

PESQUISAS BRASILEIRAS SOBRE CICLAGEM DE NUTRIENTES EM
ECOSSISTEMAS COSTEIROS: IDENTIFICAÇÃO DE PRIORIDADES

LACEROA, L.D.*

RESUMO

O presente trabalho sumariza o estado atual do conhecimento sobre a ciclagem de nutrientes em ecossistemas costeiros do litoral brasileiro, incluindo sistemas "secos": restingas e ecossistemas de costões rochosos; e "úmidos": manguezais, brejos entre dunas, lagoas costeiras, pradarias de fanerógamas marinhas submersas e bancos de gramíneas marinhas. As restingas e os manguezais são os ecossistemas com maior volume de dados. Para os demais ecossistemas pouco se conhece sobre este aspecto. As prioridades identificadas são: 1) extensão dos estudos para o litoral norte-nordeste do país, 2) levantamentos básicos sobre os ecossistemas menos conhecidos, particularmente sobre a vegetação e solos, 3) estudos sobre a produtividade primária e a decomposição de serrapilheira das principais formas de vegetação, 4) estudos sobre as comunidades animais e seu papel na ciclagem de nutrientes, 5) no caso de restingas e manguezais, são prioritários estudos sobre o fluxo e balanço de nutrientes.

* Departamento de Geoquímica da UFF

ABSTRACT - BRAZILIAN RESEARCH ON THE NUTRIENT CYCLING IN COASTAL ECOSYSTEMS: PRIORITIES IDENTIFICATION

The present work summarizes the state of knowledge on the nutrient cycling in Brazilian coastal ecosystems, including: "dry systems": coastal dunes and coastal cliff ecosystems; and "wet systems": mangrove forests, dune slacks, coastal lagoons, saltmarshes and seagrass beds. Coastal dunes and mangrove forests are the better known ecosystems. The other systems however, are still poorly known. Some priorities could be identified: 1) the initiation of studies along the north-northeastern Brazilian coast, 2) survey studies on the lesser known ecosystems in particular on soils and principal vegetation forms, 3) primary production and decomposition studies of the principal vegetation forms, 4) studies on the animal communities and their role on nutrient cycling, 5) in the case of coastal dunes and mangrove forests, nutrient flux oriented studies are needed.

INTRODUÇÃO

O extenso litoral brasileiro é caracterizado por uma grande diversidade de ambientes com comunidades biológicas típicas. De modo simplificado, é possível dividir o litoral em quatro regiões distintas, que por sua vez apresentam como formações principais ecossistemas ou conjunto de ecossistemas típicos. Esta simplificação é baseada em GUERRA (1962) e LACERDA et al (1986b).

O primeiro trecho, entre Oiapoque (lat. 4°N) e o Golfo Maranhense (lat. 4°S), possui clima equatorial e compreende a Costa Quaternária Norte. É dominado por florestas de manguezal e bancos de gramíneas marinhas, com pequenas extensões de dunas também presentes porém não como feições dominantes deste litoral. Esta região é seguramente a menos conhecida de todo o litoral brasileiro, embora seja provã-

vel que grande parte da pesca costeira da região seja dependente da exportação de detritos orgânicos da franja quase contínua de manguezais, o que atesta a importância destes ecossistemas para a região.

O segundo trecho se estende do Golfão Maranhense ao Rio de Janeiro (lat. 23ºS), possui clima tropical e compreende a Costa Terciária Leste. O litoral é dominado por ambientes costeiros secos, restingas e dunas, entretanto, manguezais e bancos de gramíneas marinhas são comuns ao longo de estuários e fundos de baías. Outra feição característica deste trecho são as lagoas costeiras, geralmente apresentando bancos de fanerógamas marinhas e manguezais. A flora, fauna e solos deste trecho são relativamente bem documentadas (LACERDA et al, 1984a). Na parte sul deste trecho também foram desenvolvidos os principais estudos sobre a ciclagem de nutrientes em ecossistemas costeiros secos.

O terceiro trecho se estende do Rio de Janeiro a Santa Catarina (lat. 29ºS), ocorre sob clima subtropical e compreende a Costa Granítica Sul. Este trecho é dominado pelos contrafortes da Serra do Mar. Seu perfil é delimitado por várias baías fechadas e são freqüentes os esporões que avançam para o mar. Manguezais, bancos de fanerógamas submersas e de gramíneas marinhas, além das comunidades de costões rochosos, são típicos desta região. Restingas e dunas são limitadas a ilhas barreiras cujos principais exemplos são a Marambaia, no litoral do Rio de Janeiro e a Ilha Comprida, no litoral de São Paulo. A maior parte dos estudos sobre ambientes costeiros úmidos do litoral brasileiro, foram realizados neste trecho, particularmente no litoral sul do Estado de São Paulo e nas principais baías do litoral do Rio de Janeiro.

O último trecho se estende de Santa Catarina a Chuí (lat. 34ºS), ocorrendo sob clima temperado quente e corresponde à Costa Quaternária Sul. Os ecossistemas dominantes são dunas e restingas, brejos entre dunas e lagoas costeiras com extensos bancos de fanerógamas marinhas submersas.

Alguns estudos sobre a ciclagem de nutrientes em restingas e pradarias de fanerógamas submersas tem sido recentemente desenvolvidos neste trecho. Um aspecto importante deste trecho é que este possui provavelmente, os maiores bancos de gramíneas marinhas do litoral brasileiro, entretanto, praticamente desconhecidos com respeito à sua ecologia.

Como visto, a grande diversidade de ecossistemas costeiros representa um obstáculo a generalizações, por isso, cada sistema será apresentado separadamente. Entretanto, cabe ressaltar que cada ecossistema citado, certamente inclui tipos bem distintos de formas biológicas e até mesmo geomorfológicas, implicando que um mesmo sistema em áreas diferentes do litoral, não necessariamente se comportará da mesma forma com respeito à ciclagem de nutrientes. Portanto, os dados aqui apresentados deverão ser compreendidos levando-se em conta esta limitação.

