

5 - Lagos

Os lagos, ao contrário dos rios, armazenam as maiores quantidades das águas doces superficiais do Planeta, sob a forma líquida. São o resultado de diferentes processos geológicos e distribuem-se de maneira muito heterogênea na Terra. O Hemisfério Norte concentra a maior parte desses ecossistemas (Fig. 5.1). Apresentam estreita ligação com a origem de vários rios importantes, tais como o Rio São Lourenço, na América do Norte, que drena os grandes lagos norteamericanos, o Rio Reno, na Europa, que drena as águas do Lago de Constança e o rio Nilo, na África, que recebe as águas de grandes lagos (Alberto, Eduardo e Victoria).

Em outros casos, os lagos podem ser o destino final de toda uma rede hidrográfica, tais como o Lago Eyre, localizado na Austrália, que é o maior sistema endorreico do mundo. Outros lagos endorreicos são os “mares” interiores Cáspio e o mar de Aral, na Ásia. Na América do Sul, temos o Lago Titicaca (Bolívia-Peru) e o Lago Valencia (Venezuela). Na América do Norte, o grande Lago Salgado, situado no Estado de Utah e o Lago Mono, na Califórnia seriam outros exemplos de lagos interiores, com bacias hidrográficas voltadas para si próprios, sem qualquer saída para os oceanos. Para ter uma dimensão da grandeza dessa forma de água doce, basta mencionar que os 50 principais lagos do mundo perfazem uma área inundada de mais de um milhão de quilômetros quadrados e um volume acumulado que quase seis milhões de quilômetros cúbicos, a uma profundidade média de cerca de 120 metros.

Os lagos não são apenas importantes na biosfera como reservatórios de água doce. Quase todos os grandes lagos do Planeta são centros de biodiversidade e prestam serviços ambientais da maior importância, tanto para a biosfera, quanto para as populações que vivem ao seu redor, principalmente como importante reserva de água para abastecimento público, vias de navegação, pesca e lazer. Algumas grandes cidades do mundo (Chicago, Toronto, Genebra) estão localizadas às margens desses ecossistemas. Embora não possam ser comparados aos rios em termos de sua importância econômica, histórica ou cultural, os grandes lagos exercem importante influência na economia e culturas regionais. A seguir, são elecionados alguns exemplos de grandes lagos, destacando não só as suas principais características morfológicas mas também as ameaças ambientais que estão sofrendo.



Grandes lagos e reservatórios do mundo

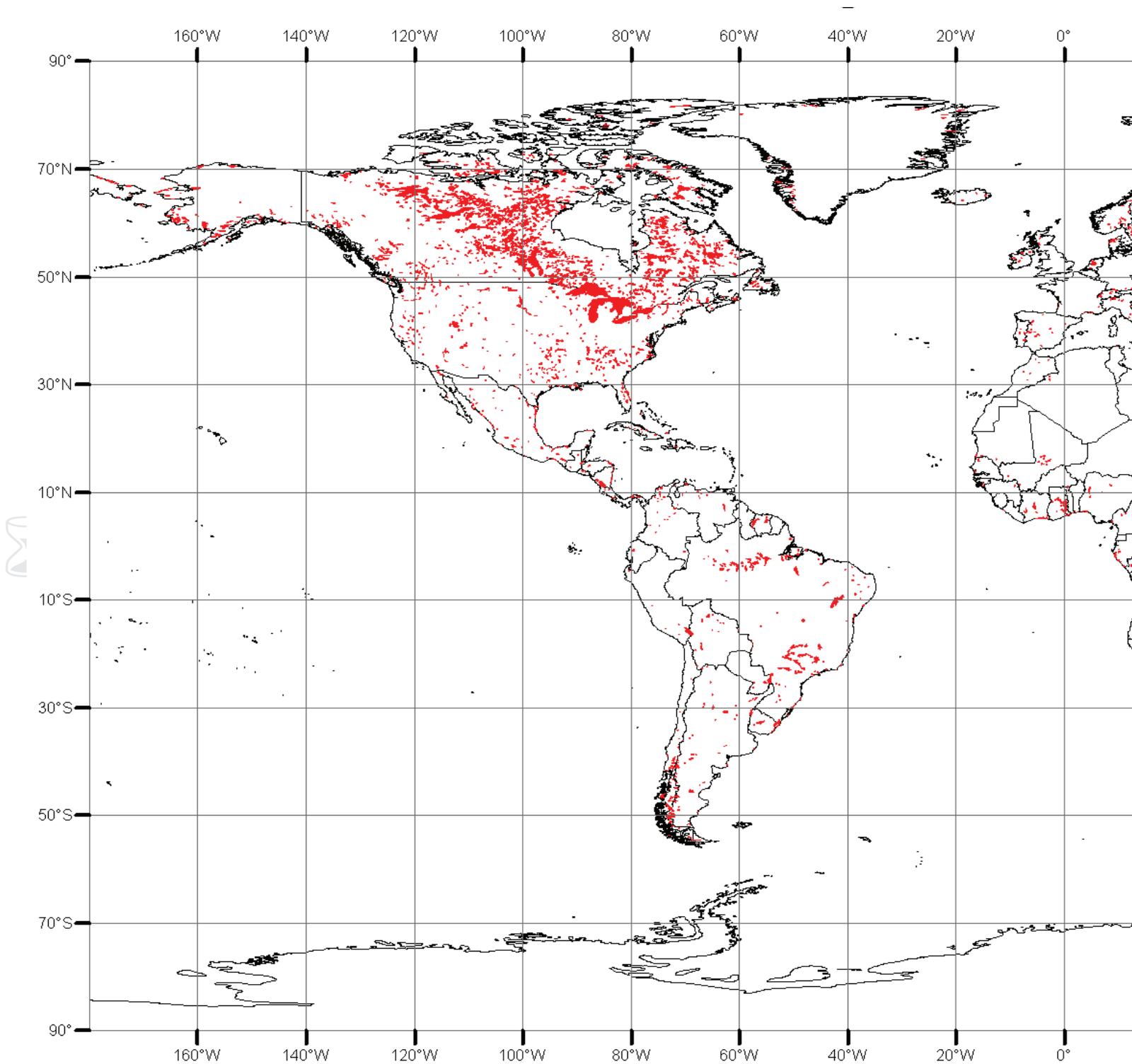
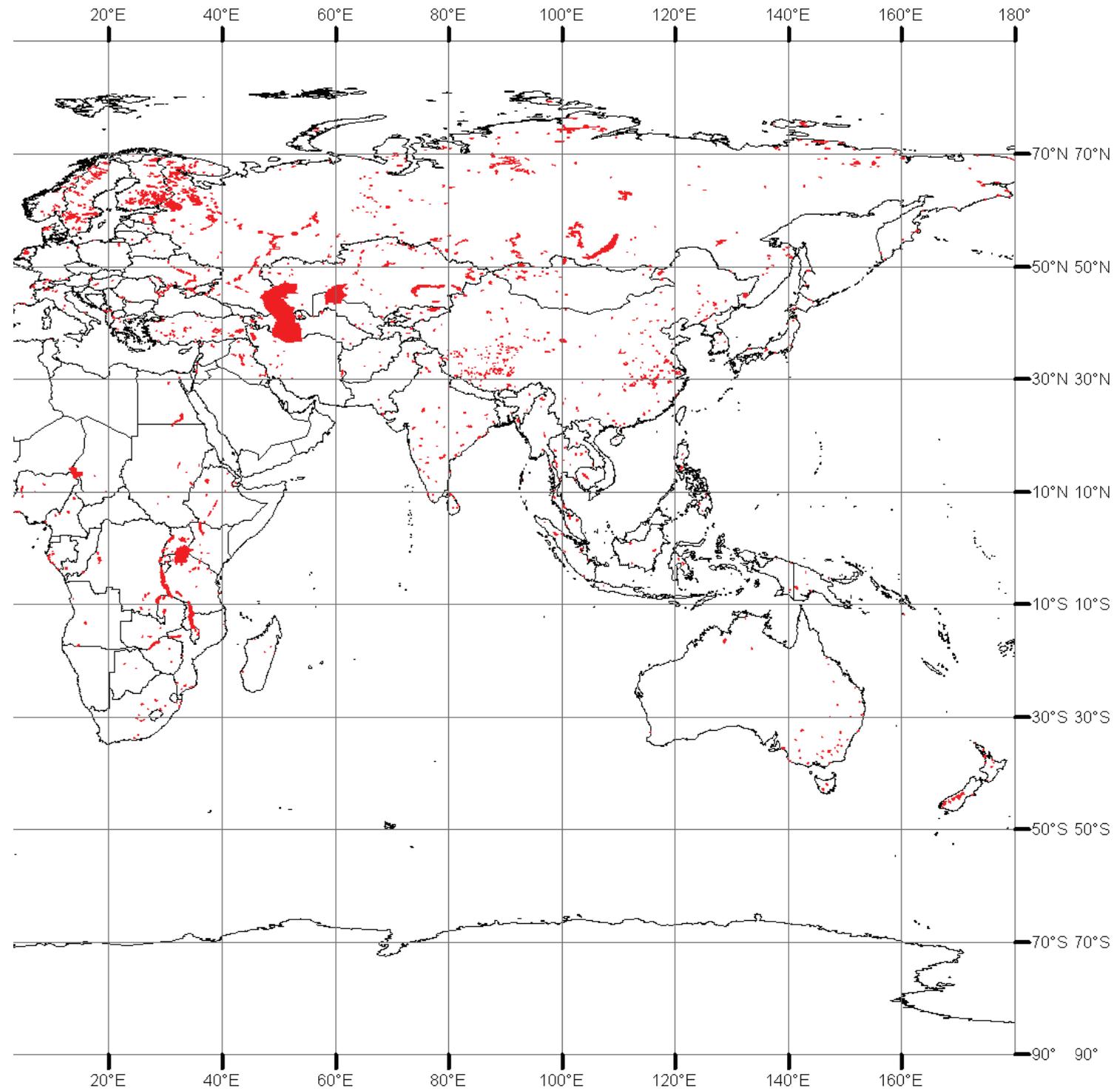


Figura 5.1 – Localização geográfica dos principais lagos e reservatórios no mundo. A distribuição dos lagos entre os continentes é muito desigual e mesmo dentro de um dado continente. Os lagos apresentam estreita relação com a origem de vários rios importantes no mundo tais como o Rio São Lourenço, na América do Norte que drena os Grandes Lagos norte-americanos, o Rio Reno, na Europa, está associado ao Lago de Constança e rio Nilo, na África recebe água de grandes lagos africanos (Vitória, Alberto e Eduardo). Fonte: WWF (2014).



Sistema de Coordenadas: WGS 1984

Meridiano central: 0°0'00"

Os grandes lagos norte-americanos são um conjunto de cinco corpos lênticos situados entre o Canadá e os Estados Unidos (Fig. 5.2): Lago Superior, Lago Michigan, Lago Huron, Lago Erie e Lago Ontário. O conjunto forma o maior compartimento de água doce superficial do Planeta, em área inundada (Evans, 205). A área total coberta por esses lagos é de 245.400 km² e o um volume total acumulado de água de 22.594 km³ (Tab. 5.1).

Tab. 5.1 – Principais características morfométricas dos grandes lagos norte-americanos (Evans, 2005).

