

DIVERSIDADE DA FLORA DOS AÇORES

Estudo da sua variação interilhas
e comparação
com os outros Arquipélagos Macaronésicos

por

JOSÉ NORBERTO BRANDÃO OLIVEIRA

RESUMO

Pretende-se verificar até que ponto tem validade ajustar um modelo linear da forma $N = a S^b$ que correlacione a área das ilhas (S) com a sua riqueza específica em plantas vasculares (N). Procedê-se assim para cada um dos arquipélagos macaronésicos de per si e para a macaronésia no seu conjunto.

Ensaia-se para os Açores um modelo de similitude para ajuizar das ligações preferenciais de semelhança entre ilhas (ainda com base na sua riqueza em plantas vasculares).

ABSTRACT

It is our purpose to verify until what point is valuable to adjust a linear model of the form $N = a S^b$ which relates the area of the islands (S) with their specific richness in vascular plants (N). We apply this method to each macaronesian archipelago and to macaronesia as a whole.

The application of a similitude model is also experimented in order to judge the preferential connections of similarity among the islands of the Azores (based upon its richness in vascular plants).

1. INTRODUÇÃO

O recurso a modelos matemáticos para descrever duma forma simples e precisa fenómenos naturais, em particular no domínio da ecologia vem sendo cada vez mais frequente e em muitos casos tem-se mostrado mesmo indispensável. DAGET (1979) refere que o surgimento duma disciplina nova, a Ecologia Matemática, virada sobretudo para a interpretação dos fenómenos biológicos na forma de modelos matemáticos, é já uma realidade. Estes modelos têm um leque de aplicações praticamente inesgotável e apresentam ainda segundo o mesmo autor as seguintes vantagens em relação aos métodos clássicos: 1) precisão, simplificação e economia de meios de descrição dos fenómenos observados; 2) possibilidade de interpolação e extrapolação para outras situações semelhantes; 3) introdução de conceitos novos em ecologia.

Não pretendemos com isso de modo algum defender que os modelos matemáticos são uma espécie de panaceia para todos os males, apenas que se têm revelado muito úteis em muitas situações e que em ecologia são uma «ferramenta» de que não se deve descurar o seu uso.

No presente trabalho pretendemos verificar até que ponto tem validade ajustar um modelo da forma $N = a S^b$ que correlacione a área das ilhas (S) com a sua riqueza específica (N).

Sabemos que em Zoologia* têm sido largamente utilizados modelos deste tipo. Segundo PRESTON (1926) tais

* Vide Bibliografia.

modelos são válidos para todos os ecossistemas que respeitam as seguintes condições:

1. ecossistemas suficientemente *isolados* para que a sua fauna não sofra qualquer pressão do exterior.
2. ecossistemas *comparáveis* do ponto de vista das suas densidades de povoamento para o(s) grupo(s) animais considerados;
3. ecossistemas em que a sua fauna tenha atingido já *estabilidade* do ponto de vista da sua diversificação e da extensão dos nichos ecológicos das espécies.

As ilhas são ecossistemas isolados por excelência e de facto grande parte dos estudos que têm sido feitos neste domínio referem-se a arquipélagos. Porém apenas temos conhecimento da aplicação de modelos da forma $N = a S^b$ para estudos faunísticos, o próprio Preston assim o faz transparecer. De qualquer modo é nossa intenção testar a sua aplicabilidade nos Açores para exprimir a variação da riqueza específica da sua flora, intra-arquipélago.

2. VARIAÇÃO INTERILHAS DA DIVERSIDADE FLORÍSTICA

A) *Nos Açores*

No Quadro 1 sintetizamos os dados referentes às dimensões de cada uma das ilhas e ao número de *taxa* (plantas vasculares) que ocorrem em cada uma delas, segundo PALHINHA (1966) e ERIKSSON *et al.* (1979).

