

## **Aplicação de um Modelo de Interação Espacial no estudo da evolução do uso do solo em ilhas de pequena dimensão. Caso de estudo da Graciosa – Açores.**

Joana Gonçalves<sup>1</sup> (joanag@mail.angra.uac.pt)

Tomaz Dentinho<sup>2</sup> (tomaz.dentinho@mail.angra.uac.pt)

Universidade dos Açores – Campus de Angra do Heroísmo

Terra Chã

9701-851 Angra do Heroísmo

Açores Portugal

### **Resumo**

Pretende-se com o presente trabalho interpretar a evolução histórica do uso do solo em pequenas ilhas. Através de dados climatológicos, de solo e baseado em características agronómicas, é determinada a capacidade do território da ilha para cinco diferentes usos, são eles: a agricultura, horticultura, pastagem, floresta e uso urbano. Esta aptidão é transformada em coeficientes de atractividade.

De seguida, o desenvolvimento de um modelo de interação espacial contempla estes cinco usos aos quais é possível associar uma taxa de emprego directamente relacionada com a área ocupada.

Através de dados históricos de população e principais exportações, é feita a calibração do modelo para cada um dos períodos históricos da ilha. Com base nestes dados de população estimam-se os diferentes usos do solo das ilhas. Apresenta-se neste artigo a aplicação ao caso particular da ilha Graciosa - Açores.

**Palavras-chave:** planeamento, SIG, ocupação do solo, História, interação espacial

---

<sup>1</sup> Bolseira de Investigação Científica

<sup>2</sup> Professor Auxiliar

## **1. Introdução**

A ideia popular de desenvolvimento sustentável (Beckerman, 1992, Seta, 1995; Stern, 1996, Campell, 1996; Drakakis, 1995.1996, Maclaren, 1996) dentro do conceito *fuzzy* do desenvolvimento (Myrdal, 1957; O sensor, 1988,1992) criou novas pressões sobre os agentes de planeamento. À parte de todos os mal entendidos, tornou-se impossível dissociar o planeamento físico das estratégias de desenvolvimento e vice-versa.

O objectivo deste artigo é explicar a evolução histórica dos usos do território em pequenas ilhas, através da análise de um modelo de interacção espacial económico e ambiental, calibrado para uma pequena comunidade insular, com dados históricos sobre a população e exportações.

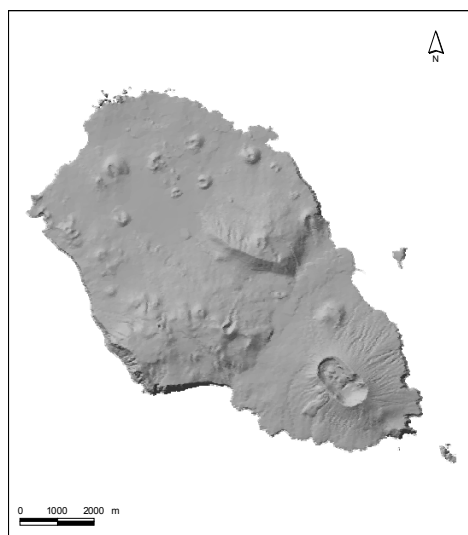
O primeiro passo consiste na avaliação da capacidade do território da ilha para diferentes usos com base nas exigências edafoclimáticas, que são transformados em coeficientes de atractividade. De seguida aplica-se o modelo de interacção espacial, com cinco sectores aos quais é possível associar uma relação área/emprego, primeiro a quatro zonas da ilha, que neste caso correspondem aos limites administrativos da mesma, correspondendo cada zona a uma freguesia e dentro destas zonas a cada célula de 1 hectare.

Através de dados históricos de população e principais colheitas exportadas calibra-se o modelo para cada período histórico, e por fim, é possível obter estimar os usos da terra ao longo da História, bem como identificar as causas de roturas ambientais ligadas com a falta de alimento, fogo ou água.

