Capítulo 7

Monitoramento da dinâmica vertical de substratos dos ecossistemas manguezal e marisma

André Scarlate Rovai
Clemente Coelho Junior
Ricardo Palamar Menghini

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

ROVAI, AS., COELHO JUNIOR, C., and MENGhini, RP. Monitoramento da dinâmica vertical de substratos dos ecossistemas manguezal e marisma. In: TURRA, A., and DENADAI, MR., orgs. *Protocolos para o monitoramento de habitats bentônicos costeiros – Rede de Monitoramento de Habitat Bentônicos Costeiros – ReBentos* [online]. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2015, pp. 95-107. ISBN 978-85-98729-25-1. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org>>.

All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial-ShareAlike 3.0 Unported.

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição - Uso Não Comercial - Partilha nos Mesmos Termos 3.0 Não adaptada.

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported.

CAPÍTULO 7

MONITORAMENTO DA DINÂMICA VERTICAL DE SUBSTRATOS DOS ECOSISTEMAS MANGUEZAL E MARISMA

André Scarlate Rovai, Clemente Coelho Junior, Ricardo Palamar Menghini

Foto: André S. Rovai

INTRODUÇÃO

Vários processos subsuperficiais são responsáveis pelas alterações na elevação de substratos inconsolidados (Boumans & Day-Jr 1993; Cahoon *et al.* 2002; Cahoon & Lynch 2010; McIvor *et al.* 2013; Stagg *et al.* 2013). Entre eles, destacam-se: o crescimento e a decomposição de raízes e/ou de matéria orgânica em geral; a expansão ou a contração do sedimento, bem como das raízes, considerando a maior ou menor presença de água, ou então, mudanças na pressão hidrostática da água subterrânea; e a compactação ou compressão dos sedimentos devido a natureza das partículas, bem como do peso do material acumulado sobre o substrato.

Hierarquicamente, tanto a estrutura quanto a funcionalidade dos manguezais são condicionados pela geomorfologia costeira e condições climáticas (Twilley *et al.*, 1999; Schaeffer-Novelli *et al.*, 2005; Twilley & Rivera-Monroy, 2005). Nesse sentido, manguezais e marismas são considerados ótimos indi-

cadores das mudanças climáticas, pois respondem estrutural e funcionalmente às alterações na frequência e durações das inundações (Schaeffer-Novelli *et al.*, 2002; Soares, 2009). Várias hipóteses podem ser formuladas objetivando avaliar os efeitos das mudanças climáticas sobre os mais variados componentes que constituem estrutural e funcionalmente os manguezais. Uma delas está relacionada às alterações na dinâmica sedimentar em ambientes estuarinos e processos deposicionais/erosivos em planícies de inundação em resposta ao aumento do nível médio relativo do mar (NMRM), intimamente relacionado a padrões climáticos (Woodroffe, 1990; Snedaker, 1993; Blasco *et al.*, 1996; Ellison, 1993; Soares, 2009), cujas projeções futuras apontam para um prolongamento dos períodos de estiagem em latitudes mais baixas e aumento na pluviosidade, bem como maior recorrência de eventos extremos em latitudes mais elevadas (Marengo, 2006).

Espera-se que manguezais localizados na transição entre as regiões tropical e subtropical consigam acompanhar a elevação do NMRM, pois haverá maior aporte pluvial e *run-off* continental, diluindo a salinidade intersticial e, conseqüentemente, reduzindo o estresse osmótico e elevando a produtividade do sistema (aérea e subterrânea), proporcionando, portanto, incrementos nas cotas altimétricas (níveis do substrato). De outra forma, manguezais das regiões equatoriais/tropicais serão mais impactados por processos erosivos em virtude de maiores déficits hídricos previstos (juntamente com menores aportes de sedimentos e nutrientes, *sensu* Syvitski, 2005); e o aumento na salinidade intersticial, resultará no declínio das taxas de produtividade e menor capacidade de manter o nível topográfico ideal. “Para testar hipóteses relacionadas a dinâmica vertical de substratos de manguezais e marismas alguns métodos são descritos a seguir.”

