

Recebido em 15 de Maio de 1984

Um índice regional de sensibilidade ecológica *

por

LUIS SOARES BARRETO
Professor do Instituto Superior de Agronomia

RESUMO

O autor propõe um índice regional de sensibilidade ecológica baseado no conceito de proximidade espacial de um ideal, recorrendo a métodos da decisão para objectivos múltiplos. A situação regional ecológica é tanto mais sensível quanto mais próximos os seus ecossistemas se encontrarem dos climaxes. O índice desenvolvido permite a comparação quantitativa entre situações ecológicas resultantes do planeamento e por isso favorece a integração da ecologia nesta actividade.

SYNOPSIS

The author suggests a regional index of ecological sensitivity based on spatial proximity methods of multiobjective decision making (Zeleny, 1982; chaps. 5 to 7). The more sensitive situation of a region is the one where its ecosystems are closer to their climax. The index proposed is very adequate to be integrated in planning, allowing the objective (quantitative) ranking of alternatives.

1. Introdução

É conhecida a dificuldade em integrar objectivos ecológicos no planeamento nomeadamente físico, e pode-se dizer que o estado actual do conhecimento neste domínio não é ainda satisfatório, embora esta

(*) Com o apoio do Centro de Estudos Florestais, INIC.

matéria tenha vindo a ser objecto da atenção de um número crescente de investigadores.

Provavelmente, das primeiras contribuições de fundo no âmbito da integração dos aspectos ecológicos no planeamento dever-se-á a McHarg (1967). O esforço deste autor foi mais tarde informatizado e sem dúvida que por esta via ganhou um mais largo emprego e difusão.

Nesta linha de preocupações, o conceito de sensibilidade ecológica vem ganhando divulgação crescente, mormente com a adopção dos estudos de impacte ambiental e a avaliação ecológica de planos. Surge pois como uma via para integrar a componente ecológica no planeamento e concepção de projectos.

Smith et al. (1975), de Waall Malefyt et al. (1976) e Graber e Graber (1976) definem a sensibilidade de um ecossistema em termos da sua idade relativa. Para estes autores, os ecossistemas de maior idade levarão mais tempo a reestabelecer-se depois de destruídos e por isso serão mais dificilmente substituídos. Smith et al. (1975) propuseram a seguinte relação :

$$S_x = \sum_{t=1}^{\max} P_{x,t} \cdot t / \max$$

onde S_x = sensibilidade da célula x da paisagem,

$P_{x,t}$ = proporção da célula x ocupada por um ecossistema de idade t ,

\max = idade máxima dos ecossistemas da paisagem.

Ainda sob a mesma perspectiva, Suffling (1977) propôs o seguinte índice de sensibilidade, de um ecossistema de idade t , à perturbação

$$S_t = \ln \text{Área}_1 - \ln \text{Área}_t$$

em que a Área_t = proporção da paisagem ocupada pelo ecossistema de idade t ,

Área_1 = proporção da paisagem ocupada pelo ecossistema de menor idade.

Mais tarde, o mesmo autor (Suffling, 1980) propôs um índice análogo, mas não equivalente, ao índice de Shannon. Este autor elaborou um índice de sensibilidade ecológica para a célula x , S_x baseado no mesmo princípio que os ecossistemas mais velhos são menos facilmen-

te substituídos que as fases pioneiras. O índice $S_{\bar{x}}$ é assim relacionado com a área relativa de cada tipo de ecossistema encontrado na paisagem. O índice proposto por Suffling (1980) assume a seguinte forma:

$$S_{\bar{x}} = - \sum_{t=1}^{\max} P_{x,t} \cdot \ln \text{Área}_t .$$

No mesmo ano, Cooper e Zedler (1980) propuseram um conceito qualitativo de sensibilidade ecológica baseado na importância, resiliência e raridade dos ecossistemas. A aplicação deste índice em Portugal deve-se a Barreto (1980).

O conceito de Cooper e Zedler não é impermeável a um grau variável de subjectivismo e a apreciação da resiliência nem sempre é fácil.

O conceito de Suffling (1980) considera em pé de igualdade ecossistemas da mesma idade embora pertencendo a séries de sucessão diferentes, onde os seus climaxes possam não ser atingidos ao longo do mesmo número de anos, o que se não afigura inteiramente correcto.

Todos os índices atrás mencionados deixam em aberto a sua operacionalidade, isto é, aplicá-los a nível regional e subregional na apreciação de situações existentes ou das alternativas derivadas de planos.

A nossa abordagem é diferente e assenta num grupo de técnicas da decisão para objectivos múltiplos conhecido pelos métodos de proximidade espacial (Zeleny, 1982; caps. 5 a 7).

O fundamento do nosso tratamento consiste em definir uma métrica e uma estimativa da proximidade entre diversas situações da paisagem (no que respeita aos ecossistemas presentes) e uma situação ideal ou paradigmática, sendo esta aquela em que toda a região estivesse coberta pelos seus ecossistemas climaxes.

