

SOBRE A ECOLOGIA E BIOLOGIA DA DECOMPOSIÇÃO DA MATÉRIA
ORGÂNICA EM ÁGUAS AMAZÔNICAS

WALKER, I.*

RESUMO

O artigo está resumindo vários trabalhos em andamento na região de Manaus desde sete anos, sobre o bentos do folhiço submerso na floresta inundável (igapó) e em riachos da terra firme. Está incluindo: 1. dados qualitativos e quantitativos sobre a micro-fauna associado ao folhiço submerso e à rede alimentar da mesma; 2. dados sobre a composição das espécies, densidade e padrão de reprodução dos camarões (Crustacea, Palaemonidae) neste habitat; 3. alguns dados sobre a riqueza de biomassa em águas claras e pretas drenando a floresta da terra firme; 4. resultados de experimentos sobre o efeito da matéria orgânica submersa sobre a fauna colonizadora.

ABSTRACT - ON THE ECOLOGY AND BIOLOGY OF THE ORGANIC DECOMPOSITION IN AMAZONIAN NATURAL WATERS

This article summarizes the more important results of several projects which have been carried out during seven

* Divisão de Bioecologia, INPA

years in the region of Manaus. All projects involve the benthos of submerged leaf litter in the inundation forest (igapô) and in forest streams of the terra firme. The article includes: 1) results of a quantitative and qualitative study on the micro-fauna of submerged litter and its food web; 2) patterns of density, species distribution and reproduction of the shrimp populations of a forest stream; 3) some data on the richness of biomass in acid clear and black streams draining terra firme forest; and 4) results of some experiments on substrate-dependent decomposition which indicate, that the plant matter in decomposition grass or leaf-litter, determines the type of colonization of the waterbody by insects, irrespective of natural water quality (clear, black, acid or neutral).

INTRODUÇÃO

O objetivo geral desta pesquisa é chegar a um conhecimento sólido da ecologia e biologia da decomposição, em relação a diferentes qualidades de águas naturais (pretas, claras, brancas), assim como - no futuro - de águas sob manejo e urbanização. Isto inclui definição das comunidades faunísticas na matéria orgânica submersa; construção da rede alimentar com identificação dos canais principais de transferência de energia e nutrientes, e análise dos ciclos de vida dos organismos com posições importantes na estrutura trófica do ecossistema. Quase todos trabalhos foram executados em áreas de igapô (floresta inundável) de água preta e em riachos (igarapês) da terra firme; alguns problemas especiais necessitaram de observações experimentais.

Os conhecimentos atuais sobre os ecossistemas aquáticos na Amazônia são resumidos em grande parte na obra recente: "The Amazon" (SIOLI, 1984) com bibliografia extensa. Por esta razão, a literatura citada neste artigo vai ser reduzida ao mínimo.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é apresentada na Fig. 1.

