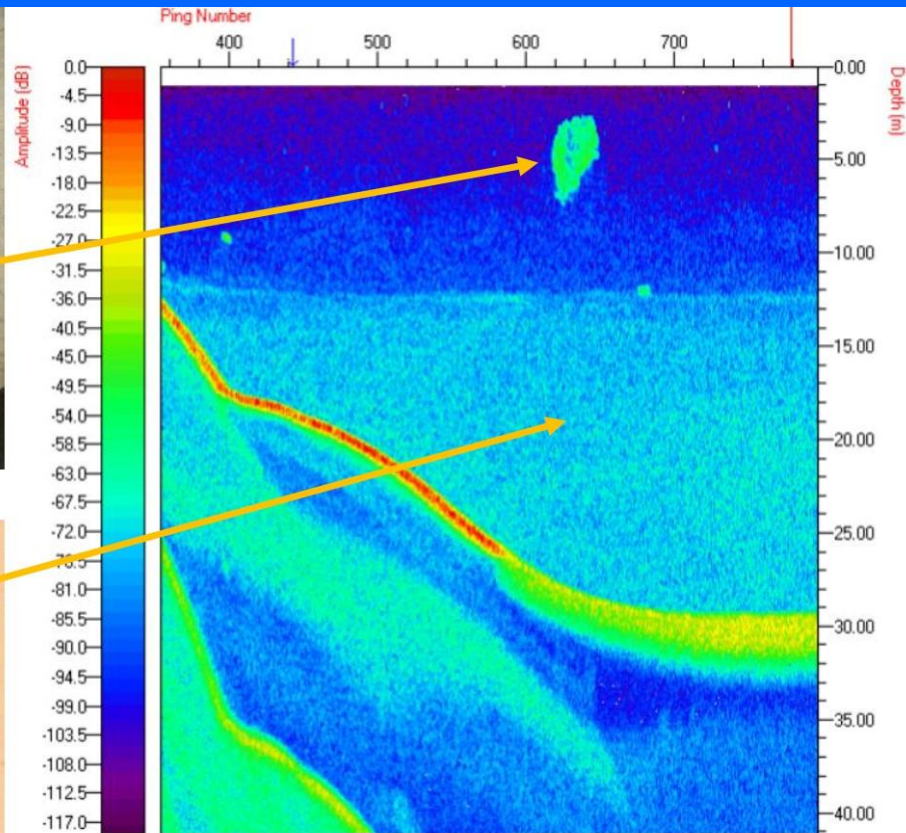
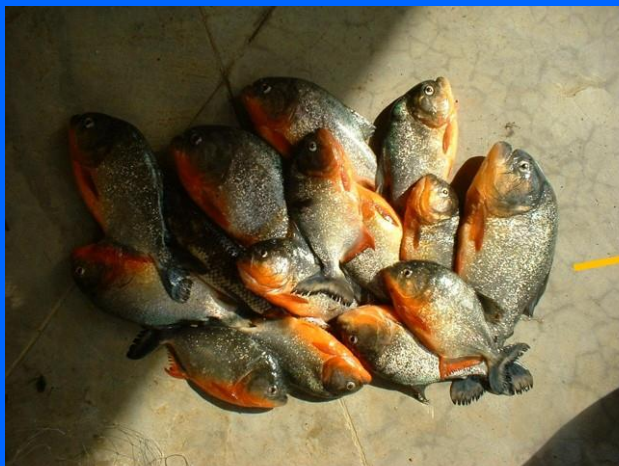


Ecologia Energética

Ecologia Trófica

Prof. Ricardo Motta Pinto-Coelho
RMPC Consultores em Recursos Hídricos



RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos

Base Teórica

O estudo das interações tróficas é essencial para o entendimento do que se passa dentro de um ecossistema. Este tipo de estudo procura demonstrar o grau de interrelações existentes entre os organismos e aponta para os principais elementos que atuam na manutenção da estrutura do ecossistema.

Uma das formas mais tradicionais de se estudar a ecologia trófica está na identificação das rotas alimentares dentro dos ecossistemas. A literatura ecológica demonstra que existem basicamente quatro formas de se representar estas interações: a) cadeias alimentares; b) teias tróficas; c) pirâmides energéticas e d) matrizes tróficas.



Cadeias Alimentares

Trata-se de uma sequência de eventos do tipo comer ou ser comido dentro de uma comunidade/ecossistema.

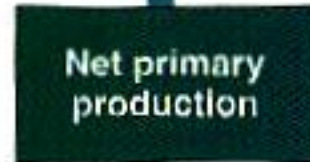
Exemplos:

- a) mar: diatomáceas (algas do fitoplâncton) > *Calanus finmarchicus* (zooplâncton) > *Clupea harengus* (arenque).
- b) lagos: fitoflagelados (*Rhodomonas*) > *Daphnia* (Cladocera) > peixes zooplanctófagos (*Alosa aestivalis*).
- c) Em geral: plantas > herbívoros > carnívoro 1º > carnívoro 2º > carnívoro 3º (predador de topo).

Teias de pastoreio e de detritos

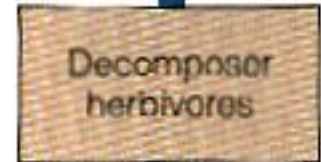
Estes dois tipos de teias estão presentes em todos os ecossistemas. No entanto, um dos tipos pode ser predominante em relação ao outro. Nas florestas, por exemplo, grande parte da energia disponível flui via detritos enquanto nos mares abertos, predomina a teia de pastoreio. Essas duas teias, no entanto, são partes essenciais de qualquer ecossistema.

Grazing food chain



(a)

Detrital food chain



(b)

Figure 24.4 Two parts of any ecosystem: (a) a grazing food chain and (b) a detrital food chain.



RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos

Complexidade das Teias Alimentares

Existem alguns problemas para representar certos tipos de interações tróficas:

- a) Variações na dieta básica.
- b) Organismos onívoros.
- c) Canibalismo.
- d) Mudança de nicho trófico ao longo do desenvolvimento ontogenético ou em relação ao sexo



Tipos de cadeias alimentares

Existem basicamente dois tipos de cadeias alimentares:

a) cadeia de pastoreio

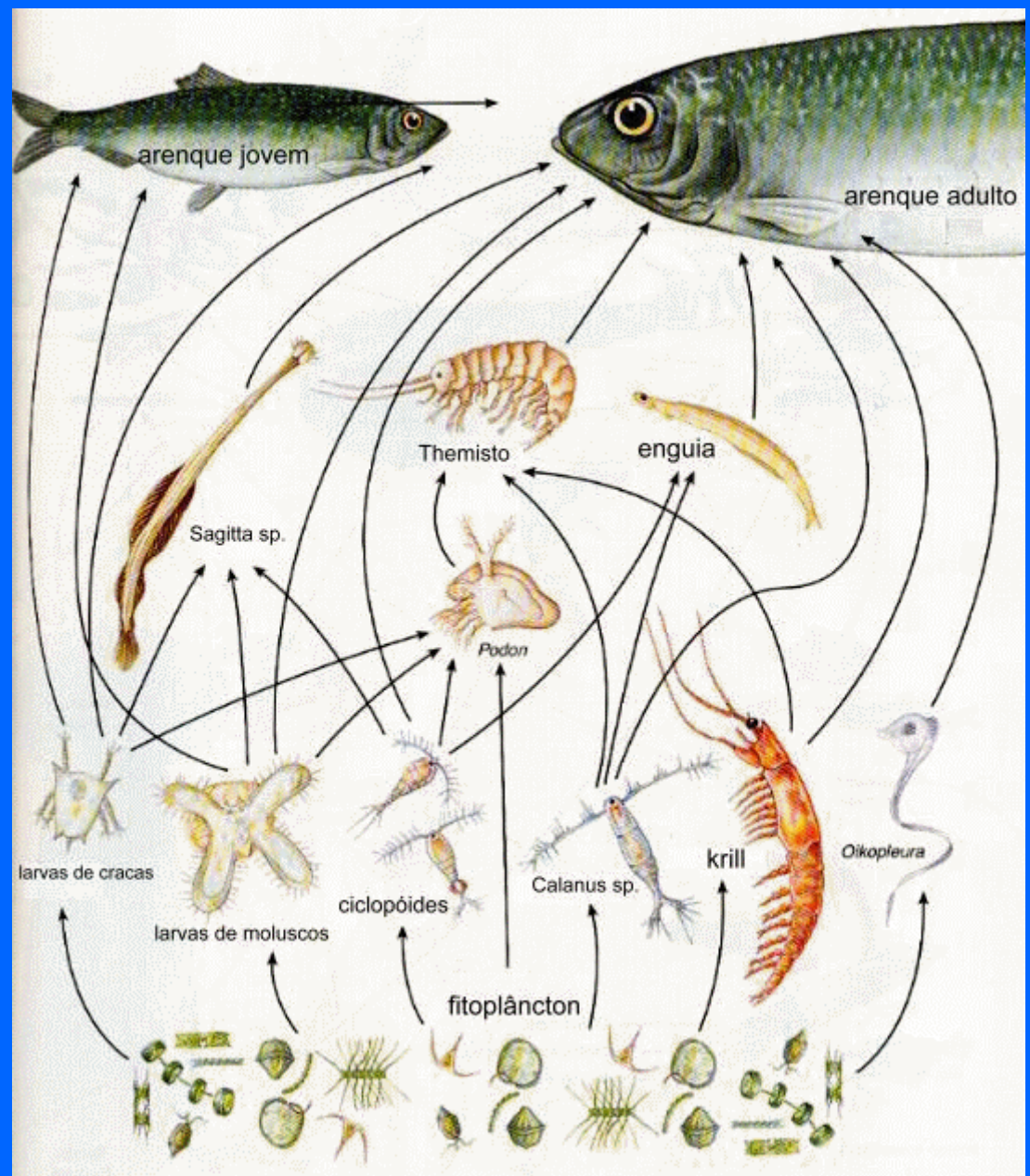
Nestes sistemas predominam os herbívoros do tipo grazers ou pastadores especializados no consumo de matéria vegetal viva de fácil digestão, alta produção biológica, tais como as gramíneas ou fitoflagelados planctônicos (criptofíceas).

fitoplâncton > zooplâncton > peixes
gramíneas > ruminantes > felinos



Teia Alimentar (Arenque)

As cadeias de pastoreio são normalmente caracterizadas por uma elevada eficiência de transferência de energia e elevadas biomassas de organismos consumidores de segunda ordem. Essas cadeias possuem em geral poucos níveis tróficos e são normalmente muito utilizadas pelo homem para a produção de proteína animal (pesca, pecuária, etc).



RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos

Teia Alimantar (Pradaria)