MÉTODOS

DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O delineamento amostral proposto baseia-se em Webb *et al.* (2013), diferindo somente na contextualização das unidades amostrais (réplicas). Considerando a necessidade de seleção de áreas vulneráveis para o monitoramento, ou seja, áreas mais suscetíveis aos possíveis impactos decorrentes do aumento do NMRM (*sensu* Ellison, 2012), o universo amostral proposto por Webb *et al.* (2013), em escala local (perfil ou transecto), foi adaptado de forma a compreender as duas zonas mais vulneráveis encontradas ao longo de um perfil de inundação: a franja do bosque de mangue e o ambiente de transição desse com outras feições típicas de manguezais (apicum e/ou clareira topográfica) ou com ecossistemas adjacentes (vegetação de restinga, duna, encosta ou mata atlântica) (Soares, 2009) (Figura 7-1).

Figura 7-1. Delineamento amostral para o monitoramento da dinâmica sedimentar (estacas de sedimentação, perfil microtopográfico; RSET-MH). Fora de escala.

Igualmente, subindo um nível de observação (escala de *setting* geomorfológico; Thom, 1982) faz-se necessário selecionar áreas vulneráveis dentro do sistema estuarino ou costeiro, ou seja, áreas mais sujeitas às intempéries oceânicas. Esse é o cenário encontrado na foz de rios ou estuários. Ainda há de se considerar trechos dentro dessa zona (estuário inferior) livres de situações extremas de dinamismo sedimentar como meandros, por exemplo, por serem áreas onde se verifica uma maior influência de pro- e retrogradação.

Finalmente, considerando a amplitude latitudinal da costa brasileira, o conceito de réplica proposto neste protocolo de procedimentos mínimos é flexível, podendo os experimentos serem planejados para responder questões em níveis local (por exemplo, dois ou mais perfis ou transectos dentro de um mesmo manguezal) ou em nível regional, nesse caso, diferentes manguezais localizados ao longo de um segmento costeiro, cada um representado por um ou mais perfis ou transectos agrupados representariam réplicas de uma região (*i.e.*, Ecorregiões Marinhas, *sensu* Spalding *et al.*, 2007). Em outras palavras, nessa abordagem macroecológica, as ecorregiões marinhas seriam as regiões; e os manguezais dentro das regiões seriam as réplicas daquela região; bosques de mangue (perfis ou transectos) dentro de cada manguezal seriam as pseudorréplicas destinadas a captar a variabilidade ambiental necessária, e assim em diante.

PERFIL MICROTOPOGRÁFICO

São apresentados 2 métodos para determinação da microtopografia: (1) vasos comunicantes (Princípio ou Lei de Pascal) e (2) estação total.

Esses métodos vêm sendo largamente utilizados em manguezais no Brasil, tanto para a caracterização (Coelho-Jr, 1998, *no prelo*; Pellegrini, 2000; Cunha-Lignon, 2001; Souza, 2004; Barcellos *et al.*, 2011), quanto para o monitoramento da microtopografia de manguezais impactados e/ou em recomposição natural (Menghini, 2004; 2008).

A topografia deve ser caracterizada com rede amostral regular, abrangendo as áreas de franja do bosque e de transição com a feição do manguezal (por exemplo, apicum, clareira de origem topográfica) ou com o ecossistema adjacente (vegetação de restinga, mata atlântica, etc.).

Devem ser delimitados três perfis ou transversais, distantes 2 m entre si, de forma a compor a malha amostral (1 x 2 m). Os perfis devem ter cerca de 30 m (dependendo da fisiografia do bosque) e ser delimitados do interior do bosque em direção à margem com o canal (curso d'água), distando deste cerca de 35 m (Figura 7-1).

Após determinado o rumo, perpendicular à margem do canal, com auxílio de bússola, estica-se uma trena (30 ou 50 m) na direção a ser seguida.

