

APLICAÇÃO DE ÍNDICES DE DIVERSIDADE EM ESTUDOS ENVOLVENDO ASSOCIAÇÕES ENTRE FORAMINÍFEROS E TECAMEBAS RECENTES: UMA BREVE DISCUSSÃO

Décio Luis Semensatto Jr.¹

¹Ecólogo (doutorando em Geociências e Meio Ambiente), Departamento de Geologia Aplicada, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Avenida 24A, 1515, Rio Claro (SP)
Phone: +55 19 3526-2849. E-mail: ecoloco@terra.com.br

RESUMO

A aplicação prática e teórica dos índices de diversidade de Shannon-Weaver (H') e de McIntosh (D) são discutidos neste trabalho. Para tanto, os dois índices foram utilizados na análise de trinta amostras de um setor do delta do rio São Francisco. A correlação mútua e análises de agrupamento das amostras baseados nos índices serviram como referências para avaliação. Além disso, é realizada uma discussão teórica-conceitual, enfatizando as vantagens e os limites de cada índice. A escolha do melhor índice deve ser guiada principalmente pela metodologia de coleta e contagem das tecas e pelo objetivo do trabalho. Em trabalhos com limite de contagem de tecas ou com o objetivo de caracterização ambiental, recomenda-se a utilização do índice de McIntosh. Em trabalhos com contagem da fauna da amostra total ou de monitoramento ambiental, o índice de Shannon pode ser aplicado sem restrições.

ABSTRACT

The practical and theoretical use of diversity indexes of Shannon-Weaver (H') and McIntosh (D) are discussed in the present work. For this, both indexes were used in analyses of thirty samples from a sector inserted at São Francisco river delta. Mutual correlation and cluster analyses performed based on these indexes has served as reference to evaluation. Besides, it is presented a theoretic-conceptual discussion, emphasizing the advantages and the limits of each index. The choice of the most appropriated index must be conducted mainly by the methodology of collection and counts of tests, and by the goal of the work. When the count of tests is limited in a determined number or the objective is the environmental characterization, then McIntosh index is the most appropriated. If the sample is completely counted or the objective is the environmental monitoring, then Shannon index can be applied with no restrictions.

Palavras-Chave: Índices de diversidade, análise estatística, foraminíferos

1. INTRODUÇÃO

Índices de diversidade são amplamente empregados no estudo de associações entre foraminíferos e tecamebas recentes, principalmente em trabalhos envolvendo a caracterização ambiental e monitoramento de ambientes (Zucon, 1989; Barbosa, 1995; Bonetti, 1995; Eichler & Bonetti, 1995; Eichler-Coelho et al., 1997; Oliveira, 1999; Semensatto Jr., 2001). Sua aplicação decorre do fato de expressarem em valor numérico a complexidade de uma comunidade, e até mesmo a extrapolação do nível de estresse de um ambiente. Em trabalhos envolvendo o monitoramento ambiental, sua variação é muitas vezes encarada como um reflexo da alteração da “qualidade ambiental”.

Os índices de diversidade mais utilizados são aqueles baseados na abundância proporcional das espécies. Dentre estes, o de Shannon-Wiener, ou simplesmente Índice de Shannon (H'), é o mais empregado. A chave do seu sucesso encontra-se:

(1) na facilidade de cálculo e possibilidade de comparação através de teste estatístico (teste t); e

(2) provavelmente devido à sua ampla aplicação sem ressalva (alguns autores devem aplicá-lo porque viram em outros trabalhos). Contudo, esta segunda hipótese leva ao seguinte questionamento: estariam os autores conscientes dos limites de aplicação dos índices de diversidade?

Este trabalho apresenta uma breve discussão acerca da aplicação dos índices de diversidade em comunidades representadas por associações entre foraminíferos e tecamebas recentes. Tal discussão está embasada na comparação prática e conceitual entre dois índices: índice

de Shannon (H') e índice de McIntosh (D). Como exemplo, foram consideradas amostras provenientes de um setor do delta do rio São Francisco, em Sergipe, coletadas em 1996 em canais de maré e uma laguna com comunicação constante com o oceano (Rodrigues, 1999; Semensatto Jr., 2001).