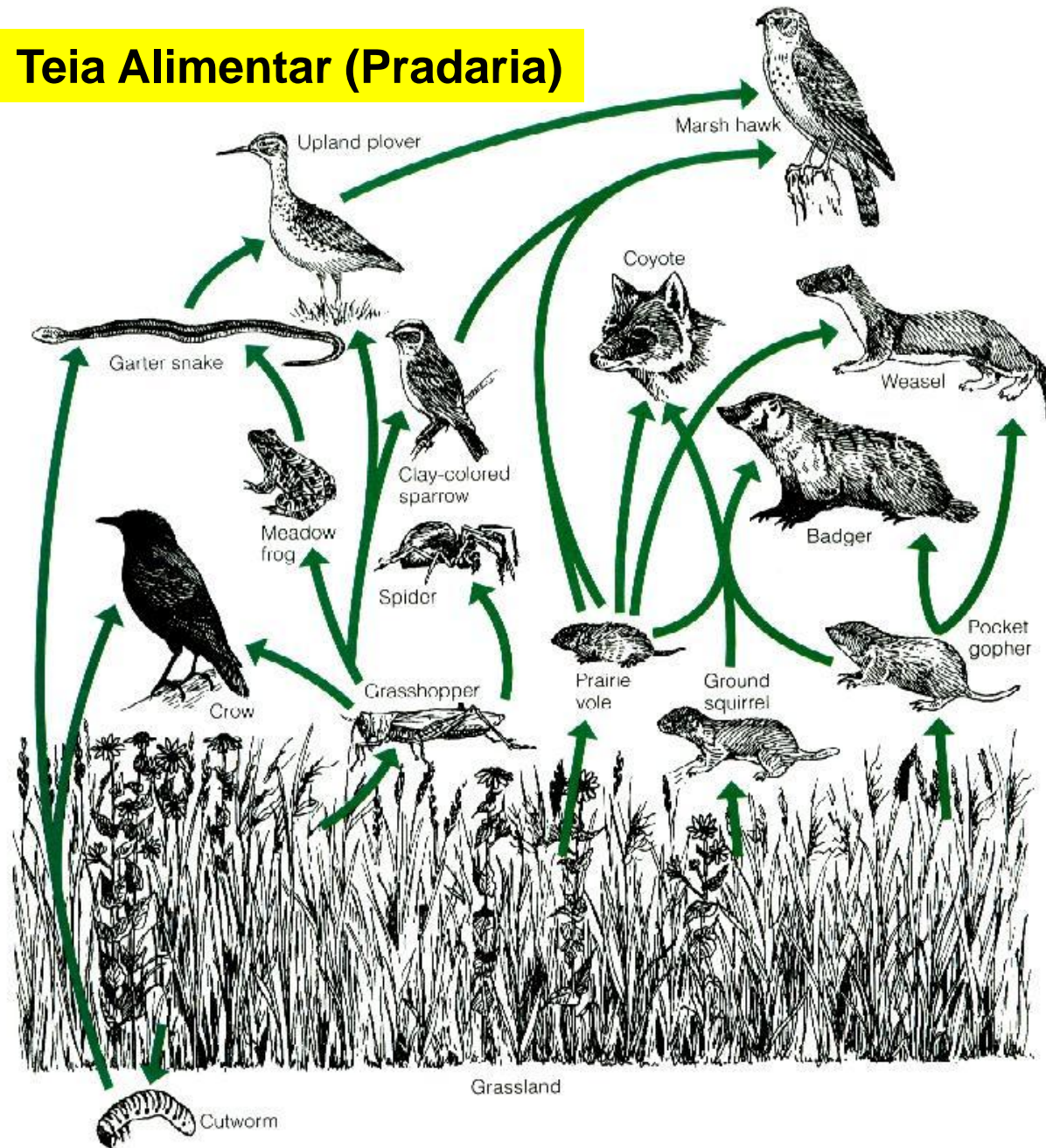


Figure 24.1 A food web for a prairie grassland community in the Midwest. Arrows flow from food to consumer.

Cadeia (Teia) Alimentar dos Detritos

Ausência de predominância de consumidores de tecido vegetal vivo, ou seja, de pastadores ou herbívoros (grazers) especializados para consumir biomassa vegetal viva. Isso é o que ocorre quando a vegetação possui elevados teores de celulose ou de lignina ou de substâncias químicas (i.e: taninos) que dificultam ou mesmo impedem a sua digestão. Dessa forma, uma das principais características das cadeias de detritos são as baixas eficiências de transferência de energia. Esse tipo de situação é muito comum nas florestas tropicais e nas áreas úmidas.

A **zona litorânea de lagos** e rios onde haja uma predominância de macrófitas também se constitui em um bom exemplo de um local com predominância da cadeia de detritos. A biomassa vegetal morta é atacada por uma série detritívoros (insetos, moluscos, fungos, etc) que são alimento de anfíbios e peixes que por sua vez são capturados por aves de rapina (falconiformes), répteis ou mesmo outros peixes.

Talvez o exemplo mais citado de áreas como predominância de cadeia de detritos sejam os **ecossistemas florestais**. As árvores geram um grande acúmulo de matéria vegetal na serapilheira ('litter') que se constitui na principal fonte de alimento de toda uma série de organismos do solo (colêmbolos, ácaros, anelídeos, nematóides, coleópteros, etc). Esses animais são ativamente predados por pequenos mamíferos insetívoros que são as principais presas de serpentes, aves e outros mamíferos.



Teia Alimentar (Detritos / Serapilheira)

A teia de detritos do solo de uma floresta é composta por uma variada gama de invertebrados. Os principais organismos que compõem essa comunidade são: insetos (coleópteros), moluscos (gastropódes), aranhas e ácaros.

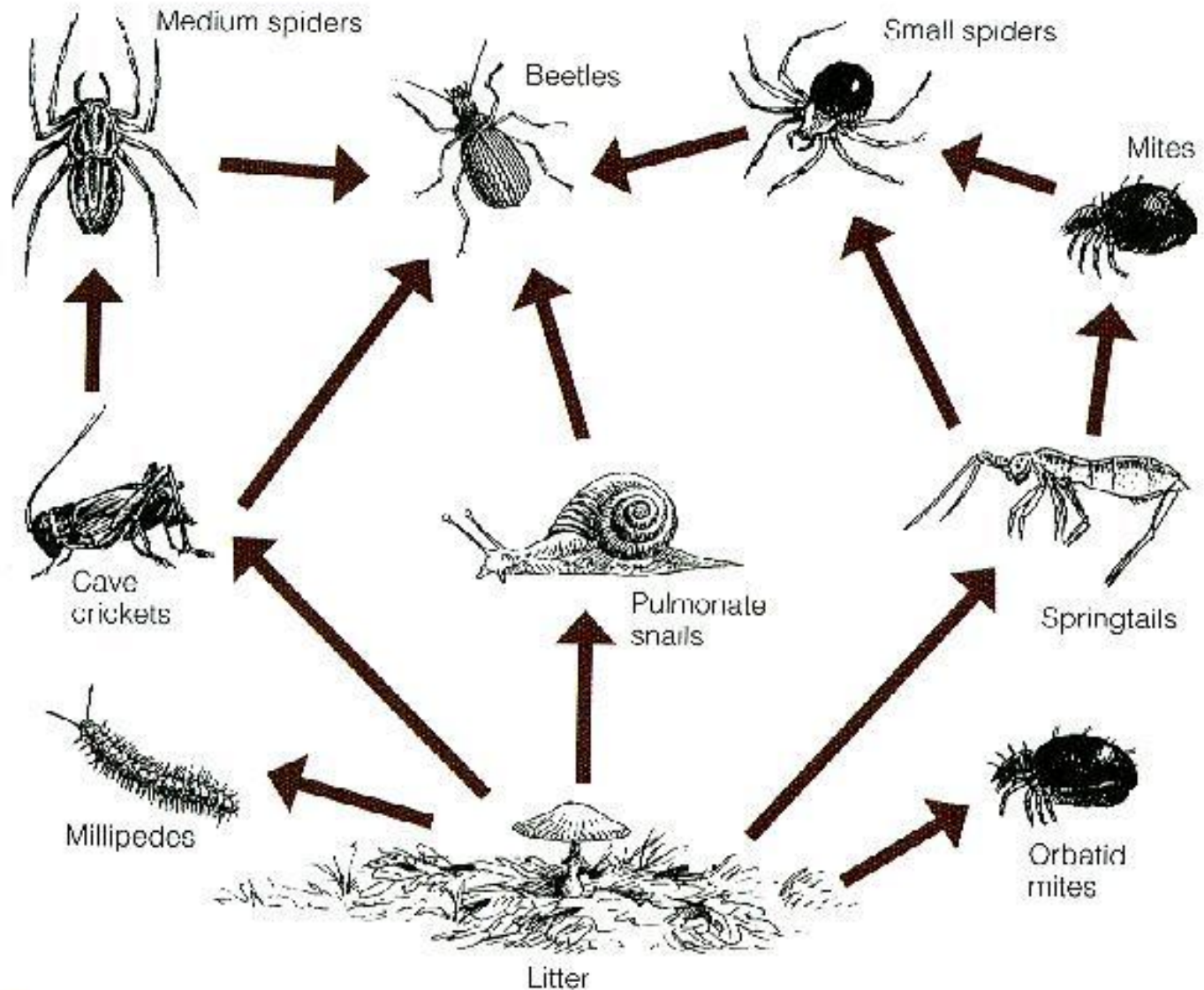


Figure 24.5 Detrital food chain involving forest litter-dwelling invertebrates in an Appalachian yellow-poplar forest.