1) Perfil Microtopográfico – Vasos Comunicantes

- Fixar estação georreferenciada (marco; *DATUM*) em área externa ao manguezal, com precisão vertical mínima de 5 cm, devidamente ajustada com o *DATUM* oficial (por exemplo, IBGE etc.). Alternativamente, podem ser utilizados marcos conhecidos, pré-existent, desde que ajustados ao *DATUM* oficial;
- Fixar pontos de referência georreferenciados no manguezal (marco; *DATUM*), o qual posteriormente deve ser ajustado com o marco instalado fora do manguezal;
- Os marcos a serem instalados no manguezal devem ser construídos *in loco* com tubos de PVC (3 m de comprimento; 5 cm de diâmetro), os quais devem ser enterrados verticalmente na lama, deixando uma porção de 10-20 cm emersa (acima da superfície do sedimento). Depois de enterrado, a parte emersa do tubo de PVC deve ser preenchida com cimento de secagem rápida e um marco de cobre deve ser posicionado na superfície (abertura) do tubo de PVC;
- A partir do marco instalado dentro do manguezal, estabelece-se um valor de referência, do seguinte modo: fixa-se a régua-base sobre o marco e registra-se a leitura do nível da água na mangueira, associado ao valor da régua (Figura 7-2);
- Em seguida, fixa-se a segunda régua no local a ter seu nível determinado. O valor de referência na régua-base é restabelecido, e feita a leitura na segunda régua, com precisão de 0,1 cm. A variação dos valores na segunda régua corresponde, em ordem inversa, à elevação ou depressão do terreno;
- As medidas devem ser tomadas em intervalos de 1 metro (Figura 7-2 A e B);
- Repita as medições em intervalos anuais, preferencialmente sempre no mesmo mês, para evitar erros de interpretação relacionados à variações estacionais.

Nota 1: caso não se tenha acesso ao nível de referência (estação IBGE), sugere-se demarcar ponto fora do manguezal para posterior anotação com equipamento geodésico específico.

Nota 2: Os rumos dos perfis podem ser direcionados com auxílio de bússola.

2) Perfil Microtopográfico – Estação Total

Seguir os três primeiros passos descritos no item acima, tendo como base a estação do nível de referência (Estação) (Vasos comunicantes). Por meio do Banco de Dados Geodésicos (BDG), a Coordenação de Geodésia (CGED) do IBGE fornece a toda comunidade técnico-científica nacional informações geodésicas utilizadas em projetos de engenharia, mapeamento e estudos científicos. As informações mais frequentemente solicitadas são as de altitudes das estações verticais (Referências de Nível, RRNN) do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), para utilização em estudos em que o desnível ou a declividade são exigidos.

Posicionar o equipamento-base de *estação total* sobre o marco instalado fora do manguezal e a haste da *estação total* dentro do manguezal (ou o mais próximo possível, caso o manguezal esteja distante do marco), em pontos sobre o substrato onde se deseja registrar os valores altimétricos. As medidas devem ser tomadas em intervalos de 1, 2 ou 5 metros, dependendo do tamanho e da variação altimétrica do perfil adotado (Figura 7-2 C e D).

Figura 7-2. Método dos vasos comunicantes (A) com detalhe da leitura do nível da água na régua graduada (B) empregado para determinação da dinâmica sedimentar em área de manguezal (objeto de recuperação ambiental no estuário de Santos/SP). Método da estação total empregado durante pesquisa para caracterização de perfil praial associado a um manguezal interdunal em Fernando de Noronha/PE (C) e, durante avaliação de dano ambiental causado por construção de rodovia em manguezal de Recife/PE (D). Fotos: Clemente Coelho-Jr.

Análise dos Dados de Perfil Microtopográfico

A representação gráfica de mudanças ao longo do tempo pode ser produzida com auxílio de programas computacionais como, por exemplo, *SURFER* 8.0 (2002, *Golden Software*, Inc.), visando elaboração de modelos numéricos do terreno (Figura 7-3). Considerando medidas consecutivas (replicação temporal) as diferenças topográficas entre cada ponto de coleta (malha amostral) podem ser produzidas padronizando-se um ponto fixo (marco, *DATUM*), cujos valores de ambas as datas são igualados. A partir deste ponto as diferenças topográficas são, então, determinadas.

