

MODELO DE INTERACÇÃO ESPACIAL DE OCUPAÇÃO DO USO DO SOLO PARA ESTUDAR O IMPACTO TERRITORIAL DAS TECNOLOGIAS AGRÍCOLAS “APLICAÇÃO À ILHA TERCEIRA PARA O SEC. XX”

Paulo Silveira¹, Luísa Calado², Tomaz Dentinho³

Neste artigo utiliza-se um modelo integrado para o uso do solo, capaz de explicar a relação entre o Homem e o Ambiente. O modelo explica a interacção entre a economia e o território, tentando relacionar os factores ambientais, tecnológicos, económicos e reguladores que condicionam o uso do solo. As variáveis exógenas do modelo são o emprego básico das diversas actividades para as várias zonas do território. Os dados do modelo são as acessibilidades entre zonas, as aptidões do território para as diferentes actividades e as produtividades do trabalho e da terra para as diferentes actividades.

Neste artigo expande-se a utilização deste modelo às alterações das produtividades do trabalho e da terra que se verificaram a partir de 1980 e tenta-se perceber qual o impacto que essas alterações tiveram na economia e na ocupação do território.

A aplicação do modelo implica: a) a identificação das áreas com capacidade para cada actividade e para cada zona, com base no clima, topografia e solos; b) o cálculo das distâncias entre zonas; c) a determinação da produtividade do território ao longo das últimas duas décadas face ao evoluir da tecnologia para cada actividade (residencial, urbano, turismo, horticultura/ fruticultura, pecuária, silvicultura) d) a calibração dos parâmetros das rendas de cada zona e do atrito espacial para cada tipo de actividade.

De acordo com os resultados analisa-se e tenta-se perceber a evolução do uso do solo na ilha da Terceira ao longo das últimas duas décadas do século XX tendo em atenção as alterações do empregos básicos, a modificação dos parâmetros de atrito, a alteração dos coeficientes técnicos e as variações na superfície do território para as diferentes actividades.

Palavras-Chave: Modelo de Interacção Espacial, Uso do Solo, SIG.

¹ Engenheiro do Ambiente, Gabinete de Gestão e Conservação da Natureza.
paulosilveira@mail.angra.uac.pt

² Engenheira Zootécnica: Gabinete de Gestão e Conservação da Natureza.
luisacalado@gmail.com

³ Economista, professor auxiliar, Gabinete de Gestão e Conservação da Natureza.
tomaz.dentinho@mail.angra.uac.pt

1 – Introdução

2 - O Modelo de Interação Espacial com Uso do Solo

Um modelo de interação espacial distribui emprego por actividade e residentes pelas diferentes áreas da região em estudo tendo em conta as distâncias entre elas e as suas atractividades (Dentinho, 2004). Na adaptação deste modelo para intergrar a ocupação do solo (Gonçalves e Dentinho, 2007) assumiram-se que a residência e cada tipo de actividade gera um padrão de uso do solo baseado em coeficientes de uso do solo para cada actividade sendo o equilíbrio entre a procura e oferta de cada espaço conseguida por uma hierarquização das actividades. No presente trabalho o equilíbrio entre a procura e oferta de espaço é feito pela calibração das rendas de cada local, o que permite a transformação de um modelo geográfico num modelo económico de equilíbrio parcial, com a procura e a oferta de solo equilibrados pelas rendas calibradas.

O modelo é constituído pelas equações Eqs. (1) - (4). A população que vive em cada zona é dependente do emprego básico e não básico dos vários sectores, que é estabelecido em todas as outras zonas:

$$T_{(ikl)j} = E_{ikl} \{r \cdot W_j \exp(-\alpha d_{ij}) / \sum_j [r \cdot W_j \exp(-\alpha d_{ij})]\} \quad (1)$$

Para todas as actividades k nas classes de solo l das zonas i, e

$$P_j = \sum_{ikl} T_{(ikl)j} \quad (2)$$

Onde:

$T_{(ikl)j}$ é a população que vive em j e depende da actividade k na classe de solo l da zona i;

E_{ikl} é o emprego do sector k na classe de solo l da zona i;

r é o inverso da taxa de actividade;

W_j é a atractividade residencial j que varia entre 0 e 1;

α parâmetro que define a atracção produzida pela distância;

d_{ij} distância entre i e j e

P_j são todos os residentes em j.