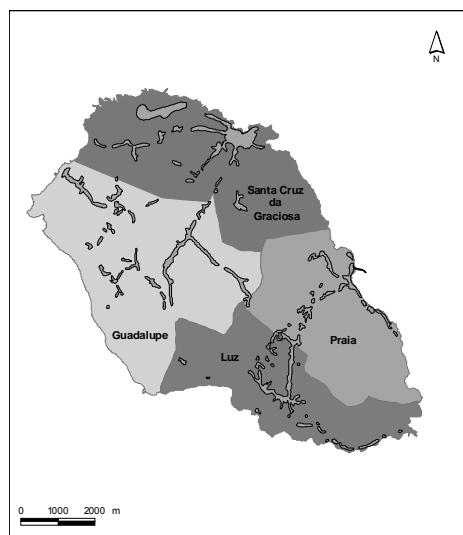
## **2. Ilha Graciosa**

A ilha Graciosa, de origem vulcânica, situa-se no grupo central do arquipélago dos Açores, com uma área aproximada de 61 km<sup>2</sup>. Apresenta declives pouco acentuados, e grande parte do seu território situa-se a menos de 150 metros de altitude, o que a torna a menos húmida das nove ilhas dos Açores. O Pico Timão, ponto mais alto da ilha, situa-se a 402 metros de altitude, onde ocorrem também os declives mais acentuados.

Administrativamente constitui um dos 19 municípios da região, Santa Cruz da Graciosa, que se divide em quatro freguesias, utilizadas neste estudo como quatro grandes zonas de interacção. Actualmente a população, de aproximadamente 4800 habitantes, distribui-se por toda a ilha, com uma especial concentração na freguesia de Santa Cruz da Graciosa.



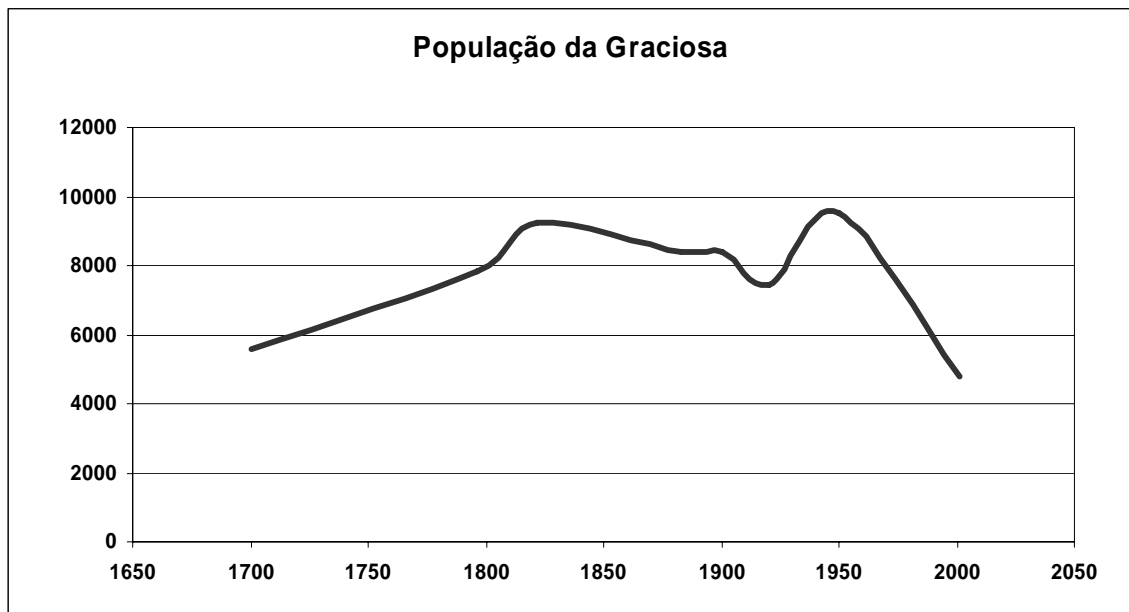
**Figura 1** – Modelo Digital de Terreno da Graciosa



**Figura 2** – Freguesias do concelho de Santa Cruz da Graciosa

Na linha da costa, acidentada, abrem-se duas baías onde se situam o porto de Vila da Praia e Santa Cruz da Graciosa. Possui campos férteis que produzem cereais, fruta e vinho e criam gado bovino.

Os primeiros dados de população recolhidos, referem-se ao ano de 1700, quando a população da Graciosa era de 5558 habitantes. Esta evoluiu com uma taxa de crescimento positiva atingindo o seu máximo por volta de 1822, com 11436 habitantes. Actualmente a população da Graciosa é de aproximadamente 4800 habitantes, sensivelmente metade da população existente em 1950.