QUADRO 1

Arquipélago dos Açores. Área aproximada das ilhas (S, km²) e n.º de espécies vasculares ocorrendo em cada uma delas (N₁ e N₂)

Ilha	S (km ²)	N ₁ Eriksson	N ₂ Palhinha
S. Miguel	747	635	538
Pico	433	426	304
Terceira	400	541	415
S. Jorge	246	356	315
Faial	172	526	377
Flores	143	349	302
Santa Maria	97	348	249
Graciosa	62	221	166
Corvo	17	200	157
	2 317	3 602	2 823

A análise do Quadro 1 mostra que a riqueza específica aumenta «grosso modo» com a superfície das ilhas, para encontrar a relação matemática que existe entre N e S foi estudada a correlação entre os seus logaritmos. Os coeficientes de correlação de Pearson, entre log N₁ e N₂, e log S, calculados por

$$r = \frac{\Sigma (x - \bar{x}) (y - \bar{y})}{\sqrt{\Sigma (x - \bar{x})^2 \Sigma (y - \bar{y})^2}}$$

foram respectivamente $r_1 = + 0.888$ e $r_2 = + 0.908$, ambos altamente significativos para $n = 9$ conforme comparação com os valores do Quadro 2.

QUADRO 2

Limites de significância do coeficiente de correlação r
para diferentes valores de n e de p

n	Limites de significância de r	
	Coefic. de segurança $p = 0.95$	Coefic. de segurança $p = 0.99$
4	0.95	0.99
5	0.88	0.96
6	0.81	0.92
7	0.75	0.87
8	0.71	0.83
9	0.67	0.80
10	0.63	0.76

A recta de regressão de $\log N$ em $\log S$ calculada pelo método dos quadrados mínimos tem por equação:

i) usando os valores de N_1 (ERIKSSON *et al.*, 1979)

$$\log N = 1.9 + 0.305 \log S \quad (1)$$

ou seja por transformação logarítmica

$$N = 79.43 S^{0.305}$$

Por outro lado e para um risco igual a 0.05, calculado o desvio padrão $\sigma = 70.85$, chega-se ao seguinte modelo probabilístico

$$N = 79.43 S^{0.305} \pm 141.70$$

ii) usando os valores de N_2 (PALHINHA, 1966)

$$\log N = 1.766 + 0.317 \log S \quad (2)$$

que é equivalente por transformação logarítmica a

$$N = 58.34 S^{0.317}$$

(modelo determinístico)

Igualmente para um risco igual a 0.05 e calculado o desvio padrão $\sigma = 54.10$ se chega ao seguinte modelo probabilístico

$$N = 58.34 S^{0.317} \pm 119.02$$

O melhor ajustamento entre N e S , dado pelas equações (1) e (2) permite calcular os valores teóricos de N'_1 e N'_2 que constam do Quadro 3.

QUADRO 3

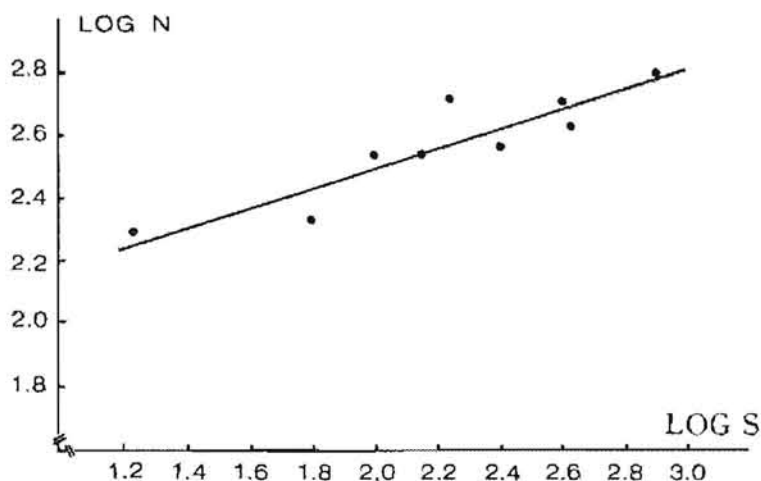
Valores dos logaritmos de S , de N_1 e N_2 , e de N'_1 e N'_2 estes últimos calculados por (1) e (2) respectivamente

Ilhas	Log S	Log N_1	Log N_2	N'_1	N'_2
S. Miguel	2.873	2.803	2.731	597.51	475.13
Pico	2.636	2.629	2.484	505.96	399.70
Terceira	2.602	2.733	2.618	493.87	389.78
S. Jorge	2.391	2.551	2.498	425.81	334.11
Faial	2.235	2.721	2.576	381.79	298.28
Flores	2.155	2.542	2.480	360.87	281.32
Santa Maria	1.987	2.541	2.396	320.59	248.76
Graciosa	1.792	2.344	2.220	279.68	215.85
Corvo	1.230	2.301	2.196	188.48	143.22
Total	19.901	23.165	22.199	3554.56	2786.15

Na Fig. 1 representamos graficamente o modelo linear obtido para o conjunto dos 9 pontos conhecidos (N, S).

