade instável – zonas cobertas por sistema fixo de rega por aspersão e zonas de solos arenosos – 37,4% da área;
- Zona de produtividade baixa mas estável – 19,1 % da área;
- Zona de produtividade elevada mas estável - 43,5 % da área.

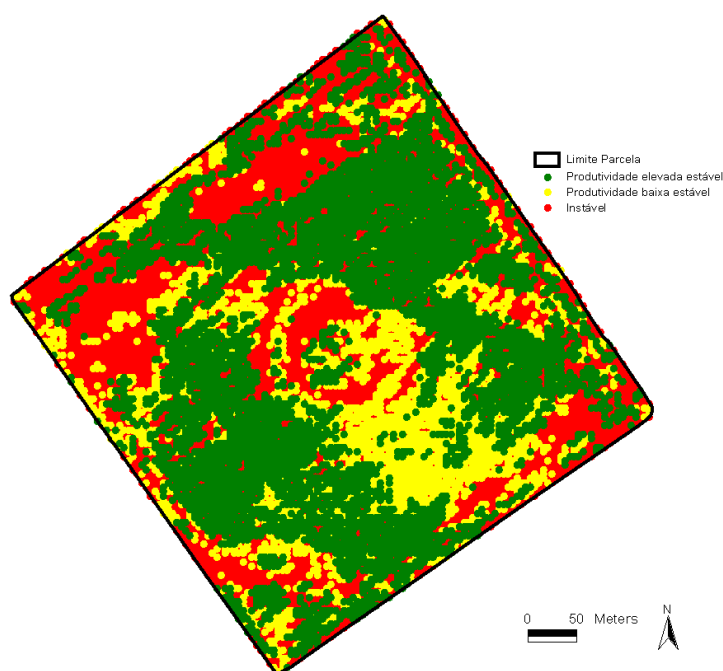
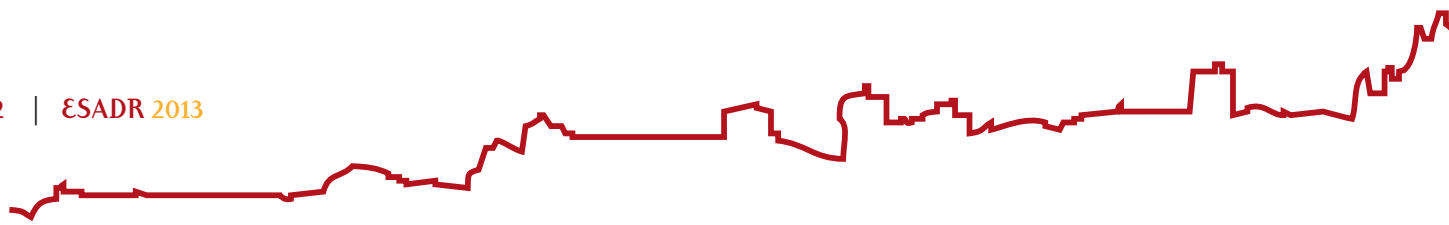


Figura 10 - Carta de classificação do comportamento da produtividade nos dois anos



A carta anterior permitiu a construção duma *carta de zonagem de gestão homogénea* para efeitos da gestão do azoto. Em concreto esta carta prescreve o seguinte (Fig. 11):

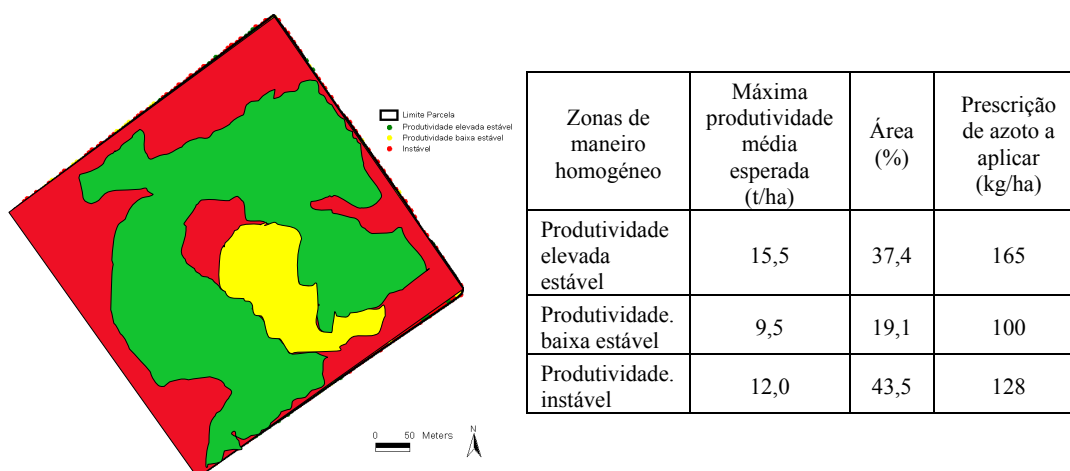


Figura 11 – Carta de zonagem de gestão homogénea (esquerda) e tabela de prescrição de azoto a aplicar (direita) para alternativa h_1 – agricultura de precisão.