2. ÍNDICES DE DIVERSIDADE

A variedade de índices de diversidade é grande hoje em dia, sobretudo devido à evolução de conceitos em Ecologia e à discussão sobre perda de diversidade, que ganhou força principalmente nos últimos trinta anos. Assim, cada índice busca o modo mais simples e preciso para expressar o real estado de diversidade de um ambiente. Desde então, muitos autores revisam os índices disponíveis e inventam outros, o que leva a uma grande variedade e confusão.

Do ponto de vista do senso comum, a palavra *diversidade* dá a impressão de um conceito simples e inequívoco. Porém, por que há tantos índices? As medidas de diversidade consideram dois fatores: riqueza de espécies e uniformidade na distribuição proporcional de cada espécie. Tais fatores, se examinados mais profundamente, mostrarão opiniões controversas de vários autores, sobretudo na validade e importância de cada um.

Segundo Magurran (1988) e Krebs (1999), as medidas de diversidade são divididas essencialmente em três grupos (Figura 1): as que se baseiam na riqueza de espécies, que é simplesmente o número absoluto de espécies; *os modelos de abundância de espécies*, que

descrevem a distribuição da abundância das espécies; e as medidas embasadas na *abundância proporcional de espécies*, que buscam fundir os dois primeiros grupos. Este último grupo engloba os índices mais aplicados nos estudos envolvendo foraminíferos.

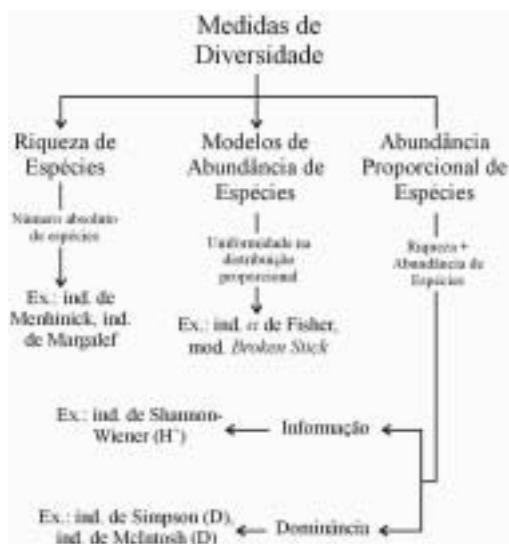


Figura 1. Representação esquemática dos tipos de medida de diversidade.

Como se pode observar na Figura 1, os índices baseados na abundância proporcional de espécies podem ser divididos em dois subgrupos: de *informação*, que assumem que a diversidade, ou informação, pode ser medida em um sistema natural como um código ou mensagem; e de *dominância*, que se embasam nas espécies mais abundantes.

2.1. Índice de Shannon (H')

Este índice apresenta duas premissas principais:

(1) os indivíduos estão distribuídos aleatoriamente em um população indefinidamente grande (efetivamente infinita); e

(2) todas as espécies estão representadas.

Sua formulação é dada pela equação a seguir:

$$H' = -\sum p_i \cdot \log p_i \quad (1)$$

Na fórmula acima, p_i representa a proporção da i -ésima espécie na amostra. A base logarítmica pode ser a 2, a 10 ou n . Nos cálculos realizados neste trabalho, optou-se pela base 10.

É possível calcular a uniformidade ou equitatividade da distribuição da proporção dos indivíduos na comunidade a partir de H' :

$$E = \frac{H'}{H'_{\max}} = \frac{H'}{\log S} \quad (2)$$

Para a equação 2, o valor de H' é dado pela equação 1, e o H'_{\max} é representado pelo logaritmo do número S de espécies da amostra. Importante lembrar que a base do logaritmo deve ser igual nos cálculos das duas equações. Esta equação nada mais representa que a proporção entre o valor obtido e o valor máximo teórico para a amostra em questão. A equitatividade varia de 0 a 1, sendo que valores próximos a 1 são relativos à maior uniformidade de distribuição.