2. Definição do problema e introdução metodológica

O espaço regional é formado por n células ou manchas, a definir de acordo com o estado actual dos ecossistemas e o que seria a cobertura climace da região.

A cada célula associa-se a idade actual da sua formação, entendida como o tempo que levaria a atingi-la numa sucessão secundária. Assim, à célula i , na situação geral (regional) da paisagem k , associa-se α_i^k . A situação regional da paisagem será representada pelo

vector $x^k = (x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k)$. A situação geral ideal, da paisagem regional, em que todas as células estariam cobertas pelas suas formações climáces, será $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$, em que x_1^* é o tempo que a sucessão secundária leva a atingir o clímaxe característico da célula i . Cada x_i^k representa pois um atributo. As áreas ocupadas por sistemas intensamente humanizados (pavimentos, construções, culturas, etc.) é atribuída a idade 0,001.

A distância entre o estado actual da célula i , na situação regional k , e o seu estado ideal é dada por

$$d_i^k = x_i^k / x_i^* \quad (1)$$

A proximidade entre x^k e x^* é nos fornecida pela relação

$$L(\lambda, K) = \left[\sum_{i=1}^n \lambda_i^2 (1 - d_i^k)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

para um sistema de pesos $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$.

É esta proximidade que se identifica com a sensibilidade ecológica regional. Quanto mais próxima da ideal (clímaxe) estiver a situação regional da paisagem, mais sensível é ela. Assim, dadas m situações da paisagem, a mais sensível, x^j , será aquela tal que

$$L(\lambda, j) = \text{Min}_{k=1, \dots, m} L(\lambda, k) \quad (3)$$

A ponderação das distâncias pode ser estabelecida atribuindo maior importância ao desvio de determinadas células por os seus ecossistemas climáces serem mais raros, conterem espécies raras ou por serem tidos como mais importantes (Cooper e Zedler, 1980). Pode-se também aqui, no caso português, enfatizar aquelas células que seriam contempladas pela Reserva Ecológica Nacional (Decretos-Lei n.ºs 321/83 e 411/83).

No entanto, estas atribuições à priori de pesos, w_i , reflectindo aspectos pessoais, culturais, psicológicos, sociais e ambientais, não têm em conta a informação disponível na situação de decisão concreta. Para obviar esta situação recorreremos à medição entrópica da importância nos termos em que adiante se ilustrará (Hobs, 1978; Zeleny, 1974; 1976).

3. Aplicação

Para comodidade de ilustração vamos considerar um número reduzido de células e três climaxes na região. Além do estado actual da região, consideraremos, igualmente, uma situação que resultaria de um hipotético plano regional. No Quadro 1, a situação 1 é a climace regional, a 2 corresponde ao estado actual e a 3 é a resultante da aplicação do plano. No mesmo quadro inserem-se os pesos, w_i .

QUADRO 1

Situações regional climace, actual e de planeamento

Atributos (i) \ Situações (k)	1	2	3	4	5	6	7
1	150	150	150	200	200	40	40
2	80	50	0,001	120	140	20	40
3	50	50	0,001	120	100	10	0,001
Pesos (w_i)	0,10	0,15	0,10	0,25	0,25	0,09	0,06

Recorrendo-se à relação (1) estabelecem-se as distâncias d_i^k , para as situações anteriores, inserindo-se no Quadro 2. D_i é calculado a partir da relação (4).

Estabeleçamos agora a medição entrópica da ponderação.

Seja D o conjunto dos vectores d_i tal que $d_i = (d_i^1, \dots, d_i^m)$.

Definamos (Quadro 2)

$$D_i = \sum_{k=1}^m d_i^k \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

A medida da entropia da intensidade de contraste do i éximo atributo é

QUADRO 2

Distâncias das situações

Distâncias (d_i^k)	Situações (k)			D_i
	1	2	3	
d_1^k	1	0,533333	0,333333	1,866666
d_2^k	1	0,333333	0,333333	1,666666
d_3^k	1	0,000007	0,000007	1,000014
d_4^k	1	0,600000	0,600000	2,200000
d_5^k	1	0,700000	0,500000	2,200000
d_6^k	1	0,500000	0,250000	1,750000
d_7^k	1	1	0,000025	2,000025

$$e(d_i) = -K \sum_{k=1}^m [(d_i^k/D_i) \ln (d_i^k/D_i)] \quad (5)$$

onde $K = 1/e_{\max} = 1/\ln m$.

A entropia total de D é definida como

$$E = \sum_{i=1}^n e(d_i) . \quad (6)$$

A medição entrópica da distância será, depois de normalizada :

$$\bar{\lambda} = [1 - e(d_i)] / (n - E) \quad (7)$$

A importância ou peso global λ_i , depois de normalizado, virá de acordo com

$$\lambda_i = \lambda_i w_i / (\sum_{i=1}^m \lambda_i w_i) \quad (8)$$

No nosso caso temos $m = 3$ e $n = 7$.

Recorrendo à informação do Quadro 2 e às relações (5) a (8) estabelecemos o Quadro 3.