	Superfície (km ²)	Volume (km ³)	Profundidade Média (Zm)	Profundidade Máxima (Zmax)
Lago Erie	25.700,0	484,0	19,0	64,0
Lago Huron	59.600,0	3.540,0	59,0	229,0
Lago Michigan	57.800,0	4.920,0	85,0	281,0
Lago Ontário	18.960,0	1.640,0	86,0	244,0
Lago Superior	82.100,0	12.100,0	147,0	405,0
TOTAL	245.400,0	22.594,0		

Grandes lagos Norte-Americanos

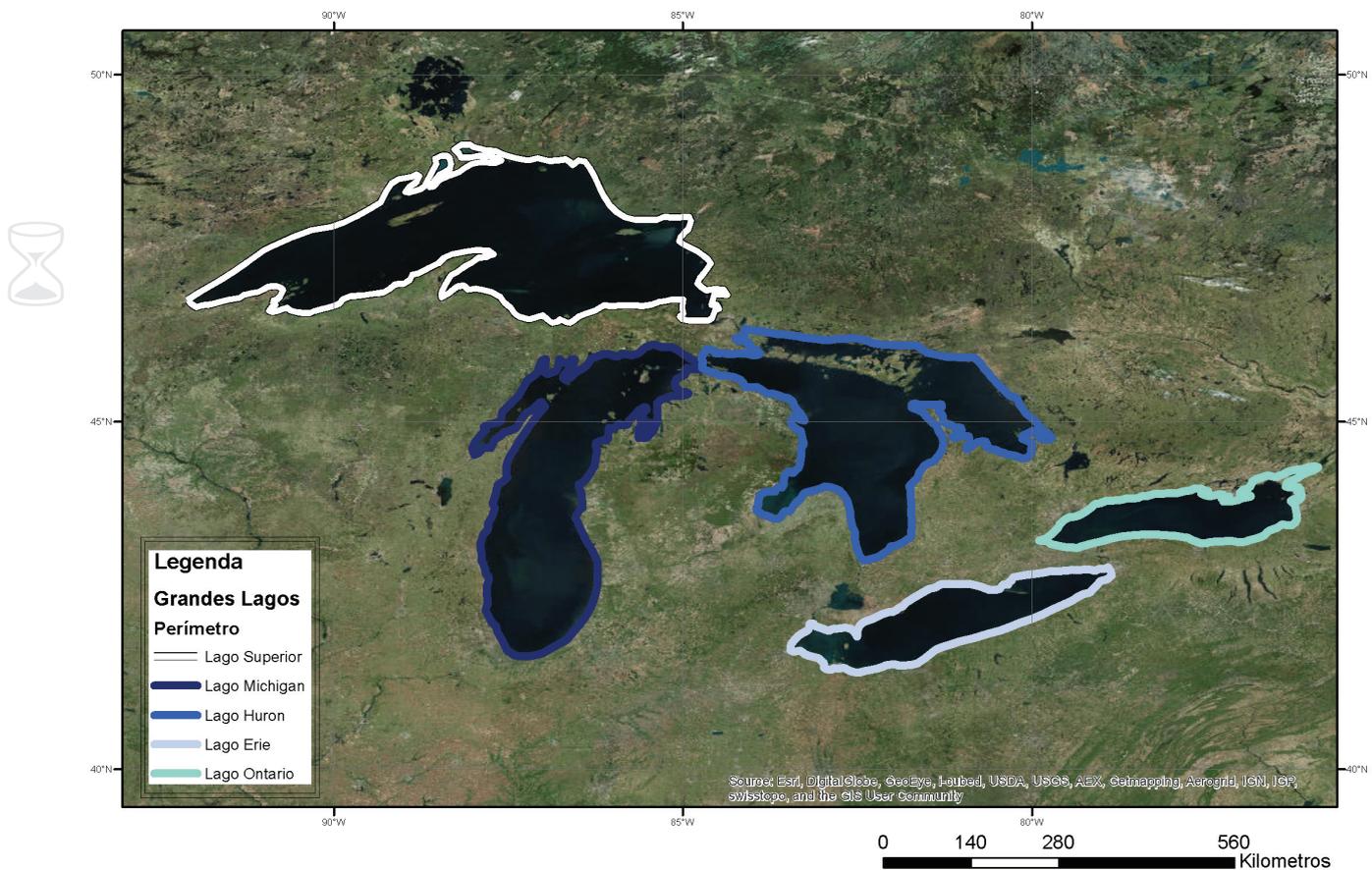


Figura 5.2 – Grandes lagos norte-americanos. Esse conjunto de lagos constitui-se na maior reserva de água doce líquida do Planeta.

A região dos grandes Lagos e do Rio São Lourenço é uma zona densamente habitada na América do Norte, incluindo grande parte da população (40%) e o centro econômico do Canadá. Inúmeras grandes cidades estão localizadas em suas margens: Buffalo, Chicago, Cleveland, Milwaukee, Rochester e Toronto. Já Montreal e Québec estão situadas a jusante, ao longo do rio São Lourenço.

Os grandes lagos sofrem de vários problemas ambientais: eutrofização, poluição difusa por nutrientes e pesticidas, poluição pontual por efluentes não domésticos (*hot spots of pollution*), introdução de

espécies exóticas, extinção de espécies nativas, exaustão de recursos pesqueiros, comprometimento das áreas úmidas pelo processo de urbanização, deposição de poluentes oriundos da atmosfera (ex: PCBs), dentre outros (Michigan Radio, 2014, EPA, 2014).

O Lago Titicaca está localizado no altiplano andino, na fronteira do Peru e da Bolívia. Possui uma área de 8.300 km² e profundidades máxima e média de 280 e 180 metros, respectivamente. O lago situa-se à grande altitude, ou seja, a mais de 3.800 metros acima do nível do mar. Divide-se em dois compartimentos, o Lago Pequeno e o Lago Grande, separados entre si pelo estreito de Tiquina

O Lago Titicaca é alimentado pela água das chuvas e pelo degelo das geleiras que rodeiam o altiplano. Cerca de vinte cinco tributários desaguam neste lago. Entretanto, apenas o Rio Desaguadero, que corre para o sul até o Lago Poopó, drena o lago. As vazões desse pequeno tributário geram um volume pouco menor que 5,0 % da perda total de água a partir do lago, devido à evaporação, isso graças aos ventos intensos e à exposição extrema à luz solar típica dessas altitudes.

O lago possui diversas ilhas, todas povoadas que e constituem uma grande atração turística, principalmente para o Peru. Excursões do mundo inteiro dirigem-se a Puno, uma cidade do Peru, para ver as populações que originalmente viviam nas Uros, ou seja, nas ilhas artificiais construídas com a vegetação seca que cresce na zona litorânea desse lago.

Os principais problemas ambientais já identificados no lago Titicaca são o lançamento de esgotos domésticos não tratados, poluição por metais traços (Zn e Hg), provenientes de mineração, contaminação por pesticidas e fertilizantes, introdução de espécies de peixes exóticos (truta), com redução dos estoques pesqueiros. Finalmente, devemos ainda notar que o Lago Titicaca vem sofrendo, ano após ano, uma redução do seu volume de água em decorrência da redução da estação chuvosa de seis para três meses, uma tendência que vem sendo observada ao longo dos últimos 25 anos (GNF, 2014).

Os grandes lagos africanos são um conjunto de sete lagos de origem tectônica, localizados na África oriental (Tanganica, Niassa, Victoria, Kivu, Turkana, Alberto e Eduardo) (Fig. 5.3). Esse conjunto detém o maior volume de água acumulado em lagos do mundo e ainda inclui alguns dos lagos mais profundos do mundo. A maior parte desses lagos foi formada há vários milhões de anos no Vale do Rift Ocidental, um dos ramos desta formação geológica que abrange a Etiópia, Quênia, Tanzânia, Uganda, Ruanda, Burundi, República Democrática do Congo, Malawi e Moçambique. Os lagos Victoria, Alberto e Eduardo vertem suas águas no Rio Nilo Branco. O Lago Tanganica e o Lago Kivu desaguam no Rio Congo, enquanto que o Lago Niassa deságua no Rio Zambeze. O Lago Turkana (Rudolfo) é endorreico, ou seja, como se situa em clima árido, a ele são transportadas todas as águas de sua bacia hidrográfica e dele não há nenhum rio efluente (Tab. 5.2).



O Lago Victoria está localizado em um planalto elevado na parte ocidental do Grande Vale do Rift, na África oriental. Ele possui 68.870 km² de área alagada sendo o maior lago do Continente Africano e o maior lago tropical no mundo. Sendo relativamente raso, é considerado como o sétimo maior lago de água doce pelo volume, e contém 2.760 km³ de água. As suas águas formam o Rio Nilo branco um dos formadores do rio Nilo. Existem mais 3.000 ilhas no seu interior, muitas das quais habitadas. A Ilha Ukerewe, na parte sudeste, pertencente à Tanzânia, é a maior ilha lacustre da África.

O Lago Tanganica é o mais longo e o segundo lago mais profundo do mundo, com uma largura média de 50 km, e profundidades máximas e médias de 1.470 m e 570 m, respectivamente. A superfície do lago cobre uma área de 32.900 km², e seu perímetro chega a 1.828 km. O seu volume é estimado em cerca de 18.900 km³. O Lago Tanganica é rico em peixes, sendo uma importante fonte de proteínas para os povos da região. Estima-se que cerca de 45 mil pessoas estejam envolvidas nas pescarias, operando em quase 800 centros de pesca; no entanto, estima-se que mais de um milhão de pessoas dependam desta atividade.

Assim como o Lago Tanganica, o Lago Niassa (ou Lago Malawi) também possui uma orientação nortesul. O lago tem 560 km de comprimento, 80 km de largura máxima e uma profundidade máxima de 706 m. É um lago único no mundo por formar uma província biogeográfica específica, com cerca de 400

espécies de ciclídeos descritas endêmicas (cerca de 30% de todos os ciclídeos conhecidos no mundo) e provavelmente muitas ainda por descrever.

Os Lagos Tanganica e Malawi, por serem tropicais e profundos, apresentam-se permanentemente estratificados, com um epilímnio mais quente sobre um hipolímnio mais frio. O nível da água varia com as estações do ano, exibindo, ainda, um ciclo de longa duração, com os níveis mais altos em anos recentes, desde que existem registros.

Tabela 5.2 – Principais parâmetros morfométricos dos grandes lagos africanos (Tundisi e Matsumura-Tundisi, 2008; Bootsma & Hecky, 1993).

LAGO	Superfície (km ²)	Volume (km ³)	Profundidade Máxima (m)	Profundidade Média (m)
Lago Vitória	68.800,0	2.760,0	79,0	40,0
Lago Tanganica	32.600,0	18.900,0	1470,0	580,0
Lago Niassa (Malawi)	28.800,0	8.400,0	785,0	292,0
Lago Turkana	6.405,0	203,6	109,0	30,2
Lago Alberto	5.300,0	132,0	58,0	25,0
Lago Kivu	2.700,0	500,0	480,0	240,0
Lago Eduardo	2.325,0	39,5	112,0	17,0
Total	148.100,0	30.935,1		

O Lago Alberto possui cerca de 5.300 km² de área e um comprimento máximo de 160 km e uma largura máxima de 30 km. A profundidade média é de 25 m e a máxima de 58 m. Situa-se a 615 m de altitude.