Por outro lado as actividades geradas em cada zona servem a população que vive em todas as outras zonas dentro de uma escala de serviço:

$$S_{i(jkl)} = P_i \{s_k \cdot V_{lj} A_{lj} \exp(-\beta_k d_{ij}) / \sum_{lj} [s_k \cdot V_{lj} \exp(-\beta_k d_{ij})]\} \quad (3)$$

Para todas as actividades k na classe de solo l da zona j , e

$$E_{jkl} = \sum_i S_{i(jkl)} \quad (4)$$

Onde:

$S_{i(jkl)}$ é a actividade gerada no sector k na classe de solo l da zona j que serve a população na zona i ;

V_{lj} é a atractividade dos serviços da classe de solo l na zona j ;

A_{lj} é a área da classe de solo l na zona j ;

s_k é a relação de emprego não-básico da actividade k sobre a população;

β_k parâmetro que define o atrito produzido pela distância para as pessoas que procuram os serviços das actividades do sector k ;

d_{ij} é a distância entre i e j ;

2.2 – Calibração de parâmetros

O parâmetro α é calibrado de modo que o custo médio de residência-emprego do modelo seja semelhante ao custo médio verificado na realidade. Do mesmo modo, os parâmetros β_k são calibrados seguindo a mesma lógica do anterior, assegurando que o custo médio para a população do serviço k é muito semelhante ao custo médio actual.

Contudo, existem restrições espaciais que têm de ser cumpridas. A área ocupada pelas diferentes actividades (básica, não-básica e residencial) em cada zona I , e para cada classe de solo l , não deve exceder a área total da A_{il} [Equação. (5)].

$$\sum_k [\sigma_k S_{ilk}] + \rho P_{il} + \sum_{ik} [\sigma_k E_{bilk}] \leq A_{il} \quad (\text{para todas as classes } l \text{ e zonas } i) \quad (5)$$

Onde:

σ_k é a área ocupada por um emprego no sector k ;

ρ é a área ocupada por um residente;

A_{il} é a área disponível para a classe l na zona i .

É importante salientar que, para a Equação (5), diferentes tipos de usos k competem por cada classe l na zona i . Para resolver esta questão, as atractividades das classes de solo l na zona j (V_{lj}) têm que ser calibradas garantindo que as condições da Equação (8) são cumpridas. Neste trabalho é aplicado uma calibração interactiva (V_{lj}) de acordo com a expressão (6).

$${}_{q+1}V_{lj} = 1 / [1 + \exp(-\theta \{\delta_q + \delta_{q-1}\})] \quad (6)$$

Onde $\delta_q = \{ \sum_k [\sigma_k q S_{ilk}] + \rho_q P_{il} + \sum_{ik} [\sigma_k E_{b_{ilk}}] - A_{il} \}$ para cada interacção q ; θ = parâmetro que controla o ritmo do processo de calibração.

O processo de calibração V_{lj} termina quando o uso do solo para cada classe de solo l na zona i não excede o valor da área disponível A_{il} . De notar que o processo de calibração dos V_{lj} termina quando o uso de solo de cada classe l na zona i não excede o montante de área disponível A_{il} . Sendo assim a atractividade calibrada de cada classe de solo l para cada zona l pode ser interpretada como bid-rents associadas a cada classe de solo em cada zona (ω_{lj}). De facto, se assumirmos a expressão (7)

$$\omega_{lj} = \ln (1/ V_{lj}) \quad (7)$$

Então a expressão (3) toma a forma

$$S_{i(jkl)} = P_i \{ s_k \cdot \exp (-\omega_{lj} - \beta_k d_{ij}) / \sum_{lj} [s_k \cdot \exp (-\omega_{lj} - \beta_k d_{ij})] \} \quad (8)$$

Onde as bid-rents ω_{lj} são complementares dos custos de transporte como é expectável nos modelos espaciais de equilíbrio.

A atractividade residencial é definida por zonas ao passo que as atractividades de serviços são estabelecidas por zona e por classe de solo. Sendo que no presente modelo, assumimos que a atractividade residencial para diferentes zonas têm um factor (κ) de máximo e mínimo de cada zona para as diferentes classes (7).

$$W_j = \kappa \text{Max}_i(V_{lj}) + (1- \kappa) \text{Min}_i(V_{lj}) \quad (9)$$

Onde κ varia entre zero e um.