Redes Alimentares

Na natureza as relações tróficas geralmente não são tão simplificadas. Há carnívoros que podem ter um amplo espectro de presas em potencial, que por sua vez alimentam-se de uma variada gama de plantas. Embora estas redes possam ter uma razoável complexidade em termos de expansão horizontal, como se verá adiante, há um limite vertical (ou do número de níveis tróficos) para estas relações tróficas. A existência de redes tróficas complexas já foi reconhecida há muitas décadas. Um exemplo pode ser visto no mar do norte, mais especificamente nas relações alimentares do arenque adulto (Hardy, 1959).



Os principais atributos de uma dada teia alimentar são os seguintes:

- a) **Número de espécies na rede (S)**: é o número total de espécies presente numa dada rede.
- b) **Densidade de ligações (D)**: número de ligações tróficas associado a cada espécie presente na rede.
- c) **Espécie trófica**: conjunto de espécies que compartilham o mesmo conjunto de presas ou são atacadas pelo mesmo predador.
- d) **Predador de topo**: espécie que não é predada por nenhum predador na rede onde se alimenta.
- e) **Espécies basais**: organismos que não se alimentam de nenhuma outra espécie. Usualmente eles são produtores primários.



f) **Ciclos:** Ocorre quando um organismo A se alimenta do organismo B que por sua vez se alimenta do organismo C que se alimenta de A.

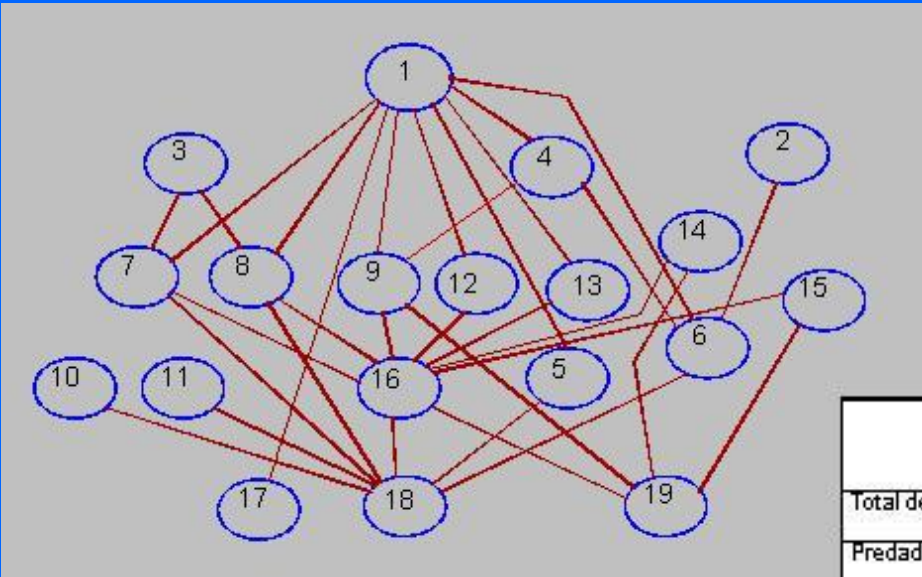
g) **Conectância:** número de interações tróficas realizadas dividido pelo número de interações tróficas possíveis. Na realidade, existem várias formulas na literatura para a conectância.

h) **Nível trófico:** número de ligações tróficas entre uma dada espécie na rede e a espécie basal a ele associada. Pode haver uma espécie que ocupe simultaneamente mais de um nível trófico.

i) **Onívoro:** organismo que se alimenta em dois ou mais níveis tróficos diferentes. h) **Compartimentos:** ocorre quando existe um grupo com fortes interações tróficas. Em uma dada rede pode haver certo paralelismo trófico, ou seja, a existência de vários compartimentos relativamente independentes entre si.



Estimando os atributos de uma Teia Alimentar ...



	Quantidade	Esp. Numero
Total de espécies	19	Todas
Predadores de topo	1	1
Espécies basais	3	17,18,19
Esp. intermediárias	9	restantes
Numero de ciclos	0	
Conectancia	0.19	Lig/S (S-1) ou 33/19x18
Dens. ligações	1.74	33/19
Comp. mínimo	1	1-17,15-19
Comp. máximo	4	1-4-9-16-18
Onivoria	1	1-17,1-8,1-9, 1-4,1-5 1-8,1-9, 1-12
Compartimentos	0	0



RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos

Matrizes de Transferência de Energia

As conexões tróficas dentro de um ecossistema, ao nível de produção secundária se expressam de maneira geral por uma matriz onde figuram todas as interseções possíveis entre espécies. Nesta matriz, cada fila ou coluna corresponde a uma população e os números significam as trocas tróficas que ocorrem entre elas. Uma vez que cada combinação se repete duas vezes, aproveita-se a parte superior para, por exemplo, expressar o que a presa perde em cada interação e a parte inferior pode expressar a produção obtida em cada interação trófica. A razão entre estas duas variáveis representa portanto a eficiência ecológica.



Matriz trófica

A partir das estimativas de produção e consumo dos vários componentes dos diferentes níveis tróficos é possível evidenciar os principais fluxos da energia dentro de um ecossistema.

Infelizmente, no Brasil, são muito raros estudos dedicados a Ecologia Energética. Não por acaso, os usos múltiplos de nossos ecossistemas frequentemente ultrapassam a capacidade de suporte dos mesmos.

A falta de observação a princípios ecológicos essenciais gera muitos prejuízos sociais, econômicos e – obviamente – severos impactos ambientais.

matriz de relações tróficas em um ecossistema

		Consumo									
Produção		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	ddd	320	512	208	0	0	0	0	0	0	0
B	320	ddd	0	0	15	49	4	0	0	0	2
C	512	0	ddd	0	45	8	25	3	0	0	0
D	208	0	0	ddd	19	0	25	2	0	0	0
E	0	10	27	12	ddd	0	0	7	4	0	3
F	0	35	5	0	0	ddd	0	0	15	0	7
G	0	2	15	15	0	0	ddd	2	3	0	0
H	0	0	2	1	4	0	1	ddd	0	4	0
I	0	0	0	0	2	8	1	0	ddd	3	3
J	0	0	0	0	0	0	0	2	1	ddd	0
	0	1	0	0	2	4	0	0	1	0	ddd

Cadeia alimentar simplificada



Figure 3 Matriz de relações tróficas em uma comunidade hipotética (modificado de Margalef, 1977).