Por último, segue-se a avaliação das duas alternativas tecnológicas ensaiadas (h_0 - agricultura convencional vs. h_1 - agricultura de precisão) segundo os três critérios considerados.

Quadro 2 – Resultados das alternativas para as alternativas h_0 - agricultura convencional e h_1 – agricultura de precisão.

Critério	Indicador	Referência	Resultados		
			por ha	para a parcela	%
Económico	Margem Bruta (Euros)	h_0	1.456,30	33.349	100,00%
		h_1	1.490,83	34.140	102,37%
Ambiental	Quantidade de N aplicado (kg)	h_0	165,00	3.779	100,00%
		h_1	136,49	3.126	82,72%
	Desperdício de N em quantidade (kg)	h_0 vs. h_1	28,51	653	17,28%
Desperdício de N em valor (Euros)	h_0 vs. h_1	34,21	783		
Técnico	Índice de Gini	parcela	-	0,089	-

Os resultados da avaliação económica das duas alternativas consideradas, admitindo o pressuposto conservador de que a produção total da parcela permanecerá constante, não são muito animadores quanto à perspectiva da adopção da agricultura de precisão. Em termos económicos o ganho a esperar é de apenas 2,37%, i.e. 34,53 Euros por hectare ou 790,67 Euros para a totalidade da área da parcela. No entanto, em termos ambientais, a redução do consumo e desperdício de azoto é bastante significativa (17,28%).

Quanto ao critério técnico, o valor do Índice de Gini encontrado (0,130 em 2010 e 0,082 em 2011, com valor médio de 0,089 para o conjunto dos dois anos) é revelador do potencial de base da parcela estudada, pois, de facto, a variabilidade espacial é elevada.



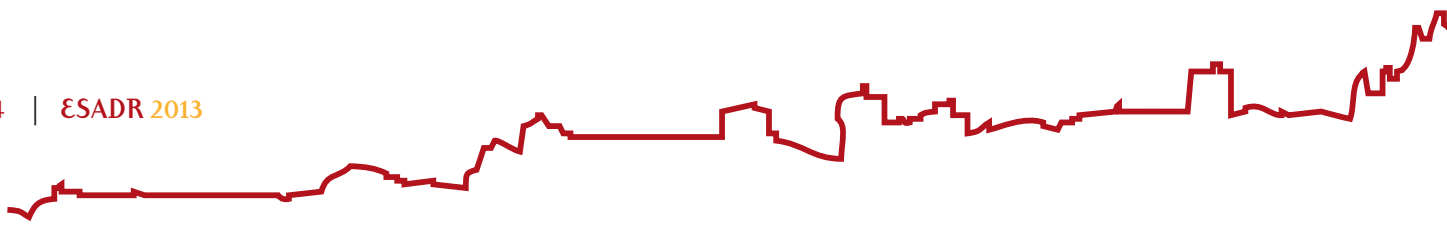
Com a ressalva de não termos efectuado uma análise profunda dos solos, parece-nos ser possível indicar a fertirrega (binómio água e azoto) como sendo a principal fonte da variabilidade espacial da produtividade na parcela. Caso assim seja, será necessário monitorizar o funcionamento do equipamento, assim como garantir que as zonas de solos mais arenosos estão a receber a dotação de rega adequada, em particular nas fases fenológicas mais sensíveis. Para este efeito, existem hoje no mercado várias soluções de rega de precisão, cuja aplicabilidade à parcela estudada seria interessante avaliar, o que, apesar de representar algum investimento na realização de um estudo mais aprofundado dos solos da parcela, nomeadamente, quanto à fertilidade, espessura efectiva, taxa de infiltração e capacidade de retenção de água, poderia, a breve prazo, concorrer para o aumento da produção total da parcela e, conseqüentemente, para a melhoria dos resultados económicos e da potencial vantagem de adopção da agricultura de precisão.

4. Conclusões

A promessa da agricultura de precisão é a de possibilitar a gestão de grandes áreas heterogéneas de cultura com o detalhe de quem gere uma pequena área homogénea. Este desígnio é extremamente oportuno no actual contexto das explorações agrícolas, cujo desafio é o de produzir muito, com qualidade, a baixo custo e de forma ambientalmente sustentável.