FIGURA 1

Modelo linear ajustado aos 9 pontos representando a riqueza específica das 9 ilhas dos Açores em função da sua superfície (coordenadas logarítmicas e valores de N de ERIKSSON, 1979)



B) Nos outros arquipélagos macaronésicos

Madeira

No Quadro 4 sintetizamos os valores relativos à superfície (S e log S) e ao número de taxa vasculares (N e log N) ocorrendo em cada uma das ilhas.

Da análise do Quadro 4 constata-se que a riqueza específica aumenta «grosso modo» com a superfície das ilhas, porém o coeficiente de correlação entre log N e log S a

QUADRO 4

Arquipélago da Madeira. Área aproximada das ilhas (km²), número de espécies ocorrendo em cada um delas e respectivos logaritmos

Ilhas	S	N	log S	log N
Madeira	738	1135	3.055	2.868
Porto Santo	50	442	2.645	1.700
Desertas	3.8	143	2.238	0.560
Selvagens	2.7	92	1.964	0.447

que se chega $r = + 0.607$ é muito baixo para $n = 4$, não sendo significativo (Quadro 2).

Canárias

No Quadro 5 sintetizamos os valores para este arquipélago, relativos à superfície de cada uma das ilhas e ao número de *taxa* vasculares ocorrendo em cada uma delas.

O coeficiente de correlação entre log N e log S é $r = + 0.648$ valor baixo para $n = 7$, o que mostra não ter significado estatístico aquela correlação.

QUADRO 5

Arquipélago das Canárias. Área aproximada de cada uma das ilhas (km²) e número de espécies vasculares ocorrendo nestas

Ilhas	S	N	log N	log S
Tenerife	2057	1356	3.132	3.313
Fuerteventura	1722	605	2.782	3.236
Gran Canária	1533	1306	3.116	3.186
Lanzarote	806	601	2.779	2.906
Palma	704	800	2.903	2.848
Gomera	354	811	2.909	2.549
Hierro	278	560	2.748	2.444

Cabo Verde

No Quadro 6 sintetizamos para este arquipélago os valores relativos à superfície das ilhas, taxa ocorrendo em cada uma delas e N' calculados por (3).

QUADRO 6

Arquipélago de Cabo Verde. Área aproximada das ilhas, número de taxa em cada uma delas e valores de N' calculados por (3)

Ilhas	S	N	log N	log N	N'
Santiago	991	378	2.577	2.996	431.74
Santo Antão	779	481	2.682	2.892	321.33
Boavista	620	148	1.170	2.792	242.83
Fogo	476	324	2.511	2.678	175.58
S. Nicolau	343	287	2.458	2.535	117.45
Maio	269	95	1.978	2.430	87.17
S. Vicente	227	268	2.428	2.356	70.78
Sal	216	107	1.029	2.334	66.59
Brava	64	102	1.009	1.806	14.97
Santa Luzia	35	37	1.568	1.544	7.14

Para o arquipélago de Cabo Verde e para os valores constantes do Quadro 6 o valor do coeficiente de correlação entre $\log N$ e $\log S$ é $r = + 0.684$ valor significativo para $n = 10$, com um coeficiente de segurança $p = 0.95$.

A recta de regressão de $\log N$ em $\log S$, calculada pelo método dos quadrados mínimos, tem por equação

$$\log N = 1.047 + 1.227 \log S \quad (3)$$

ou por transformação logarítmica

$$N = 0.091 S^{1.227}$$

(modelo determinístico)