Pirâmides Ecológicas

Mesmo as representações mais simplificadas de uma rede ou teia alimentar podem tornar muito complexas. Em virtude disto, tem se buscado esquemas mais simplificados para representar estas interações. As pirâmides ecológicas podem em certos casos ser de grande utilidade para sintetizar estas interações tróficas.



a) **pirâmide de números**: considera-se apenas a densidade (n° ind/área ou volume) em diferentes níveis tróficos. Este tipo de representação não distingue a diferença de biomassa entre as diferentes espécies que compõem o ecossistema.

b) **pirâmide de biomassa**: considera-se a biomassa (unidade de massa/área ou volume). Não leva em conta entretanto a taxa de renovação/acúmulo desta biomassa ao longo do tempo.

c) **pirâmide de energia**: supera as limitações citadas nos itens a e b uma vez que elas indicam a magnitude energética das interações tróficas dentro dentro de uma comunidade bem como as razões de acúmulo de biomassa dentro do ecossistema. Demanda entretanto grande quantidade de informações (produção primária e secundária). Revela também a importância da energia como um conceito unificador que permite comparar ecossistemas completamente diferentes entre si.

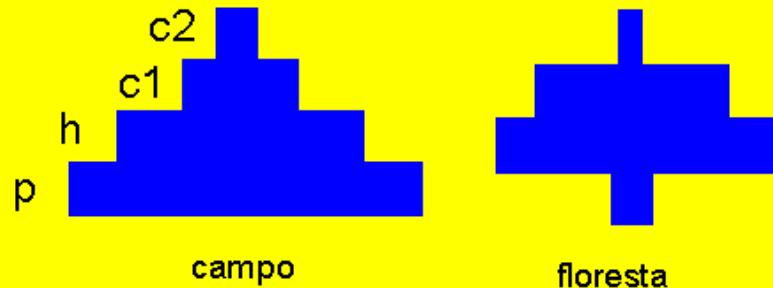


Pirâmides Ecológicas

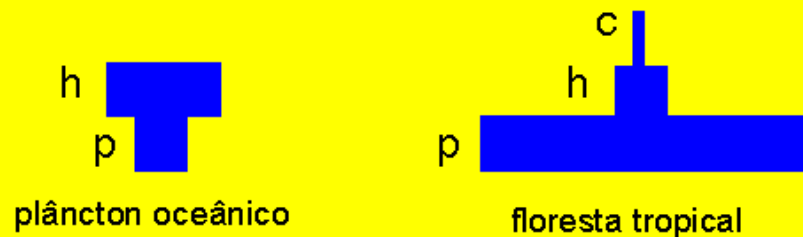
Trata-se de uma forma gráfica de representarmos os processos ecológicos tais como o fluxo de energia dentro de um ecossistema.

Infelizmente, no Brasil, a legislação ambiental prioriza o conhecimento sobre a estrutura dos ecossistemas (listas de espécies, índices de diversidade, etc.) dando pouca ou nenhuma importância a rotas, fluxos e padrões de captura de energia bem como em relação à biogeoquímica dos elementos abióticos que constituem o substrato dos ecossistemas. Muitas vezes, distúrbios ambientais que acabam por levar muitas espécies à extinção poderiam ser precocemente identificados através da abordagem ecossistêmica (ecologia energética, por exemplo).

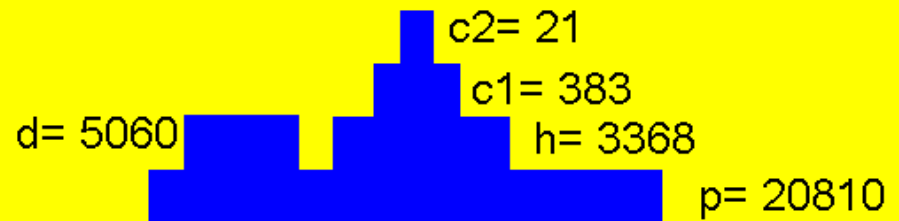
Pirâmide de números



Pirâmide de Biomassa



Pirâmide energética (fluxo em kcal/m².ano)



Silver Spring, Florida segundo Odum, (1957)

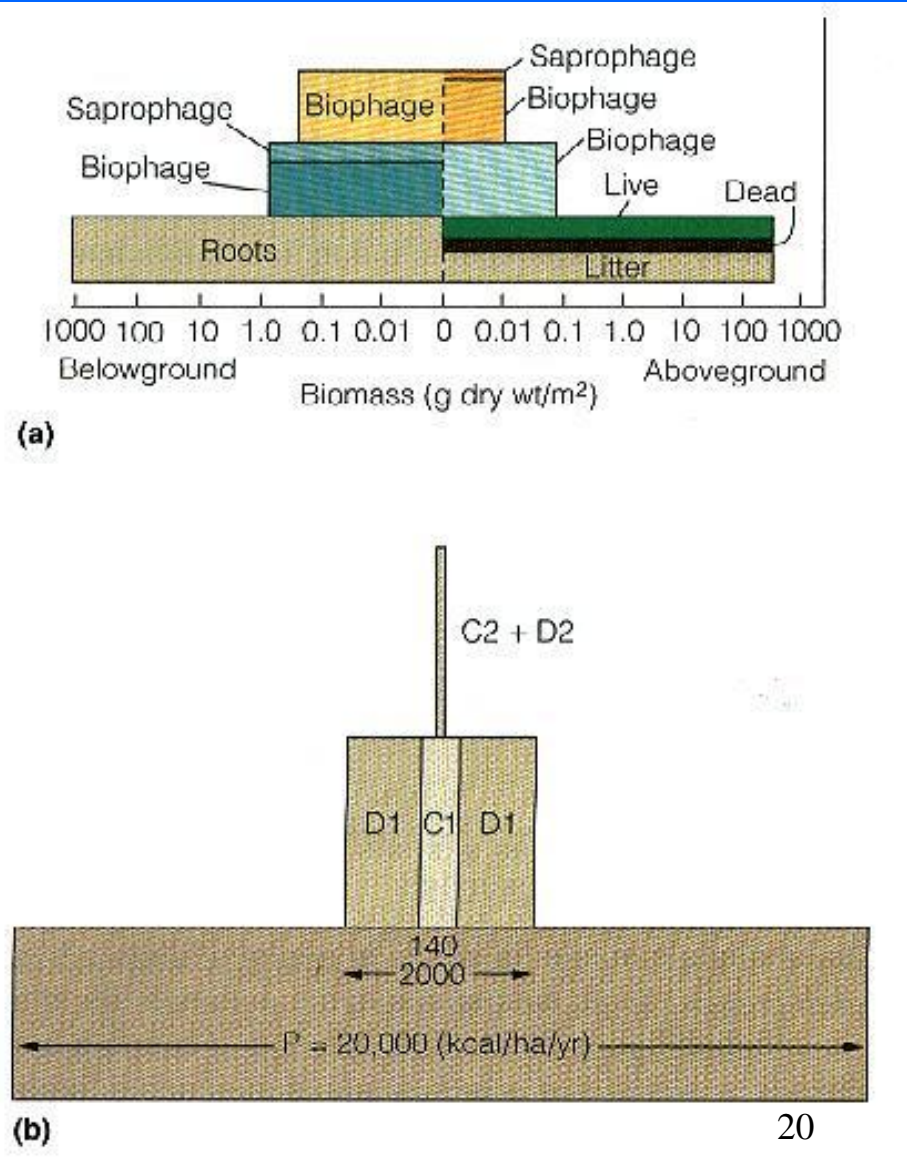
Figure 4 Tipos de pirâmides tróficas (modificado de Odum, 1976).