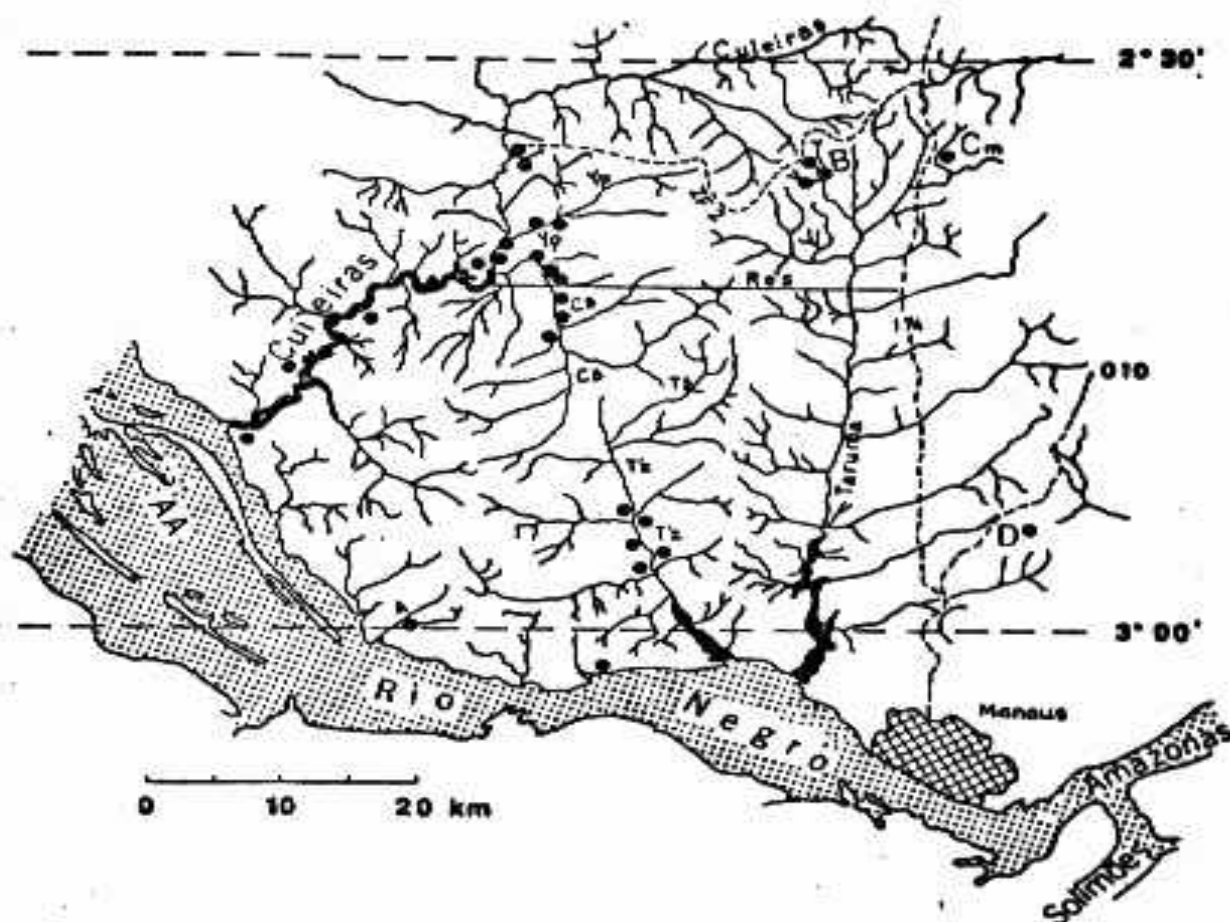


Figura 1 - Localização do Locais de coleta. A = Igarapê Arara. AA = Arquipélago das Anavilhanas. B = Bacia Modelo, INPA. Ca = Igarapê da Cachoeira. Cm = Igarapê de água preta da campina. D = Reserva Florestal Ducke, INPA. Res = Reserva Florestal "Km 60", INPA. T'z = Rio Tarumãzinho (= Tarumã-Mirim). Yp = Igarapê Ypiranga. 174 = Estrada BR 174 para Bos Vista.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de duas folhas de serrapilhera da área, foram expostas na água do rio ou do igapô por vários períodos. A fauna aderente de uma folha foi transferida ao álcool para contagem das larvas de insetos, e a outra folha foi mantida em água do rio durante 3-4 semanas para detecção dos micro-organismos (Protozoa, Rhabdocoela, Nematoda, Rotifera, Gastrotricha, Oligochaeta, Acari, Micro-Crustacea) que produziram-se nestas culturas. Cada morfótipo reconhecido foi contado como um colonizador da respectiva folha. Portanto, o número médio de indivíduos por folha na Tab. 1 é certamente uma subestimativa; também, nem todas espécies foram reconhecidas.

O padrão geral é o seguinte: a colonização começa logo após a submersão das folhas, e continua durante os dois meses de exposição. Os colonizadores dominantes são os chironomídeos, seguidos pelos micro-crustáceos, e, no segundo mês, por oligochaeta. Cestas maiores (20x15x6 cm, malha 1 cm²) com 12-20 folhas também estão sendo expostas mensalmente. Os poucos resultados já analisados indicam uma carga de 10-15 macro-arthropodos por 100 folhas, no entanto, este valor é certamente uma função de enchente e vazante, e a avaliação tem de esperar o fim das coletas. Folhas da liteira submersa retiradas ao acaso em igarapês de terra firme mostram uma média de 18.3 chironomídeos por folha (10 folhas/riacho, 8 riachos).