Figura 7-3. Mapas de contorno topográfico com curvas de nível e localização do bosque de mangue (A - polígono verde; 2004) e áreas com mortalidade de indivíduos (B - polígonos vermelhos; 2008) em função de processo erosivo registrado para um bosque-mangue localizado na Baixada Santista, SP (Menghini 2008; Menghini *et al* 2011). Sobreposição do modelo de superfície 3D (wireframe) com malha vetorial representando o sentido da drenagem terrestre no terreno em 2004 (C) e 2008 (D). Dinâmica sedimentar entre os anos de 2004 e 2008 (E). Os valores (em centímetros) positivos (gradiente cinza) são referentes ao aumento na cota do terreno gerado por processo de sedimentação/colonização de vegetação e os valores negativos (gradiente vermelho) são referentes ao rebaixamento na cota do terreno por erosão/morte de vegetação. Figuras extraídas de Menghini (2008).

DINÂMICA VERTICAL DO SUBSTRATO

Para estudo da dinâmica vertical do substrato sugere-se as seguintes metodologias: (1) estacas de sedimentação e (2) mesa de sedimentação-erosão.

1) Dinâmica Vertical – Estacas de Sedimentação

Complementar ou alternativo ao monitoramento do perfil microtopográfico, o método das estacas de sedimentação mostra-se eficiente na determinação de variações verticais do substrato dos manguezais (Gilman *et al.*, 2007), resultantes de processos deposicionais (aporte de material orgânico, sedimentos alóctones etc.) e de subsidência (decomposição de detritos orgânicos no sedimento) ou erosão.

Um número mínimo de 30 estacas de sedimentação deve ser instalado por sítio, sendo 15 na franja do bosque, próximo à margem do canal (curso d'água) e outras 15 na zona entre a porção mais interna do bosque de mangue e a feição apicum/clareira topográfica, restinga, ecótonos (Figura 7-4). As estacas devem ser dispostas em linha reta distando 1 m entre si.

- Selecione um local livre de pisoteio contíguo às parcelas permanentes para o monitoramento da vegetação;
- Instale, no sedimento, uma fileira formada por 10 estacas de sedimentação, distantes 1 m umas das outras. As estacas devem ser introduzidas a 50 cm de profundidade no sedimento, deixando uma porção emersa de 30 cm acima do nível do substrato (Figura 7-4);
- Posicione o nível de pedreiro* sobre a estaca e registre na planilha de campo a medida de altura em relação ao substrato distando, no mínimo, 5 cm para a face da estaca (Figura 7-4). Esse procedimento objetiva evitar erros de leitura relacionados à depressão normalmente formada ao redor das estacas. Meça cada estaca individualmente, necessariamente do mesmo lado (por exemplo, lado voltado para o canal, curso d'água). Registre essa informação nas planilhas de campo e eletrônica (por exemplo, Excel) para evitar erros futuros nas mensurações;
- Repita as medições em intervalos anuais, preferencialmente no mesmo mês para evitar erros de interpretação relacionados a variações sazonais (Ellison, 2012).

Figura 7-4. Mensuração de estaca de sedimentação. Foto: Clemente Coelho-Jr.

Análise dos Dados – Estaca de Sedimentação

Em cada sítio de observação, as taxas de alteração na elevação do substrato (sedimentação/erosão) devem ser calculadas conforme Ellison (2012):

$$\text{Alteração média (mm)} = \frac{\text{Total de (1ª medida - 2ª medida)}}{\text{Número de estacas}}$$

$$\text{Taxa de alteração (mm/ano)} = \frac{\text{Alteração média} \times 365}{\text{Número de dias entre medidas}}$$

.....

* A Utilização do nível de pedreiro objetiva assegurar que as medidas sejam tomadas horizontalmente em relação ao topo da estaca.

Resultados negativos indicam que o sítio está sendo erodido, enquanto que positivos indicam que o sítio está sendo acrescido.

2) Dinâmica Vertical – Mesa de Sedimentação-Erosão (RSET-MH)

A mesa de sedimentação-erosão (*Rod Surface Elevation Table-Marker Horizon* - RSET-MH) é um método de alta precisão, desenvolvido para monitoramento de alterações na elevação de substratos inconsolidados (Boumans & Day-Jr, 1993; Cahoon *et al.*, 2002; Cahoon & Lynch, 2010; McIvor *et al.*, 2013; Stagg *et al.*, 2013).