Pirâmides Ecológicas



Exemplos de pirâmides ecológicas. As teias de pastoreio e de detritívoros foram integradas em uma única pirâmide nos mesmos níveis tróficos. (A) **Pirâmide de Biomassa** (pradria): a base da pirâmide representa os produtores primários (g peso seco.m⁻²); o segundo nível representa os consumidores de primeira ordem e no topo os consumidores de segunda ordem (carnívoros). A linha tracejada representa a divisão entre os organismos que ficam acima (esq.) e abaixo (dir.) do solo, respectivamente. Os compartimentos estão divididos em biomassa viva e morta. A escala horizontal (biomassa) está em base logarítmica. Os consumidores de matéria viva são os biófagos e os saprófitas alimentam-se de matéria morta. (B) **Pirâmide de energia** de uma savana africana (Lamto, Costa do Marfim). P= produção primária, C1= produção secundária de consumidores de primeira ordem, C2= produção secundária de consumidores de segunda ordem; D1= produção dos consumidores de matéria vegetal e D2= produção dos consumidores de matéria animal.



Modelos Trófico Dinâmicos e Fluxo de Energia

Um dos estudos mais importantes (e mais citados) em Ecologia refere-se ao modelo trófico-dinâmico de *Cedar Bog Lake* em Minnesota, EUA (publicado por Lindemann na revista *Ecology*, 23:399-418, 1942). Trata-se de uma representação de uma comunidade através do fluxo de energia que ocorre entre os diferentes compartimentos desta comunidade.



Cedar Bog Lake

Um dos primeiros estudos publicados sobre Ecologia Energética

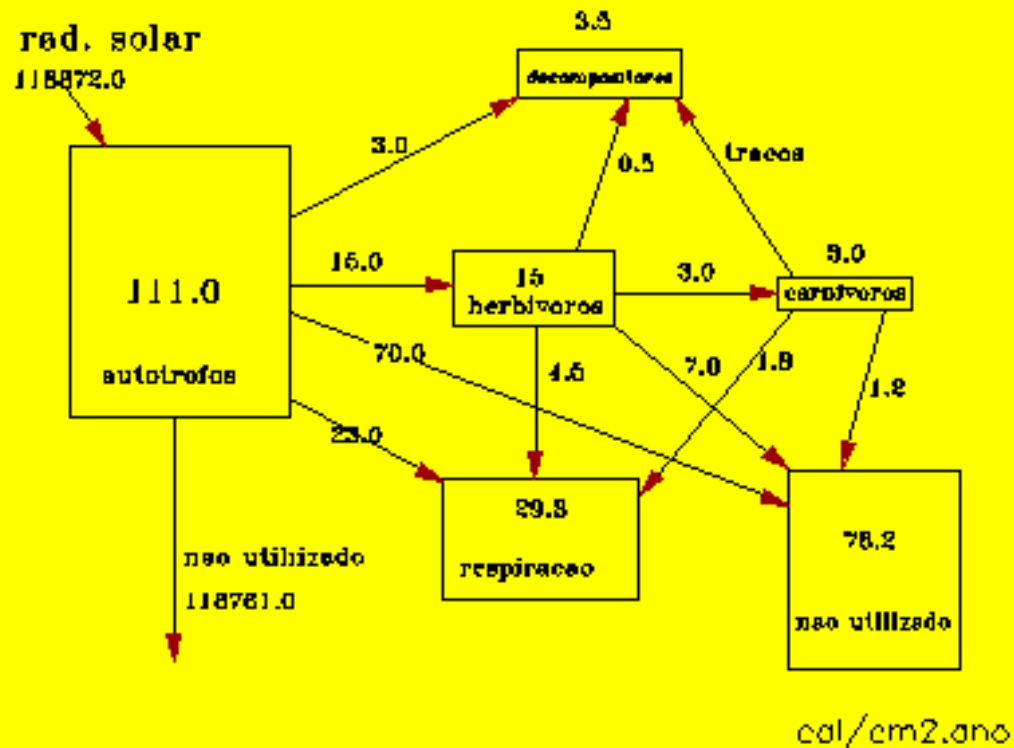
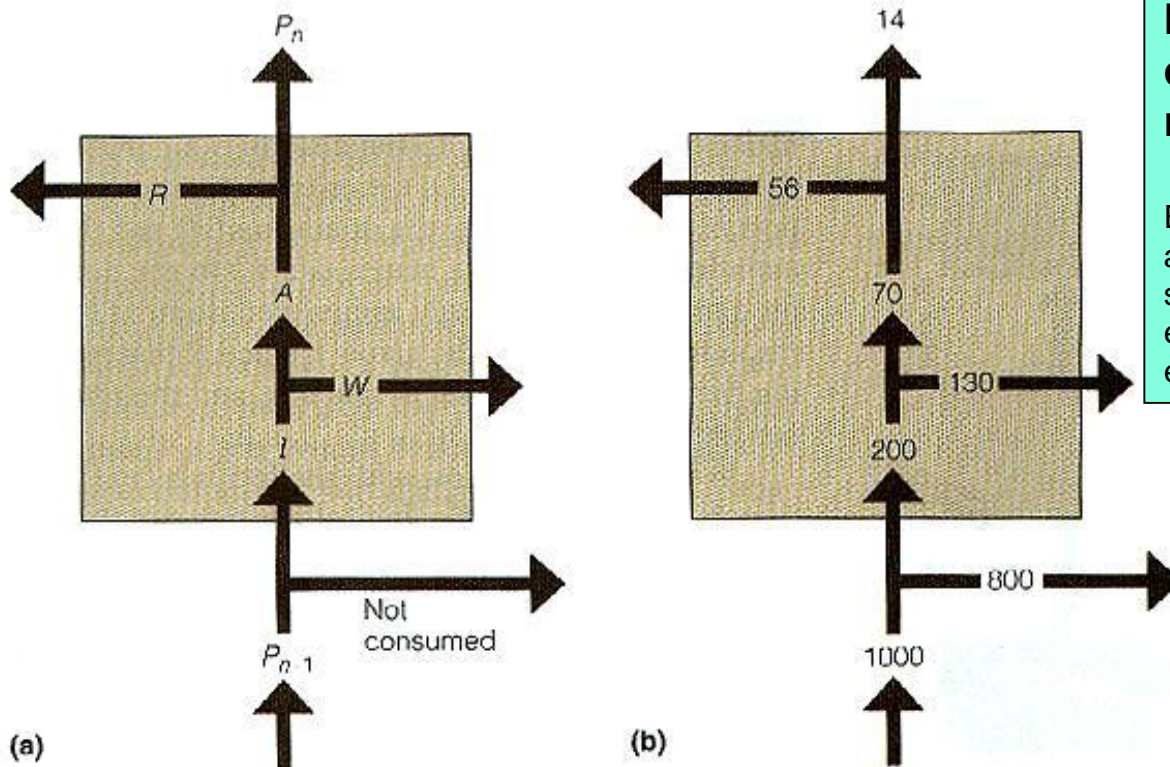