Por outro lado, é comum que dois ou mais ecossistemas ocorram em íntima associação, por exemplo manguezais e bancos de gramíneas ao longo dos litorais de São Paulo e Rio de Janeiro. Tal fato afetará evidentemente, a ciclagem de nutrientes, a qual não necessariamente deverá ocorrer da mesma forma que no ecossistema isolado. Novamente, este aspecto limita as observações discutidas neste trabalho, a sistemas costeiros típicos e não conjugados a outros sistemas costeiros.

ECOSSISTEMAS DE RESTINGAS

Dentre os ecossistemas costeiros brasileiros, as restingas são aqueles onde existem o maior volume de dados relativos a ciclagem de nutrientes. Entretanto, estes dados são praticamente restritos ao litoral norte do Estado do Rio de Janeiro. A simplicidade das formas de entrada de nutrientes e dos constituintes do solo, tornaram possível a caracterização geral preliminar do ciclo de nutrientes nestes ecos

sistemas, embora praticamente inexistam dados quantitativos sobre o seu balanço global.

Os primeiros estudos sobre a composição química de solos e sua associação à distribuição da vegetação datam da década de sessenta (ORMOND, 1960). Posteriormente, ANDRADE (1971, 1977), correlacionou a composição química de plantas à composição do solo e à distância do mar. LACERDA (1980) e LACERDA et al (1983) caracterizaram o fluxo de nutrientes e sua distribuição em uma comunidade de halófitas de praia. HAY e LACERDA (1980) e HAY et al (1981) descreveram, o papel de uma bromélia terrestre na modificação de solos de restinga, particularmente na retenção de água e no aumento da capacidade de troca catiônica. Mais recentemente COSTA et al (1984) e CORDAZZO (1985) relatam os primeiros dados sobre a distribuição de nutrientes nas dunas do litoral do Rio Grande do Sul, e HAY e LACERDA (1984) publicaram uma primeira síntese sobre a ciclagem de nutrientes nos ecossistemas de restinga, baseados em dados obtidos no litoral norte do Estado do Rio de Janeiro.

Com os dados obtidos até o momento, alguns aspectos da ciclagem de nutrientes nestes ecossistemas podem ser caracterizados. A principal entrada de nutrientes ocorre através da atmosfera, particularmente pela deposição de salinidade marinho (LACERDA et al, 1983; HAY e LACERDA, 1984). A deposição de nutrientes não é uniforme em todo o sistema, dependendo da topografia local e da estrutura da vegetação, e é de um modo geral inversamente proporcional à distância do mar (HAY et al, 1981; COSTA et al, 1984). HAY e LACERDA (1984) levantaram a hipótese que uma fonte importante de nitrogênio para a restinga poderia incluir a fixação microbiológica por cianobactérias presentes no solo e/ou nas águas estocadas em tanques de bromélias. Entretanto, não existem dados para a confirmação desta hipótese. Os solos de restinga possuem baixa capacidade de retenção de nutrientes e esta está relacionada ao teor de matéria orgânica (HAY e LACERDA, 1980). A distribuição de nutrientes nos solos não é uni

forme, geralmente diminuindo com a profundidade. Na superfície, a distribuição é controlada pela distância do mar, topografia, presença e tipo de vegetação (HAY e LACERDA, 1984). Quando lixiviados da superfície do solo, os nutrientes são levados para o lençol freático, entretanto as baixas concentrações de nutrientes encontradas na água freática (CARMO e LACERDA, 1984), sugerem que o controle da lixiviação exercido pela vegetação deve ser importante e que a migração de elementos através da coluna do solo, um processo de pequenas proporções, pelo menos para a maioria dos cátions.

Os processos de ciclagem interna de nutrientes estão intimamente relacionados às taxas de decomposição da matéria orgânica morta depositada sobre os solos. De um modo geral, a decomposição da matéria orgânica nos ambientes de restinga, e possivelmente a liberação de seus nutrientes associados, é muito lenta, necessitando entre 300 a 900 dias para decomposição de 50% do material morto depositado (HAY e LACERDA, 1984). Estes resultados podem significar que os nutrientes estão sendo gradualmente acumulados dentro do sistema.

Os resultados apresentados são baseados em dados obtidos em uma área restrita do litoral brasileiro, portanto não devem ser generalizados sem restrições. Por outro lado, é urgente a obtenção de dados para outra parte do litoral, particularmente em áreas de geologia e formações vegetais diferentes das encontradas no litoral norte do Estado do Rio de Janeiro. Mesmo nas áreas mais estudadas, ainda é desconhecido o papel das comunidades animais na ciclagem de nutrientes. Finalmente, a pouca informação existente sobre a produtividade primária das principais formações vegetais, impede o cálculo dos fluxos totais de nutrientes dentro do sistema e dificulta a confecção de balanços de massa mesmo nas comunidades mais simples.

ECOSSISTEMAS DE COSTÕES ROCHOSOS

A costa sudeste brasileira apresenta como uma das feições mais típicas os costões rochosos, representados por esporões da Serra do Mar que penetram em direção ao oceano, dando aparecimento a falésias (GUERRA, 1980). Estes esporões, geralmente graníticos-gnaissicos, são recobertos por uma vegetação xerofítica, semelhante à de restinga, que promove a formação de um solo orgânico de profundidade variando de alguns centímetros a decímetros. É provável que a ciclagem de nutrientes seja similar à que ocorre nas restingas, com a principal entrada de nutrientes via atmosfera e um forte controle da vegetação sobre a movimentação dos nutrientes dentro do sistema. Entretanto, o embasamento rochoso é sem dúvida uma fonte potencial de nutrientes para o sistema através do intemperismo. Possibilidade de solifluxão durante chuvaradas, também deverá ser um fator importante no desenvolvimento de mecanismos de ciclagem dentro do sistema, podendo acarretar substituições nos mecanismos e alterações sensíveis nos fluxos de nutrientes.