A Figura 1 explica o funcionamento do modelo de interacção espacial. O termo emprego básico está relacionado com o emprego de mercados externos e/ou instituições. O emprego não-básico está relacionado com a população residente. Numa primeira instância é possível estimar a população de diferentes zonas que dependem da actividade básica (exportações e ajudas externas) de várias zonas multiplicando a sua quantidade pela proporção de dependentes da actividade na zona i , que vivem na zona j . Num segundo passo, a população existente em cada área i , induz o desenvolvimento de actividades não básicas nas diferentes zonas Equação (3). Num terceiro passo, a actividade não básica nas várias zonas é associada a uma maior população dependente ao longo das várias zonas Equação (1). Os segundo e terceiro passos são repetidos interactivamente até o emprego total e a população total resultantes do modelo convergirem para os níveis consistentes de população total e emprego actuais. As

variáveis endógenas (P_i , E_{kj}) podem ser obtidas a partir das variáveis exógenas do emprego básico ($E_{b_{ik}}$) através do uso das matrizes $[A]$ e $[B]$.

$$[E_{ik}] = \{I - [A] [B]\}^{-1} [E_{b_{ik}}] \quad (10)$$

$$[P_i] = \{I - [A] [B]\}^{-1} [E_{b_{ik}}] [A] \quad (11)$$

Onde:

$$[A] = [\{r \cdot W_j \exp(-\alpha d_{ij}) / \sum_j [r \cdot W_j \exp(-\alpha d_{ij})]\}] \quad (12)$$

$$[B] = [\{s_k \cdot A_{ij} \exp(-\omega_{lj} - \beta_k d_{ij}) / \sum_{lj} [s_k \cdot A_{ij} \exp(-\omega_{lj} - \beta_k d_{ij})]\}] \quad (13)$$

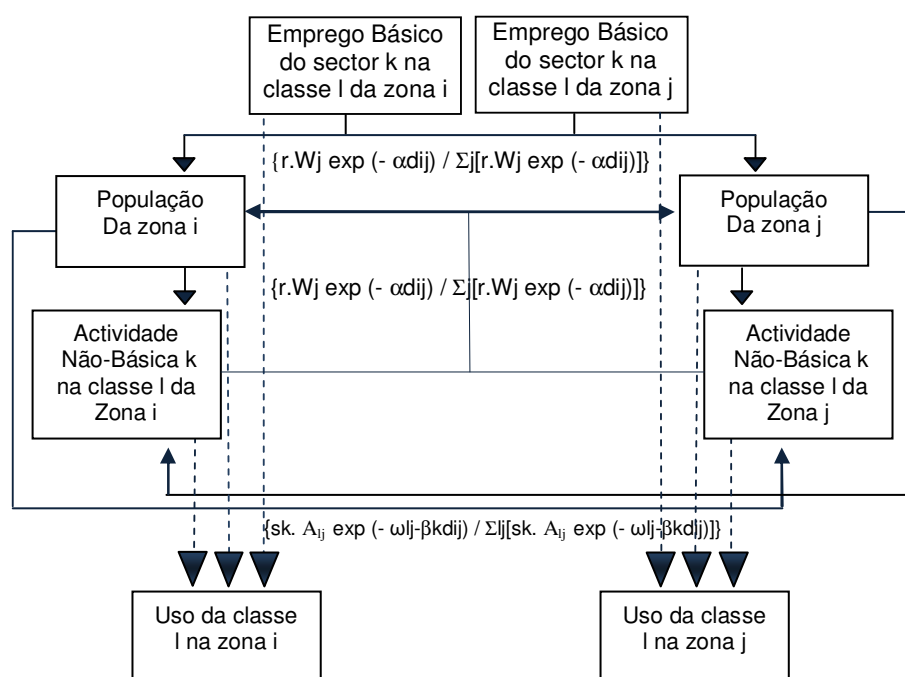


Figura 1 - Modelo de interação espacial com padrões de uso do solo

A estrutura geral do sistema pode ser representada de uma forma simples, por um modelo com três blocos interrelacionados, Figura (1):

- em primeiro lugar o sistema económico externo, que integra as exportações e o mercado mundial – o motor das pequenas economias (Dommen & Hein, 1885);
- em segundo lugar, o sistema económico externo, que descreve as relações entre as exigências locais e as várias actividades, que cumprem essas exigências: uso urbano, turístico, hortícola, agrícola, agro-pecuário e silvícola.