Com a intenção de analisar a micro-fauna na água livre e de estabelecer as interrelações tróficas da mesma, 180 micro-armadilhas (frascos de 70 ml, cobertos com tela de malha de 1 mm²) com iscas de peixe, foram penduradas na água livre do Igarapê da Cachoeira (preta) por 48-70 horas, (4 coletas, em junho e outubro de 1978 e 79). Após a retirada, estes micro-ecossistemas ficaram sob observação no laboratório durante 2-5 semanas, e todas ocorrências de alimentação observadas foram registradas. A análise qualitativa mostrou que esta micro-fauna é essencialmente a mesma daquela encon

Tabela 1 - Colonização de folhas submersas; nº por folha (=ind/leaf) e total morfotipos.

TEMPO DE EXPOSIÇÃO	24-48 HORAS		DUAS SEMANAS		UM MÊS		DOIS MESES	
	IND/FOLHA MORFOTIPOS	IND/FOLHA MORFOTIPOS	IND/FOLHA MORFOTIPOS	IND/FOLHA MORFOTIPOS	IND/FOLHA MORFOTIPOS	IND/FOLHA MORFOTIPOS	IND/FOLHA MORFOTIPOS	IND/FOLHA MORFOTIPOS
Protozoários	1.75	13	1.64	27	2.18	26	1.75	10
Metazoários inferiores	0.95	9	1.41	12	2.81	15	4.58	5
Oligoquetas	0.09	2	1.11	4	1.50	5	4.92	7
Acaros	0.06	2	0.60	4	0.19	2	1.05	3
Microcrustáceos	0.55	6	5.83	11	6.06	8	7.22	7
Quiromonídeos	1.47	3	12.57	(6)	6.38	(5)	7.84	(5)
Outros insetos	0.28	9	2.53	11	1.73	7	0.82	4
TOTAL	5.15	44	25.69	75	20.85	(69)	28.18	41
Σ folhas colonizadas por quiromonídeos	75.0		93.3		72.7		84.2	
Nº de folhas / Nº de séries	130 / 4		68 / 4		55 / 3		35 / 2	

trada nas folhas submersas. A frequência (% armadilhas ocupadas) foi uma função da correnteza momentânea no riacho, a qual separou os organismos das folhas. Não houve correlação com as estações de enchente e vazante. As frequências médias das 4 coletas foram: Rhabdocoela 41.2, Rotifera 51.6, Oligochaeta 6.75, Acari 18.1, Cladocera 32.2, Copepoda 50.3, Chironomidae 52.2, outros insetos 31.9%. Quase todas as armadilhas foram ocupadas por Protozoa, notavelmente por Thecamoebae e Ciliata (WALKER, 1985).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As observações sobre alimentação, junto com outras, semelhantes no decorrer de 4 anos, conduziram à construção da rede alimentar (Fig. 2). Nota-se que Rhabdocoela e Ciliata formam um ciclo quase fechado, não servindo substancialmente como "input" para níveis tróficos superiores. De um total de 70 morfótipos reconhecidos, 44 ingeriram fungos aquáticos do folhiço submerso. Trata-se de uma fauna bêntica, associada ao folhiço submerso em decomposição por fungos, e cujo "input" principal, são os fungos e o detrito foliar.

As espécies de camarões (Decapoda, Natantia) encontradas até 1982 em águas pretas e cristalinas na região de Manaus, foram descritas por Kensley e Walker (1982), juntamente com notas ecológicas e com listas do conteúdo estomacal. Todas as espécies são principalmente predadores de insetos, notavelmente de chironomídeos, mas aceitam também detrito foliar com fungos, esponjas, algas microscópicas, micro-crustácea e oligochaeta.

O estudo sobre a dinâmica das populações foi realizado entre 1979 e 1982 no igapô alto (com dossel já fechado) do Rio Tarumã-Mirim, cerca de 20-30 km acima da desembocadura do rio. As coletas mensais incluíram 2.136 e foram realizadas com rapichet na liteira submersa (vol. do rapichet ca. 8 litros, peso seco de folhas retiradas 50-100 g). Uma

amostra representa o número de camarões encontrado no rapichet.