Este trabalho dedicou-se ao estudo de alguns recursos básicos para pôr em prática a agricultura de precisão: a elaboração das cartas de produtividade e de zonas de gestão homogénea. Com base no caso-de-estudo aqui tratado e nos métodos propostos, fomos capazes de eliminar 20 a 30% dos dados originais portadores de algum tipo de erro, permitindo a construção de uma carta de produtividade mais correcta, fidedigna e com melhor grau de dependência espacial. As cartas corrigidas revelaram um grande e útil potencial de interpretação dos padrões de variabilidade espaço-temporal da parcela, o que nos permitiu criar uma carta de zonagem de gestão homogénea.

Os resultados das avaliações económica, ambiental e técnica realizadas, sobre as hipóteses de gestão da parcela segundo as práticas da agricultura convencional ou da agricultura de precisão, revelaram-se algo contrastantes. O ganho a esperar com a hipotética transição no critério económico é de apenas 2,37%, enquanto que o ganho no critério ambiental é de 17,28%. A avaliação técnica da parcela conduziu-nos à conclusão de que revela um bom potencial para aderir à agricultura de precisão. Todavia, esta apreciação carece de ser ponderada com o nível tecnológico do





equipamento existente na exploração e, sobretudo, com o nível de conhecimento e a motivação do agricultor.

Agradecimentos

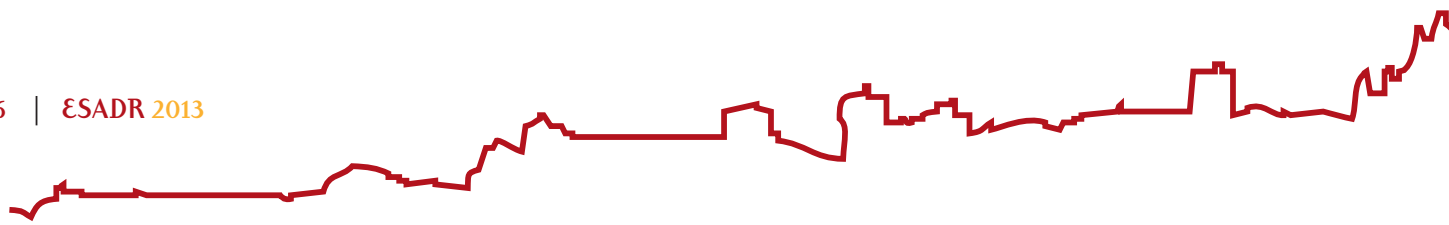
Os autores agradecem ao Eng. Abílio Pereira da Sociedade Agrícola da Quinta da Lagoalva de Cima, S.A. a disponibilização da parcela de cultura e ao Sr. Luís Martins o acesso aos dados do monitor de produtividade.

Referências bibliográficas

- Arslan, S. e Colvin T.S. 2002. Grain yield mapping: Yield sensing, screening algorithms and criteria. Frequency statistics, yield reconstruction, and errors. *Precision Agriculture*. 3: 135–154.- citado por Simbahan, G. C., Dobermann A., e Ping, J. L., 2004.
- Basso, B., J.T. Ritchie, F.J. Pierce, R.P. Braga, e J.W. Jones. 2001. Spatial validation of crop models for precision agriculture. *Agricultural Systems*., pp. 68: 97–112.
- Beck, A.D., Roades, J.P. e Searcy. S.W., 1999. Post-process filtering techniques to improve yield map accuracy. ASAE paper no. 99– 1048. ASAE, St. Joseph, MI. Citado por Simbahan, G. C., Dobermann A., e Ping, J. L. 2004.
- Birrell, S. J., Sudduth, K. A. e Borgelt, S. C. 1996. Comparison of yield sensors and techniques for crop yield mapping. *Computers and Electronics in Agriculture* 14, 215–233. 79.
- Blackmore, B.S. e Moore, M., 1999. Remedial correction of yield map data. *Precision Agriculture*. 1:53–66.
- Blackmore, B. S. e Marshall, C. J. 1996. Yield mapping: errors and algorithms. In: *Precision Agriculture, Proceedings of the 3rd International Conference on Precision Agriculture*, edited by P. C. Robert, R. H. Rust e W. E. Larson (MN, USA), p. 403–416.
- Blackmore, S. 2000. The interpretation of trends from multiple yield maps. *Computers and electronics in agriculture* 26: 37-51.
- Blackmore, S. Godwin R J e Fountas S. 2003. The Analysis of Spatial and Temporal Trends in Yield Map Data over Six Years. *Biosystems Engineering* 84: 455–466.
- Braga, R., 2009a. Obtenção, preparação e análise prévia de mapa de produtividade na cultura do milho. In *Agricultura de Precisão. (J. P. Coelho e J. R. Silva). Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola, AJAP, Lisboa, pp. 73-91.*
- Braga, R., 2009b. Viticultura de precisão: um caso particular de agricultura de precisão. In *Viticultura de Precisão. (R. Braga). Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola, AJAP, Lisboa, pp. 3-22.*
- Braga, R. 2009c. Base de funcionamento e casos de estudo de VRT: Gestão intra-parcelar da densidade de plantas e taxa de aplicação de fertilizantes. In *Agricultura de Precisão. (J. P. Coelho e J. R. Silva). Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola, AJAP, Lisboa, pp. 54 – 72.*
- Braga, R e Aguiar Pinto, P. 2012. Agricultura de precisão: adoção e principais obstáculos. *Agrotec nº1: 84-89. Jan 2012*
- Bramley, R.G.V. e Hamilton, R.P. 2004. Understanding variability in winegrape production systems. 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 10 32–45 80.
- Clark, R.L. e McGucken, R.L. 1996. Variable rate application technology: An overview. *Proceedings of the Third International Conference on Precision Agriculture. Minneapolis, MN, June 23-26, 1996.*