- o terceiro bloco foca o uso dos recursos naturais, ou zonas, cruciais para analisar a sustentabilidade de todo o sistema.

3 – Recolha e Tratamento dos Dados

3.1 – Determinação de Áreas de Aptidão

A definição de classes de solo é um factor importante para a operacionalidade do modelo de interacção espacial com uso do solo de forma a determinar as aptidões do território para as diferentes actividades. Foram utilizados quatro classes de temperaturas médias anuais, três classes de precipitação média anual acumulada, quatro classes de capacidade do uso do solo e também quatro classes de declive do terreno. Resultaram 192 classes finais da conjugação inicial das classes que representam as condições edafoclimáticas e orográficas da ilha. Deste modo, seria necessário calibrar 192 rendas para cada zona e inverter a matriz $\{I - [A] [B]\}^{-1}$ de 4 zonas x 192 classes, tornando-se assim difícil tratar um número tão elevado de classes para o modelo de interacção espacial do uso do solo.

Deste modo transformou-se as 192 classes em apenas 14, sendo que uma delas representa no modelo o mar e as restantes abrangem todo o território. Ao contrário da primeira classificação, esta não traduz uma decomposição de factores climáticos, de relevo ou de qualidade do solo mas sim das condições induzidas por esses mesmos factores para cada actividade. O Quadro (1) apresenta as variáveis utilizadas para determinar as 192 classes iniciais, enquanto o Quadro (2) apresenta já a relação entre cada uso e as novas classes reagrupadas.

Quadro 1 - Variáveis edafoclimáticas utilizadas para a determinação das classes

Factores	Usos					
	Urbano	Turístico	Horticultura	Agricultura	Agro-Pecuária	Silvicultura
Temperatura média anual (°C)	>= 16	>= 16	>= 16	>= 10	>= 12.5	> 0
Precipitação Annual Acumulada (mm)	-	-	>= 1000	750	>= 1300	>= 750
Declive (%)	0 - 25	0 - 25	0 - 25	0 - 15	0 - 25	0 - 50
Capacidade de Usos dos Solos (I - VIII)	I - VII	I - VII	I-VI	I - IV	I -VI	I - VII

Pelo Quadro (2), a classe 1 é aquela que permite todos os usos; a classe 2 permite apenas a agricultura, a agro-pecuária e a silvicultura; a 3 a horticultura, a agro-pecuária

e a silvicultura; a classe 4 permite só a agro-pecuária e a silvicultura; a 5 permite todos os usos com excepção da agro-pecuária; a 6 possibilita a horticultura, a agricultura e a silvicultura; a 7 dá para todos os usos com excepção da horticultura; a 8 só dá para a agricultura e para a silvicultura; a 9 dá para tudo menos a agricultura e agro-pecuária; a 10 só dá para a silvicultura; a 11 para o uso urbano, turístico e silvicultura; a 12 para o uso urbano e turístico; a 13 permite qualquer uso e a 14 é a classe do mar.

É importante salientar que a classe 13, embora não apresente aptidão para nenhuma actividade económica incluída no modelo, noutras aplicações poderá estar relacionada com usos ambientais como por exemplo o abastecimento de água ou a conservação da natureza.

Quadro 2 – Relação entre as classes e os usos

Classes	Usos					
	<i>Urbano</i>	<i>Turístico</i>	<i>Horticultura</i>	<i>Agricultura</i>	<i>Agro-Pecuária</i>	<i>Silvicultura</i>
1	X	X	X	X	X	X
2	-	-	-	X	X	X
3	-	-	X	-	X	X
4	-	-	-	-	X	X
5	X	X	X	X	-	X
6	-	-	X	X	-	X
7	X	X	-	X	-	X
8	-	-	-	X	-	X
9	X	X	X	-	-	X
10	-	-	-	-	-	X
11	X	X	-	-	-	X
12	X	X	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-
14	Mar	Mar	Mar	Mar	Mar	Mar

Na Figura 2 vêm representadas as 14 classes para o ano de 1981 e para o ano de 2001. As Figuras 3 a 5 representam as cartas de aptidão para as diferentes actividades e para 1981 e 2001 que resultam da combinação das classes de solo 1 a 14 identificadas no Quadro 2.