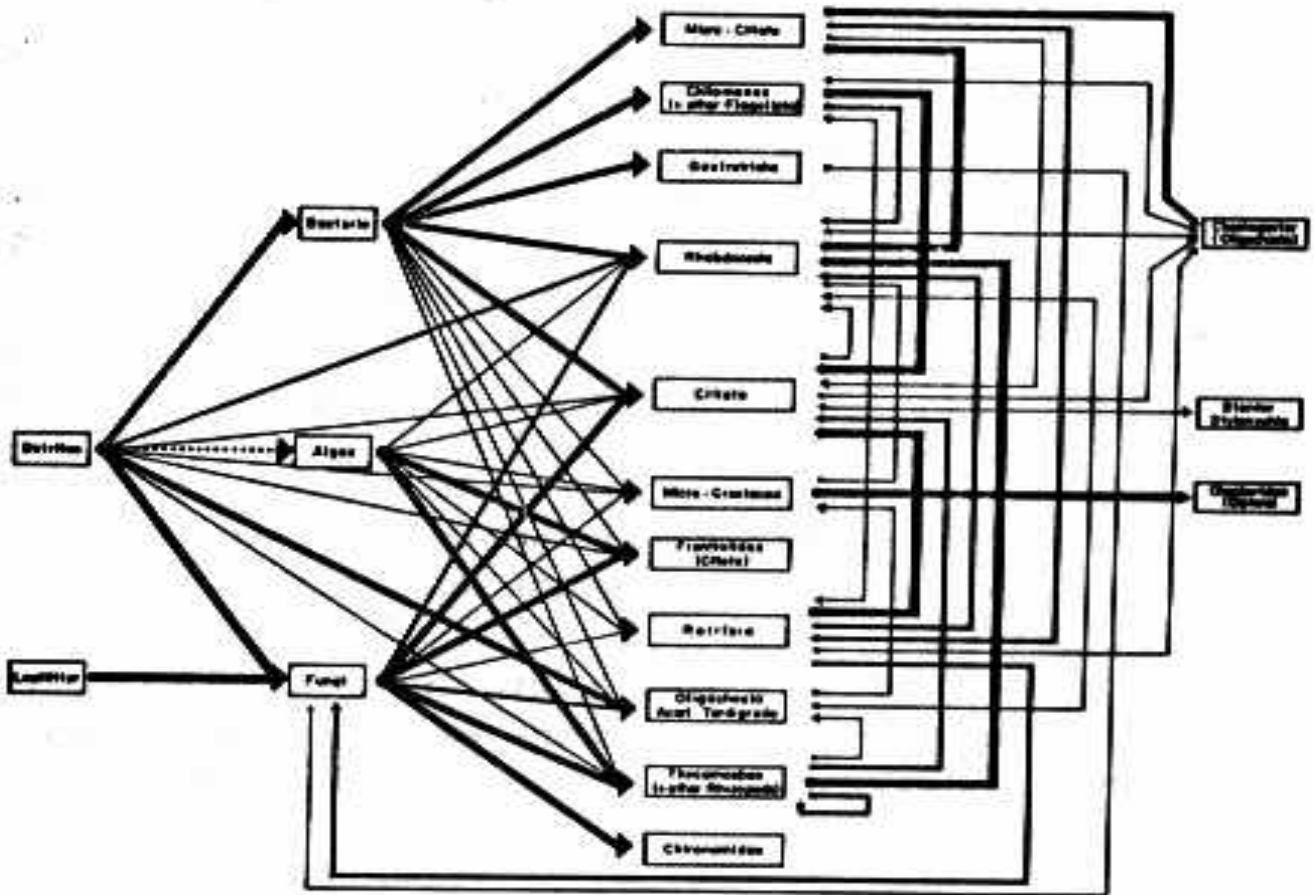


Figura 2 - Rede alimentar da micro-fauna do folhicho submerso. Linhas grossas: 10 observações; linhas médias: 6-10 observações; linhas finas: 1-5 observações. Duas espécies de fungos são parasitas de gastrotícha e rotífera (WALKER, 1985).

As espécies com freqüências suficientes para avaliação estatística foram: *Macrobrachium inpa*, *M. nattereri* (se melhantes em estágio juvenil e por isto agrupadas na avaliação) *Pseudopalaemon chryseus* e *Euryrhynchus amazoniensis*. Entre janeiro e agosto (enchente e águas altas) a densidade média mensal foi de 1-2 camarões por rapichet; durante águas baixas (rio restrito ao leito), entre setembro e dezembro,

4.4-8.9 (estes valores incluem todas as espécies).