Figure 5 Fluxo de energia em Cedar Bog Lake (modificado de Kormondy, 1976).



Modelo teórico de fluxo de energia em um dado nível trófico

Estimativas das taxas de produção, assimilação, respiração e excreção são essenciais para o entendimento do metabolismo do ecossistema.

Invertebrate herbivore efficiencies

$$I/P_{n-1} = 20\%$$

$$A/I = 35\%$$

$$P_n/A = 20\%$$

W = Waste

R = Respiration

Figure 24.7 (a) Energy flow within a single trophic compartment. (b) A quantified example of energy flow through that compartment for an invertebrate herbivore. Values are kcal.



RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos

Eficiências Ecológicas



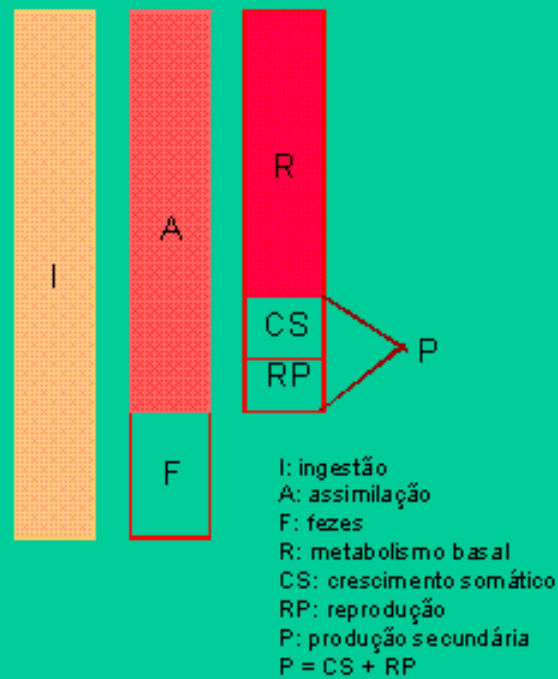


Figure 1 Relações entre ingestão, assimilação, produção de excretas, respiração e produção secundária.

$$\Phi = \frac{\text{moles assimilados de carbono}}{\text{moles PAR absorvidos}}$$

$$E = \frac{A}{C}$$

$$E = \frac{P}{A}$$

$$\frac{B}{P} = \frac{B}{\text{crescimento} + \text{reprodução}}$$

$$\frac{A}{I} \times \frac{P}{A} = \frac{P}{I}$$



Tipo de eficiência Explicação

A. Entre níveis tróficos

E_t / E_{t-1} eficiência de entrada de energia ou eficiência de Lindemann

E_t/P_{t-1} ou E_t/ A_{t-1} eficiência de utilização do nível trófico "t"

A_t/A_{t-1} eficiência de assimilação do nível trófico "t"

P_t/P_{t-1} eficiência de produção do nível trófico "t"

B. Dentro do nível trófico

P_t/A_t eficiência de produção

P_t/I_t eficiência de crescimento

A_t/I_t eficiência de assimilação



Planta	Local	Irradiação (j.cm⁻².dia⁻¹)	Produção (g.m⁻².dia⁻¹)	conversão (%)
Metabolismo C3				
1 <i>Solanum tuberosa</i> (batata)	Holanda	1670	23	5.4
2 <i>Solanum tuberosa</i> (batata)	EUA	2850	37	5.1
3 <i>Oryza sativa</i> (arroz)	Austrália	2720	23	3.0
5 <i>Gossypium hirsutum</i> (algod.)	EUA	2300	27	4.6
Metabolismo C4				
1 <i>Zea mays</i> (milho)	Inglaterra	1250	24	7.6
2 <i>Zea mays</i> (milho)	EUA	3079	52	6.4
3 <i>Pennisetum purpureum</i> (forrag.)	El Salvador	1674	39	9.3
4 <i>Saccharinum</i> sp. (cana de açúcar)	Hawaí	1678	37	8.4



Organismos	A/I	P/A	P/I
Insetos	0.36-0.41	0.40- 0.50	0.05-0.20
<i>Daphnia</i> (cladóceros)	0.05- 0.30	0.20-0.28	0.01-0.12
<i>Calanus</i> (calanóide)	0.50-0.70	0.22-0.43	0.17-0.26
Invertebrados carnívoros	0.61-0.90	—	—
Vertebrados herbívoros	0.30	—	—
Vertebrados carnívoros	0.80-0.90	—	—