**Figura 3** – Evolução da população na ilha Graciosa.

Durante estes três séculos, a utilização do solo variou em função das principais exportações e pelas exigências da população local. O objectivo deste artigo é estimar os padrões de uso do solo com os resultados de um modelo de interacção espacial.

### 3. Modelo

Um modelo de interacção espacial distribui emprego e residentes pelas diferentes áreas da região tendo em conta as distâncias entre elas e as suas atractividades (Dentinho, 2002). Na adaptação feita neste artigo assume-se que a residência e cada tipo de emprego gera um padrão de uso do solo baseado em coeficientes de uso do solo para cada actividade. As relações entre os sistemas económicos internos e externos podem ser explicadas usando a estrutura de um modelo básico (Hoyt, 1939; North, 1955; and Tiebout, 1956) de acordo com o qual as exportações, ou actividades básicas, são o factor de propulsão da economia, que determinam não só a sua dimensão mas também os padrões da produção local.

As equações (1) e (2) explicam o modelo. A população que vive em cada zona está dependente do emprego que é estabelecido nas outras zonas.

$$(1) T_{ij} = E_{ki} \{ r \cdot W_j \exp(-\text{ad}_{ij}) / S_j [r \cdot W_j \exp(-\text{ad}_{ij})] \}$$

$$(2) P_j = \sum_i T_{ij}$$

Onde:  $T_{ij}$  = população que vive em  $j$  e que depende da actividade  $k$  em  $i$ ;  $E_{ki}$  = emprego no sector  $k$  na área  $i$ ;  $W_j$  = atractividade residencial de  $j$ ;  $r$  = inverso da taxa de actividade;  $a$  = parâmetro que define a atracção produzida pela distância;  $d_{ij}$  = distância entre  $i$  e  $j$ ; e  $P_j$  = 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.

$$(3) S_{ikj} = P_i \{s_k \cdot V_{kj} \exp(-\beta d_{ij}) / \sum_j [s_k \cdot V_{kj} \exp(-\beta d_{ij})]\}$$

$$(4) E_{kj} = \sum_i S_{ikj}$$

Onde:  $S_{kj}$  = actividade gerada no sector  $k$  na zona  $j$  que serve a população em  $i$ ;  $E_{kj}$  = actividade no sector  $k$  para a zona  $j$ ;  $V_{kj}$  = atractividade para a actividade do sector  $k$  na zona  $j$ ;  $s_k$  = “quantidade” de actividade  $k$  por população;  $b$  = parâmetro que define o atrito produzido pela distância para as pessoas que procuram os serviços das actividades;  $d_{ij}$  = distância entre  $i$  e  $j$ ; e  $E_{kj}$  = emprego no sector  $k$  na zona  $j$ .

A Figura 4 ilustra o funcionamento do modelo de interacção espacial. No momento inicial é possível estimar a população das diferentes áreas dependentes da actividade básica das várias áreas, apenas multiplicando a sua quantidade pela proporção de dependentes da actividade na área  $i$ , que vivem na área  $j$   $\{r \cdot W_j \exp(-\alpha d_{ij}) / \sum_j [r \cdot W_j \exp(-\alpha d_{ij})]\}$ .

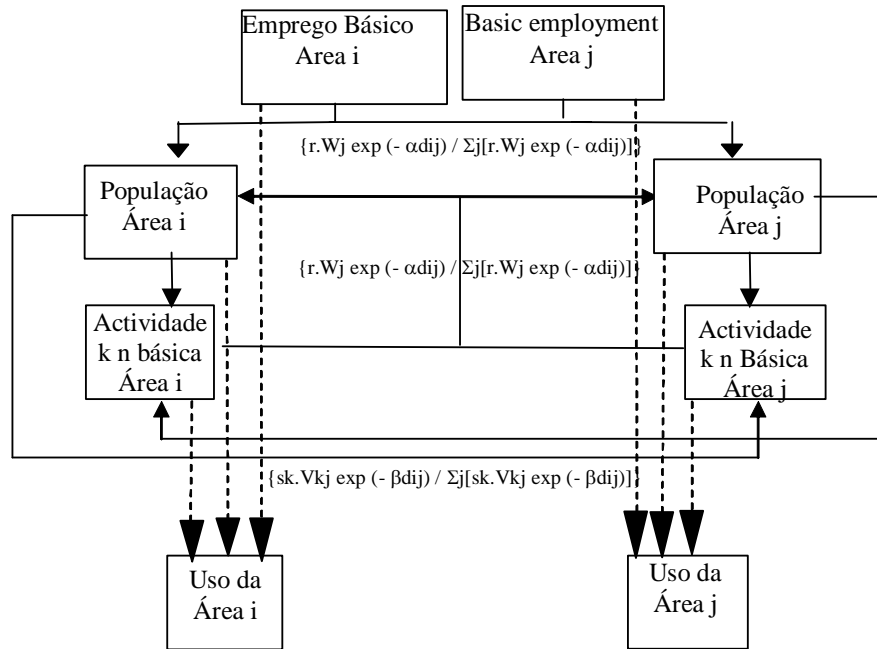
Num segundo passo, a população existente em cada área  $i$ , induz o desenvolvimento de actividades não básicas nas diferentes áreas, cuja estimativa é obtida pela multiplicação da população da área  $i$  por  $\{s_k \cdot V_{kj} \exp(-\beta d_{ij}) / \sum_j [s_k \cdot V_{kj} \exp(-\beta d_{ij})]\}$ . Num terceiro passo, a actividade não básica nas várias áreas é associada a uma maior população dependente ao longo das várias áreas.