- Robert, P. C., Rust, R. H. e Larson, W. E. (Eds.). ASA Miscellaneous Publications, ASA, CSSA, e SSSA, Madison, WI, pp. 651-662.
- Coelho; J.C.; Mira da Silva, L.; Tristany, M.; Castro Neto, M. e Aguiar Pinto, P., 2004. *Agricultura de Precisão*. Prefácio. Lisboa. 106 pp.
- Coelho, J. P., Silva, L. M., Pinheiro, A. C., Tristany, M. e Neto, M. C., 2009. Agricultura de precisão. In *Agricultura de Precisão*. (J. P. Coelho e J. R. Silva eds.). Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola, AJAP, Lisboa, pp 2-31.
- Dingemans, M. J. 1997. The practical implementation of precision farming for European agriculture. In: *First European Conference on Precision Agriculture, Vol.II: Technology, IT and Management*, edited by J. V. Stafford (UK), p. 727-733.
- Dobermann, A. e Ping, J. 2004. Precision Agriculture: Geostatistical Integration of Yield Monitor Data and Remote Sensing Improves Yield Maps, *Agronomy Journal*, vol. 96, January-February, pp. 285-297.
- Han, S., Hummel, J.W., Goering, C.E. e Cahn, M.D. 1994. Cell size for site-specific crop management. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.37, n.1, p.19-26, jan./fev. Citado por Stabile, M e Balastreire, L. 2006.
- Jensen, J. R. 2007, *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*, 2nd Ed., Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, pp. 592.
- Kleinjan, J., Chang, J., Wilson, J., Humburg, D., Carlson, G., Clay D., e Long, D. 2002. Cleaning yield data [Online]. Available at [http:// plantsci.sdstate.edu/precisionfarm/Publications.htm](http://plantsci.sdstate.edu/precisionfarm/Publications.htm). South Dakota State Univ., Brookings.
- Isaaks, E. H., e Srivastava, R. M. 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*, Oxford University Press, New York, 561 pp.
- Johannsen, C. J., Baumgardner, M. F., Willis, P. R., e Carter, P. G., 1998. Advances in remote sensing technologies and their potential impact on agriculture. *Proceedings of the First International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry*, 1-3 June 1998, Lake Buena, FL, USA (Lake Buena, FL: Veridian), p. 1348. Citado por Thenkabil, P. S. 2003.
- Jones, D. e Barnes, E. M. 2000. Fuzzy composite programming to combine remote sensing and crop models for decision support in precision crop management. *Agricultural Systems*, 65, pp 137-158.
- Jones, C.A. e Kiniry J.R. *Ceres-Maize: 1986. A Simulation Model of Maize Growth and Development*. Texas a & M Univ Pr. pp.194. 82.
- Lillesand, T.M. e Kiefer, R.W. 1994. *Remote sensing and image interpretation*. Wiley & Sons, pp. 750.
- Major, D.G., Schaalje, G.B., Asrar, G. e Kanemasu, E.T. 1986. Estimation of whole-plant biomass and grain yield from spectral reflectance of cereals. *Can. J. Remote Sens.* 12:47-54. Citado por Dobermann, A. e Ping, J.
- Marques da Silva, J. R. e Garcia, F.J. M. 2002. Agricultura de precisão, a agricultura da era planetária. *Actas do XIV Congresso Internacional de Ingeniería Gráfica*, Santander, España, 5-7 de Junho.
- Marques da Silva J.R. 2006. Analysis of the Spatial and Temporal Variability of Irrigated Maize Yield. *Biosystems Engineering*, 94: 337-349.
- McBratney, A. B., Whelan, B. M., Taylor, J. A. e Pringle, M. J. 2000. A management Opportunity Index for Precision Agriculture. In Robert, P. C.; Rust, R. H.; Larson, W. E. (Eds) *Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture*, Bloomington, Minnesota, USA, 16-19 July.
- Menegatti, L. A. e Molin, J.P. 2003. Metodologia para identificação e caracterização de erros em mapas de produtividade, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.2, p.367-374.
- Moran, S. M., Maas, S. J. e Pinter, P. J. 1995. Combining remote sensing and modeling for estimating surface evaporation and biomass production. *Remote Sensing Reviews*, 12, pp. 335-353. Citado por Thenkabil, P. S. 2003.
- Moore, M. 1998. An investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management, Cranfield: Cranfield University, p. 379. PhD Thesis.