2.2. Índice de McIntosh (D)

Em 1967, McIntosh propôs a equação 3, assumindo que uma comunidade pode ser representada por um ponto num hipervolume dimensional S , onde S é a riqueza de espécies. O valor da distância euclidiana entre este ponto e a origem do hipervolume pode ser entendido como uma medida de diversidade. Entretanto, a primeira equação proposta por McIntosh é extremamente influenciada pelo tamanho amostral. Posteriormente, Pielou (1969) propôs a equação 4, a fim de eliminar o efeito negativo do tamanho amostral. As fórmulas são as seguintes:

$$U = \sqrt{\sum n_i^2} \quad (3)$$

$$D = \frac{N - U}{N - \sqrt{N}} \quad (4)$$

Nas fórmulas acima, n_i é o número absoluto de indivíduos na i -ésima espécie, e N é a abundância ou número total de indivíduos da amostra. A Figura 2 dá um exemplo da representação gráfica de D , evidenciando o efeito do tamanho amostral, a partir das abundâncias em duas comunidades com três espécies. O vetor U é a distância euclidiana do ponto representado pela comunidade. Cada nova espécie inserida representa uma nova dimensão ou eixo. Por isso, é impossível representar graficamente uma comunidade que possua quatro ou mais espécies.

A equitatividade também pode ser calculada a partir do índice de McIntosh:

$$E = \frac{N - U}{N - \frac{N}{\sqrt{S}}} \quad (5)$$

Na equação 5, S representa a riqueza de espécies. Seu valor varia de 0 a 1, sendo que os valores próximos a 1 indicam maior uniformidade de distribuição das abundâncias.

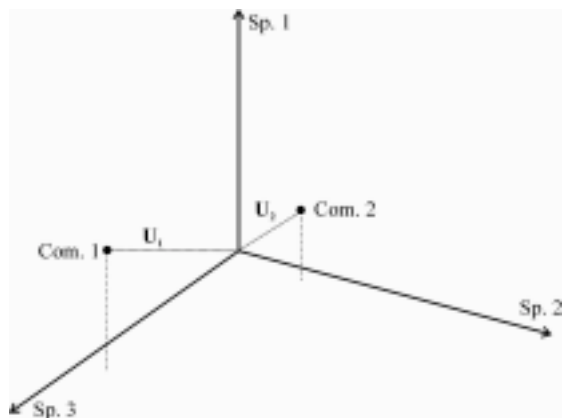


Figura 2. Exemplo da representação gráfica do índice de McIntosh. Cada eixo exprime o valor da abundância de cada espécie (*Sp. 1*, *Sp. 2* e *Sp. 3*). A distância euclidiana entre o ponto de intersecção das abundâncias das comunidades 1 e 2 (*Com. 1* e *Com. 2*), representada respectivamente por U_1 e U_2 , e a origem do gráfico, pode ser entendida como uma medida de diversidade (neste caso $D_1 > D_2$).

3. APLICAÇÃO DOS ÍNDICES

Para efeito de avaliação dos índices, foram utilizadas 30 amostras coletadas em 1996 em um setor do delta do rio São Francisco, no Estado de Sergipe. As amostras referem-se aos 5 cm superficiais do sedimento. Os ambientes de coleta compreendem canais de maré mais influenciados pelas águas do rio, e uma laguna que possui comunicação constante com o oceano através de uma inlet. A Figura 3 ilustra a área de coleta.



Figura 3. Imagem de satélite Lansat com indicação da área de estudo, seguida de mapa detalhando o setor analisado.

A avaliação foi realizada em duas formas:

- (1) a correlação mútua entre os índices, visualizada num gráfico de dispersão (H' x D); e
- (2) o agrupamento das amostras somando-se outras variáveis.

Na segunda análise, o primeiro agrupamento contou com as seguintes variáveis: H' , salinidade e granulometria. No segundo agrupamento, H' foi substituído por D , sendo que os valores de salinidade e granulometria permaneceram os mesmos. Assim, foi

possível avaliar o comportamento e a influência de cada índice no agrupamento das amostras. Os agrupamentos foram feitos em modo Q, adotando-se o método pela associação média (UPGMA) baseado nas distâncias euclidianas.