Os segundo e terceiro passos são repetidos iterativamente até o emprego total e a população total resultantes do modelo convergirem para os níveis consistentes de população total e emprego.

Existem também restrições relacionadas com a área que devem ser cumpridas.

$$(5) \sum_{ik} \sigma_{ik} S_{ikj} + \rho_j P_j + \sum_{ik} \sigma_{ik} E_{b_{ikj}} \leq A_j \text{ (para todas as zonas } j).$$

Onde  $\sigma_{ik}$  = área ocupada por um emprego do sector (k) na zona (i); e  $\rho_j$  = área ocupada por um residente na zona j.



**Figura 4** – 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 4):

- 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 interno, que descreve as relações entre as exigências locais e as várias actividades (k), que cumprem essas exigências: urbe, hortus, ager, saltus and silvae.
- o terceiro bloco foca o uso dos recursos naturais, ou zonas, cruciais para analisar a sustentabilidade de todo o sistema.

### 3. Dados

#### Atractividade para cada zona e sector

A atractividade ( $V_{kj}$ ) foi determinada pela avaliação das condições edafoclimáticas para cada um dos usos considerados: urbano, agrícola, hortícola, florestal e agro-pecuário. Os dados utilizados ( $q$ ) foram a temperatura, a precipitação, a altitude, o declive, o solo e a exposição solar.

A equação (6) representa a fórmula utilizada na determinação das atractividades,

$$(6) V_{kj} = \sum_m (\prod_{qm} C_{jkqm} (1/Q)) / M$$

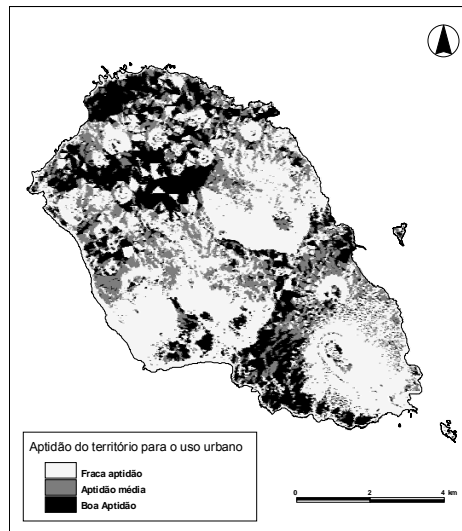
onde  $V_{kj}$  representa a atractividade do sector de actividade  $k$  na zona  $j$ ; e  $C_{jkqm}$  o valor normalizado do factor ( $q$ ), para o sector ( $k$ ), no ponto ( $m$ ) da zona ( $j$ ). Por falta de dados não foi possível avaliar a importância relativa de cada factor, tendo sido dado o mesmo peso a todos os factores.

#### Aptidão ao uso urbano

A aptidão urbana foi determinada através da análise de três parâmetros relativos ao território: altitude, declives e exposição de vertentes (Gonçalves e Dentinho, 2005).