Grandes lagos Africanos

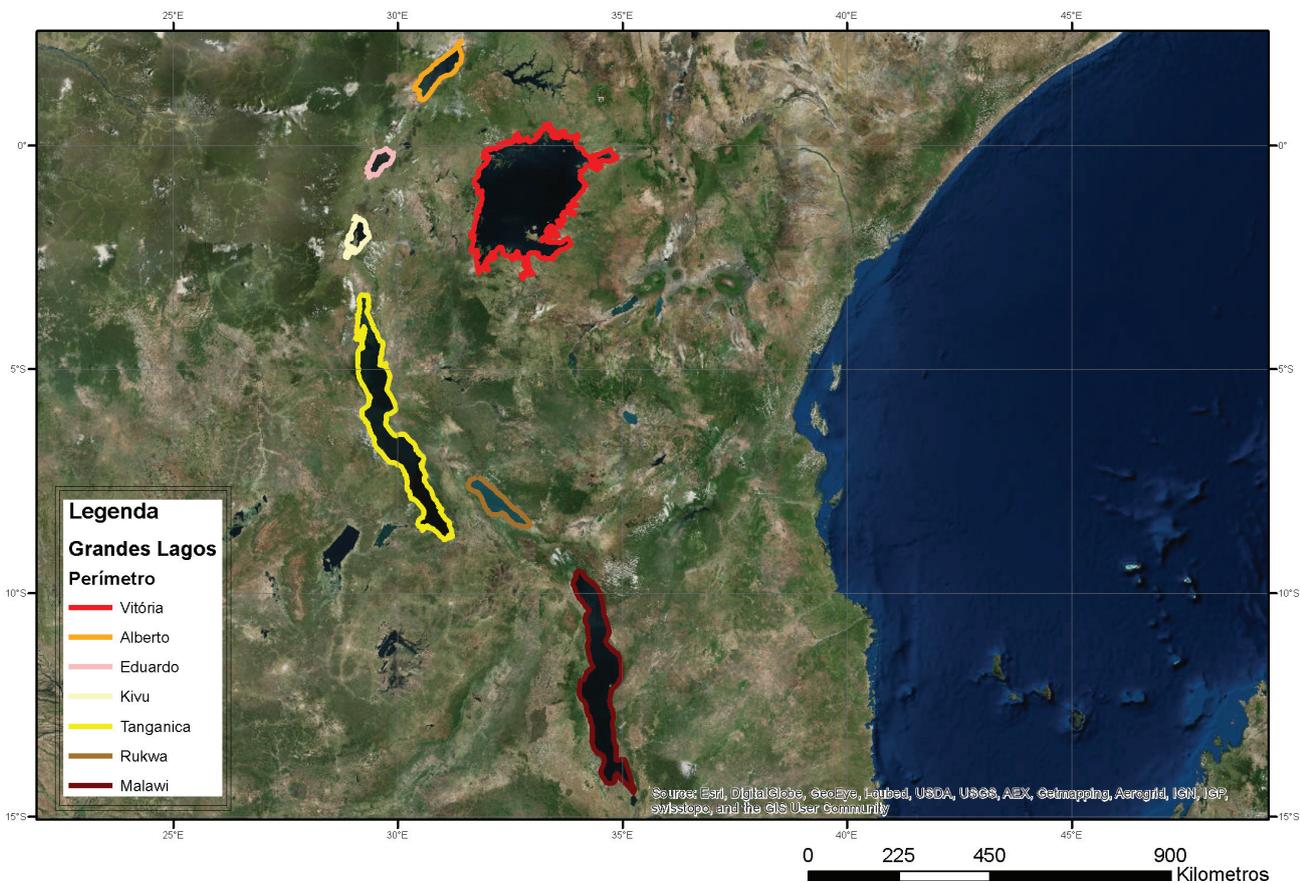


Figura 5.3 – Grandes lagos africanos.

Os lagos africanos também sofrem um conjunto de fatores associados às atividades humanas. A introdução da perca do Nilo e das tilápias no Lago Victoria é um dos casos mais dramáticos dos efeitos devastadores de introduções deliberadas de espécies exóticas em um ecossistema (Fig. 5.4). As consequências dessa introdução foram muito mais além da extinção em massa de duas centenas de espécies de peixes ciclídeos nativos. Essa introdução induziu sérias consequências à socioeconomia de toda a bacia hidrográfica de um dos maiores lagos do Planeta (Chege, N. 1995, Odada et al. 2004)

Introdução da pesca no Lago Victoria (África)

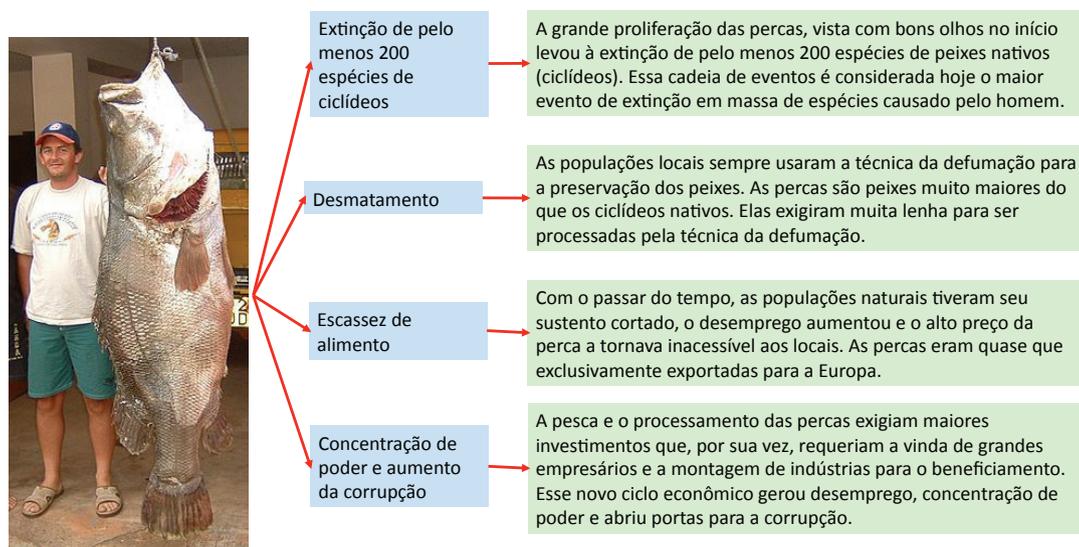


Figura 5.4 – Consequências da introdução de peixes exóticos (perca do Nilo), no Lago Victoria, África (Original).



Além da introdução de espécies exóticas, os grandes lagos africanos são ameaçados por uma série de outros impactos importantes: (a) exploração dos recursos pesqueiros; (b) assoreamento; (c) entrada de esgotos domésticos não tratados; (d) entrada difusa (*runoff*) de nutrientes derivados da agricultura; (e) crescimento urbano e da industrialização; (f) crescimento do turismo (Jorgensen et al. 2006).

O Lago Baikal é um lago situado ao sul da Sibéria, Rússia, perto de Irkutsk. Ele possui 636 km de comprimento e uma média de 80 km de largura. Com uma área 31.500 km² e um grande volume de água acumulada (23.615 km³) trata-se do maior lago de água doce da Ásia e o maior lago, em volume de água, do mundo, além de ser o mais antigo, com uma idade estimada em 25 milhões de anos (CRG-MG, 2009). O Lago Baikal é também o lago mais profundo da terra, com 1.642 metros de profundidade máxima (Z_{max}) e 744 metros de profundidade média (Z_{med}). Somente o Lago Baikal é responsável por 20% da água doce líquida do Planeta. O lago é alimentado por cerca de 300 rios. É um habitat rico em biodiversidade, com cerca de 1.085 espécies de plantas e 1.550 espécies e variedades de animais. Mais de 60% dos animais são endêmicos (Butorina, 2005).

O fundo do lago está a mais de 1.000 metros abaixo do nível do mar, o que o posiciona como o mais profundo *rifte* continental. A área da falha geológica também é sismicamente ativa, havendo fontes termais e terremotos a cada poucos anos. O lago está completamente cercado por montanhas altas e íngremes. Contém duas dezenas de ilhas, incluindo a Ilha de Olkhon que é a terceira maior ilha lacustre do mundo (Butorina, 2005).

O Lago Baikal, apesar de seu isolamento geográfico, não está isento de graves problemas ambientais. A poluição química (compostos orgânicos a base de cloro), originada na superfábrica de celulose de Baikalsk, polui severamente pelo menos 200 km² do lago. Adicionalmente, o principal tributário do lago, o Rio Selenga, traz enormes quantidades de poluentes e sedimentos depois de atravessar algumas das cidades mais importantes da Mongólia. Finalmente, a construção de uma planta de enriquecimento de urânio em Angarsk, uma cidade a 95 km das margens do lago, oferece grandes riscos à biota, já que

haverá o constante risco de escape de materiais radioativos de alta periculosidade para o lago Baikal (TED, 2014).

Os lagos alpinos, situados na Europa Ocidental, além de possuírem uma grande importância na história e geografia da Europa, são importantes reservas de água para o abastecimento público, para o lazer de milhões de pessoas e também para fomentar a produção agrícola regional (Dokulil, 2005), (Tab. 5.3).

O Lago de Constança ou *Bodensee* situa-se na fronteira da Alemanha ao norte, da Áustria a leste e da Suíça ao sul. Os estados de Baden-Württemberg e da Baviera tem limites no lago, assim como os cantões suíços de Turgau e Saint Gallen. A área do Bodensee é 536 km². A profundidade máxima é de 252 m (*Obersee*) e o volume de água acumulada é de 55 km³. O lago situa-se a 395 m acima do nível do mar e é o terceiro maior lago da Europa Central, depois do Lago Balaton e do Lago Léman. O Lago de Constança tem origem glacial e fornece água para diversas cidades do sul da Alemanha (Dokulil, 2005).

Lago de Genebra ou *Lac Léman* encontra-se a 373 m de altitude e tem a profundidade máxima de 310 m. O lago formou-se após a última era glacial, há, aproximadamente, 15 mil anos e pertence à categoria dos lagos dimícticos, cujas águas se misturam completamente duas vezes por ano, na primavera e no outono, o que favorece sua riqueza em peixes. Seus principais afluentes são o Rios Thielle e Aar, que chegam por um canal que passa pelo lago Bienne. O Lago Léman dividido em duas bacias separadas pela ponta de Yvoire: o Grande Lago Norte-Leste, onde se encontra a parte mais larga (14 Km) e o Pequeno Lago Sul, junto à cidade de Genebra (Dokulil, 2005).

O Lago de Garda é o maior da Itália. Localiza-se ao norte do país, entre as regiões de Lombardia, Vêneto e Trentino-Alto Adige. Estende-se por uma área de cerca de 370 km², a uma altitude de 65 metros sobre o nível do mar. O lago possui cinco ilhas.



O Lago Maior (*Lago Maggiore*) é um dos principais lagos alpinos e o segundo maior lago da Itália. Sua altitude é de cerca de 193 metros sobre o nível do mar. O seu perímetro é de 170 km e seu comprimento máximo atinge 54 km. Sua largura máxima é 10 km e a largura média é 3,9 km. A profundidade máxima do lago é 370 metros. O lago possui uma área de 212 km² (cerca de 80% em território italiano e os restantes 20%, em território suíço). Na Itália, o lago banha as regiões da Lombardia e do Piemonte, enquanto na Suíça o lago banha o cantão Tessino (Dokulil, 2005).