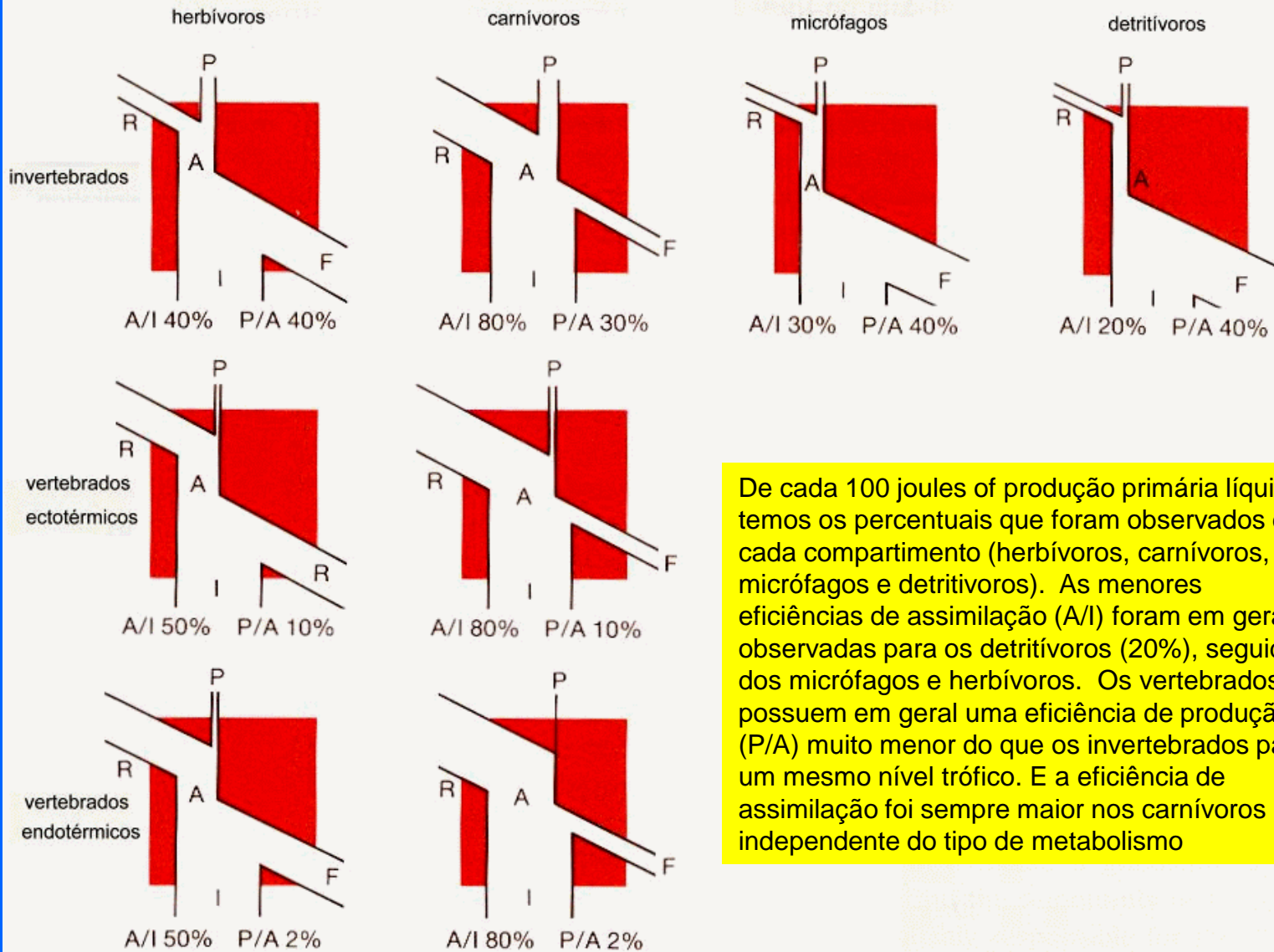
Em um estudo clássico em Ecologia, Heal e McLean (apud Begon et al. 1990), estudaram os padrões de transferência trófica em uma comunidade teórica de pradaria. Os resultados dessas simulações podem ser vistos na figura abaixo. De cada 100 joules de produção primária líquida, temos os percentuais que foram observados em cada compartimento (herbívoros, carnívoros, micrófagos e detritívoros).

É feita ainda uma comparação das eficiências segundo o metabolismo predominante (invertebrados e vertebrados ecto- e endotérmicos). As menores eficiências de assimilação (A/I) foram em geral observadas para os detritívoros (20%), seguidos dos micrófagos e herbívoros.

Os vertebrados possuem em geral uma eficiência de produção (P/A) muito menor do que os invertebrados para um mesmo nível trófico. E a eficiência de assimilação foi sempre maior nos carnívoros independente do tipo de metabolismo.

(veja o *slide* a seguir)





De cada 100 joules of produção primária líquida, temos os percentuais que foram observados em cada compartimento (herbívoros, carnívoros, micrófagos e detritívoros). As menores eficiências de assimilação (A/I) foram em geral observadas para os detritívoros (20%), seguidos dos micrófagos e herbívoros. Os vertebrados possuem em geral uma eficiência de produção (P/A) muito menor do que os invertebrados para um mesmo nível trófico. E a eficiência de assimilação foi sempre maior nos carnívoros independente do tipo de metabolismo

Table I Taxas de respiração de alguns invertebrados.

organismo	taxa de respiração
nematódeos primitivos	300-600 mm ³ O ₂ /g.h
nematódeos mais evoluídos	900-1800 mm ³ O ₂ /g.h
rotíferos	7000-20.000 mm ³ O ₂ /g.h

TABLE 24.1

ASSIMILATION AND PRODUCTION EFFICIENCIES FOR HOMEOTHERMS AND POIKILOOTHERMS

Efficiency	All Homeotherms	Grazing Arthropods	Sap-feeding Herbivores	Lepidoptera	All Poikilotherms
Assimilation <i>A/I</i>	77.5 ± 6.4	37.7 ± 3.5	48.9 ± 4.5	46.2 ± 4.0	41.9 ± 2.3
Production <i>P/I</i>	2.0 ± 0.46	16.6 ± 1.2	13.5 ± 1.8	22.8 ± 1.4	17.7 ± 1.0
<i>P/A</i>	2.46 ± 0.46	45.0 ± 1.9	29.2 ± 4.8	50.0 ± 3.9	44.6 ± 2.1


RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos



Ricardo Motta Pinto Coelho, MSc, Dr. Rer. Nat

RMPC Consultores em Recursos Hídricos

Rua das Hortênsias, 800

Morro do Chapéu

34.000-000 NOVA LIMA (MG)

Tel; 031 3517 9793

E-mail: rpcoelho@globocom

URL: <http://www.rmpcecolgia.com>

RMPC

& Consultores em Recursos Hídricos