Embora os ecossistemas de costões rochosos sejam um dos mais simples dentre os sistemas costeiros, nenhum estudo até o momento abordou aspectos de sua ecologia, mesmo descrições das principais comunidades são esparsas (e.g. RAWIT-SHER, 1944). Portanto, a prioridade para estudos de levantamento das formações vegetais e de solos é grande, a fim de gerar dados básicos para o estudo de nutrientes.

BANCOS DE FANERÓGAMAS MARINHAS

As pradarias de fanerógamas marinhas submersas possuem um importante papel na ciclagem de nutrientes em diferentes ambientes costeiros, particularmente lagunas e estuários. Estas formações vegetais ocorrem ao longo de todo o litoral brasileiro e compreendem pelo menos 5 espécies de

vegetais superiores, entre as quais *Ruppia maritima* é a mais abundante e de distribuição mais ampla (OLIVEIRA et al, 1983).

Apesar de sua ampla distribuição e importância no ambiente costeiro, só recentemente estas comunidades tem recebido atenção de pesquisas de cunho ecológico. Entretanto, estes estudos tem se restringido aos litorais do Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul.

Os estudos realizados na Lagoa dos Patos (RS) (CAFRUNI et al, 1978, U. Seeliger com. pess.), caracterizaram vários fatores que controlam a dinâmica das populações de *Ruppia maritima*, e aparentemente as concentrações de nutrientes no sedimento são os principais fatores controladores desta dinâmica. PEDRINI (com. pess.) forneceu os primeiros dados sobre a biomassa de *Ruppia maritima* e de sua variação sazonal, dados fundamentais para o entendimento dos processos de ciclagem de nutrientes.

LACERDA e REZENDE (1985) estudaram o papel da fanerógama marinha *Halodule wrightii* Aschers, que ocorre em pequenas pradarias na Baía de Sepetiba (RJ), na ciclagem de alguns elementos nesta área. Os resultados mostraram que esta espécie é capaz de alterar as condições físico-químicas do sedimento, controlando a dinâmica de Mn, Cu e Zn na área. Os mecanismos envolvem alterações na granulometria do sedimento, com acumulação de partículas finas, e modificações do potencial redox dos mesmos. Isto resulta na acumulação de Zn e Cu em relação ao sedimento fora da pradaria, e na remobilização do Mn do sedimento para a coluna d'água.

Os mesmos autores (LACERDA e REZENDE, no prelo), também investigaram a absorção e translocação de diversos metais em *Halodule wrightii* durante uma estação de crescimento, e sugeriram que a população de fanerógamas controla o ciclo de alguns metais, em particular de Zn e Mn, através da transferência destes metais do sedimento para as folhas e sua redistribuição, sob forma de detritos, para a coluna d'água.

Apesar dos resultados apresentados, o estudo da ciclagem de nutrientes nestes ecossistemas ainda permanece na fase exploratória sendo prioritário o levantamento do grau de importância destas comunidades nos ambientes costeiros do litoral brasileiro. Para isso são fundamentais dados sobre a produtividade primária das diversas espécies sob diferentes condições ambientais. Sobre a exportação de detritos para áreas costeiras adjacentes e seu valor nutricional. E especialmente estudos sobre a dinâmica de nutrientes cujas formas de disponibilidade sejam determinadas pelas condições físico-químicas do meio (e.g. N, S, Fe, Mn), uma vez que já é conhecida a capacidade destas plantas de alterarem sensivelmente as condições do meio, particularmente do pH, Eh, Oxigênio dissolvido etc... A necessidade de extensão dos estudos para outras áreas do litoral brasileiro e a inclusão nestes estudos do papel das comunidades animais, também são prioritários para as comunidades de fanerógamas marinhas submersas.

ECOSSISTEMAS DE BREJOS ENTRE COSTÕES ARENOSOS COSTEIROS

Brejos entre cordões arenosos costeiros são feições típicas das planícies quaternárias do litoral brasileiro. Estes ambientes são formados pelo afloramento do lençol freático entre dois cordões sucessivos e datam de 3.500 a 5.000 anos (COE, 1984). Estas áreas, em relação à ciclagem de nutrientes, apresentam certas semelhanças com os ecossistemas de restingas, uma vez que a principal fonte de nutrientes é atmosférica, e os solos de embasamento são areias pobres em nutrientes. Porém aí terminam as semelhanças.

Ao contrário dos ecossistemas oligotróficos de restinga, os brejos entre cordões arenosos são caracterizados por grande acumulação de matéria orgânica parcialmente decomposta sobre o sedimento, chegando a atingir valores de até 66% e nunca inferiores à 5% em peso (LACERDA et al,

1985a).

A produtividade primária destes ambientes é elevada ($600 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$, na parte aérea e $800 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$, na parte subterrânea) (CARMO e LACERDA, 1984) enquanto que a decomposição é bastante lenta (cerca de 60% da produtividade primária anual é decomposta no mesmo período de tempo) (CARMO, 1985). Isto parece explicar a grande acumulação de matéria orgânica dentro do sistema.

A distribuição e ciclagem de nutrientes nestes ambientes está relacionada com diferentes fatores. Na e Mg tem sua dinâmica amplamente controlada pelas variações da entrada atmosférica. Ca, K, Fe, Mn e Zn são controlados por sua vez pela atividade da vegetação e pela dinâmica do alagamento sazonal. Estes últimos elementos também apresentam uma sazonalidade bem marcada. Apresentam suas concentrações máximas na água logo após o período seco coincidente com o reinício do alagamento do brejo. Este processo parece estar ligado à decomposição acelerada do material morto depositado, resultante da maior oxigenação do sedimento durante o período seco (CARMO e LACERDA, 1984).