A Figura 4 ilustra a correlação entre os dois índices.

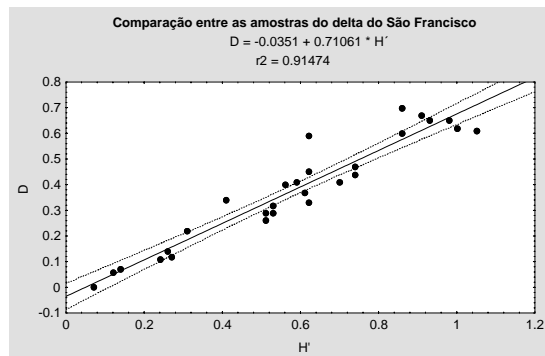


Figura 4. Correlação entre H' e D .

Na análise da Figura 4, observamos que H' e D apresentam uma correlação razoavelmente alta ($r^2 = 0,91474$). Contudo, a maior parte dos pontos que se posicionam fora do intervalo de confiança são aqueles entre 0,4 e 0,8 para H' , e 0,2 e 0,6, para D . Estes valores são os comumente encontrados em ambientes parálisos, tais como estuários, lagunas, canais de maré, entre outros. Portanto, para estes ambientes a correlação entre os índices tende a ser menor, o que pode implicar numa diferença na interpretação baseada em um ou outro índice.

A Figura 5 ilustra o agrupamento obtido utilizando-se o H' , a salinidade e a granulometria.

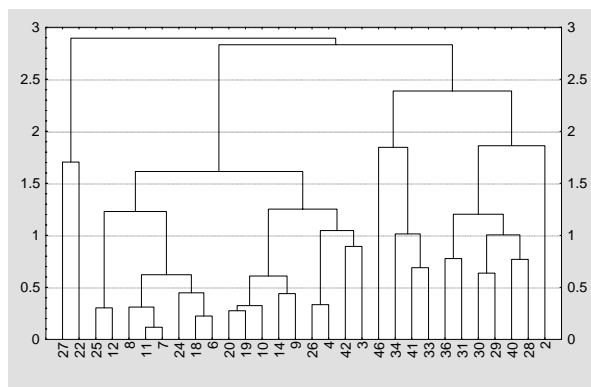


Figura 5. Dendrograma de agrupamento das amostras utilizando-se H' , salinidade e granulometria. Notar que ao nível de corte de 2,5 é possível distinguir três grupos: pontos anômalos (27 e 22), canais de maré (25 ao 3) e laguna (46 ao 2).

Ao nível de corte de 2,5, reconhece-se três grupos distintos. O primeiro, formado pelas amostras 22 e 27, indica que estes pontos podem ser reconhecidos como anômalos. A explicação para tal comportamento é a de que a granulometria das duas amostras é essencialmente arenosa, diferindo significativamente das amostras de seu

entorno (o que não as agrupa com as amostras dos canais). Além disso, a salinidade e diversidade destas amostras são baixas, o que as exclui do grupo da laguna. O segundo grupo é formado pelas amostras dos canais, embora haja a inclusão da amostra 42, coletada na laguna. Esta inclusão deve ter ocorrido essencialmente devido ao seu valor de salinidade, que é o menor registrado na laguna. O terceiro grupo é formado pelas amostras da laguna.

A Figura 6 ilustra o agrupamento obtido utilizando-se o D, a salinidade e a granulometria. Importante anotar que os valores das duas últimas variáveis são os mesmos daqueles utilizados com H'.