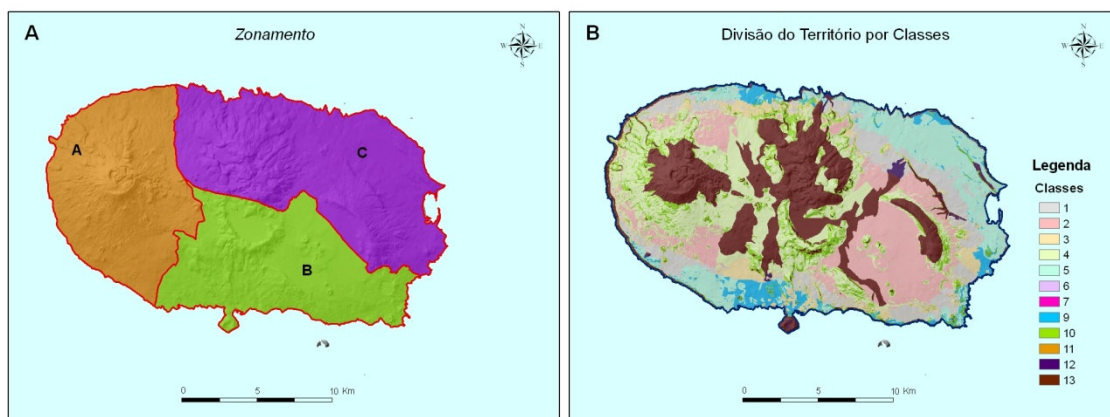


Figura 2 – Zonamento e Divisão do Território por Classes

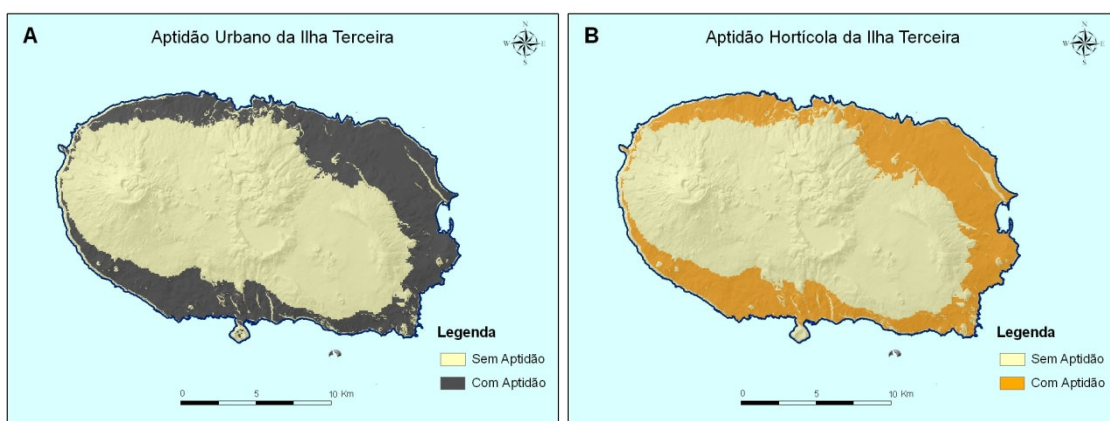


Figura 3 – Aptidão urbana (A) e Aptidão Hortícola (B) da Ilha Terceira

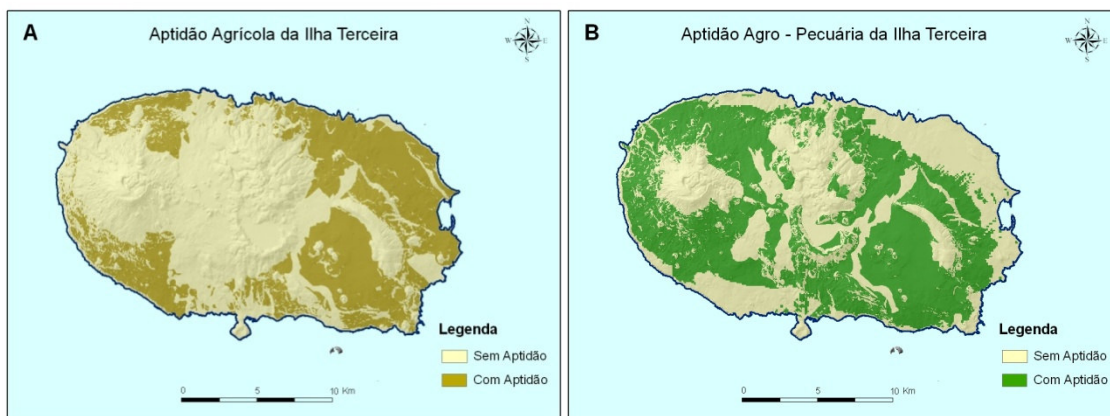


Figura 4 – Aptidão agrícola (A) e Aptidão Agro-Pecuária (B) da Ilha Terceira

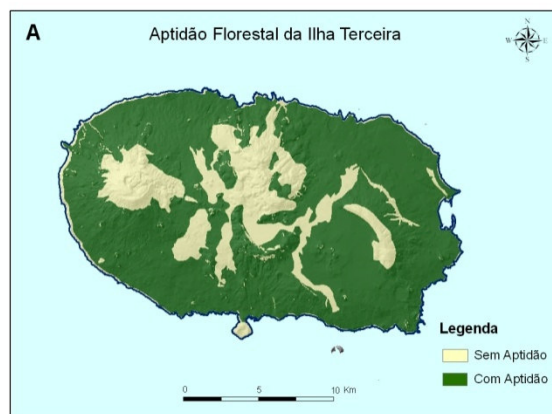


Figura 5 – Aptidão Silvícola (A) da Ilha Terceira

O quadro 3 apresenta a distribuição da População na Ilha Terceira para os anos de 1981 e 2001 com base nos dados apresentados nos censos para cada um dos anos referidos.

Quadro 3 – Distribuição da População na Ilha Terceira para os anos de 1981 e 2001

	Zona A	Zona B	Zona C
1981	6100	26708	20762
2001	5986	29595	20252

A ilha encontra-se dividida em três zonas, a que se junta no modelo uma terceira zona (D) que representa as relações entre cada ilha e o exterior. O cálculo das distâncias dentro de cada zona é efectuado com base na Equação (13). Para a zona D, admitiu-se uma distância de 150 km, que envolve o custo de embarque e desembarque mais uma fracção da distância por mar até ao porto externo mais solicitado.

$$d_{ii} = \sqrt{\frac{\pi}{A_i^2}} \quad (13)$$

Onde:

d_{ii} é a distância entre o ponto de referência de cada uma das zonas e A_i a área total da zona.

Quadro 4 - Matriz das Distâncias entre cada uma das zonas em Km para a ilha Terceira

	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D