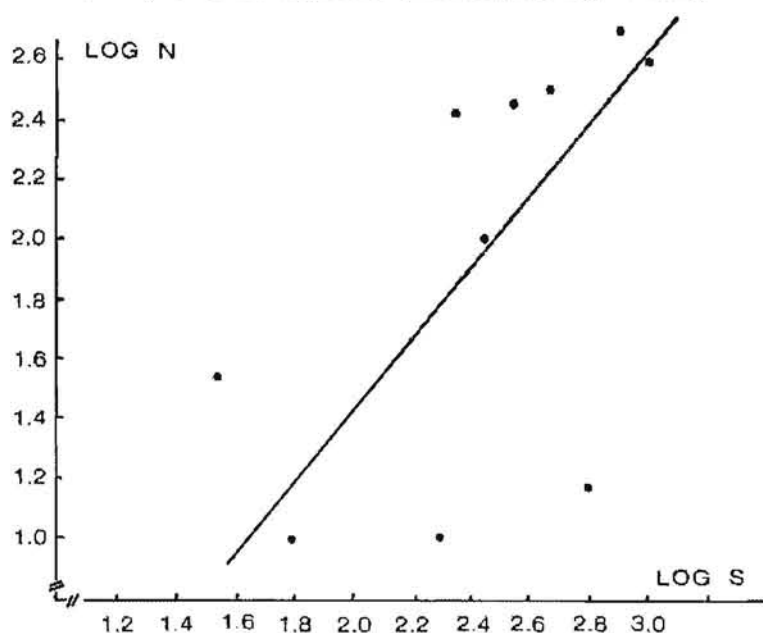
Por outro lado e para um risco de 0.05, calculado o desvio padrão $\sigma = 98.05$ é o seguinte o modelo probabilístico a que se chega

$$N = 0.091 S^{1.27} \pm 21.71$$

Na Fig. 2 representamos graficamente o modelo linear obtido para o conjunto dos 10 pontos conhecidos (N, S).

FIGURA 2

Modelo linear ajustado aos 10 pontos conhecidos e representando a riqueza específica das 10 ilhas do arquipélago de Cabo Verde em função da sua superfície (coordenadas logarítmicas)



C) Conclusões

Nos Açores a riqueza específica das suas ilhas em plantas vasculares aumenta claramente com a superfície destas. Os coeficientes de correlação encontrados entre

$\log N$ e $\log S$ são assim como seria de esperar positivos, mas mais importante do que isso, são altamente significativos, $r_1 = 0.888$ e $r_2 = 0.908$, valores muito mais elevados que o limite de significância de r mesmo para um risco de apenas 1% ($r = 0.80$, Quadro 2).

A equação que melhor exprime N em função de S é

$$N = 79.43 S^{0.305}$$

(para os dados da PALHINHA, 1966, respeitantes à distribuição dos *taxa* pelas várias ilhas)

ou

$$N = 58.34 S^{0.317}$$

(para os dados mais recentes de ERIKSSON, 1979)

Para Cabo Verde o coeficiente de correlação entre $\log N$ e $\log S$, $r = +0.684$, embora não tão elevado como no caso dos Açores é ainda significativo para um coeficiente de segurança $p = 0.95$ (Quardo 2).

A equação que melhor exprime N em função de S é

$$N = 0.91 S^{1.227}$$

Para os restantes arquipélagos macaronésicos, Madeira e Canárias, embora a riqueza específica das suas ilhas pareça aumentar com a superfície destas, os coeficientes de correlação encontrados entre $\log N$ e $\log S$, são baixos e sem significado estatístico. Não se torna assim possível para Madeira e Canárias adaptar um modelo matemático linear, válido neste domínio, como o fizemos para Açores e Cabo Verde.

Sobre as razões, por certo discutíveis, desta diferença entre arquipélago com tantas características em comum, apenas adiantamos que devem forçosamente estar relacionadas com o cumprimento ou não dos «princípios 2 e 3 de Preston que condicionam a validade de aplicação de modelos deste tipo (pág. 1).

3. VARIAÇÃO ADENTRO DA MACARONÉSIA DA DIVERSIDADE FLORÍSTICA

No Quadro 7 sintetizamos para a macaronésia os valores relativos à área de cada um dos arquipélagos, distância destes ao continente mais próximo e número total de *taxa* vasculares e número médio destes por 100 km².