Os valores de declive foram divididos em três classes, 0-7%, 7-25% e >25%. Declives superiores a 25% foram considerados inaptos à edificação, sendo o intervalo de 0-7% o que apresenta aptidão preferencial. As exposições a Norte e Oeste foram excluídas das zonas de aptidão devido às baixas temperaturas resultantes de fraca insolação e incidência de ventos fortes, sendo as exposições a sul consideradas como preferenciais. Considerou-se que a implantação urbana ocorreria apenas abaixo dos 300 metros e em áreas próximas de acesso ao mar.

Os fracos declives e baixas altitudes tornam o território da ilha Graciosa bastante apto para o uso urbano, com excepção da zona mais a sudeste onde se verificam os declives mais acentuados.

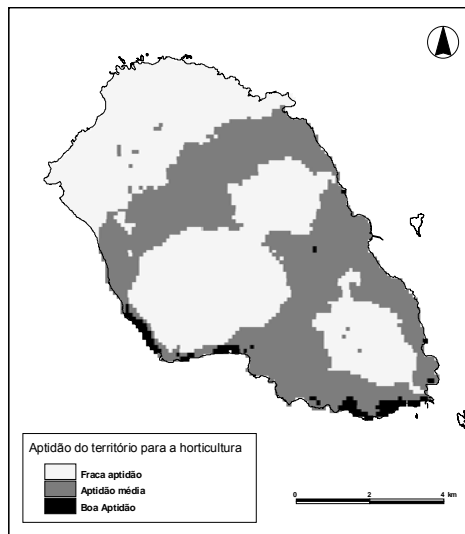


**Figura 5 - Aptidão do território ao uso urbano.**

### Aptidão ao uso hortícola

A aptidão ao uso hortícola e à fruticultura foi determinada com base nas exigências edafoclimáticas da laranjeira (Gonçalves e Medeiros, 2005). Os dados climáticos considerados nesta avaliação foram: temperatura (graus dia acumulados e temperatura média na estação fria), precipitação (precipitação total e percentagem de precipitação nos meses de Verão). Foi também considerada a capacidade de uso do solo.

Devido à baixa altitude a que se encontra o território da ilha Graciosa, os valores de precipitação são também reduzidos, factor limitante na cultura dos citrinos. Com as limitações de precipitação e capacidade de uso do solo, a área de aptidão para a horticultura na ilha Graciosa é relativamente reduzida.

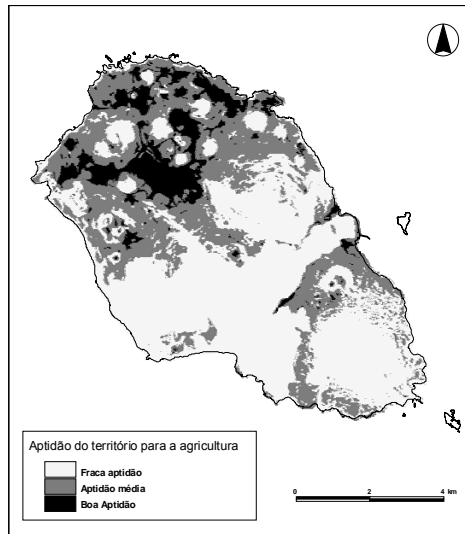


**Figura 6 - Aptidão do território ao uso hortícola.**

### Aptidão ao uso agrícola

Tendo em conta a História das ilhas, a aptidão para os usos agrícolas foi determinada tendo por base duas culturas cerealíferas, o milho e o trigo (Gonçalves e Monjardino, 2005). As exigências edafoclimáticas destas duas culturas correspondem a temperatura (graus dia acumulados e temperaturas mínima e máxima durante certos estados de desenvolvimento das culturas), altitudes e declives. Dadas as semelhanças destas duas culturas, o resultado da aptidão é semelhante para estas duas culturas.

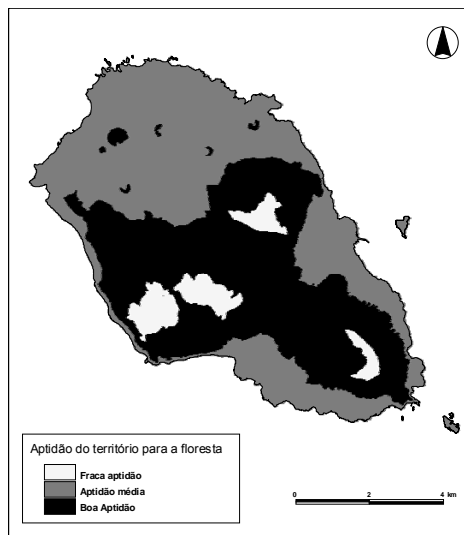
As áreas de não aptidão para estas culturas correspondem a declives demasiado acentuados ou a locais onde as exigências de temperatura não são satisfeitas. Dentro das classes de aptidão a distinção é feita com base nos parâmetros de capacidade de uso do solo que consideram a altitude e o declive do terreno. Verifica-se que em relação ao factor temperatura, todo o território com aptidão do solo para estas culturas apresenta condições óptimas, permitindo a utilização de cultivares mais tardias e potencialmente mais produtivas.