Zona A	3,1	12	33	183
Zona B	12	3,1	26	176
Zona C	33	26	3,6	153,6
Zona D	183	176	153,6	0

As taxas de serviços utilizadas em cada simulação foram calculadas com base na Equação (14).

$$S_i \frac{\text{Emprego Não Básico}}{\text{População}} = \rho_i \times \frac{\alpha_i}{\beta_i} \quad (14)$$

Onde:

$$\alpha_i = \frac{\text{Emprego}}{\text{Hectare}} \quad \beta_i = \frac{\text{Produção}}{\text{Hectare}} \quad \sigma_i = \frac{\text{Consumo}}{\text{Pessoa}}$$

O quadro 5 apresenta os empregos básicos associados a cada sector para cada um dos anos considerados. A calibração do parâmetro α relativo ao custo médio de residência-emprego é apresentada no quadro 6 assim como os valores dos parâmetros β_K referentes ao custo médio para a população do serviço K .

Quadro 5 – Distribuição do emprego básico, por zonas e por usos

		Turismo	Urbano	Horticultura	Agricultura	Agro-Pecuária	Silvicultura
(1981)	Zona A	0	10	3	6	1314	0
	Zona B	136	1861	4	9	1181	0
	Zona C	100	998	7	11	1010	0
(2001)	Zona A	0	35	0	100	506	1
	Zona B	277	2794	0	260	640	0
	Zona C	178	1626	0	220	450	0

Quadro 6 - Valores resultantes da calibração dos parâmetros σ e β

	Urbano	Turismo	Horticultura	Agricultura	Agro-Pecuária	Silvicultura
α (1981)	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
α (2001)	0.275	0.275	0.275	0.275	0.275	0.275
β_k (1981)	0.565	0.545	0.720	0.755	0.715	0.815
β_k (2001)	0.410	0.410	0.140	0.220	0.220	0.370