O Lago de Como (em italiano *Lago di Como*) é de origem glacial, situado na Lombardia, Itália. Com uma área de 146 km², é o terceiro maior lago da Itália, depois do Lago de Garda e do Lago Maggiore. É um dos mais profundos da Europa com uma profundidade máxima de 410 metros.

O Lago Neuchâtel está situado entre os Cantões de Vaud, Neuchâtel, Berna e Friburgo na Suíça. A cidade, a qual dá nome ao lago, fica situada ao Norte. No extremo-oeste, estão as cidades de Yverdon-les-Bains e de Grandson. Ao sul, está Estavayer-le-Lac.

Tabela 5.3 - Parâmetros morfométricos dos principais lagos alpinos da Europa Ocidental (Dokulil, 2005).

LAGO	Superfície (km ²)	Volume (km ³)	Profundidade Máxima (m)	Profundidade Média (m)
Lago Genebra	582,4	88,9	309,7	152,7
Lago Constança	539,0	48,40	252,0	100,0
Lago Maggiore	212,0	37,7	370,0	177,0
Lago di Garda	370,0	49,0	346,0	136,0
Lago di Como	145,9	22,5	410,0	153,0
Lago Neuchatel	218,0	13,8	152,0	64,2

Os lagos alpinos europeus já sofreram muito com a ação do homem no passado. No entanto, hoje, são lagos que estão bem protegidos e recuperados após sofrerem grandes investimentos públicos, visando um maior controle ou mitigação dos impactos antrópicos. Um bom exemplo é o Lago de Constança (*Bodensee*). Entre as décadas de 1950 e 1970, esse lago sofreu os efeitos da entrada indiscriminada de nutrientes limitantes (N e P) advindos do *runoff* de nutrientes de atividades agrícolas e do despejo de esgotos parcialmente ou não tratados. Por se tratar de um lago que compartilha fronteiras com três países (Alemanha, Suíça e Áustria), um programa multinacional de recuperação do *Bodensee* foi iniciado na década de 1970 quando a eutrofização chegou a atingir índices alarmantes nesse ambiente (Reicht, 1978). Graças a esse programa, hoje, o Lago de Constança, além de ser a principal fonte de água potável para milhões de pessoas no sul da Alemanha, na Suíça e na Áustria, é também um dos principais polos turísticos dos Alpes europeus, atraindo centenas de milhares de pessoas que procuram a região para passar suas férias de verão ou mesmo para ali viver após a sua aposentadoria. Outros lagos alpinos também passaram por processos de recuperação semelhantes ao do *Bodensee*. Esses exemplos nos ajudam a construir um cenário menos pessimista para as águas do Planeta no futuro.

5.1 - Lagos Salinos

Um lago salino é um corpo isolado de água que tem uma concentração de sais (principalmente cloreto de sódio) e outros minerais significativamente maior que em outros lagos. Considera-se um lago como sendo um ambiente salino, quando a concentração de sais de suas águas é igual ou superior a 3,0 mg/L. Em alguns casos, os lagos salgados podem chegar a ter uma concentração de sal superior à da água do mar (Williams, 2005).

O Mar Cáspio é o maior corpo de água fechado e interior da Terra. Esse é um ambiente salino que possui uma salinidade de aproximadamente 1,2%, cerca de um terço da salinidade da maior parte da água do mar. O Mar Cáspio possui uma superfície de 371.000 km² (não incluindo Kara Bogaz Gol) e um volume de 78.200 km³ de água acumulada. Suas dimensões lineares máximas: 1.030 km de comprimento e 435 km de largura. A profundidade média desse mar interior é de 211 m (Z_{med}) e a profundidade máxima chega a 1.025 m (Z_{max}). O perímetro desse corpo de água chega a 7.000 km. Forma uma bacia endorreica (que não tem saídas), limitada a noroeste pela Rússia, a oeste pelo Azerbaijão, ao sul pelo Irã, a sudeste pelo Turcomenistão e ao nordeste pelo Cazaquistão. Os antigos habitantes de seu litoral consideravam o Mar Cáspio um oceano, provavelmente por causa de sua salinidade e aparência ilimitada.

Cerca de 11 milhões de pessoas vivem na orla do Mar Cáspio e tanto os centros urbanos (Baku, dentre eles), quanto as atividades industriais exercem importantes impactos sobre o ecossistema. A região do Mar Cáspio é rica em reservas de óleo e gás. A exploração e o intenso uso das águas do mar Cáspio por navios tanques apresentam um risco constante à biota desse lago. Outro ponto importante é a pesca do esturjão. A pesca dessa espécie no Mar Cáspio chegou a suprir 80% da demanda mundial por esse peixe e suas famosas desovas. Os estoques dessa espécie foram reduzidos drasticamente no Mar Cáspio devido a destruição dos habitats preferidos para a reprodução da espécie, poluição por metais pesados e por óleo e seus derivados (CEP, 2014).

O Mar Morto situa-se no oriente médio. Com uma superfície de, aproximadamente 1.050 km², correspondente a um comprimento máximo de 80 km e a uma largura máxima de 18 km. É alimentado pelo Rio Jordão e banha a Jordânia e Israel. O Mar Morto tem esse nome, pelo fato de os peixes não conseguirem ali sobreviver por causa da grande quantidade de sal existente em suas águas. Enquanto a água do mar possui cerca de 35,0 g/L de sal, no Mar Morto esse valor é dez vezes maior, ou seja, de 300 a 350 g/L.

Nos últimos 50 anos, o Mar Morto perdeu um terço da sua superfície, em grande parte por causa do aumento na captação das águas de seu afluente, o Rio Jordão, única fonte de água doce da região, além da natural evaporação das suas águas. A progressiva perda dessas águas causa uma contínua redução em sua área e em sua profundidade e ameaça seriamente a integridade ecológica desse ecossistema (Abu Ghazleh et al., 2009).



O grande lago salgado norte-americano é um salino localizado na parte setentrional do estado de Utah, nos EUA, cuja característica principal é uma salinidade elevada, maior do que a dos oceanos. Cobre uma área de cerca de 4.400 km², sujeita a constantes variações. Salt Lake City, capital de Utah, situa-se na margem leste do lago.

O Mar de Aral é um lago salino, localizado na Ásia Central, entre duas províncias cazaques, ao norte, e uma região autônoma usbeque ao sul. O nome (em português, Mar das Ilhas) refere-se à grande quantidade de ilhas presentes (originalmente mais de 1.500 ilhas). Esse já foi o quarto maior lago do mundo, com 68.000 km² de superfície e 1.100 km³ de volume de água (Butorina, 2005; Williams, 2005). Entretanto, em 2007, o Mar de Aral havia reduzido a área inundada para apenas 10% de seu tamanho original. Em 2010, estava dividido em três porções menores, em avançado processo de desertificação. O recuo do mar também já teria provocado a mudança climática local com verões cada vez mais quentes e secos, e invernos mais frios e longos.

5.1.1 - Origem do desastre ambiental no Mar de Aral

O governo soviético sempre teve como uma de suas principais metas aumentar a produção de alimentos, tais como arroz, cereais e outros produtos. O algodão sempre valorizado era chamado “ouro branco”, na União Soviética, e a variedade “algodão do deserto” prestava-se bem para o cultivo em solos irrigados próximos ao Mar de Aral. A partir da década de 1940, durante o regime stalinista, acelerou-se a construção dos canais de irrigação que captavam água dos afluentes do Mar de Aral, para a irrigação de terras destinadas à produção do “ouro branco”.



Os canais foram mal construídos e havia perdas de grande parte da água captada em vazamentos e evaporação. No início, a irrigação das plantações consumia, aproximadamente, 20 km³ de água. Na década de 1960, a maior parte do abastecimento de água para o lago tinha sido desviado e o Mar de Aral começou a perder tamanho. Essa situação progrediu bastante até que, em 1987, a redução contínua do nível da água levou ao aparecimento de grandes bancos de areia, causando uma separação em duas massas de água, formando o Aral do Norte (ou Pequeno Aral) e o Aral do Sul (ou Grande Aral).

A quantidade de água retirada dos rios que abasteciam o Mar de Aral duplicou nas últimas décadas do século XX, assim como a produção de algodão. No mesmo período, o Uzbequistão tornou-se um grande produtor mundial de algodão. A salinidade do lago quase quintuplicou e grande parte de sua fauna e flora naturais foi perdida. A próspera indústria pesqueira faliu, assim como as cidades ao longo das margens. Houve desemprego já que a outrora florescente indústria da pesca praticamente acabou. A situação chegou ao ponto crítico em 2003 (Butorina, 2005).

O Mar de Aral é hoje um ambiente muito poluído. O uso maciço de pesticidas e fertilizantes foi um dos principais fatores para gerar essa situação. Para complicar, essa mesma região foi alvo de vários testes militares e projetos industriais. As pessoas passaram a sofrer com a falta de água doce e as culturas na região estão sendo destruídas pelo sal depositado sobre a terra. Nos últimos anos, o vento tem soprado sal a partir do solo seco e poluído, causando danos à saúde pública. Há também relatos de alterações climáticas na região, com verões cada vez mais quentes e secos, e invernos mais frios. A situação do Mar de Aral e sua região é descrita como a maior catástrofe ambiental da história (Micklin, 1988; Small et al. 2001).

Está em curso uma iniciativa no Cazaquistão para salvar e recuperar o norte do Mar de Aral. Como parte dessa iniciativa, foi concluída uma barragem em 2005 e em 2008 o nível de água nesse local já havia subido doze metros em comparação ao nível mais baixo em 2003. A salinidade caiu e os peixes são encontrados em número suficiente para tornar a pesca viável. No entanto, as perspectivas para o mar remanescente do sul permanecem sombrias. O caso do Mar de Aral é conhecido como “um dos piores desastres ambientais do Planeta” (Fig. 5.5).

Redução da superfície do Mar de Aral - Ásia Central

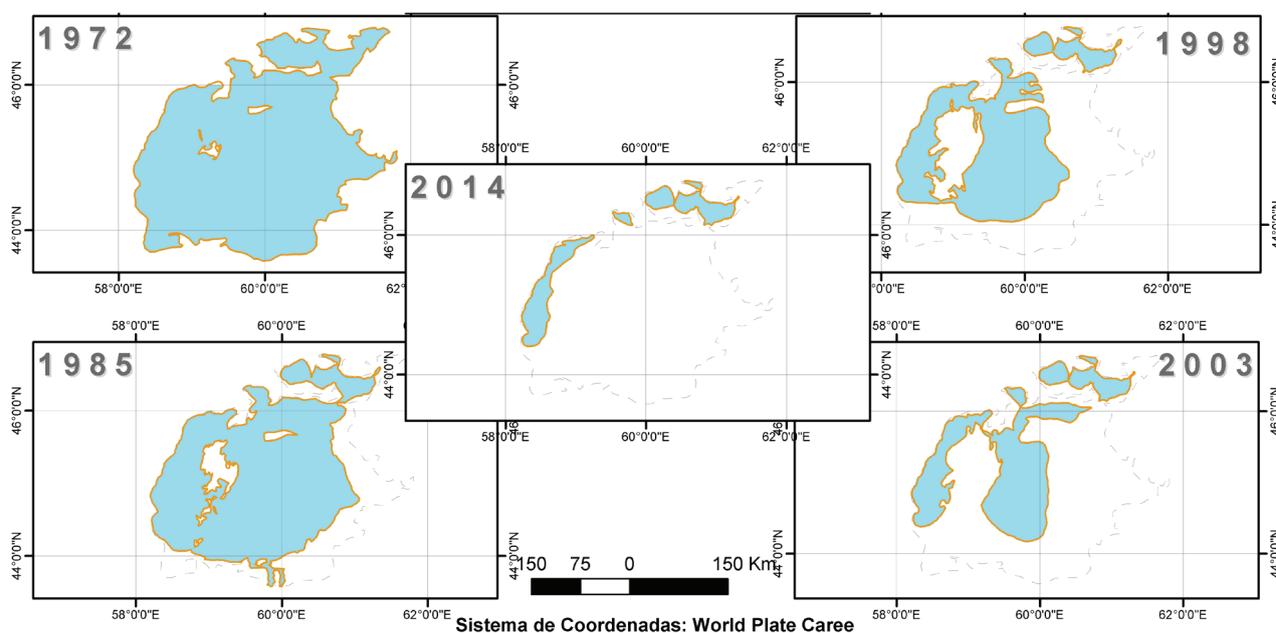


Figura 5.5 – Redução da superfície do Mar de Aral, situado na Ásia. Essa redução foi causada por projetos de irrigação conduzidos no canal Karakum que elevaram a área irrigada na região a 1,3 milhão de km², entre os anos 50 e 60 (Butorina, 2005). Shapefiles extraídos de <http://g1.globo.com/natureza/fotos/2014/09/imagens-de-satelite-da-nasa-mostram-mar-de-aral-definhando.html>.