A distribuição destes elementos ao longo do perfil do sedimento parece corroborar estas observações uma vez que os elementos citados estão associados à distribuição da matéria orgânica nas diferentes camadas do sedimento (LACERDA et al, 1985a).

Os resultados preliminares até aqui obtidos, parecem indicar que a produção e decomposição de matéria orgânica são os processos dominantes na ciclagem de nutrientes, portanto deverá ser esta a direção prioritária dos estudos sobre nutrientes nestes sistemas.

LAGOAS COSTEIRAS

Embora as lagoas costeiras sejam uma das feições mais típicas do litoral brasileiro, raramente tem sido estudadas

de forma holística. As lagoas costeiras geralmente apresentam florestas de manguezais, bancos de gramíneas e fanerógamas submersas, que contribuem em diferentes escalas para seu funcionamento global, e estes subsistemas tem sido estudados separadamente, o que dificulta o entendimento das lagoas como unidade funcional.

As principais abordagens holísticas, foram realizadas em lagoas do litoral fluminense (OLIVEIRA, 1948; OLIVEIRA et al, 1955a,b), entretanto sem incluir aspectos da ciclagem de nutrientes. Mais recentemente estudos abordando aspectos geoquímicos (AZEVEDO, 1984; PATCHINEELAM et al, 1984) e biogeoquímicos (ESTEVES et al, 1983-84) tem sido realizados na mesma área. São estes últimos trabalhos os primeiros a abordar de forma holística a ciclagem de nutrientes nestes ambientes.

Os resultados disponíveis indicam como principais fatores controladores da ciclagem de nutrientes a batimetria, regime de ventos e a salinidade das lagoas. Uma vez que estes fatores são praticamente únicos para cada lagoa, o pequeno número de estudos realizados torna difícil a generalização sobre o comportamento de nutrientes nestes ecossistemas.

ESTEVES et al (1983-84), a partir de levantamentos realizados em 14 lagoas costeiras do litoral norte do Estado do Rio de Janeiro, propôs um modelo para a ciclagem de nutrientes nesses ecossistemas. Segundo este modelo, a pouca profundidade das lagoas, as altas temperaturas e o regime de ventos, resultariam na não estratificação da coluna d'água e na mineralização acelerada dos nutrientes incorporados biologicamente, diminuindo a acumulação de matéria orgânica nos sedimentos e aumentando a produtividade fitoplanctônica. Resultados obtidos em outros sistemas lagunares entretanto, tem demonstrado a grande variabilidade destas condições, de acordo com as características hidrográficas da lagoa.

KNOPPERS et al (1984), também de forma holística, es

tudaram a distribuição de matéria orgânica em suspensão e de nutrientes na Lagoa Conceição, Santa Catarina. Os resultados mostraram grande variação espacial dos parâmetros medidos, indicando a forte influência da morfologia lagunar sobre a distribuição e possivelmente sobre a ciclagem de nutrientes nestes ecossistemas. Tais resultados reforçam a restrição à generalização quanto ao padrão de ciclagem de nutrientes em lagoas costeiras.

É prioritário no momento a realização de estudos holísticos que considerem as lagoas costeiras como um compartimento. Particularmente, deve ser dada especial atenção à relação de importância entre as fontes de nutrientes terrestres e marinhas, e também sobre o papel dos diferentes subsistemas no ciclo geral de nutrientes. A nível mais detalhado é fundamental o estudo das interações água-sedimento sob diferentes condições batimétricas e químicas, para se estabelecer sua real importância na mineralização da matéria orgânica e conseqüentemente na ciclagem de nutrientes.

BANCOS DE GRAMINEAS MARINHAS

Os bancos de gramíneas marinhas são os análogos dos manguezais em clima temperado e ocupam extensas áreas estuarinas e lagunares no litoral sul do Brasil (e.g. Lagoa dos Patos). No litoral subtropical, os bancos de gramíneas marinhas ocorrem como franjas de largura variável adjacente a manguezais. À semelhança dos manguezais, estes sistemas são dominados por um pequeno número de espécies, e não raro são caracterizados por extensas populações monoespecíficas. *Spartina alterniflora* Loisel é a espécie dominante no litoral brasileiro em áreas de salinidade elevada; *Paspalum vaginatum* SW e *Scirpus* spp. entretanto, podem ocorrer como dominantes em áreas de baixa salinidade.

Embora dominantes no sul do país, os poucos resultados sobre a ciclagem de nutrientes nestes ecossistemas fo-

ram obtidos no litoral subtropical, particularmente nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo.

Os trabalhos realizados nestes ecossistemas são restritos. ADAIME (1978), forneceu resultados sobre a variação sazonal da biomassa e nutrientes em plantas de *Spartina alterniflora* em Cananêia. LACERDA et al (1979) estudaram o papel de *Paspalum vaginatum* na disponibilidade de Cr no estuário do Rio Irajá, Baía de Guanabara. LACERDA e ABRÃO (1984) e LIMA et al (1985) estudaram a distribuição de elementos-traço em sedimentos e órgãos de plantas de *Spartina alterniflora*, em bancos adjacentes a manguezais na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro.

Os bancos de *Spartina alterniflora* apresentam sazonalidade bem marcada com o máximo de crescimento no verão (ADAIME, 1978). Nesta época ocorre um aumento na biomassa de folhas e rizomas e um decréscimo na biomassa de raízes e na qualidade de material morto (LIMA et al, 1985). Variações sazonais na concentração de alguns nutrientes também foram relatadas, entretanto são pouco entendidas.