4. Resultados

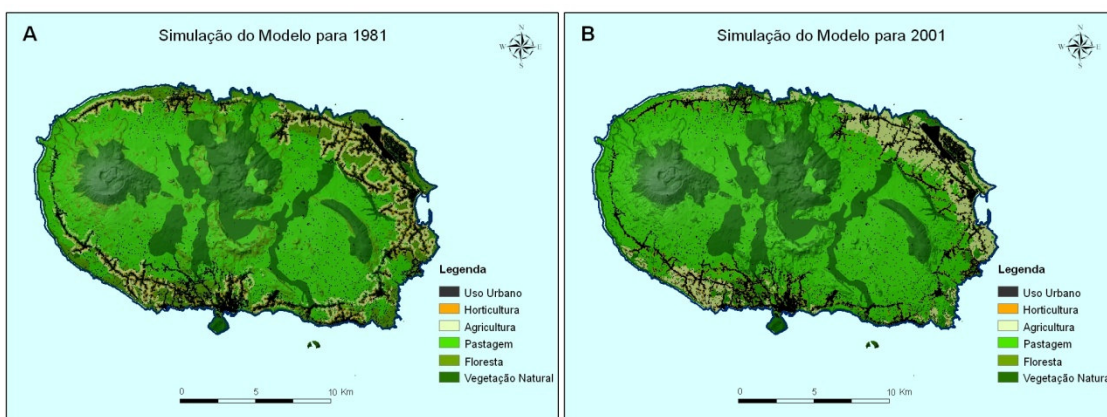


Figura 8 – Simulação da ocupação do uso do solo da ilha Terceira para 2001 e 2070

Na simulação efectuada para 1981, a área relativa à agro-pecuária é ligeiramente inferior á que se verifica em 2001, uma vez que as zonas mais baixas sem aptidão para pastagem por défice de precipitação, passam a ser ocupadas por culturas forrageiras utilizadas na alimentação animal, situação que não sucedia no início dos anos 80. A área urbana aumenta consideravelmente entre 1981 e 2001 ao passo que a horticultura diminui. O quadro 7 apresenta as áreas utilizadas em cada uma das simulações.

Quadro 7 – Áreas do uso do solo ocupadas por zonas e usos considerados (Ha)

		Urbano	Horticultura	Agricultura	Agro-Pecuária	Silvicultura
(1981)	Zona A	68	8	73	9874	529
	Zona B	170	11	108	11670	1024
	Zona C	121	18	135	9311	833
(2001)	Zona A	70	5	112	11543	973
	Zona B	243	8	287	12062	620
	Zona C	175	10	318	10469	715

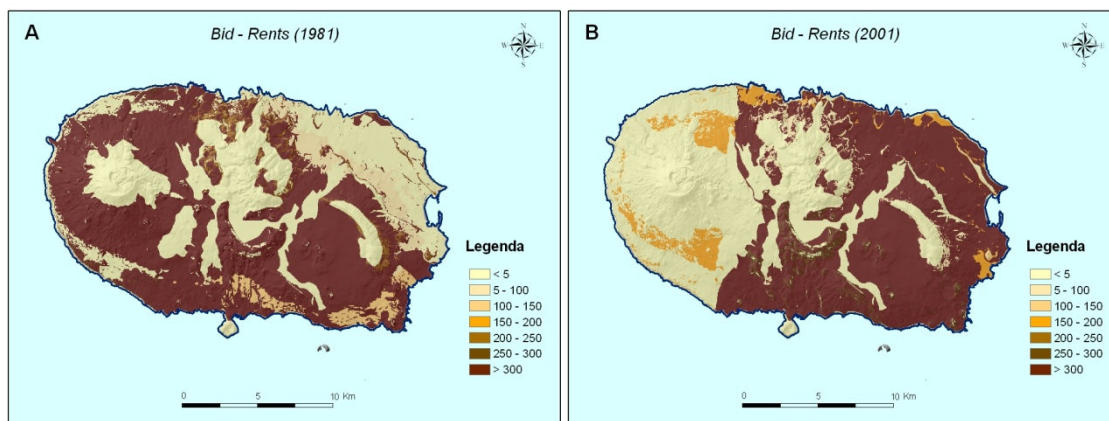


Figura 8 – Rendas para o ano de 1981 e 2001

Da análise aos resultados obtidos para as rendas das duas simulações efectuadas para 1981 e para 2001, observa-se uma pressão em 2001 junto das principais áreas urbanas. Cerca de 90% da população trabalha e reside nas zonas B e C da ilha ao passo que na zona A corresponde a aos restantes 10% da população onde o sector de actividade económica predominante continua a ser a agro-pecuária. É interessante observar a diminuição tão acentuada no valor das rendas de 1981 para 2001 sobretudo na zona A. Tal deve-se ao facto de existir no início da década de 80 mais do dobro da população associada ao sector da agro-pecuária. Com o passar dos anos, embora a produtividade tenha aumentado significativamente neste sector, o número de trabalhadores ligados

directamente a esta actividade diminuiu drasticamente com influência directa na pressão do uso.