5.2 - O lago como um ecossistema

Para um leigo, um reservatório e um lago são ambientes muito parecidos entre si. Nada mais enganador. Pode-se compará-los em termos de tamanho, mas as semelhanças param por aí. Os lagos são ecossistemas naturais e os reservatórios são ambientes artificiais, construídos pelo homem. Um grande lago, tal como um daqueles descritos acima, é um ecossistema muito mais complexo. Ao contrário dos grandes reservatórios, os lagos foram formados há milhares ou mesmo milhões de anos e resultam de uma longa cadeia evolutiva de eventos biogeoquímicos, ecológicos e evolutivos. Sua estrutura biológica, por exemplo, resulta de um longo processo evolutivo que o liga às características morfológicas da bacia hidrográfica, ao clima e ao solo (Fig. 5.6).

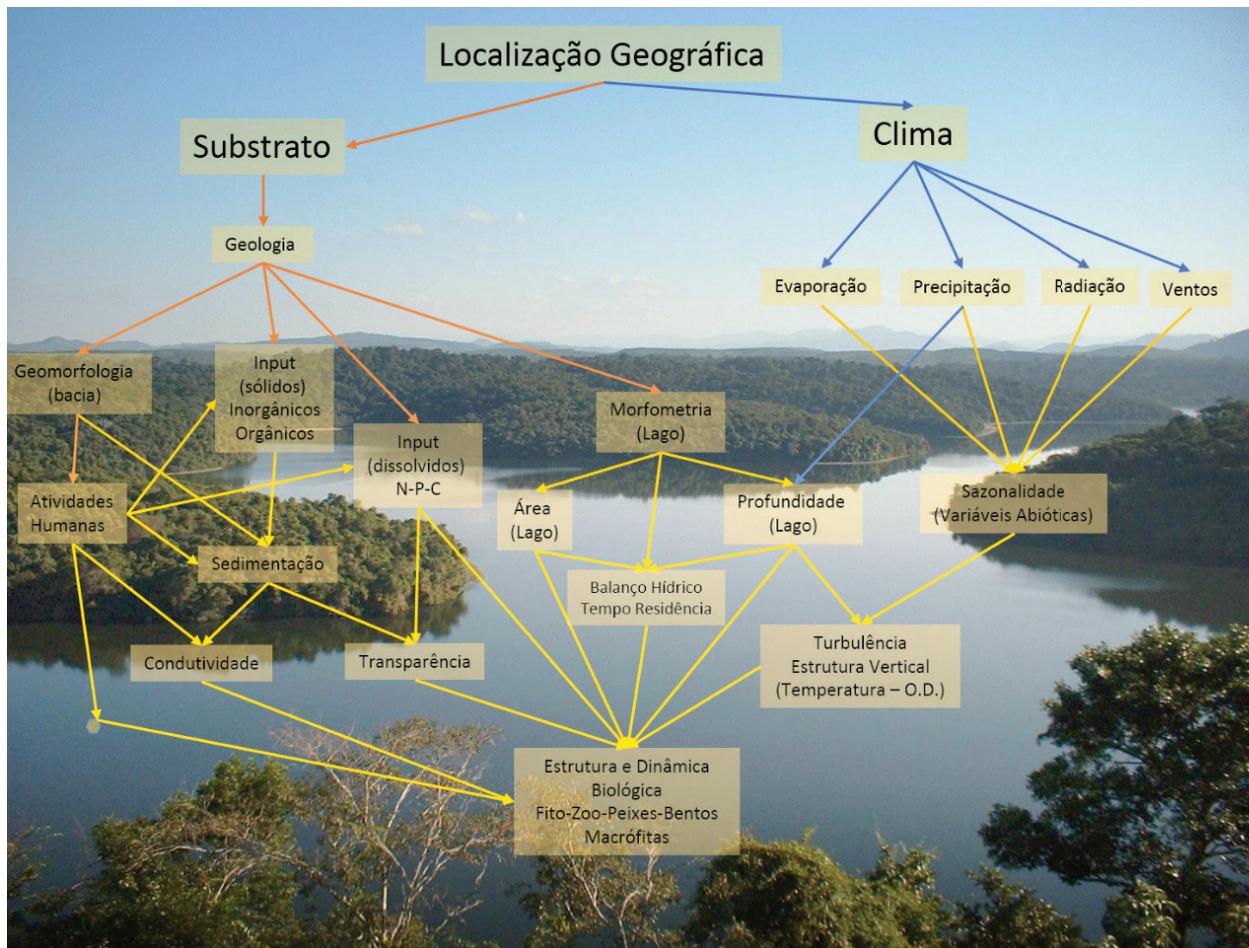


Figura 5.6 – O lago, como um ecossistema biológico, resulta da sua interação com sua bacia hidrográfica, com a geologia e a pedologia, com a morfometria, com o clima regional. A esses componentes, chamamos substrato, ou seja, a base física do ecossistema. Tanto a qualidade da água do lago, em termos de suas propriedades físico-químicas quanto a sua estrutura biótica serão moldadas e continuamente influenciadas por essa matriz física também chamada abiótica (original, modificado de Lévêque, 2003).

Uma dos aspectos que mais distinguem um lago de um reservatório é o seu equilíbrio dinâmico e a sua maior complexidade biológica e ecológica. É muito comum haver flutuações intensas na composição dos peixes dentro de um reservatório, o que é raro de observar em um lago (que não sofre ações antrópicas). A grande maioria dos grandes lagos tem uma flora e fauna particular, em muitos casos com grande número de espécies endêmicas (Lago Victoria e Baikal). Já todos os peixes de um reservatório foram trazidos de outros ambientes e, em muitos casos, as espécies de peixes originalmente presentes no rio, antes de ser inundado, ou são localmente extintas ou alteram drasticamente suas densidades ou seus hábitos de vida.

De modo geral, as características hidrológicas também são muito diferentes entre os lagos e rios. Características tais como o tempo de detenção, a taxa de renovação das águas, a velocidade de sedimentação das partículas em suspensão e a estrutura dos habitats da zona litorânea são bem diferenciadas.

Em reservatórios, é muito comum existir amplas flutuações do nível da água em períodos mais curtos do que a maioria dos lagos. Em consequência, a vida das zonas litorâneas dos reservatórios é muito mais restrita, com menos plantas (macrófitas), insetos, peixes e mesmo animais maiores, tais como vertebrados (Fig. 5.7).

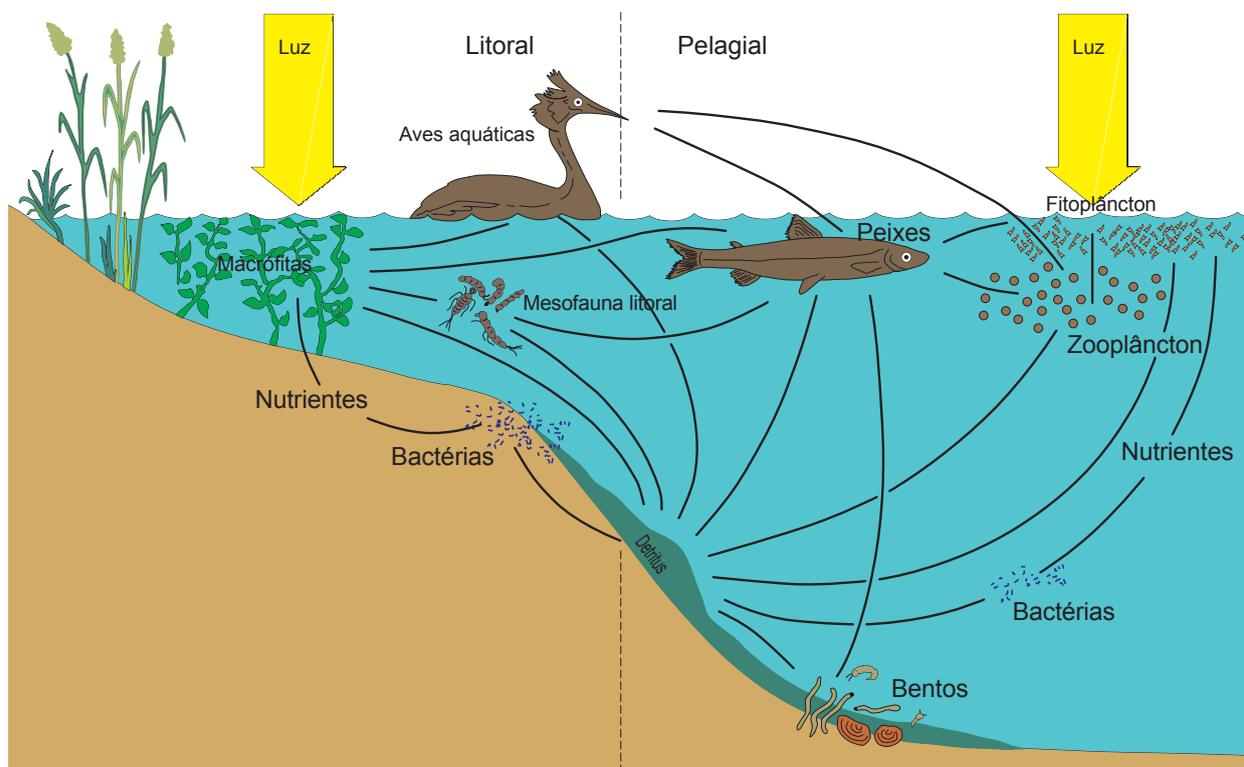


Figura 5.7 – O lago como um ecossistema: a base de toda a cadeia alimentar de um lago está nos produtores primários, normalmente representados pelo fitoplâncton e pelas plantas (macrófitas) do litoral. O próximo elo dessa cadeia trófica é representado pelos organismos zooplancctônicos (vivem na coluna de água) e pelos organismos bentônicos (vivem junto aos sedimentos). Esses organismos são a base alimentar dos peixes. Normalmente, os lagos apresentam uma avifauna (aves aquáticas) muito rica e densa. As aves podem-se alimentar de algas, de moluscos, de peixes e mesmo de outras aves. Não podemos deixar de mencionar a vida microbiana, seja associada aos sedimentos, seja à água livre. Bactérias, fungos e mesmo vírus desempenham um papel importante para a manutenção desse ecossistema. A maior complexidade ecológica da zona litorânea, a grande riqueza em espécies da ictiofauna e da avifauna são aspectos que distinguem os lagos dos reservatórios de mesmo tamanho e volume (modificado de Reichelt, 1978).