QUADRO 7

Macaronésia. Área aproximada dos diversos arquipélagos, sua distância ao continente mais próximo e número total e médio de *taxa* vasculares por 100 km²

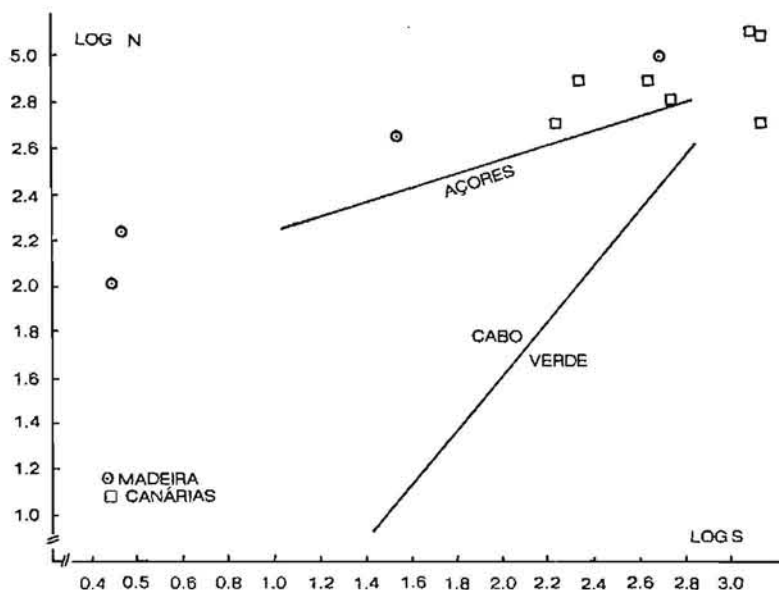
	Açores	Madeira	Cabo Verde	Canárias
Distância continente mais próximo	1600	1187	500	115
Área aproximada	2317	800	3985	7273
Total de <i>taxa</i>	858	815	699	2076
<i>Taxa</i> /100 km ²	37.03	145.60	17.54	28.54

Para a Macaronésia na sua globalidade o coeficiente de correlação entre log N e log S é $r = +0.298$, valor muito baixo e de modo nenhum significativo para $n = 4$. Por outro lado o coeficiente de correlação entre os valores para cada arquipélago da riqueza específica média (*taxa*/100 km²) e as distâncias daqueles ao continente mais próximos é $r = +0.567$, valor também baixo e não significativo. Curiosamente o facto deste último coeficiente ser positivo traduz um aumento da riqueza específica com o afastamento em relação aos continentes.

Na Figura 3 numa panorâmica geral, representamos para Açores e Cabo Verde as rectas de regressão de

FIGURA 3

Rectas de regressão para Açores e Cabo Verde de $\log N$ em $\log S$. Conjunto de pontos ($\log N$, $\log S$) conhecidos para Madeira e Canárias



$\log N$ em $\log S$, enquanto para Madeira e Canárias por não ser significativa a correlação entre $\log N$ e $\log S$ se representam apenas os pontos conhecidos.

4. ENSAIO DUM MODELO DE SIMILITUDE AOS AÇORES PARA AJUIZAR DAS LIGAÇÕES PREFERENCIAIS DE SEMELHANÇA ENTRE ILHAS

Com base na composição florística global de cada uma das ilhas dos Açores a partir de ERIKSSON *et al.* (1979) vai-se por uma análise do tipo Q definir os diferentes graus de similaridade entre os objectos (ilhas). No essencial a metodologia é idêntica à seguida em OLIVEIRA (1984).

Usamos coeficientes de similaridade:

- 1) coeficiente de similaridade de JACQUARD

$$I = \frac{a}{a + b + c}$$

- 2) coeficiente de similaridade de SORÉNSEN

$$S = \frac{2a}{2a + b + c}$$

- 3) coeficiente de correlação de ponto

$$r = \frac{ad - bc}{\sqrt{(a + b)(c + d)(a + c)(b + d)}}$$

em que a é o número de espécies (*descritores*) presentes simultaneamente nas duas ilhas (*objectos*) em confronto I_1 e I_2 ; b é o número de espécies presentes em I_1 e ausentes em I_2 ; c é o número de espécies presentes em I_2 e ausentes em I_1 enquanto d é o número de espécies presentes no conjunto (total) mas ausentes em I_1 e I_2 .

Tanto o coeficiente de similaridade de Jacquard como o do Sorénsen, são do mesmo tipo (*sem duplos zeros*) porque comparam os objectos dois a dois, sem considerar o grupo de objectos em que aqueles se encontram inseridos. Não entendem por isso ser de considerar para efeitos de cálculo o d . Ambos estes coeficientes variam entre 0 (dessemelhança total) e 1 (identidade absoluta). Eles são iguais a zero quando os objectos não têm qualquer descritor comum, ou seja $a = 0$; e são iguais a 1 quando não existem descritores num dos objectos que não existam também no outro, ou seja $b = 0$ e $c = 0$.