- Paes, Vasco Brito (2011). *Análise da variabilidade espaço-temporal da produtividade de milho numa parcela na região da Golegã*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Agronómica. ISA, 86 pp.
- Pelletiera, G. e Upadhyayab, S. K. 1999 Development of a tomato load/yield monitor. *Computers and Electronics in Agriculture*, 23:103–117.
- Ping J. L. e Dobermann A. 2005. Processing of Yield Map Data. *Precision Agriculture*, 6: 193–212.
- Roudier, P., Tisseyre, B., Poilvé, H. and Roger J. 2011. A technical opportunity index adapted to zone-specific management. *Precision of Agriculture*, 12,1: 130-145.
- Searcy, S. W. 1997. *Precision Farming: A New Approach to Crop Management*, Texas Agricultural Extension Service, The Texas A&M University System, College Station, TX 84.
- Seelan, S.K., Laguette, S., Casady, G. e Seielstad, G. 2003. Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach. *Remote Sensing of Environment*. 88: 157–169.
- Serrano, J. M. P. R. e Peça, J. M. N. O. 1996. Agricultura de Precisão. Da Cartografia dos Rendimentos a um Novo Conceito de Gestão Agrícola. *Ingenium*, 2ª Série, Nº 11, Ago/Set 96: 66-70.
- Serrano, J. M. P. R. e Peça, J. M. N. O. 2009. Novas Tecnologias na distribuição diferenciada de fertilizantes em pastagens: o fechar de um ciclo em agricultura de precisão. In *Agricultura de Precisão*. (J. P. Coelho e J. R. Silva eds.). *Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola*, AJAP, Lisboa, pp. 54 – 72.
- Simbahan, G. C., Dobermann, A. e Ping, J. L., 2004. Site-Specific Management: Screening Yield Monitor Data Improves Grain Yield Maps, *Agronomy Journal*, Vol. 96: 1091-1102.
- Stabile, M e Balastreire, L. 2006. Comparação de três receptores GPS para uso em agricultura de precisão. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.26, n.1, p.215-223, jan./abr. 2006.
- Sudduth K. A. e Drummond S. T. 2007. Yield Editor: Software for Removing Errors from Crop Yield Maps. *Agron. J.* 99:1471–1482.
- Thomas, D.L., Perry, C. D., Vellidis, V., Durrence, J. S. Kutz, L. J. Kvien, C. K. Boydell, B. e Hamrita, T. K. 1999. Development and implementation of a load cell yield monitor for peanut. *Applied Engineering in Agriculture*. 15: 211-216.
- Thenkabail, P. S. 2003. Biophysical and yield information for precision farming from near-real-time and historical Landsat TM images, *International Journal of Remote Sensing*, pp. 24:14, 2879-2904.
- Thylen, L., Jurschik, P. e Murphy, D. P. L. 1997. Improving the quality of yield data. In: *First European Conference on Precision Agriculture*, Vol.II: Technology, IT and Management, edited by J. V. Stafford (UK), p. 743–750.
- Thylen, L., P.A. Algerbo, e A. Giebel. 2001. An expert filter removing erroneous yield data. In P.C. Robert et al. (Ed.) *Precision agriculture [CD-ROM]*. Proc. Int. Conf., 5th, Minneapolis, MN 16–19 July 2000. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI..
- Whelan, B.M. e McBratney, A.B., 2000. The “null” hypothesis of precision agriculture management. *Precision Agriculture* 2: 265-279.