A reprodução está restrita ao período de enchentes em todas as espécies (fim de dezembro até julho) o que permite às populações dispersarem-se. Isto explica a densidade quase estável durante a expansão das águas, e as máximas no rio baixo. A fertilidade é baixa, ela varia de 11-16 ovos por fêmea entre as espécies. Os ovos são grandes e o desenvolvimento é direto, não há larvas filtradoras de plâncton como no caso de *Macrobrachium amazonicum* (MAGALHÃES e WALKER, 1984; MAGALHÃES, 1984) que encontra-se na várzea.

A distribuição das espécies é uma função de enchente e vazante. Entre março e maio 70-80% dos indivíduos capturados foram *Euryrhynchus amazoniensis*; em junho e julho 60-70% *Macrobrachium*, e de novembro até janeiro encontraram-se 30-50% *Pseudopalaemon chryseus* e 20-25% *Macrobrachium* (WALKER e FERREIRA, 1985).

Há indicações que a água preta, proveniente de solos podsólicos, arenosos, seja mais rica em biomassa animal de que águas claras, drenando latossolo argilosos (Tab. 2).

Tabela 2 - Densidade de organismos em igarapés de águas claras e pretas da terra firme.

ORGANISMOS	ÁGUA CLARA		ÁGUA PRETA	
	Nº / AMOSTRA	n	Nº / AMOSTRA	n
Camarões/Rapichet (Dados originais 1978-1980)	Ypiranga		Ig. d. Cachoeira	
	0.57 ± 0.77	45	3.17 ± 3.15	97
Thecamoebae em detritos fino (Walker, 1982)	Barro Branco		Ig. d. Campina	
	18.4 ± 7.2	5	38.9 ± 5.3	7
	16.8 ± 16.7	37	52.3 ± 22.0	52
Chironomidae/folha em 10 rios (Dados originais 1984)	78.0 ± 31.9	4	291.3 ± 165.7	4

Já é bem conhecido que a moléstia de mosquitos é intensa em áreas de água branca e quase ausente do lado do Rio Negro. Para determinar se a matéria em decomposição tem um efeito sobre a colonização da água por culicídae foram conduzidos alguns experimentos entre março e junho de 1985. Num terraço aberto, mas protegido contra a chuva, foram expostos recipientes (plástico, 8 litros) durante um mês com os seguintes conteúdos (3 séries com 12 recipientes cada): água de chuva natural ou água preta de igarapé (2-3 litros), com adição de: ou capim (*Echinochloa polystachea*, natural da várzea), ou folhas mortas recém caídas no igarapé, ou folhas verdes de árvores de igarapé (14 espécies; peso seco/recipiente 8-15 g). Os dados essenciais são resumidos nas Tabs. 3 e 4.

Tabela 3 - Capim e folhas mortas na água da chuva (valores médios por recipiente).

VARIÁVEIS AMBIENTAIS	CAPIM	FOLHAS MORTAS
pH inicial	6.1; 6.9	6.1 6.9
$\mu S_{20}/cm$ inicial	12.0; 18.7	12.0 18.7
pH final	6.7	4.3
$\mu S_{20}/cm$ final	167.3	31.4
Bacteria ($10^6/ml$; dia 8-11)	216.17	8.33
Posturas, Culicídae	34	1.8
Culicídae (larvas)	2188	75
Chironomídae (larvas)	833	509
Nº de recipientes	6	6

Tabela 4 - Folhas verdes em água de chuva e água preta.

VARIÁVEIS AMBIENTAIS	SÉRIE II		SÉRIE III	
	CHUVA	PRETA	CHUVA	PRETA
pH inicial	6.9	3.5	4.8	3.6
$\mu\text{S}_{20}/\text{cm}$ inicial	18.7	27.0	5.3	17.1
pH final	5.9	-	6.0	5.7
$\mu\text{S}_{20}/\text{cm}$ final	56.7	52.0	46.1	13.4
Bactéria ($\cdot 10^6/\text{m}\ell$; dia 6-11)	18.0	17.5	2.25	4.0
Posturas, Culicidae	19.5	18.5	0	1.5
Culicidae (larvas)	377	825	0	5
Chironomidae (larvas)	419	746	299	118
Nº de recipientes	4	2	2	2

A partir dos dados obtidos podemos tirar as seguintes conclusões: Culicidae põe seus ovos onde a alimentação para suas larvas filtradoras de plâncton, sendo este, no nosso ensaio, bactérias (e flagellata bacterívoros). O capim é decomposto por meio de bactérias, com lixiviação rápida dos nutrientes solúveis.