O coeficiente de correlação de ponto é um coeficiente de *duplos zeros*, que considerando para efeitos de cálculo o d , aquilo que mede na prática é a similaridade entre

cada dois objectos através dos seus descritores mas relacionando-os sempre com a totalidade dos objectos através da totalidade dos descritores. Este coeficiente tem uma amplitude maior, variando de -1 (dessemelhança total) a $+1$ (identidade absoluta).

O coeficiente de correlação de ponto é algumas vezes criticado quando se discute até que ponto é válido considerar alguma similaridade entre objectos cuja única semelhança é não apresentarem em comum nenhum descritor.

O coeficiente de correlação de ponto é também utilizado em análises do tipo R e tem a vantagem em relação aos coeficientes de Jacquard e Sorënsen, do seu limite de significância (χ^2) poder ser determinado.

Este é dado, para um risco de 0,05, por:

$$\chi^2 = \sqrt{3,84/p}$$

sendo p o número total de descritores.

No caso presente vem $\chi^2 = 0.0669$, já que $p = 858$, pelo que se devem considerar significativas todas as ligações de similaridade estabelecidas a um nível igual ou superior a 0.0669.

Depois de calculados os índices de similaridade por Jacquard, Sorënsen e o C. C. Ponto, elaboramos as respectivas matrizes de similaridade. A interpretação destas é feita pela elaboração de dendrogramas.

O método de agregação usado é o da similaridade média (DAGET, 1979)

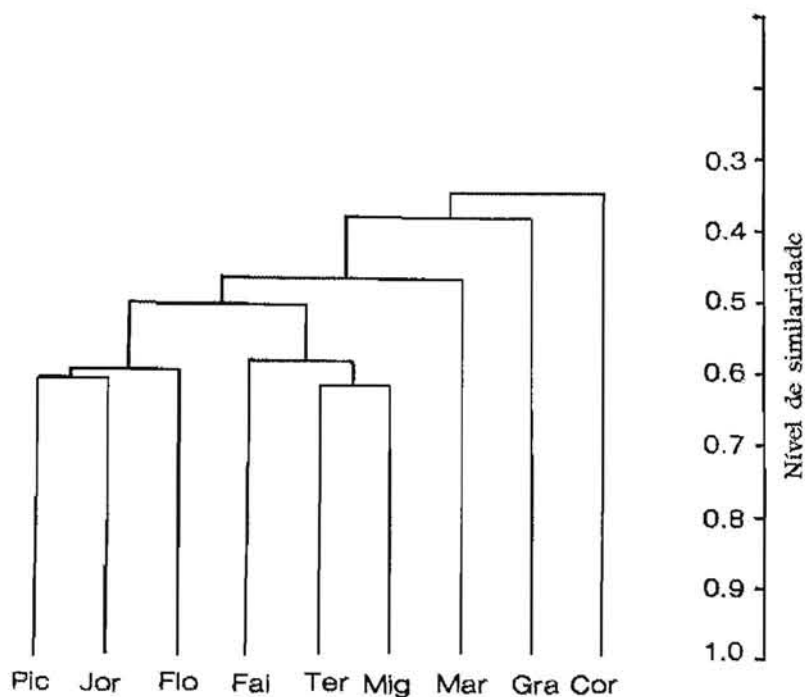
$$d_{1(jk)} = 0.5 d_{1j} + 0.5 d_{1k}$$

Para construir os dendrogramas a partir da ligação média utilizou-se o método das matrizes reduzidas (ORLOCCI, 1978).