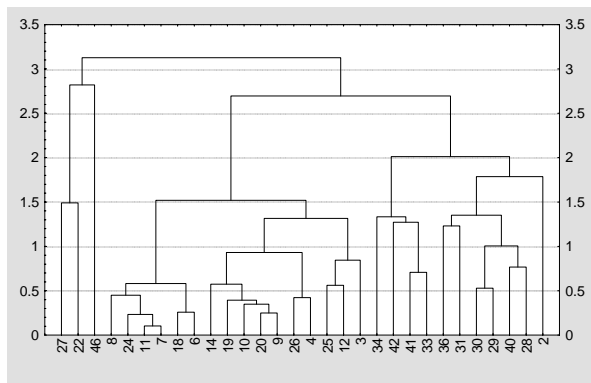


Figura 6. Dendrograma de agrupamento das amostras utilizando-se D, salinidade e granulometria. Notar que ao nível de corte de 2,1 é possível distinguir quatro grupos: pontos anômalos 1 (27 e 22), anômalo 2 (46), canais de maré (8 ao 3) e laguna (34 ao 2).

O índice de McIntosh foi mais eficiente no agrupamento das amostras. Os pontos anômalos permanecem os mesmos, com a inclusão do ponto 46, que difere dos demais da laguna devido à sua menor salinidade. Os agrupamentos dos canais de maré e da laguna foram corrigidos, sendo que o ponto 42 foi reposicionado para o grupo da laguna. Além disso, o nível de corte dos agrupamentos é menor, o que indica maior eficiência no agrupamento das amostras.

4. IMPLICAÇÕES TEÓRICO-CONCEITUAIS

A escolha correta dos métodos estatísticos é de extrema importância para que a interpretação dos dados seja bem conduzida. É comum que muitos autores tenham dúvida acerca do melhor método de análise para suas amostras. Frequentemente encontram-se situações onde o resultado fornecido pela análise estatística não se iguala ao esperado pelo pesquisador. Isto certamente ocorre por dois motivos principais. O primeiro é quando o pesquisador escolhe o método errado. Obviamente, apenas com sorte o resultado da análise irá convergir com sua intuição. O preocupante desta situação é que é comum o pesquisador optar pelo resultado da análise, em detrimento de sua experiência. O segundo é quando o pesquisador esperava um resultado que não é verdadeiro. Neste caso, a análise estatística servirá para indicá-lo o melhor caminho a seguir em sua interpretação.

Para as amostras utilizadas neste trabalho, o método de triagem das tecas é a chave para escolha do melhor índice. Há essencialmente duas formas de triagem: contagem total das tecas presentes na amostra (podendo também ser por quartamento) ou estabelecimento de um limite de contagem. Seguindo a recomendação de Patterson & Fishbein (1989), optou-se neste trabalho por contar 300 indivíduos em cada amostra. Segundo os referidos autores, este número é suficiente para que as espécies que participam proporcionalmente no mínimo em 10% do total de indivíduos da amostra estejam representadas. Espécies que participam em menos de 10% da amostra poderão não estar significativamente representadas. Neste caso, o índice mais apropriado não pode ser sensível às espécies raras, já que estas não possuem representatividade. Como o H' logaritmiciza as proporções, o resultado é que espécies com alta abundância são reduzidas a um peso, ou valor, similar àquelas com baixa proporção. É por este motivo que se costuma dizer que o H' atribui grande peso às espécies raras. Assim, na situação em que se determina um limite para contagem das tecas o H' não seria o índice mais indicado, já que não se garante a representatividade de todas as espécies. Como o índice de McIntosh eleva as abundâncias ao quadrado, as espécies dominantes ganham maior peso, sendo este o melhor índice para a situação.

Além da forma de triagem, o objetivo do trabalho também é fundamental para que se escolha o melhor índice. Os objetivos mais comuns relacionados ao estudo das associações entre foraminíferos e tecamebas recentes são o de monitoramento ambiental e de caracterização ambiental.

Estudos de monitoramento ambiental devem analisar a amostra total, já que as variações na proporção entre as espécies e na densidade de indivíduos são parâmetros extremamente importantes para detecção de problemas ambientais. Assim, tanto o H', quanto o D, podem ser utilizados. Contudo, neste caso o H' pode ser mais vantajoso por permitir a comparação entre valores através da aplicação de um teste *t*.

Nos estudos de caracterização ambiental, geralmente são as espécies dominantes que determinam as condições reinantes dos ambientes. As espécies raras são utilizadas para discussões em segundo plano, embora não menos importantes. Neste caso, o D é mais indicado, porque irá enfatizar as diferenças no estrato das espécies dominantes.