A liteira submersa é decomposta através de fungos que estão retendo os nutrientes no micélio no interior da própria folha (BÄRLOCHER e KENDRICK, 1981; PADGETT, 1976). Os chironomídeos com larvas detritívora, benticos, são menos afastados pela diferença de substrato.

As Tabs. 4 e 5 dão os dados comparativos da colonização em águas de chuva e água preta para folhas verdes e capim. A taxa de decomposição das folhas verdes foi baixa; após um mês cerca de 70% dos tecidos ainda estavam frescos e ainda com a cor verde. A decomposição do capim é um processo com dois estágios bem marcados. Durante o primeiro período ocorre a proliferação das bactérias e a oviposição das culi

cidae, e o pH estabiliza-se na faixa ácida. A partir da eclosão maciça das larvas filtradoras que remove as bactérias, a água é clareada; no segundo período sua transparência é restaurada e o odor dissipa-se. (Todas as larvas de insetos foram removidas por filtragem entre os dois períodos). Nesta fase o substrato perde a atração para as fêmeas dos mosquitos, e a colonização por chironomídeos é intensificada; o pH estabiliza-se pouco abaixo do ponto neutro.

Tabela 5 - Sucessão de Culicidae e de Chironomidae na decomposição do capim *Echinochloa polystachea* em água de chuva e em água preta.

VARIÁVEL	H ₂ O	PRIMEIRO PERÍODO		SEGUNDO PERÍODO		P<
		-1 - 10 dias $\bar{x} \pm s$	n	-11 - 30 dias $\bar{x} \pm s$	n	
pH	Chuva	5.40 ± 0.12	8	6.71 ± 0.35	6	0.001
	Preta	5.07 ± 0.11	4	6.63 ± 0.15	4	0.001
	P ≥	0.45		0.45		t-Test
Bactéria .10 ⁶ /ml	Chuva	47.00 ± 10.00	2	13.25 ± 2.75	2	0.05
	Preta	37.25 ± 8.40	4	16.37 ± 7.76	4	0.0125
	P ≥	0.25		0.35		t-Test
Culicídeos ovos massa	Chuva	32.80 ± 9.80	8	6.3 ± 3.0	6	0.01
	Preta	33.30 ± 10.70	4	7.5 ± 2.5	4	0.01
	P ≥	0.49		0.49		x ² -Test
Culicídeos larvas	Chuva	1320 ± 511	6	115 ± 78	6	0.005
	Preta	1591 ± 404	4	135 ± 54	4	0.025
	P ≥	0.10		0.10		test-Wilcoxon
Chironomí- deos larvas	Chuva	27 ± 44	6	747 ± 200	6	0.005
	Preta	65 ± 85	4	608 ± 258	4	0.025
	P ≥	0.10		0.10		test-Wilcoxon

Os resultados nas Tabs. 4 e 5 demonstram nitidamente, que a qualidade inicial da água, (água de chuva, água preta, vários valores de pH) não tem influência sobre o processo biológico de decomposição. Todas as espécies de insetos, que ocorrem com frequência suficientemente alta, foram encontradas nos dois substratos e em ambas as águas, e mostraram desenvolvimento normal (Culicidae 3, Chironomidae 3, Muscidae 1, Psychodidae 1). Quaisquer que sejam as substâncias liberadas pelas folhas das árvores da mata amazônica no processo de decomposição, estas não suprimem a oviposição e o desenvolvimento larval das culicidae comuns da área (JANZEN, 1974). Todos os resultados indicam que a frequência baixa de culicidae em regiões de água preta seja uma consequência da falta de alimentação planctônica nestas águas.

Um teste simples, preliminar, sugere que os fungos decompositores do folhicho submerso estejam suprimindo o desenvolvimento de bactéria em outros substratos, possivelmente através da produção de substâncias bacteriocídicas. Pedacos de epiderme de cobra recém-mudada, naturalmente infectados por fungos e bactéria, são decompostos por bactéria em água deionizada; porém, são colonizados por densos micelios de fungos em presença de folhas mortas, retiradas do igapô (Fig. 3). A diferença foi consistente em seis pares de réplicas. (Recomenda-se o uso de epiderme de cobra, mudada naturalmente, para o estudo de fungos aquáticos, por causa da transparência e da consistência do material). Tal efeito explicaria a transparência das águas do igapô apesar de toneladas de matéria orgânica em decomposição.