**Figura 7 - Aptidão do território ao uso agrícola.**

Aptidão ao uso florestal

A aptidão do território ao uso florestal é semelhante à aptidão para a pastagem, com a vantagem de ser possível implantar floresta em declives mais acentuados. Devido às limitações se prenderem apenas com a altitude, a ilha Graciosa apresenta elevada aptidão e elevada percentagem de área com aptidão para a floresta.



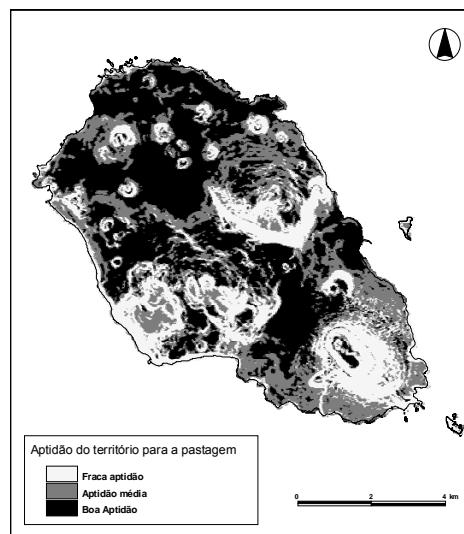
**Figura 8 - Aptidão do território ao uso florestal.**

### Aptidão à pastagem

A aptidão do território para a pastagem foi determinada com base em dois critérios, altitude e declive. Ambos os critérios foram divididos em quatro classes, 0-7%, 7-15%, 15-25% e >25% para os declives e 0-100m, 100-300m, 300-700m e >700m, para as altitudes. Sendo as classes de maiores declives e maiores altitudes consideradas inaptas. Verifica-se que para a Graciosa a classe de inaptidão pela altitude nunca ocorre, uma vez que o ponto mais alto se situa a cerca de 400 metros de altitude.

Utilizando as classes referidas e valores de produtividades medidas para o território da ilha Terceira, verificou-se que a influência dos dois critérios é equilibrada e que a perda de produtividade pela diminuição das classes de aptidão é semelhante para um e outro critério.

Verifica-se que devido à não existências da classe de altitudes com menor aptidão e devido aos fracos declives verificados na maioria do território, a ilha Graciosa apresenta uma percentagem elevada de área com elevada aptidão para a pastagem.



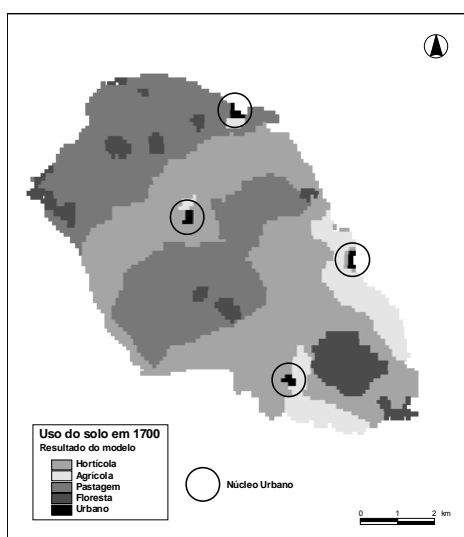
**Figura 9** - Aptidão do território à pastagem.

### **Resultados**

Usando os dados de população recolhidos para as diferentes fases históricas da ilha Graciosa, entre 1700 e a actualidade, efectuaram-se simulações para obter padrões de uso

do solo para cada período e para cada zona. De seguida, com os resultados obtidos para cada zona, as cinco actividades foram distribuídas dentro destas tendo por base os coeficientes de atractividade e considerando uma hierarquia para os cinco sectores. Considerou-se o uso urbano como preferencial, seguindo-se o uso agrícola, hortícola, pastagem e por fim a floresta.