Esse método vem sendo aplicado há mais de uma década em diversas localidades no mundo (Cahoon & Lynch, 2010). Ainda mais, esse método foi recentemente proposto como protocolo para monitoramento, em nível global, das alterações na elevação de substratos de zonas úmidas costeiras frente aos impactos causados pela elevação do NMRM, considerando assim, a integralização de redes de cooperação internacionais (Webb *et al.*, 2013).

A metodologia do RSET-MH combina (1) medidas de altura do solo acima da camada-base, geralmente uma camada de material consolidado, ou então, bastante coeso, no caso de áreas de depósitos sedimentares profundos; (2) com medidas de acréscimo sedimentar superficial tomadas a partir de marcos horizontais (Figura 7-5).

O método permite a mensuração de alterações na elevação do substrato em relação a uma camada de referência, consolidada e estável (depósitos sedimentares mais profundos), livres de movimentações verticais decorrentes de processos de produção e/ou decomposição de material orgânico, encharcamento e expansão térmica da água intersticial. A integração das medidas de alteração na elevação do substrato com as medidas de acréscimo sedimentar permite que a magnitude das alterações subsuperficiais sejam calculadas, representando uma grande vantagem sobre os métodos descritos anteriormente, os quais se limitam a detectar mudanças na altitude (elevação) do terreno ou na dinâmica sedimentar (erosão/deposição).

O equipamento consiste em (1) um longo tubo enterrado no sedimento, até o ponto de resistência mecânica à penetração do solo (marco subterrâneo estável), o qual é deixado permanentemente no campo; e (2) um conjunto de medições portátil (RSET-MH) posicionado sobre o ponto fixo (tubo enterrado) a cada coleta de dados (Figura 7-5). O tubo enterrado atua como ponto de referência, o qual deverá ser mantido estável ao longo do tempo, a menos que a camada consolidada seja afetada por eventos tectônicos. Em complementação, marcos horizontais devem ser implantados para se estimar a taxa de sedimentação, informação necessária para o cálculo da alteração da elevação subsuperficial do substrato (Figura 7-5 C). Esses marcos consistem em uma camada de feldspato em pó disposta sobre o sedimento em área conhecida e devidamente identificada (Figura 7-5 C). Com o passar do tempo, amostras de perfil são coletadas para verificação do acréscimo sedimentar em milímetros ou centímetros (Figura 7-5 D).

Em nível de perfil ou transecto (escala bosque de mangue; *sensu* Schaeffer-Novelli *et al.*, 2005), o delineamento amostral consistirá de duas estações de coleta de dados, sendo uma na franja do bosque, próximo à margem do canal, e outra na zona entre a porção mais interna do bosque e a feição apicum/clareira topográfica, restinga, ecótono (Figura 7-5). Em cada estação deverão ser instalados quatro tubos fixos (marcos subterrâneos estáveis), aleatoriamente, distantes entre si considerando uma escala de dezenas de metros (mínimo de 30 m). Ao redor de cada tubo fixo devem ser instalados cinco marcos horizontais para o monitoramento do acréscimo sedimentar superficial, totalizando vinte marcos horizontais, por estação de coleta (n=40 por transecto).

Figura 7-5. A - Perfil esquemático da mesa de sedimentação-erosão (RSET-MH) para o monitoramento de alterações na elevação de substratos inconsolidados. B - Pesquisador registrando medidas a partir do conjunto de medição em área de manguezal. C - Marcos horizontais recém-instalados ao redor do tubo fixo (marco subterrâneo). D – Exemplo de amostra extraída com core para mensuração da taxa de acréscimo sedimentar superficial. Imagens extraídas e modificadas de Cahoon & Lynch (2010) e McIvor *et al.* (2013).