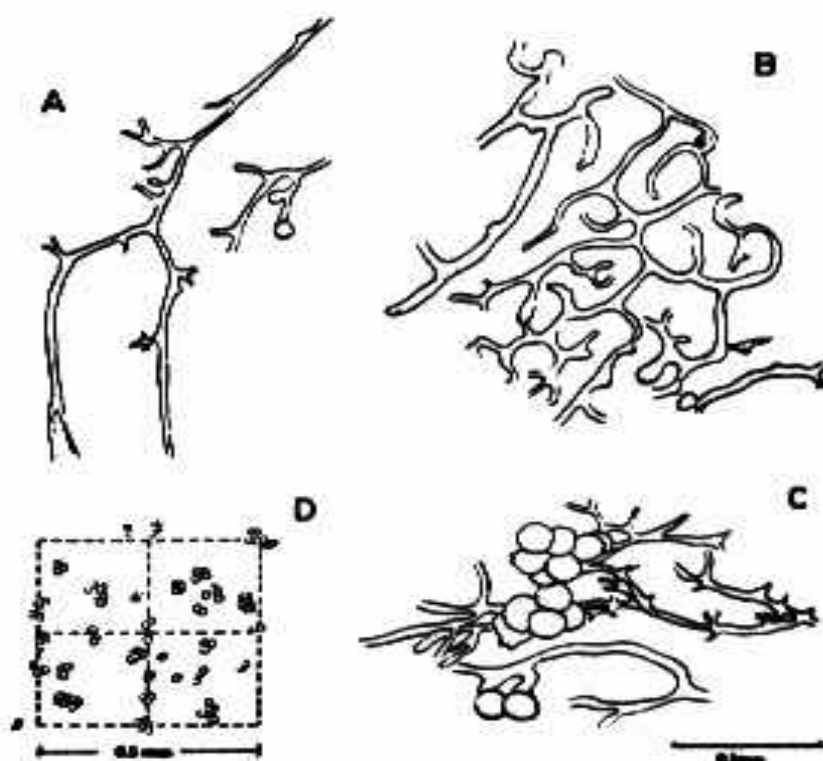


Figura 3 - A, B, C - Vários fungos colonizando amostras de epiderme de cobra; D - densidade de esporangia da espécie C. Desenhos câmara clara.

CONCLUSÕES GERAIS

Considerando os dados até agora disponíveis, a seqüência de causas e efeitos na ecologia geral dos sistemas aquáticos da Amazônia seria a seguinte: as características da geologia e dos solos drenados determinam a química primária (SIOLI, 1954) das águas; a química primária junto com condições de iluminação e de correnteza (campo ou dossel fechado, declive do terreno, etc.) determinam a flora aquática (JUNK e FURCH, 1980) e em conseqüência, o processo de decomposição (folhiço de floresta resistente às bactérias, decomposto por fungos; macrófitas com alta taxa de decomposição por bactérias), o processo biológico, integrado, da decomposição conduz a química secundária das águas. O crescimento dos fungos no mesófilo das folhas, e o consumo primário da fauna

bêntica, estão retendo os nutrientes na biomassa e estabilizando o pH ácido favorável ao crescimento de fungos (ROSSET e BÄRLOCHER, 1985). A decomposição das macrófitas por bactérias libera nutrientes (JUNK e HOWARD-WILLIAMS, 1984), fertilizando a água, e estabiliza o pH aproximadamente no ponto neutro, favorável ao crescimento de gramíneas, etc. A fertilidade da água está mantendo a vida planctônica. A fauna dos níveis tróficos superiores nas águas pretas e claras-pobres, é rigorosamente bêntica e, de preferência, associada ao folhigo submerso. A densidade de camarões e de chironomídeos neste habitat sugere, que a comunidade bentônica destas águas é mais rica em biomassa animal, do que o valor indicado por Irmiler (1975; 0.2 mg/m², peso fresco). Um canal principal de transferência de energia no igapô e nos rios e riachos da floresta é constituído pelos chironomídeos, que são consumidores de fungos e de detrito foliar, e que servem como alimento básico para os predadores (camarões, insetos aquáticos).

A dinâmica dos processos biológicos associados à decomposição é uma função dos períodos de enchente e vazante em ambos os macro-ecossistemas, como demonstrado pela dinâmica populacional dos camarões (WALKER e FERREIRA, 1985) e por numerosos outros trabalhos (SIOLI, 1984; NESSIMIAN, 1985).