A Figura 10 ilustra o resultado da primeira simulação, efectuada para 1700, quando a população da Graciosa era de 5558 habitantes. Resultou desta simulação a exploração de todo o território, sendo a principal actividade, para todo o território, a horticultura com uma ocupação média de 47%, seguida da pastagem, que ocupa cerca de 37% do território.



**Figura 10** – Ocupação do solo estimada para o ano de 1700.

A segunda simulação corresponde ao máximo de população entre 1700 e a actualidade, em que a população da Graciosa atingiu os 9230 habitantes. A ocupação do solo, para a generalidade da ilha, manteve-se em termos de percentagem de ocupação de cada uma das actividades. O território manteve-se totalmente ocupado pelas cinco actividades, tendo surgido um aumento da área explorada no exterior da ilha para satisfazer as necessidades da população (tabela 1).

Para o ano de 1900, em que ocorre um decréscimo da população para 8285 habitantes, volta a ocorrer uma ligeira diminuição da área explorada no exterior e mantém-se sensivelmente a distribuição das cinco actividades (tabela 1).

Por fim, para a actualidade, surge um ligeiro aumento da actividade pecuária e diminui a área explorada no exterior, uma vez que esta simulação corresponde ao mínimo de população, de cerca de 4780 habitantes (tabela 1).

	<b>Urbano</b>	<b>Hortícola</b>	<b>Agrícola</b>	<b>Pastagem</b>	<b>Floresta</b>
<b>1700</b> (Pop = 5558 hab)					
<u>Zona A</u>	1	30	1	63	6
<u>Zona B</u>	0	36	1	59	5
<u>Zona C</u>	1	59	27	5	8
<u>Zona D</u>	1	64	15	12	8
<b>Média</b>	<b>1</b>	<b>47</b>	<b>11</b>	<b>35</b>	<b>7</b>
<b>1822</b> (Pop = 9230 hab)					
<u>Zona A</u>	1	30	1	58	10
<u>Zona B</u>	1	36	1	55	8
<u>Zona C</u>	1	59	26	1	13
<u>Zona D</u>	1	64	15	6	14
<b>Média</b>	<b>1</b>	<b>47</b>	<b>11</b>	<b>30</b>	<b>11</b>
<b>1900</b> (Pop = 8385 hab)					
<u>Zona A</u>	1	30	1	59	9
<u>Zona B</u>	1	36	1	56	7
<u>Zona C</u>	1	59	27	1	12
<u>Zona D</u>	1	64	15	8	12
<b>Média</b>	<b>1</b>	<b>47</b>	<b>11</b>	<b>31</b>	<b>10</b>
<b>2004</b> (Pop = 4780 hab)					
<u>Zona A</u>	0	30	3	61	5
<u>Zona B</u>	0	36	5	55	4
<u>Zona C</u>	0	55	27	11	7
<u>Zona D</u>	1	59	15	19	7
<b>Média</b>	<b>0</b>	<b>45</b>	<b>13</b>	<b>36</b>	<b>6</b>

**Tabela 1** – Ocupação do solo em percentagem da área total do território.

## Conclusão

A integração de sistemas de informação geográfica com modelos de interação espacial tem um longo caminho a percorrer, dependendo da capacidade dos computadores e dos dados disponíveis. Pretendeu-se com este trabalho demonstrar como esta capacidade pode ser utilizada para obter padrões de uso do solo ao longo da história, baseada em dados incompletos de população, produtividades e principais actividades exportadoras. Esta metodologia foi já aplicada ao caso da ilha do Corvo (Dentinho e Gonçalves, 2005), menor em dimensão e com uma população significativamente mais reduzida, e pretende-se no futuro aplicá-la a outras ilhas dos Açores que, apesar de maiores dimensões, possuem um maior número de registos históricos.

## **Bibliografia**

Arrow, K. et al. (1995) Economic growth, carrying capacity, and the environment, *Science*, Vol. 268 (1995), pp.520-521.

Beckerman, W., Economic growth and the environment: whose growth? Whose environment? *World Development*, Vol. 20(1992), pp.481-496.

Bellido, L. Lopez (1990) – Cultivos Herbáceos VolII – Cereales; Ediciones Mundi Prensa.