Seguem-se os resultados obtidos:

JACQUARD; semi-matriz e dendrograma

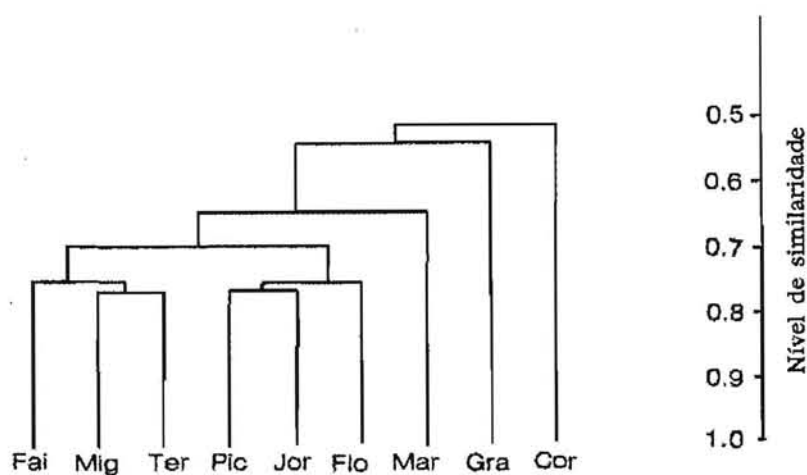
	Mar	Mig	Ter	Gra	Jor	Pic	Fai	Flo
Mig	0.454							
Ter	0.474	0.620						
Gra	0.395	0.315	0.349					
Jor	0.495	0.495	0.547	0.387				
Pic	0.480	0.532	0.593	0.371	0.612			
Fai	0.454	0.557	0.619	0.340	0.529	0.600		
Flo	0.455	0.473	0.506	0.370	0.591	0.591	0.538	
Cor	0.350	0.285	0.326	0.341	0.426	0.379	0.340	0.480



DIVERSIDADE DA FLORA DOS AÇORES

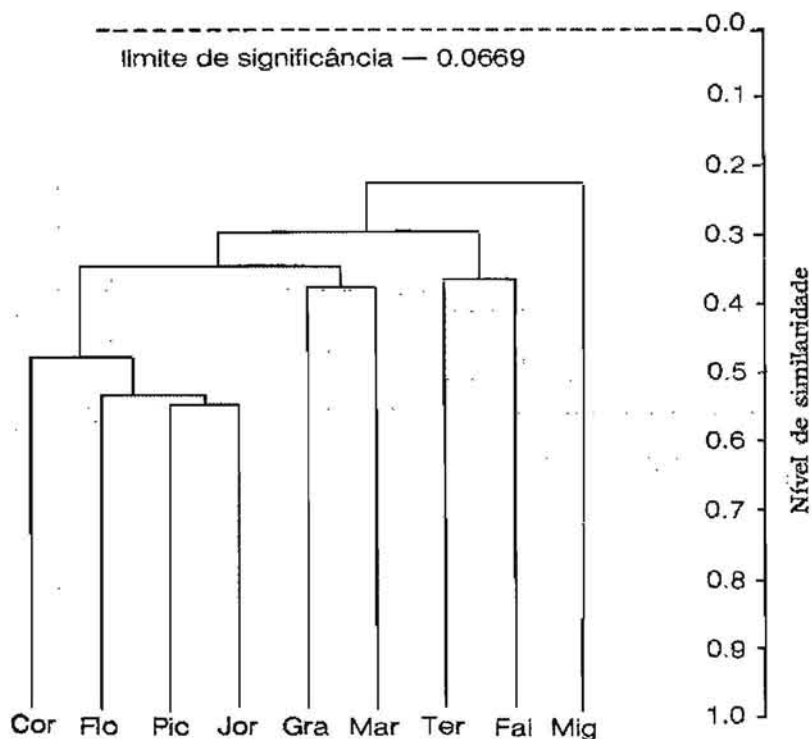
SORENSEN; semi-matriz e dendrograma

	Mar	Mig	Ter	Gra	Jor	Pic	Fai	Flo
Mig	0.625							
Ter	0.643	0.765						
Gra	0.566	0.428	0.517					
Jor	0.662	0.662	0.707	0.558				
Pic	0.649	0.695	0.744	0.541	0.760			
Fai	0.625	0.716	0.764	0.507	0.692	0.750		
Flo	0.626	0.642	0.672	0.540	0.743	0.743	0.661	
Cor	0.518	0.443	0.491	0.508	0.597	0.550	0.507	0.648



COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PONTO;
semi-matriz e dendrograma

	Mar	Mig	Ter	Gra	Jor	Pic	Fai	Flo
Mig	0.268							
Ter	0.327	0.297						
Gra	0.387	0.252	0.318					
Jor	0.427	0.308	0.453	0.375				
Pic	0.371	0.275	0.440	0.348	0.569			
Fai	0.291	0.122	0.378	0.284	0.421	0.459		
Flo	0.369	0.309	0.384	0.348	0.564	0.544	0.448	
Cor	0.342	0.323	0.319	0.350	0.464	0.401	0.347	0.542



CONCLUSÕES

São muito semelhantes os resultados (dendrogramas) obtidos usando os coeficientes de similaridade de Jacquard e Sorënsen e isto porque estes dois coeficientes são também muito semelhantes e do mesmo tipo (sem duplos zeros).