5.3 - Casos de estudo

5.3.1- Lago Okeechobee, Flórida, EUA

Esse é o maior lago no sudeste dos EUA (1.800 km²). Caracteriza-se por ser um ecossistema aquático interconectado (Fig. 5.8). A origem desse sistema é formada por um grupo de lagos situados próximos da cidade de Orlando, na Flórida. Esses lagos são drenados por um rio sinuoso associado a muitas áreas úmidas, o Rio Kissimmee, que, por sua vez, deságua no Lago Okeechobee. Quando as chuvas foram intensas e o Lago Okeechobee fica cheio, as saídas de água ocorriam através de uma rede dispersa de canais, no extremo sul da Península da Flórida, formando um ecossistema muito complexo e rico em espécies, o Everglades (Havens et al., 1996).

Situação natural do fluxo de água nos Everglades, EUA.

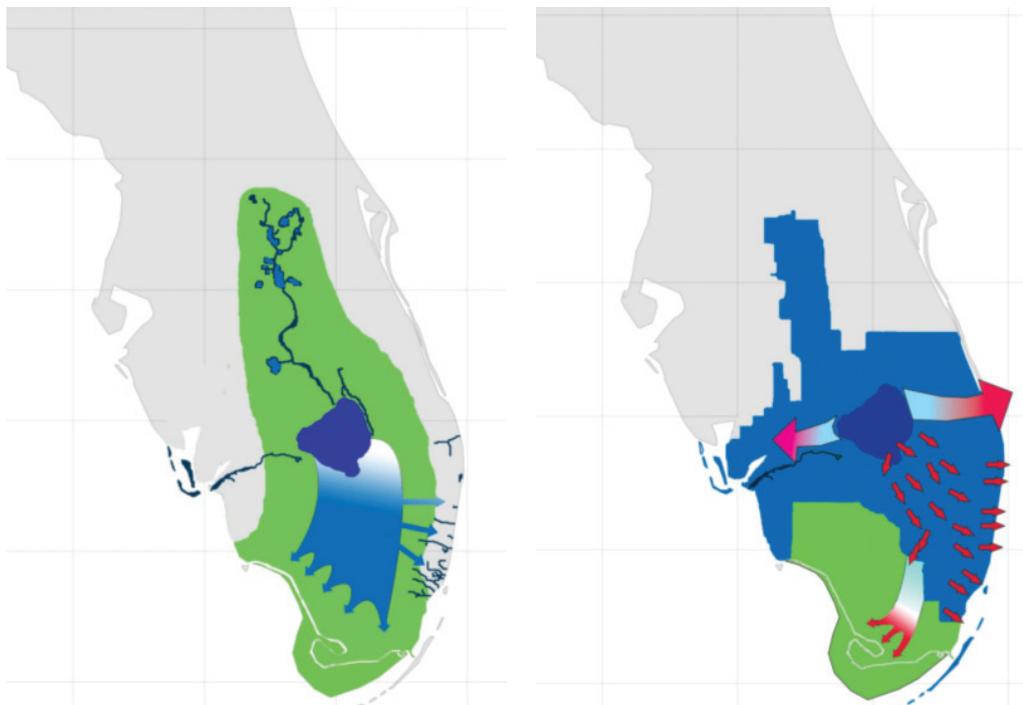


Figura 5.8- Hidrologia histórico e atual do entorno do Lago Okeechobee (centro da ilustração) na Flórida, EUA. No painel da esquerda, a situação original onde a água corria para o lago e saía principalmente para o sul, em um vasto território, chamado Everglades, na Flórida. Quase toda a região norte e sul do lago era um pantanal. No painel da direita, é apresentada a situação atual, onde extensas obras de drenagem abriram espaço para intensa ocupação agrícola e desenvolvimento urbano. A maior parte da água agora deixa o lago por grandes canais para o leste (Oceano Atlântico) e oeste (Golfo do México). Uma outra porção de água é destinada para usos humanos. Apenas uma pequena fração do fluxo histórico ainda vai para os Everglades restantes. Crédito: Distrito Gestão da Água do Estado da Flórida, Seção Sul (Fonte: K. Havens).



Na década de 1950-1960, o Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos construiu um longo dique ao redor de todo o Lago Okeechobee. Esse sistema é dotado de comportas e bloqueios que são capazes de regular o fluxo das águas, permitindo, ainda, a entrada e saída de barcos. O Rio Kissimmee foi canalizado e retificado para a navegação. Grandes canais foram construídos para ligar o Lago Okeechobee ao Oceano Atlântico e ao Golfo do México. Assim, foi criada uma rota de navegação que corta o estado da Flórida de leste a oeste. Um canal profundo corta o lago e, ao sul, outros canais de drenagem foram construídos para fornecer água do Lago Okeechobee a uma grande área agrícola e para a toda costa leste inferior da Flórida. Essa região possui atualmente uma população urbana de mais de 8 milhões de habitantes. Historicamente, a água do lago servia para sustentar ecossistemas naturais (Fig. 5.9). Hoje, a maior parte dessa água é destinada ao abastecimento urbano, usos agrícolas ou, ainda, a água é desviada para evitar cheias. Os ecossistemas naturais a jusante e a pesca recreativa dentro do lago foram muito prejudicados.



Fig. 5.9



Figura 5.9 (Cont) - Fotos de Lake Okeechobee que mostram (superior esquerdo) uma eclusa e uma estação de bombeamento, além do dique que rodeia esse grande lago da Flórida; outra foto (canto superior direito) mostra uma vista aérea de grande zona litorânea do lago, e alguns dos animais que ocorrem nesse ecossistema - uma garça (canto inferior esquerdo) e um jacaré americano (canto inferior direito). Crédito da foto: Sul da Flórida Distrito Gestão da Água (Fonte: K. Havens).

Nas condições climáticas atuais, há momentos em que o lago não pode mais satisfazer às múltiplas necessidades por água doce, devido a secas prolongadas. Essas novas condições acabaram por gerar severas restrições de uso da água para Miami, West Palm Beach, Fort Lauderdale, além de outras cidades menores. Ao longo da costa leste da Flórida, milhões de dólares foram investidos em culturas ao longo das áreas agrícolas ao sul do lago. O lago acabou por ficar extremamente raso com quilômetros de orla expostos, pouca ou nenhuma pesca recreativa. Recentemente, Havens e Steinman (2013) analisaram o que poderia acontecer, até 2060, ao lago considerando o atual regime hidrológico acoplado a simulações e modelos climáticos regionais. Se houver um aumento de 2°C na temperatura, haverá uma maior evapotranspiração. As modelagens sugerem que poderá haver uma redução de 10 % nas chuvas em ciclos que podem durar até sete anos consecutivos. Nesse cenário, o nível do lago vai ser tão baixo que o ambiente não será mais capaz para atender a qualquer de seus usos atuais.

O Programa de Restauração do Everglades está atualmente em curso no sul da Flórida. Esse programa deverá utilizar cerca de 8,0 bilhões de dólares para restaurar as funções dos ecossistemas regionais. No momento, o programa ainda não considera explicitamente a mudança climática.

A situação atual do Lago Okeechobee, o maior sistema de armazenamento de água de superfície do sul dos EUA, indica que o sucesso deste e de outros projetos globais de restauração regionais está condicionado à adoção de modelos que levem em consideração as mudanças climáticas previstas para o futuro.

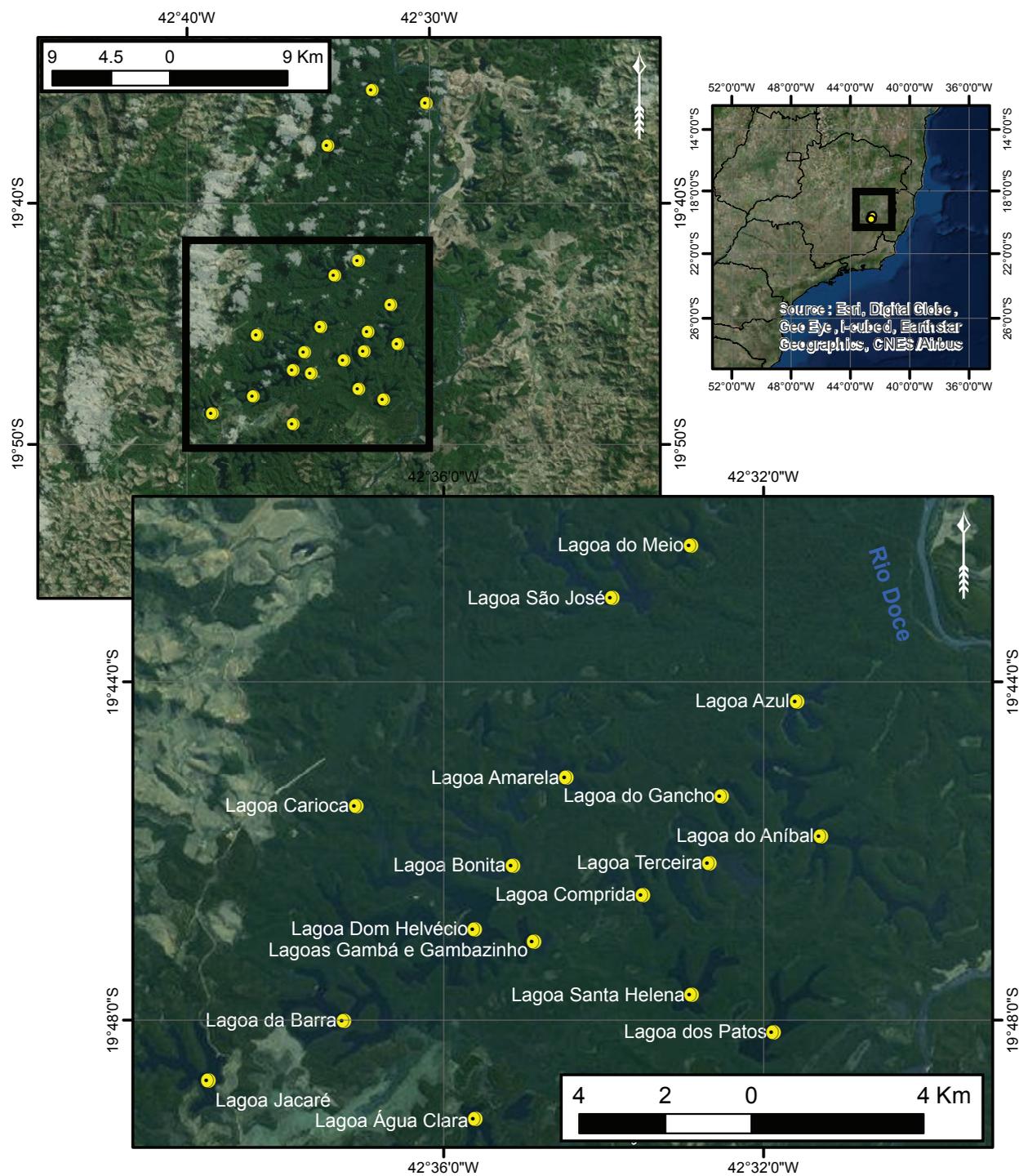


5.3.2 - Impactos de espécies exóticas de peixes no distrito lacustre do rio Doce, Brasil.