Finalmente, a ausência dos mosquitos em águas pretas tem a mesma causa que o desenvolvimento abreviado dos camarões: falta a alimentação para os animais filtradores planctônicos. Os mosquitos comportam-se como qualquer outra espécie de inseto, eles põem os ovos onde há alimento para suas larvas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BÄRLOCHER, F. & KENDRICK, B. Role of aquatic hyphomycetes in the trophic structure of streams. In: WICKLOW, D.T. &

- CARROL, G.C., ed. The fungal community. New York, Marcel Dekker, 1981. n.p.
- IRMLER, U. Ecological studies of the aquatic soil invertebrates in three inundation forests of Central Amazônia. Amazoniana, 5: 339-406, 1975.
- JANZEN, D.H. Tropical black water rivers: animals and mast fruiting by the Dipterocarpaceae. Biotropica, 6: 69-103, 1974.
- JUNK, W.J. & FURCH, K. Química da água e macrófitas aquáticas de rios e igarapês na Bacia Amazônica e nas áreas adjacentes. Parte I. Acta Amaz., 10: 611-33, 1980.
- JUNK, W.J. & HOWARD, W.C. Ecology of aquatic macrophytes in Amazônia. In: SIOLI, H., ed. The Amazon. Dordrecht, Dr. W. Junk, 1984. 673p.
- KENSLEY, B. & WALKER, I. Palaemon shrimps from the Amazon Basin, Brasil (Crustacea, Decapoda, Natantia). Smiths. Contr. Zool., 362: 1-28, 1982.
- MAGALHÃES, C. Desenvolvimento larval e influência do pH nos adultos de Macrobrachium amazonicum (Decapoda, Palaemonidae) em condições de laboratórios. Manaus, INPA/FUA, 1984. n.p. Tese Mestrado.
- MAGALHÃES, C. & WALKER, I. Desenvolvimento larval e distribuição ecológica de seis espécies de camarões (Decapoda, Palaemonidae) da região amazônica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOLOGIA, 11, Belém, Pa, 1984. Resumos...
- NESSIMIAN, J.L. Estudo sobre a biologia e a ecologia da fauna invertebrada na liteira submersa das margens de dois lagos do Arquipélago de Canavilhanas (Rio Negro, Amazo-

- nas, Brasil). Manaus, INPA/FUA, 1985. n.p. Tese Mestrado.
- PADGETT, D.E. Leaf decomposition by fungi in a tropical rain forest stream. Biotropica, 8: 166-78, 1976.
- ROSSET, J. & BARLOCHER, F. Aquatic hyphomycetes: influence of pH, Ca^{2+} and HCO_3^- on growth in vitro. Trans. Br. Mycol. Soc., 84: 137-45, 1985.
- SIOLI, H. Gewässerchemie und Vorgänge in den Böden in Amazonasgebiet. Naturwissenschaften, 41: 456-57, 1954.
- SIOLI, H., ed. - The Amazon. Dordrecht, Dr. W. Junk, 1984. 736p.
- WALKER, I. The Thecamoebae (Protozoa, Rhizopoda) of small amazonian forest streams and their possible use as indicator organisms for water quality. Acta Amaz., 12: 79-105, 1982.
- _____. On the structure and ecology of the micro-fauna in the Central Amazonian forest stream "Igarapé da Cachoeira". Hydrobiologia, 122: 137-52, 1985.
- WALKER, I. & FERREIRA, M.J.N. On the population dynamics and ecology of the shrimp species (Crustacea, Decapoda, Nantantia) in the Central Amazonian river "Tarumã-Mirim". Oecologia, 66: 264-70, 1985.
- WALKER, I. The biology of streams as part of amazonian forest ecology. Experimentia. (no prelo)

AGRADECIMENTOS

Os trabalhos apresentados fazem parte do projeto

"Ecologia da Floresta Tropical" apoiado pela OEA.

Agradeço a M.J. do Nascimento Ferreira e a J.B. Santos da Silva pela assistência no Laboratório, a H.L. de Vagconcelos e a Hygia Pimenta Carmo pela cooperação na redação do texto.

ENDEREÇO DO AUTOR:

WALKER, I.

Divisão de Bioecologia

Instituto Nacional de Pesquisa do Amazonas

Cx. Postal 478

69000 Manaus