5. CONCLUSÕES

A aplicação dos índices de diversidade é extremamente importante em trabalhos que enfoquem a ecologia de foraminíferos e tecamebas. Servem tanto para indicar a "qualidade ambiental" de uma área, como para enfatizar diferenças entre comunidades, entre outras abordagens. Sua escolha deve ser criteriosa, sendo norteadas pela metodologia de coleta e contagem de tecas e pelo objetivo do trabalho. É importante que o pesquisador esteja consciente dos limites de cada análise. Além disso, sua discussão não deve estar exclusivamente pautada sobre os resultados do índice, uma vez que não existe nenhum que reflita de forma definitiva todas as condições e características de um ambiente.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são devidos ao Prof. Dr. Dimas Dias-Brito (UNESP/IGCE – Rio Claro/SP), orientador do projeto de doutorado que engloba este trabalho; ao Prof. Dr. Miguel Petreire Jr. (UNESP/IB – Rio Claro/SP), pelas elucidações; à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo apoio financeiro ao projeto, através do processo 01/11786-8; e à ANP (Agência Nacional do Petróleo) pelo apoio financeiro ao PRH-05 (Programa de Formação de Recursos Humanos – 05), ao qual o autor deste trabalho é vinculado.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, C. F. (1995) Foraminifera e Arcellacea (“Thecamoebia”) Recentes do Estuário de Guaratuba, Paraná, Brasil. *Anais da Acad. Bras. de Ciências*, v. 67, n. 4, p. 465-491.
- BONETTI, C. H. (1995) Associações de Foraminíferos e Tecamebas Indicadoras de Sub-Ambientes Recentes na Zona Estuarina do Rio Itapitanguí – Cananéia/SP. Dissertação de Mestrado (USP), 150p. + anexos.
- EICHLER, B. B.; BONETTI, C. (1995) Distribuição de Foraminíferos e Tecamebas Ocorrentes no Manguezal do Rio Bagaçu, Cananéia, São Paulo – Relações com Parâmetros Ambientais. *Pesquisas*, v. 22 (1-2), n. 32-37, p. 32-37.
- EICHLER-COELHO, P. P. B.; DULEBA, W.; EICHLER, B. B.; COELHO-JÚNIOR, C. (1997) Determinação do impacto ecológico do Valo Grande (Iguape, SP) a partir das associações de foraminíferos e tecamebas. *Rev. Bras. Biol.*, v. 57, n. 3, p. 463-477.
- KREBS, C. J. (1999) *Ecological Methodology*. Addison Wesley Longman Inc., 2nd Ed., 620p.
- MAGURRAN, A. E. (1988) *Ecological Diversity and Its Measurement*, Chapman and May, 179p.
- McINTOSH, R. P. (1967) An index of diversity and the relations of certain concepts of diversity. *Ecology*, v. 48, p. 392-404.
- OLIVEIRA, D. (1999) Análise ambiental dos canais da bacia hidrográfica do rio Itanhaém – SP, Brasil, com base em tecamebas e foraminíferos. Dissertação de Mestrado (UNESP), 243p.
- PATTERSON, R. T.; FISHBEIN, E. (1989) Re-examination of the statistical methods used to determine the number of points counts needed for micropaleontological quantitative research. *Journal of Paleontology*, v. 63, n. 2, p. 245-248.
- PIELOU, E. C. (1969) *An Introduction to Mathematical Ecology*. Wiley-Interscience, 279p.
- RODRIGUES, J. F. (1999) Distribuição de foraminíferos e tecamebas do Canal Parapuça, delta do Rio São Francisco, Sergipe. Trabalho de Formatura (UNESP), 59p.
- SEMENSATTO JR., D. L. (2001) Foraminíferos e tecamebas do Canal do Poço, Sergipe: distribuição e condicionantes. Trabalho de Conclusão de Curso (UNESP), 45p.
- ZUCON, M. H. (1989) Distribuição de Foraminíferos e Tecamebas do Estuário do Rio Piauí – Sergipe. Dissertação de Mestrado (UFPR), 54p.