O dendrograma obtido a partir do coeficiente de correlação de ponto é no pormenor algo diferente dos outros dois mas apresenta contudo algumas semelhanças globais com aqueles.

Assim, em qualquer dos casos, Pico, S. Jorge e Flores são ilhas com maiores afinidades florísticas entre si enquanto Faial, Terceira, S. Miguel constituem outro grupo também com bastantes afinidades (menos postas em evidência pelos resultados do coeficiente de correlação de ponto).

Em relação a Graciosa, Corvo e Santa Maria os resultados são diversos. Segundo os coeficientes sem duplos zeros concluímos que estas ilhas têm maiores semelhanças entre si do que as restantes, enquanto pelo coeficiente com duplos zeros somos levados a acreditar que Graciosa e Santa Maria apresentam grande afinidade florística entre si, mas o Corvo é mais semelhante ao grupo Flo-Pic-Mig do que a Gra-Mar.

Como conclusão final fica-nos a certeza, face aos resultados, de que mais importante do que a proximidade geográfica entre ilhas para condicionar a maior ou menor semelhança entre estas é a diversidade de nichos ecológicos disponíveis em cada uma das ilhas (estritamente relacionada com a distribuição por escalões de altitude da sua superfície total, tipos de solo, ocupação do solo, etc.).

BIBLIOGRAFIA

- CHOPARD, L. (1946) — Les Orthopteroides des îles atlantiques. Contribution à l'étude du peuplement des îles atlantiques. *Soc. Biog. Mém.*, 8: 199-208.
- DAGET, L. (1979) — *Les modèles mathématiques en écologie*. Masson Editeurs, Paris.
- (1968) — Diversité des faunes de poissons dans les cours d'eau du Portugal. *Arq. Museu Bocage*, n.º 15, 2.º vol., 2.ª série.
- DANSEREAU, P. (1961) — Études macaronésiennes. I. Géographie des Cryptogames vasculaires. *Agron. Lusit.*, 23: 151-181.
- ERIKSSON, D. et al (1979) — *Flora of macaronesia. Cheklist of vascular plants. Botanical garden and museum*. University of Oslo, Oslo.
- LACK, D. (1969) — The number of bird species on islands. *Bird*.
- LEGENDRE, Louis et LEGENDRE, Pierre (1979) — *Écologie numérique*. Masson Editeurs, Paris.
- LE GRAND, G. (1977) — Approche écologique de l'avifaune des Açores. *Rel. e Comunicações do Lab. Ecol. Aplicada*, n.º 5, Ponta Delgada, Açores.
- OLIVEIRA, J. Brandão (1984) — *Contribuição para o estudo florístico das pastagens da ilha de S. Miguel (Açores)*. Universidade dos Açores, Ponta Delgada.
- ORLÓCI, László (1978) — *Multivariate analysis in vegetation research*. Dr. W. Junk B. V. (Publishers), Boston.
- PALHINHA, R. Telles (1966) — *Catálogo das plantas vasculares dos Açores*. Soc. de Estudos Açoreanos Afonso Chaves, Lisboa.

- PRESTON, F. W. (1962) — The canonical distribution of commonness and rarity. *Ecology*, **43**: 185-215 et 410-432.
- TARDIEU-BLOT (1946) — Sur la flore pteridologique des îles atlantiques. Contribution à l'étude du peuplement des îles atlantiques. *Mem. Soc. Biog.*, **8**: 325-347.
- UYTTENBOOGART, L. (1946) — Le peuplement des îles atlantiques. Conclusions à tirer de la composition de la faune des coléoptères. Contribution à l'étude du peuplement des îles atlantiques. *Mem. Soc. Biog.*, **8**: 135-152.
Study, **16**: 193-209.