O Brasil é um país caracterizado por grande riqueza e abundância de rios e áreas úmidas. Excetuando a extensa faixa costeira que alberga dezenas de lagos e lagunas e a infinidade de lagoas marginais que se ligam aos rios, são poucos os distritos de lagos naturais do País. Entretanto, na região do Médio Rio Doce, no estado de Minas Gerais, encontra-se um dos maiores complexos lacustres do Brasil, com cerca de 140 lagos (Fig. 5.10). Esses lagos possuem características ecológicas muito distintas, com representantes dos mais variados estágios de evolução.

Muitos dos lagos do Distrito Lacustre do Rio Doce estão situados no parque estadual do mesmo nome. Trata-se da maior reserva de Mata Atlântica do estado, com cerca de 35.000 hectares. Apesar dos esforços de proteção e conservação, a maioria desses lagos encontra-se hoje sob forte influência de ações antrópicas. A monocultura do eucalipto, a poluição atmosférica advinda dos centros de siderurgia, localizados no entorno do distrito, a introdução de espécies exóticas, o fogo (queimadas), a pesca e a caça ilegais são algumas dessas ameaças (Fig. 5.10).

Sistema lacustre do Rio Doce



Sistema de Coordenadas: World Plate Carree

Figura 5.10 – O Distrito Lacustre do Médio Rio Doce é um dos mais importantes do Brasil. Trata-se de um conjunto de mais de 140 lagos em diferentes fases de sucessão, situados na região da Mata Atlântica. A maioria dos lagos está situada dentro de um parque estadual enquanto que os lagos remanescentes estão rodeados de monocultivos de eucaliptos. A maioria desses lagos sofre de diversos problemas ambientais tais como a introdução de espécies exóticas, poluição atmosférica e ação do fogo.

Os efeitos das introduções de espécies exóticas de peixes na cadeia trófica de alguns lagos da região foram estudados recentemente (Pinto-Coelho et al. 2008). A literatura existente demonstra que a comunidade de peixes desse distrito lacustre nunca foi especialmente rica em espécies. Segundo Godinho & Vieira (1998), os primeiros inventários realizados nos lagos da região revelaram uma riqueza total de apenas 25 espécies. Essa baixa diversidade pode ser explicada considerando aspectos ligados à origem dos lagos e a seu isolamento prolongado, em relação aos outros recursos hídricos da região. Entretanto, o número de espécies de peixes nessas mesmas lagoas sofreu uma forte redução em anos recentes. A maioria dos autores concorda que essa redução do número de espécies de peixes é consequência direta da introdução de duas espécies de piscívoros: *Cichla monoculus*, o tucunaré; *Pygocentrus nattereri*, a piranha vermelha da Amazônia (Godinho e Formagio, 1992, Godinho et al. 1994, Godinho & Vieira, 1998).

No Distrito do Médio Rio Doce, existem ainda alguns poucos lagos que estão isentos da influência de espécies exóticas de peixes. Dois exemplos desses lagos são, respectivamente, a Lagoa Malba e a Lagoa do Gambazinho. As demais lagoas sofreram a invasão das piranhas e exibem, hoje, uma grande redução na diversidade de peixes (Fig. 5.11).

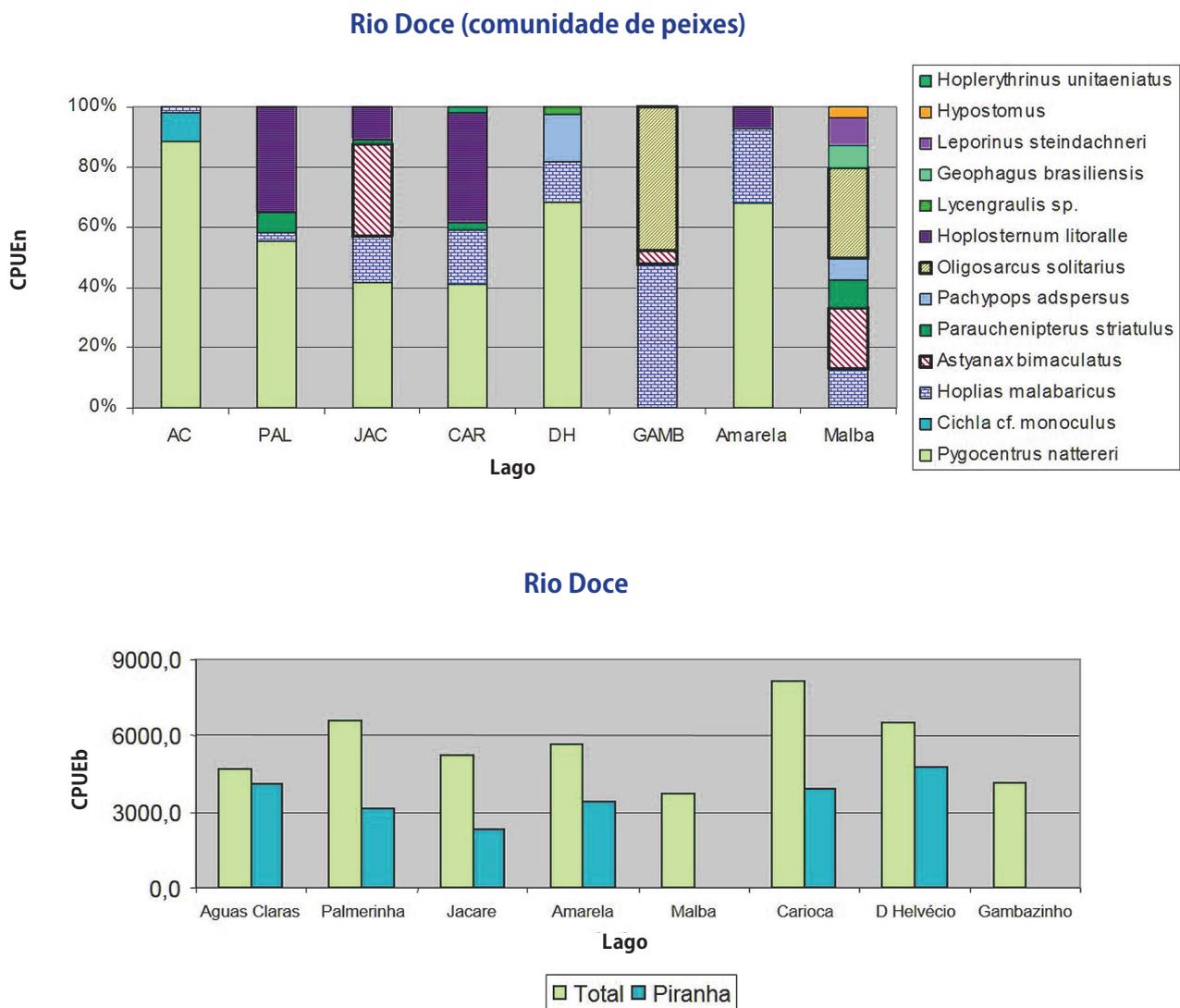


Figura 5.11 - Comunidades de peixes em sete lagos do Distrito Lacustre do Médio rio Doce. Em cima: CPUE (número de indivíduos) das principais espécies de peixes. Abaixo: biomassa – CPUE b (peso úmido, em gramas) das espécies nativas e exóticas. Lagos: AC: Águas Claras, PAL: Lagoa da Palmerinha, JAC: Lagoa do Jacaré, CAR: Lagoa da Carioca, DH: Lago Dom Helvécio, GAM: Lagoa do Gambazinho (*), Amarela: Lagoa Amarela e Malba: Lagoa Malba (*). (*): Lagoas sem espécies exóticas de peixes.

Os efeitos das introduções de espécies exóticas de peixes não se limitaram somente na redução da riqueza da fauna de peixes original. A Figura abaixo (Fig. 5.12) mostra que lagos com e sem peixes exóticos possuem estruturas de zooplâncton muito diferenciadas. O fato que mais chama a atenção, ao se observar a estrutura do zooplâncton, são as elevadas densidades de larvas do díptero *Chaoborus* nos lagos infestados por piranhas e tucunarés. Em uma comparação com um lago sem peixes invasores (Gambazinho), nota-se que a fração do mesozooplâncton é nitidamente mais importante na lagoa da Carioca (com peixes exóticos) que é dominada por larvas de *Chaoborus*, sendo esse padrão não afetado da estação do ano.

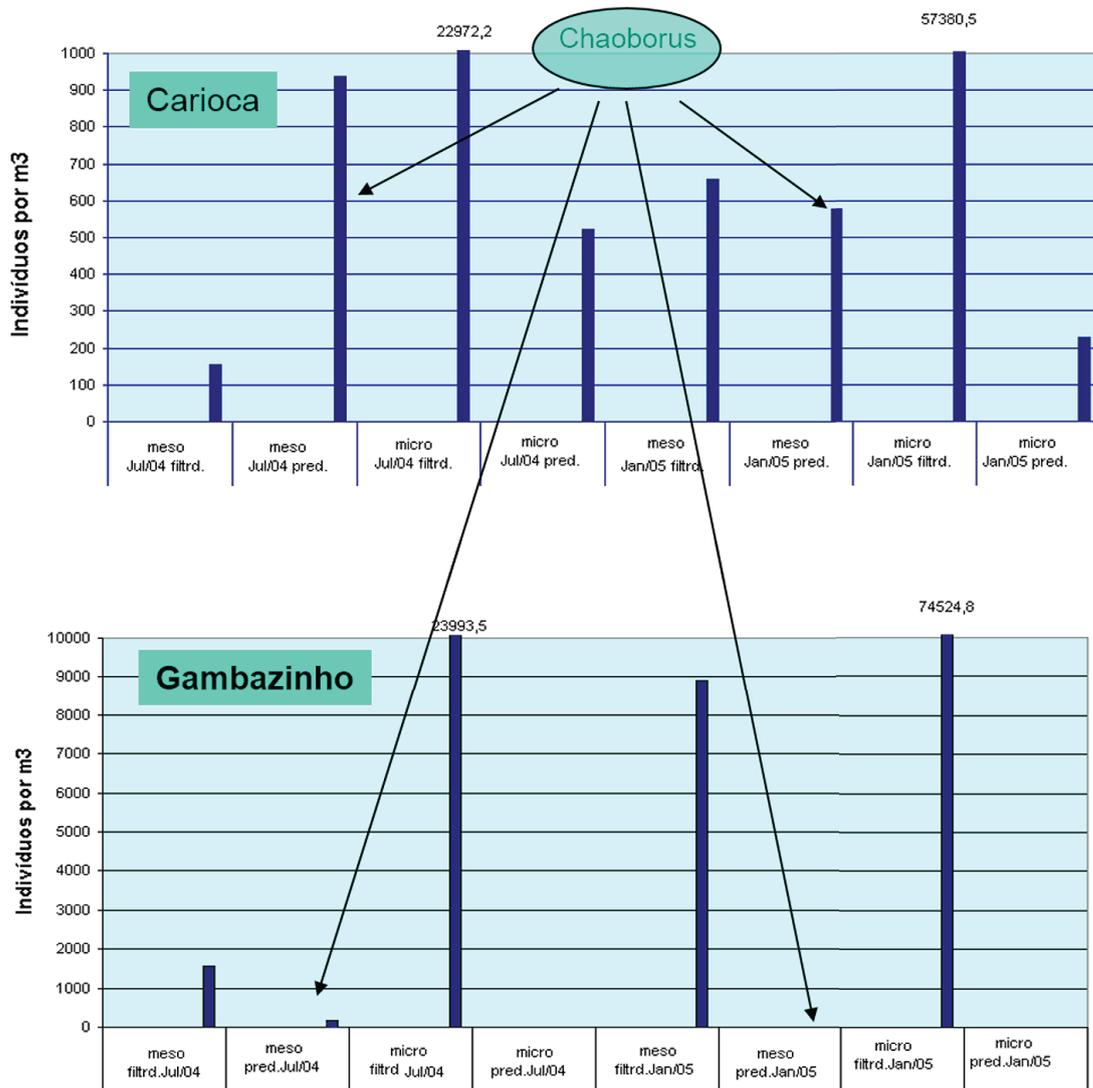


Figura 5.12 – Densidades de indivíduos do zooplâncton de pequeno porte (microzooplâncton) e médio porte (mesozooplâncton) em duas lagoas do Médio Rio Doce, Lagoa Carioca e Lagoa Gambazinho, respectivamente, com e sem peixes exóticos.