Campbell, Scott (1996) - Green Cities, growing cities, just cities? Urban Planning and the Contradictions of Sustainable Development. *Journal of the American Planning Association*, Vol.62, Nº.3 Summer 1996, pp.296-312.

Dentinho, T., Meneses J.G.A. (1996) - Sustainable Development of Urban Areas. Lessons from the Smallest City. 36th European Congress of ERSA ETH Zurich, Switzerland 26 - 30 August 1996

Dommen & Hein (1985), - Foreign Trade in Goods and Services. The Dominant Activity of Small Islands. in *States, Microstates and Islands*, P. Croom Helm London.

Drakakis-Smith, David (1995) - Third World Cities: Sustainable Urban Development, 1. *Urban Studies*, Vol.32, nº 4-5, pp.659-677.

Drakakis-Smith, David (1996) - Third World Cities: Sustainable Urban Development II - Population, Labour and Poverty, 1. *Urban Studies*, Vol.33, nº 4-5, pp.673-701.

Gonçalves, J. and Dentinho, T. (2005) – Atractividade Urbana nas Ilhas dos Açores. In *Estudo das Aptidões do Território dos Açores*, ed. Gonçalves, J. and Azevedo, E. (2005). Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores.

Gonçalves, J. and Medeiros, C. (2005) – Atractividade para os Citrinos nas Ilhas dos Açores. In *Estudo das Aptidões do Território dos Açores*, ed. Gonçalves, J. and Azevedo, E. (2005). Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores.

Gonçalves, J. and Monjardino, P. (2005) – Atractividade para os cereais nas Ilhas dos Açores. In *Estudo das Aptidões do Território dos Açores*, ed. Gonçalves, J. and Azevedo, E. (2005). Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores.

Gonçalves, J. and Calado, L. (2005) – Atractividade para a Agro-pecuária nas Ilhas dos Açores. In *Estudo das Aptidões do Território dos Açores*, ed. Gonçalves, J. and Azevedo, E. (2005). Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores.

Maclaren, Virginia W. (1996) - Urban Sustainability Reporting. *Journal of the American Planning Association*, Vol.62, N°.2 Spring 1996,pp.184-202.

Hoyt, H. (1939) – *The structure and growth of residential neighbourhoods in American cities*, Washington, U.S. Printing Office.

Madeira, Artur Boavida, *População e emigração nos Açores (1766-1820)*, Cascais, Patrimonia, 1999, pp. 183 e seguintes.

Morin, Charles (1985) – Cultivo de Cítricos – Instituto Interamericano de Cooperacion para la agricultura; San Jose, Costa Rica.

Myrdal, Gunnar (1957) - *Economic Theory and Underdeveloped Regions* Gerald Ducworth & Co.Ltd. London.

North, D.C. (1955) – “Location theory and regional economic growth”, *Journal of Political Economy*, June 243-58.

Sen, Amartya (1988) - The Concept of Development,in *Handbook of Development Economics*. Vol 1 pp. 9-26. Ed. H. Chenery & T.N.Srinivasan. Elsevier Pub. B.V. Holland.

Sen, Amartya (1992) - Minimal Liberty *Economica*. May, Vol.59, pp. 139-159.

Slocombe D. Scott (1998) - Defining Goals and Criteria for Ecosystem-Based Management. *Environmental Management* 22:483-493 (1998)

Stern, D.; Common, M. and Barbier, E. (1996) - Economic Growth and Environmental Degradation: The Environmental Kuznets Curve and Sustainable Development. *World Development*, Vol 24, Nº 7, pp.1151-1160, 199

Tiebout, C.M. (1956) – “A pure theory of local public expenditures”. *Journal of Political Economy*, 64, 416-24.

Frei Agostinho de Monte Alverne, Crónicas da Província de São João Evangelista, vol. III, Edição do Instituto Cultural de Ponta Delgada, Ponta Delgada, 1988, pp. 237-239.

Pe António Cordeyro, História Insulana das Ilhas a Portugal Sugeytas no Oceano Occidental,...., Região Autónoma dos Açores, Secretaria Regional de Educação e Cultura, 1981, pp. 434-435.

Gaspar Frutuoso, Saudades da Terra, liv. VI, Instituto Cultural de Ponta Delgada, Ponta Delgada, 1998, pp. 123-128.

Dentinho, T and Gonçalves J. (2005) - A spatial interaction model for agricultural uses. An application to understand the historical evolution of land use on a small island.