Os procedimentos de campo, inicialmente, são mais dispendiosos quando comparados aos métodos expostos anteriormente, porém apresentam a vantagem de permanecer íntegros por período de tempo bastante superior. Uma breve descrição quanto à execução das etapas de instalação e coleta de dados é apresentada a seguir:

- Plataformas de madeira, alumínio ou outro material resistente, móveis ou fixas, devem ser previamente instaladas em campo. Essas plataformas serão utilizadas para evitar o pisoteio da área (superfície do sedimento) a ser monitorada. A partir dessas plataformas será instalado o tubo fixo (marco subterrâneo estável) que receberá o conjunto de medição (RSET-MH), bem como onde serão realizadas as medidas das alterações na elevação do substrato (monitoramento);
- Obs.: O roteiro metodológico para instalação do tubo fixo que compõe o marco subterrâneo estável, bem como opções disponíveis em termos de materiais e tecnologias, são descritos em detalhe por Cahoon & Lynch (2010). Considerando a complexidade do processo de instalação, bem como a riqueza de detalhes provida pelos autores-inventores deste método recomenda-se consulta à fonte original. Desse modo, este tópico limita-se a explicitar os procedimentos de coleta de dados em campo, considerando sua lógica e vantagens sobre outros métodos, conforme discutido anteriormente;

- Os tubos fixos (marcos subterrâneos) deverão ser georreferenciados, com precisão vertical mínima de 5 cm, o qual deve ser ajustado com *DATUM* oficial (por exemplo, IBGE etc.), permitindo assim o cruzamento dos dados de elevação com registros de variações do NMRM (como dados de marégrafos ou *data-loggers* instalados próximos ou na área de estudo);
- O conjunto de medições portátil (RSET-MH) consiste em um braço articulado ao longo do qual um jogo de varetas móveis é disposto (Figura 7-5). Em campo, esse conjunto é acoplado a uma base fixa (marco subterrâneo estável) previamente instalada;
- O nível (ângulo de 90°) em relação à superfície do sedimento é ajustado no braço articulado e as alterações na elevação do substrato são registradas a partir das variações nas alturas do jogo de varetas. As medidas são tomadas na porção das varetas localizadas acima do braço articulado (Figura 7-5B);
- Devem ser registradas medidas nas quatro direções (quadrantes) em relação ao tubo enterrado;
- Para se estimar a taxa de sedimentação, informação necessária para o cálculo da alteração da elevação subsuperficial do substrato, marcos de acréscimo sedimentar superficial (marcos horizontais) devem ser implantados (Fig. 7-5). Tais marcos são confeccionados com feldspato em pó espalhado sobre a superfície do sedimento (área conhecida, *i.e.*, *quadrats* de 50 x 50 cm), que deverá formar uma camada de cor e textura características (branca e coesa). Ao longo do tempo, espera-se que esse marco seja gradativamente recoberto por camada de sedimento. Portanto, recomenda-se marcar com estacas de PVC ao menos um dos vértices de cada marco horizontal;
- A coleta de material para estimar a taxa de sedimentação deve ser feita com um *core* (diâmetro variável, entre 3-5 cm) e a leitura da espessura do material depositado sobre a camada de feldspato feita com régua graduada em milímetros (Figura 7-5D). Recomenda-se que duas amostras sejam coletadas para obter uma medida de variabilidade por marco horizontal;
- As medições devem ser registradas em intervalos anuais. Em caso de intervalos inferiores a um ano, um maior número de marcos horizontais é desejável, considerando que com o passar do tempo a área (*i.e.*, cm²) do marco será completamente amostrada;
- Repita as medições em intervalos anuais, preferencialmente, sempre no mesmo mês para evitar erros de interpretação relacionados a variações estacionais.

Os materiais necessários, bem como um roteiro metodológico para construção dos kits RSET-MH originais (Figura 7-5), são descritos em detalhe por Cahoon *et al.*, (2002) e Cahoon & Lynch (2010). Alternativamente, um modelo análogo ao RSET-MH, de baixo custo, desenvolvido pelo Núcleo de Estudos do Mar – NEMAR, da Universidade Federal de Santa Catarina, encontra-se em fase de testes.