A distribuição de nutrientes nas plantas parece seguir um padrão característico para cada elemento independente da espécie vegetal. Elementos como Na e K, apresentam as maiores concentrações nas folhas vivas enquanto que Ca, Mg, Fe e Cr apresentam as maiores concentrações em partes mortas.

LACERDA et al (1979) mostraram que a serrapilheira produzida pela gramínea *Paspalum vaginatum* é a principal transportadora de Cr em um estuário na Baía da Guanabara, LIMA et al (1985) mostraram resultados semelhantes para Fe, Cr, Mn e Cd em um banco de *Spartina alterniflora* na Baía de Sepetiba.

O sedimento de bancos de gramíneas é o principal depósito de nutrientes nestes sistemas. Geralmente desenvolvem-se condições redutoras que favorecem a acumulação de elementos químicos sob forma de sulfetos ou fortemente ligados à matéria orgânica depositada (LACERDA e ABRÃO, 1984). As

plantas, através da liberação de oxigênio pelas raízes, dissocia vários destes compostos liberando nutrientes para a água intersticial, aumentando sua disponibilidade. Segue-se a translocação dos elementos das raízes para as folhas e eventualmente sua liberação sob forma de detritos. Alternativamente, uma quantidade de nutrientes poderá ser incorporada no metabolismo de microorganismos anaeróbicos (particularmente bactérias redutoras de sulfato), que nestas áreas podem respirar cerca de $1800 \text{ g C.ano}^{-1}$, passando diretamente às cadeias alimentares cuja base esteja em microorganismos.

Embora os processos envolvidos na ciclagem de nutrientes em bancos de gramíneas marinhas sejam relativamente bem descritos, estudos sobre esses componentes e sua eficiência em ecossistemas no litoral brasileiro são inexistentes. Portanto, a quantificação da produção, decomposição e exportação de detritos em bancos de gramíneas marinhas é altamente prioritária. Uma vez que a redução de sulfato por microorganismos anaeróbicos é o principal mecanismo envolvido no metabolismo do ecossistema, e conseqüentemente na ciclagem de nutrientes, especial atenção deverá ser dada a seu estudo. Finalmente, tais trabalhos deverão ser realizados preferencialmente em áreas costeiras do litoral sul do país, uma vez que nesta região, por sua dominância, estes sistemas deverão possuir um importante papel na ciclagem de nutrientes dos demais sistemas costeiros adjacentes.

ECOSSISTEMAS DE MANGUEZAL

Os manguezais, juntamente com as restingas, são os ecossistemas melhor conhecidos em relação à ciclagem de nutrientes. Os manguezais distribuem-se por todo o litoral brasileiro do Amapá a Santa Catarina sendo particularmente abundantes na Costa Quaternária Norte e na Costa Granítica Sul. Nesta última área, os manguezais ocorrem predominantemente

mente em fundos de baías e estuários, e foram nestas áreas onde se desenvolveram os principais estudos sobre a ecologia destes ecossistemas.

A distribuição e ciclagem de nutrientes nos ecossistemas de manguezal tem sido estudadas sob diferentes ângulos por autores brasileiros. MACHADO (1950) e KATO (1966a,b) publicaram trabalhos pioneiros sobre a química da água em manguezais da região estuarino-lagunar de Cananãia, São Paulo, relatando a importância dos manguezais como fonte de nitrogênio para as cadeias alimentares costeiras adjacentes. Posteriormente, vários autores estudaram a produtividade primária e o ciclo do carbono na mesma região (TEIXEIRA e KUTNER, 1962; TUNDISI et al, 1965-67-69; WATANABE e KUTNER, 1965; TUNDISI e TUNDISI, 1968; TUNDISI e TEIXEIRA, 1964-68).

Os resultados obtidos mostraram a importância da produtividade plactônica para o sistema, a qual variou de 2,1 a 91,3 mg C/m³/h. Ainda em relação às águas, KNOPPERS e OPITZ (1984) relataram o ciclo anual da matéria orgânica e seus componentes principais e de material inorgânico em águas de uma área de manguezal, na baía de Laranjeiras, Paraná. Estes autores documentaram a dependência do material particulado inorgânico em suspensão em relação à descarga de água doce, apresentando maiores concentrações em épocas de alta pluviosidade. Por outro lado, teores elevados de partículas orgânicas em suspensão ocorreram durante todo o ano.

Outro aspecto bastante documentado recentemente aborda a composição química dos sedimentos. LACERDA et al (1984b) realizaram um levantamento das concentrações de vários elementos metálicos em sedimentos de mangue ao longo do litoral sudeste brasileiro de Vitória (ES) a Parati (RJ). Os resultados caracterizaram diferentes fontes para os diferentes elementos. Os macronutrientes Na, K, Ca e Mg chegam às florestas de mangue pela maré. Outros como Fe, Mn e diversos metais pesados tem como principal fonte o intemperismo de rochas e das bacias de drenagem adjacentes. Em áreas contaminadas por efluentes industriais, elementos como Pb, po-

dem ser transportados para o manguezal pela via atmosférica.

Nos sedimentos, a dinâmica dos elementos químicos é controlada pelas condições redutoras do sedimento e pela mobilidade de cada elemento sob tais condições. Nutrientes como P, Cu e Mn tem sua distribuição e mobilidade controlada pela matéria orgânica. No caso de P e Mn ocorre grande remobilização do sedimento para a coluna d'água sob condições redutoras, acarretando uma maior disponibilidade destes elementos para absorção pela biota (ARAGON et al, 1985). Elementos como Zn e Cu estão intimamente associados a compostos orgânicos e aparentemente tem sua disponibilidade reduzida (LACERDA e REZENDE, 1984).

A oxidação de sedimentos de mangue por fatores físicos como ondas e marés, e biológicos como a fotossíntese por algas do sedimento, pode resultar na remobilização de diversos elementos para a água intersticial, principalmente pela dissociação de sulfetos resultando em um decréscimo sensível do pH da água intersticial (LACERDA e REZENDE, 1984).