QUADRO 3

Estabelecimento dos pesos globais, λ_i

Atributos	e (d _i)	$\bar{\lambda}_i$	λ_i
1	0,910182	0,050233	0,050135
2	0,864973	0,075517	0,113056
3	0,000163	0,559182	0,558125
4	0,971306	0,016048	0,040044
5	0,964374	0,019925	0,049716
6	0,869912	0,072755	0,065356
7	0,631055	0,206341	0,123566

Por intermédio da relação (2) as proximidades das situações actual e derivada do plano relativamente à cobertura climática da região, isto é, as suas sensibilidades ecológicas, serão respectivamente:

$$L(\lambda, 2) = 0,565041$$

$$L(\lambda, 3) = 0,580380$$

A sensibilidade ecológica da situação 2 é maior (mais próxima) que a da situação 3. Em termos estritamente ecológicos, de conservação, a situação actual é preferível à resultante da aplicação do plano.

4. *Procedimento*

Para aplicação do método proposto, no presente escrito, sugere-se o seguinte procedimento:

1. Delimitar claramente a região de análise.
2. Cartografar os actuais ecossistemas e ocupações do solo.
3. Cartografar o que seria a suposta cobertura clímaxe.
4. Através do conhecimento da ecologia regional, estabelecer as idades dos actuais ecossistemas e dos clímaxes, nos termos em que são entendidas na secção 2.
5. Delimitar manchas ou células homogêneas quanto à actual cobertura e à formação clímaxe correspondente e atribuir-lhes a idade actual (x^k).
6. Estabelecer o sistema de pesos, w_i .
7. Estabelecer as distâncias d_i^k , utilizando a relação

$$d_i^k = x^k/x_i^*.$$

8. Calcular a medição entrópica da distância λ_i (relações (4) a (7) e a importância global, λ_i (relação (8)).
9. Estabelecer a proximidade entre as situações, x^k , e a situação ideal x^* , recorrendo à relação (2).
10. Interpretar as proximidades ou índices de sensibilidade ecológica obtidos.

5. *Comentários finais*

O índice que aqui propomos assenta em pressupostos ecológicos que se nos afiguram correctos e o seu desenvolvimento insere-se numa metodologia bem estruturada, da teoria da decisão para objectivos múltiplos.

Por outro lado, reveste-se de uma característica de valor inestimável em condições de planeamento: a de permitir classificar alternativas relativamente à situação (ecológica) clímaxe.

Estes aspectos, em nosso entender, conferem-lhe interesse e credibilidade.

A dificuldade na sua aplicação pode residir na caracterização das sucessões, mas sem o conhecimento da dinâmica da ecologia das

paisagens, em qualquer circunstância, será muito difícil integrar a ecologia no planeamento.

BIBLIOGRAFIA

- Barreto, Luís Soares, 1980. *Carta de Sensibilidade Ecológica do Algarve*. Lisboa: Serviço de Estudos do Ambiente.
- Barreto, Luís Soares, 1984. *A aplicação de métodos de proximidade espacial ao planeamento regional*. Lisboa: Centro de Estudos Florestais, INIC.
- Cooper, Charles F. e Paul H. Zedler, 1980. Ecological Assessment for Regional Development. *Journal of Environmental Management* 10, pag. 285-296.
- de Waal Malefyt et al., 1976. An ecological methodology used in the selection of a 500 Kv transmission line route in the southwestern United States. In R. Tillman (Comp.). *Proc. 1st Nat. Symp. on Environ. Concerns in Rights-of-way Mgmt.* Mississippi State University.
- Graber, J. W. e R. R. Graber, 1976. Environmental Evaluation using birds and their habitats. *Ill. Nat. Hist. Surv. Biol. Note* 97, pag. 1-39.
- Hobs, B. F. 1978. *Analytical Multiobjective Decision Methods for Power Plant Siting: A Review of Theory and Applications*. Policy Analysis Div., Brookhaven National Laboratory.
- McHarg, I. L., 1967. *Design with Nature*. New York: Natural History Press.
- Odum, Eugene P., 1983. *Basic Ecology*. Philadelphia: Saunders College Publishing.
- Smith, D. W. et al., 1975. Plant community age as a measure of sensitivity of ecosystems to disturbance. *Journal of Environmental Management* 3, pag. 271-285.
- Suffling, R., 1977. Environmental quality and sensitivity: devising an ecological index. In *Proc. Land Use Plan. and Environ. Asses. Certificate Course, May 9-13 th, 1977*. Guelph, Ontario: University of Waterloo and Office of Continuing Education, University of Guelph.
- Suffling, R., 1980. An Index of Ecological Sensitivity to Disturbance, Based on Ecosystem Age, and Related to Landscape Diversity. *Journal of Environmental Management* 10, pag. 253-262.
- Zeleny, M., 1974. *Linear Multiobjective Programming*. New York: Springer Verlag.
- Zeleny, M., 1976. The Attribute-Dynamic Attitude Model (ADAM). *Management Science* Vol. 23, n.º 1, pag. 12-26.
- Zeleny, M., 1982. *Multiple Criteria Decision Making*. New York: McGraw-Hill Book Co.