Análise dos Dados – Mesa de Sedimentação-Erosão

Os dados gerados a partir das leituras das alterações na elevação do substrato, conjunto composto por braço articulado e jogo de varetas, são utilizados para calcular a taxa de alteração na elevação do substrato em relação a camada consolidada que seria o ponto de resistência mecânica à penetração do solo ou marco subterrâneo estável. Em contrapartida, os marcos horizontais (ou de acréscimo sedimentar superficial) fornecerão informações sobre as taxas de acréscimo de sedimento. Desse modo, subtraindo a taxa de acréscimo da taxa de alteração na elevação do substrato em relação a camada consolidada, é possível calcular a taxa de alteração subsuperficial conforme equação:

$$AES = Ac + ASS$$

Onde: AES = Alteração na elevação do substrato (mm/ano)

Ac = Acréscimo (mm/ano)

ASS = Alteração subsuperficial (mm/ano)

VARIÁVEIS AMBIENTAIS

Além da coleta de dados sobre dinâmica vertical do substrato de manguezais e marismas, é interessante que a cada campanha amostral sejam obtidas informações das seguintes variáveis:

- Séries históricas de pluviosidade; temperatura; vazão dos rios;
- Recorrência de eventos extremos.

Outras variáveis como, por exemplo, salinidade intersticial, taxas de produção de biomassa subterrânea, taxas de decomposição da matéria orgânica no sedimento e turbidez dos corpos d'água, podem ser incorporadas aos procedimentos descritos neste protocolo. Tais variáveis poderão auxiliar no entendimento de questões relacionadas a movimentação vertical do substrato. Aumento na salinidade intersticial, por exemplo, pode indicar maior intrusão e predominância de água marinha no ambiente.

A água do mar contém maiores quantidades de sulfato, que por sua vez é um dos principais “combustíveis” das bactérias redutoras presentes nos sedimentos de manguezais e marismas. Desse modo, espera-se um aumento na atividade bacteriana seguido de um decréscimo (redução) na quantidade de matéria orgânica. Paralelamente, maiores níveis de salinidade exercem papel estressor para as comunidades vegetais típicas de manguezais e marismas, com impactos negativos sobre a produtividade do sistema. Considerando maior salinidade e menores taxas de produção de material vegetal (raízes), espera-se que ocorra subsidência e erosão do substrato, impossibilitando qualquer compensação em relação à elevação do nível do mar.

Nesse sentido, é imprescindível que sejam adotadas metodologias consagradas, disponíveis na literatura internacional. Ademais, recomenda-se que a mensuração destas variáveis seja compatível espacial e temporalmente com o delineamento amostral ora proposto e que o esforço amostral, número de unidades amostrais ou réplicas, seja suficiente para captar a variabilidade ambiental.

AUTORES

André Scarlate Rovai – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

(autor para correspondência: asrovai@gmail.com)

Clemente Coelho Junior – Universidade de Pernambuco – UPE e Instituto BiomaBrasil