A distribuição geoquímica de nutrientes nos sedimentos de mangue controlará em última instância, sua absorção pelas plantas. Dados sobre a composição química de árvores de manguezais brasileiros foram publicados por LAMBERTI (1969) para o litoral de São Paulo e por LACERDA et al (1985b) e LACERDA et al (1986c) para o litoral do Rio de Janeiro. Em geral a ordem de abundância dos principais nutrientes em folhas de mangue é: N (1,9-4,5%), Na (1,6-4,1%), K (0,8-1,2%), Mg (0,4-1,4%), Ca (0,3-1,3%), Fe (69-943ppm), Mn (16-882ppm), Zn (9,6-66ppm) e Cu (3-34 ppm).

A absorção de determinados cátions é dependente da salinidade. A absorção de Ca por exemplo, é inversamente proporcional à salinidade do solo, portanto em áreas de alta salinidade este elemento poderá tornar-se limitante. Este fenômeno também parece ocorrer na absorção de Mg (LACERDA et al, 1985b).

A absorção de Fe, Zn, Mn e Na entretanto reflete a concentração destes elementos no sedimento, enquanto que pa

ra N e K, a absorção parece ser controlada fisiologicamente. Entretanto, o conhecimento existente sobre os fatores que controlam a absorção de nutrientes em plantas de mangue, é ainda insuficiente para a determinação de coeficientes de transferência confiáveis. Estes coeficientes por outro lado são indispensáveis para o cálculo dos fluxos de nutrientes entre o sedimento e a planta, dado indispensável para a compreensão do processo de ciclagem no sistema.

A exportação de detritos vegetais pelas florestas de mangue é o aspecto mais importante destes ecossistemas, uma vez que este material servirá de base para diversas cadeias alimentares costeiras (LACERDA, 1984).

Estimativas da produção de serrapilheira por manguezais brasileiros são raras. PONTE et al (1984) publicaram resultados sobre a produção de serrapilheira em um manguezal de Bertioga, São Paulo. Os resultados mostram que cerca de 80% da produção total é composta por folhas, cujo tempo de decomposição de 50% do peso inicial varia de 26 a 99 dias. A produção total estimada ficou entre 1,24 e 1,39 g peso seco.m⁻².d⁻¹, totalizando cerca de 4,8 ton. ha⁻¹.ano⁻¹. Esta produtividade encontra-se dentro da faixa dos manguezais mais produtivos do mundo (WALSH, 1974).

Evidentemente que este valor não corresponde ao total exportado, uma vez que grande parte do material permanecerá dentro do mangue. Entretanto, a maior fração dos nutrientes será eventualmente exportada para áreas costeiras adjacentes, seja sob forma de detritos ou dissolvida após a decomposição do mesmo.

Como foi mostrado, os processos envolvidos na ciclagem de nutrientes em ecossistemas de manguezal são relativamente bem descritos para o litoral brasileiro. Entretanto, nenhum estudo até o momento quantificou tais processos. Portanto, torna-se urgente a realização de estudos orientados para este aspecto, de modo a se compreender a magnitude da importância dos manguezais para o ambiente costeiro.

Concluindo, cabe ressaltar que este trabalho é baseada

do em dados obtidos somente ao longo do litoral brasileiro, e que as prioridades identificadas não são necessariamente aquelas necessárias ao entendimento do funcionamento destes ecossistemas do ponto de vista global. Entretanto, a grande diversidade e interações entre os ecossistemas costeiros no Brasil, permite que qualquer estudo neles realizados possa produzir dados de interesse global.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAIME, R.R. Estudo da variação estacional do "Standing Crop" e do repovoamento em um banco de *Spartina alterniflora* Loisel, 1807, no complexo estuarino-lagunar de Cananãia. B. Inst. Oceanogr., São Paulo, 27: 1-43, 1978.
- ANDRADE, M.A.B. Balanço de ions em plantas e no solo de praias arenosas litorâneas. Ci. e Cult., 23: 56-7, 1971.
- _____. Balanço de ions em plantas e no solo de praias arenosas litorâneas II. Ci. e Cult., 29: 1283-90, 1977.
- ARAGON, G.T.; PIRES, V.S.; LACERDA, L.D.; PATCHINEELAM, S.R. Distribuição espacial de nutrientes e metais pesados em sedimentos e águas superficiais em um ecossistema de manguezal. Acta Limnol. Bras., 1, 1985 (no prelo).
- AZEVEDO, L.S.P. Considerações geoquímicas das lagunas do litoral leste do Estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE RESTINGAS BRASILEIRAS, Niterói, 1984. Anais... Niterói, Universidade Federal Fluminense, 1984, p. 123-235.
- CAPRUNI, A.; KRIEGER, J.A.; SEELIGER, U. Observações sobre a *Ruppia maritima* L. (Potamogetonaceae) no Estuário da Lagoa dos Patos (RS - Brasil). Atlantica, Rio Grande, RS, 3: 85-90, 1978.