5. Conclusões

Pretendeu-se com este trabalho demonstrar como é que os modelos de interacção espacial com uso do solo podem ser utilizados para explicar os padrões de uso do solo, com base em dados de emprego, população, produtividade da terra, produtividade do trabalho e coeficientes entre emprego básico (exportador) e população; durante um período de 20 anos. É interessante observar a relação introduzida pelas novas tecnologias e o seu impacto na população, no emprego e no uso do solo. A população total da Ilha Terceira não sofre grande oscilação no período considerado, no entanto o sector ligado á agro-pecuária diminui cerca de 40 % entre 1981 e 2001 ao passo que o sector urbano aumenta cerca de 36%. O equilíbrio na população durante o período observado, deve-se ao facto de uma grande percentagem da população que no inicio dos anos 80 trabalhar no sector da agro-pecuária, em 2001 transferiu-se para o sector urbano, sem prejuízo na produção de leite e carne, fruto das implementações tecnológicas que permitiram parte da população deslocar-se de sector de actividade mantendo a população mais ou menos constante por toda a ilha.

Bibliografia

- Azevedo, E.M.V.B. (1996). *Modelação do Clima Insular à Escala Local – Modelo CIELO aplicado à Ilha Terceira*. Tese de Doutoramento. Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores.
- Dentinho, T.P. (2005) – Modelos Gravitacionais. Cap. 22 do *Compêndio de Economia Regional*. José Silva Costa (eds). APDR.
- Dixon, B.L., S.E. Hollinger, P. Garcia and V. Tirupattur, (1994) Estimating corn yield response models to predict impacts of climate change. *Journal of Agriculture and Resource Economics*, 19 (1994), pp. 58–68.
- Dockerty, T.; Lovett, A., Sünnerberg, G., Appleton, K. and Parry, M. (2005) Visualising the potential impacts of climate change on rural landscapes. *Computers, Environment and Urban Systems*. Volume 29, Issue 3, May 2005, Pages 297-320
- Easterling, W.E., M.S. McKenney, N.J. Rosenberg and K.M. Lemon (1992) - Simulations of crop response to climate change: effects with present technology and

currently available adjustments. *Agriculture, Forest and Meteorology*, 59 (1992), pp. 75–102.

FAO, 1978/1980. FAO, 1978–1980. Report on the Agro-ecological Zones Project, vol. 1; Methodology and Results for Africa, vol. 2; Results for Southwest Asia, vol. 3; Methodology and Results for South and Central America, vol. 4; Results for Southeast Asia. [FAO] World Soil Resources Report 48/1-4.

Fischer G., H. van Velthuizen, M. Shah and F.O. Nachtergaele, (2002) - Global agro-ecological assessment for agriculture in the 21st century: methodology and results, IIASA RR-02-02, IIASA, Laxenburg, Austria.

Gonçalves, J. e Dentinho, T. (2007) – A spatial interaction modelo for agricultural uses. Chap 8 of *Modelling Land-use Change*. Koomen et al. (eds). Springer.

Hossell, J.E., Jones, P.J., Marsh, J.S., Parry, M.L., Rehman, T. and Tranter, R.B., 1996. The likely effects of climate change on agricultural land use in England and Wales. *Geoforum* 27, pp. 149–157.

Pinto, P.A.; Braga, R. e Brandão, A.P. (2006) – Agricultura. Cap 5. de Alterações Climáticas em Portugal, cenários, impactos e medidas de adaptação. Eds F.D. Santos e P. Miranda, Gradiva. de pp. 213 a 231.

Tan, Guoxin, and Shibasaki, Ryosuke (2003) - Global estimation of crop productivity and the impacts of global warming by GIS and EPIC integration *Ecological Modelling*, Volume 168, Issue 3, 15 October 2003, Pages 357-370