Em um recente trabalho científico (Pinto-Coelho et al. 2008), foi proposto que a introdução de peixes exóticos causou uma sequência de reações em “cascata” na cadeia trófica que culminou com o aumento das concentrações de algas e de clorofila nos lagos afetados pelas piranhas.

Os efeitos da introdução de peixes piscívoros em lagos temperados são bem conhecidos e levam exatamente ao oposto do observado nos lagos do Rio Doce (Carpenter & Kitchell, 1993).

O novo fenômeno observado, que foi denominado de “Cascata Trófica Invertida” resulta do “relaxamento das tensões ecológicas” (*ecological release*), causado pela depressão da predação de planctivoria por alevinos das espécies nativas. Essa grande diminuição na pressão exercida pelos peixes nativos sobre mesozooplâncton causou um completo rearranjo na teia alimentar das lagoas afetadas pelas piranhas e pelos tucunarés (Fig. 5.13).

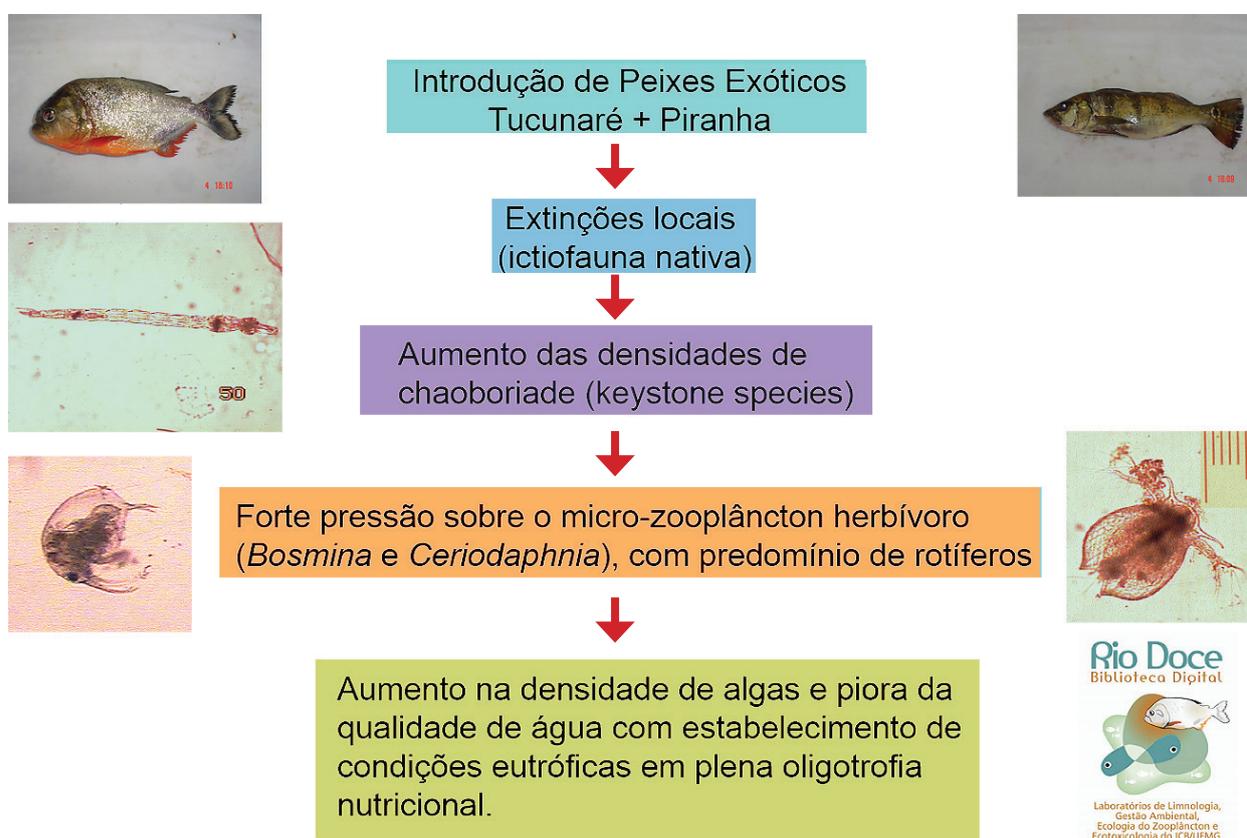


Figura 5.13 – “Cascata Trófica Invertida” nos lagos do Médio rio Doce. A introdução de peixes exóticos piscívoros levou a uma completa transformação em toda a cadeia alimentar planctônica dos lagos afetados. Ao final, observou-se um aumento da eutrofização com o aumento das concentrações de algas e grande diminuição da transparência da água (Pinto-Coelho et al. 2008).

Os lagos do Médio Rio Doce são um conjunto único de lagos. Muitos deles, provavelmente, estariam ainda em estado quase que pristino, caso não tivessem sido alvo de uma introdução tão desastrosa de peixes (Fig. 5.14). Há que se sublinhar, que essa ação foi feita com o apoio de agências oficiais do governo com o intuito de aumentar a produção de pescado. Esse exemplo ilustra não só os efeitos perversos de modificações deliberadas da ictiofauna, mas também serve como alerta, obrigando órgãos de governo a uma reflexão mais cuidadosa das políticas públicas adotadas. Hoje, a adoção de um enfoque apenas conservacionista, com manutenção do atual *status quo* desses lagos, nas condições atuais, pode significar um erro tão grosseiro quanto foi a introdução de espécies exóticas na década de 1970. São necessárias ações de manejo e recuperação mais contundentes, que possam reverter o quadro de crescente degradação ecológica em que se encontra esse conjunto de lagos.

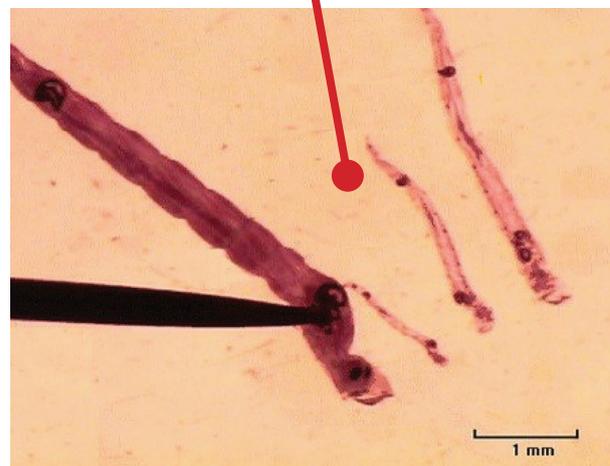
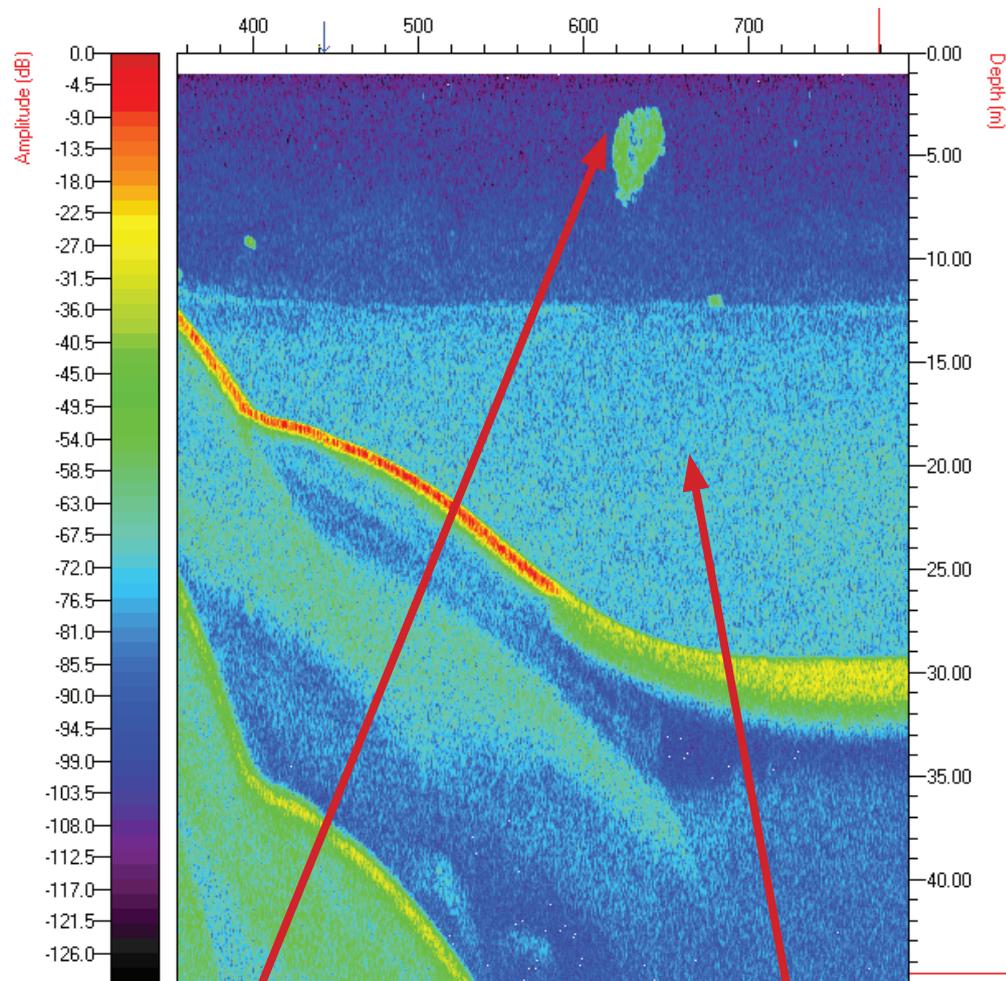


Figura 5.14 – Piranhas (esquerda, acima), Chaoborus (esquerda, abaixo) dominam os ecogramas obtidos com uma sonda hidroacústica Biosonics DT-X (à direita) dos lagos do Médio Rio Doce. A reversão dos efeitos da “Cascata Trófica Invertida” passa por uma recomposição da fauna nativa de peixes e por um programa de controle e combate dos peixes introduzidos.