- CARMO, M.A.M. O papel de *Eleocharis subarticulata* (NEES.) Boeckler na ciclagem mineral em um brejo entre dunas em Maricá, RJ. Rio de Janeiro, UFF, 1985. Tese Mestrado.
- CARMO, M.A.M. & LACERDA, L.D. Ecologia de *Eleocharis subarticulata* (NEES) Boeckler (Cyperaceae) em um brejo entre dunas em Maricá, Rio de Janeiro. In: SEMINÁRIO REGIONAL DE ECOLOGIA, 4, São Carlos, 1984. Anais ... São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 1984, p. 189-201.
-
- _____. Limnologia de um brejo entre dunas em Maricá. In: SIMPÓSIO SOBRE RESTINGAS BRASILEIRAS, Niterói, 1984. Anais ... Niterói, Universidade Federal Fluminense, 1984, p. 455-60.
- COE NETO, R. Algumas considerações sobre a origem do Sistema Lagunar de Araruama. In: SIMPÓSIO SOBRE RESTINGAS BRASILEIRAS, Niterói, 1984. Anais ... Niterói, Universidade Federal Fluminense, 1984, p. 61-3.
- CORDAZZO, C.V. Taxonomia e ecologia da vegetação de dunas costeiras ao Sul do Cassino (RS). Rio Grande, RS, UFRG, 1985. Tese Mestrado.
- COSTA, C.S.B.; SEELIGER, U.; CORDAZZO, C.V. Aspectos da ecologia populacional do *Panicum racemosum* (Spreng) nas dunas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE RESTINGAS BRASILEIRAS, Niterói, 1984, Anais ... Niterói, Universidade Federal Fluminense, 1984, p. 395-412.
- ESTEVES, F.A.; BARBIERI, R.; ISHII, I.H.; CAMARGO, A.F.M. Estudos limnológicos em algumas Lagoas Costeiras do Estado do Rio de Janeiro. In: SEMINÁRIO REGIONAL DE ECOLOGIA, 3, São Carlos, 1983. Anais ... São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 1983, p. 25-38.

ESTEVEZ, F.A.; ISHII, I.H.; CAMARGO, A.F.M. Pesquisas limnológicas em 14 Lagoas do Estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE RESTINGAS BRASILEIRAS, Niterói, 1984. Anais ... Niterói, Universidade Federal Fluminense, 1984, p. 443-54.

GUERRA, A.T. Dicionário geológico - geomorfológico. 6 ed. Rio de Janeiro, IBGE, 1980. n.p.

_____. Paisagens do Brasil. Rio de Janeiro, Conselho Nacional de Geografia, 1962. n.p.

HAY, J.D. & LACERDA, L.D. Alterações nas características do solo após a fixação de *Neoregelia exulta* (R. Grah.) L. Smith (Bromeliaceae), em um ecossistema de restinga. Ci. e Cult., 32(7): 863-67, 1980.

_____. Ciclagem de nutrientes no ecossistema de restinga. In: SIMPÓSIO SOBRE RESTINGAS BRASILEIRAS, Niterói, 1984. Anais ... Niterói, Universidade Federal Fluminense, 1984, p. 461-77.

HAY, J.D.; LACERDA, L.D. ; TAN, A.L. Soil cation increase in a tropical sand dune ecosystem due to a terrestrial bromeliad. Ecology, Durham, 62(5): 1392-95, 1981.

KATO, K. Chemical investigations on the hydrografical system of Cananãia Lagoon. B. Inst. Oceanogr., São Paulo, 15(1): 25-8, 1966.

_____. Geochemical studies on the mangrove region of Cananãia, Brazil. B. Inst. Oceanogr., São Paulo, 15(1): 13-20, 1966.

KNOPPERS, B.A. & OPITZ, S.S. An annual cycle of particulate organic matter in mangrove waters, Laranjeiras Bay,

- Southern Brazil. Arq. Biol. Tecnol., 27(1): 79-93, 1984.
- KNOPPERS, B.A.; OPITZ, S.S.; SOUZA, M.P.; MIGUEL, C.F. The spatial distribution of particulate organic matter and chemical water properties in Conceição Lagoon; Santa Catarina, Brazil. Arq. Biol. Tecnol., 27(1): 59-77, 1984.
- LACERDA, L.D. Ciclagem mineral em uma comunidade de halófitas da Baía de Guanabara. Rio de Janeiro, UPRJ, Instituto de Biofísica, 1980. Tese Mestrado.
- _____. Manguezais: florestas de Beira-Mar. Ci. Hoje, 13: 62-70, 1984.
- LACERDA, L.D. & ABRÃO, J.J. Heavy metal accumulation by mangrove and saltmarsh intertidal sediments. R. Bras. Bot., 7: 49-52, 1984.
- LACERDA, L.D.; ARAUJO, D.S.D.; CERQUEIRA, R.; TURCQ, B. Regtingas: origem, estrutura, processos. Niterói, CEUFF, 1984. 477p.
- LACERDA, L.D.; ARAUJO, D.S.D.; MACIEL, N.C. Dry coastal ecosystems of the tropical brazilian coast. In: MOAREL, E. ed. Dry coastal ecosystems of the world. Amsterdam, Elsevier, 1986. (no prelo)
- LACERDA, L.D.; CUNHA, C.T.; SEELIGER, U. Distribuição de nutrientes em perfis de sedimentos em brejos costeiros tropicais e temperados. Acta Limnol. Bras., 1, 1985. (no prelo)
- LACERDA, L.D.; JOSE, D.V.; REZENDE, C.E.; FRANCISCO, C.F.; WASSERMAN, J.C.; MARTINS, J.C. Leaf chemical characteristics affecting herbivory in a new world mangrove forest. Biotrópica, 1986. (no prelo)

LACERDA, L.D.; PFEIFFER, W.C.; FISZMAN, M. Mineral distribution and ecological role of a recently formed community in the Guanabara Bay, Rio de Janeiro. Trop. Ecol., 24(2): 162-67, 1983.

_____. O Papel de *Paspalum vaginatum* S.W. na disponibilidade de Cr para cadeias alimentares estuarinas. R. Bras. Biol., 39(4): 985-89, 1979.

LACERDA, L.D. & REZENDE, C.E. Dinâmica de metais pesados em manguezais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE RECURSOS DO MAR, 2, Rio de Janeiro, 1984. (no prelo)

_____. The effect of *Halodule wrightii* Aschers on the geochemical partitioning of Mn, Zn and Cu in coastal sediments. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEAVY METALS ENVIRONMENTAL, 3, Athens, 1985. Proceedings... Athens, v. 2, p. 292-94, 1985.

_____. Metals in the seagrass. *Halodule wrightii* Aschers during one growing season. R. Bras. Bot. (no prelo)

LACERDA, L.D.; REZENDE, C.E.; JOSE, D.M.V.; FRANCISCO, M.C.F. Metallic composition of mangrove leaves from Southeastern Brazilian Coast. R. Bras. Biol., 1986. (no prelo)

LACERDA, L.D.; REZENDE, C.E.; JOSÉ, D.V.; WASSERMAN, J.C.; FRANCISCO, M.C. Mineral concentrations in leaves of mangrove trees. Biotrópica, 17(3): 260-62, 1985.

LACERDA, L.D.; REZENDE, C.E.; WASSERMAN, J.C.; JOSE, D.M.V.; FRANCISCO, M.C.F.; MARTINS, J.C. Contaminação por metais pesados em manguezais do litoral sudeste do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE RECURSOS DO MAR, 2, Rio de Ja-

neiro, 1984. (no prelo)

- LAMBERTI, A. Contribuição ao conhecimento da ecologia das plantas do manguezal de Itanhaem. B. Fac. Fil. Ci. Letr., São Paulo, USP, 317: 1-217, 1969.
- LIMA, N.R.W.; PFEIFFER, W.C.; FISZMAN, M. Ciclagem de metais pesados em bancos de *Spartina alterniflora* na Baía de Sepetiba, RJ. Acta Limnol. Bras., 1, 1985. (no prelo)
- MACHADO, L.B. Pesquisas físicas e químicas do sistema hidrográfico da Região Lagunar de Cananéia. B. Inst. Oceanogr., São Paulo, 1(1): 45-67, 1950.
- OLIVEIRA, L.P.H. Estudo hidrobiológico das Lagoas de Piratininga e Itaipú. Mem. Inst. Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 46: 672-718, 1948.
- OLIVEIRA, L.P.H. & KRAU, L. Observações biogeográficas durante a abertura da Barra da Lagoa de Saquarema. Mem. Inst. Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 53: 435-49, 1955.
- OLIVEIRA, L.P.H.; NASCIMENTO, R.; KRAU, L. Observações biogeográficas e hidrobiológicas sobre a Lagoa de Maricá. Mem. Inst. Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 53: 171-227, 1955.
- OLIVEIRA, L.P.H.; PIRANI, J.R. & GIULIERRI, A.M. The Brazilian seagrasses. Aquat. Bot., 16: 251-67, 1983.
- ORMOND, W.T. Ecologia das restingas do sudeste do Brasil: comunidades vegetais das praias arenosas. Arg. Mus. Nac., Rio de Janeiro, 50: 185-236, 1960.
- PATCHINEELAM, S.R. & REBELLO, A.I. Ocorrência de dolomídia genética numa Lagoa Hipersalina. In: CONGRESSO BRASILEI-

RO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro, 1984.

PONTE, A.C.E.; FONSECA, I.A.Z.; MARQUEZ, M.; FREITAS, M.L.; CLARO, S.M.C.A. Produção de serrapilheira e decomposição do material foliar em ecossistema de mangue. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BOTÂNICA, 4, Taubaté, S.P. 1984. Anais ... Taubaté, S.P. p. 91-6, 1984.

RAWITSCHER, F. Algumas noções sobre a vegetação do litoral brasileiro. B. Ass. Geogr. Bras., São Paulo, 5: 13-28, 1944.

TEIXEIRA, C. & KUTNER, M.B. Plankton studies in a mangrove environment. B. Inst. Oceanogr., São Paulo, 12: 101-24, 1962.

TEIXEIRA, C.; KUTNER, M.B.; JORGO, F.M.S. O efeito da respiração bacteriana no estudo da produção primária. R. Bras. Biol., 25: 287-94, 1965.

TEIXEIRA, C.; TUNDISI, J.G.; YCAZA, J.S. Plankton studies in a mangrove environment. B. Inst. Oceanogr., São Paulo, 16: 39-42, 1967.

_____ . Plankton studies in a mangrove environment. Inst. R. Ges. Hydrobiol., 54: 289-301, 1969.

TUNDISI, J.G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. Plankton studies in a mangrove environment V. Salinity tolerances of some planktonic crustaceans. B. Inst. Oceanogr., São Paulo, 17: 57-65, 1968.

TUNDISI, J.G. & TEIXEIRA, C. Plankton studies in a mangrove environment. An. Acad. Bras. Ci., 37: 192-93, 1964.

TUNDISI, J.G. & TEIXEIRA, C. Plankton studies in a mangrove environment VII. Size fraction of the phytoplankton: some studies on methods. B. Inst. Oceanogr., São Paulo, 17: 89-94, 1968.

WALSH, G.E. Mangrove: A review. In: REINOLD, J. & QUEEN, W.H., ed. Ecology of halophytes. New York, Academic Press, 1974. n.p.

WATANABE, K. & KUTNER, M. Bacteriological analysis of mangrove waters at Cananéia. An. Acad. Bras. Ci., 37: 3, 1965. Suplemento.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é parte do projeto "Biogeoquímica de Manguezais", financiado pelo CNPq. Proc. n^{os}. 400229/83 e 402668/84. O manuscrito foi bastante melhorado por discussões com vários colegas particularmente Dra. Yara Schaeffer-Novelli, USP, Dr. Francisco Esteves, UFSCar, Dra. Marico Meguro, USP, Dr. Francisco Barbosa, UFMG e Dr. John Hay, UnB. Merece agradecimento especial Sonia Jean Cordeiro Chactoura, que com muita paciência datilografou o manuscrito.

ENDEREÇO DO AUTOR

LACERDA, L.D.
Departamento de Geoquímica
Universidade Federal Fluminense
24210 NITERÓI - RJ