Ricardo Palamar Menghini – Ministério Público do Estado de São Paulo e

Instituto BiomaBrasil

REFERÊNCIAS

- Barcellos, R.L.; Coelho-Jr, C; Travassos, P.E.P.F.; Silva, M.S.; Lins, S.R.R.M.; Camargo, P.B. 2011. "Morphological and sedimentary short term variations in an oceanic island. Sueste beach system, Fernando de Noronha Island, South Atlantic, Brazil". *Journal of Coastal Research (SI)*, 64.
- Blasco, F.; Saenger, P.; Janodet, E. 1996. "Mangrove as indicators of coastal change". *Catena*, 27: 167-178.
- Boumans, R.; Day, J.r., 1993. "High precision measurements of sediment elevation in shallow coastal areas using a sedimentation-erosion table". *Estuaries*, 16:375-380.
- Cahoon, D.R.; Lynch, J. 2010. *Surface elevation table (SET): U.S. Geological Survey, Patuxent Wildlife Research Center*. Disponível em: <<http://www.pwrc.usgs.gov/set/>>. Acesso em: Outubro 2013.
- Cahoon, D.R.; Lynch, J.C.; Perez, B.C.; Segura, B.; Holland, R.; Stelly, C.; Stephenson, G.; Hensel, P. 2002. "A device for high precision measurement of wetland sediment elevation: II. The rod surface elevation table". *Journal of Sedimentary Research*, 72(5):734-739.
- Coelho Jr, C. 1998. *Desenvolvimento estrutural de bosques de mangue ao longo de gradientes de inundação - Cananéia, São Paulo*. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, p. 100.
- Coelho-Jr, C. (no prelo) *Gradiente de inundação pelas marés e a drenagem terrestre sobre o comportamento da salinidade intersticial de bosque de mangue de Cananéia, São Paulo, Brasil*. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgcimang80_Junior.pdf>. Acesso em: Agosto 2013.
- Cunha-Lignon, M. 2001. *Ecologia de Manguezais: Dinâmica do manguezal no sistema de Cananéia-Iguape, Estado de São Paulo – Brasil*. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, p. 105.
- Ellison, J.C. 1993. "Mangrove retreat with rising sea-level, Bermuda". *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 37: 75-87.
- Ellison, J.C. 2012. *Climate change vulnerability assessment and adaptation planning for mangrove systems*. Washington DC: World Wildlife Fund. p. 130. Disponível em: <<http://worldwildlife.org/publications/climate-change-vulnerability-assessment-and-adaptation-planning-for-mangrove-systems>>
- Gilman, E.; Ellison, J.; Sauni Jr, I.; Tuaumu, S. 2007. Trends in surface elevations of American Samoa mangroves. *Wetlands Ecology and Management*, 15: 391– 404.
- Marengo, J. A. 2006. *Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*. Brasília: MMA, Série Biodiversidade, v. 26.
- McIvor, A.L.; Spencer, T.; Möller, I.; Spalding, M. 2013. *The response of mangrove soil surface elevation to sea level rise. Natural Coastal Protection Series: Report 3. Cambridge Coastal Research Unit Working Paper 42*. Published by The Nature Conservancy and Wetlands International. p. 59. Disponível em: <<http://coastalresilience.org/science/mangroves/surface-elevation-and-sea-level-rise>>.
- Menghini, R.P. 2004. *Ecologia de Manguezais: Grau de Perturbação e processos regenerativos em bosque de mangue da Ilha Barnabé, São Paulo, Brasil*. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, p. 96.
- Menghini, R.P. 2008. *Dinâmica da recomposição natural de bosques de mangue impactados: Ilha Barnabé (Baixada Santista, SP, Brasil)*. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. 206p.
- Menghini, R.P.; Coelho-Jr, C.; Rovai, A. S.; Cunha-Lignon, M.; Schaeffer-Novelli e Cintrón, G. 2011. "Massive mortality of mangroves forests in Southeast Brazil (Baixada Santista, State of São Paulo) as a result of harboring activities". *Journal of Coastal Research (SI)*, 64: 1793-1797.

- Pellegrini, J.A.C. 2000. *Caracterização da planície hipersalina (apicum) associado a um bosque de mangue em Guaratiba – Baía de Sepetiba – RJ*. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, p. 101.
- Schaeffer-Novelli Y.; Cintrón, G.; Cunha-Lignon, M.; Coelho-Jr., C. 2005. “A conceptual hierarchical framework for marine coastal management and conservation: a Janus-like approach”. *Journal of Coastal Research* (SI), 42:1-7.
- Schaeffer-Novelli, Y.; Cintrón-Molero, G.; Soares, M. L. G. 2002. “Mangroves as indicators of sea level change in the muddy coasts of the world”. pp. 245-262. In: Healy, T.; Wang, Y.; Healy, J.-A. (Eds.). *Muddy Coasts of the World: Processes, Deposits and Function*. Elsevier Science B.V.
- Snedaker, S.C. 1993. Impacts on mangroves. pp. 282-305. In: G. A. Maul (ed), *Climate change in the intra-american seas: implications of future climate change on the ecosystems and socio-economic structure of the marine and coastal regimes of the Caribbean Sea, Gulf of Mexico, Bahamas and N.E. Coasts of S. America*. Edward Arnold, London.
- Soares, M.L.G. 2009. “A conceptual model for the responses of mangrove forests to sea level rise”. *Journal of Coastal Research* (SI), 56:267-271.
- Souza, F.E.S. 2004. *Evolução morfodinâmica da região de influência estuarina do Rio Curimataú/RN, com ênfase nas alterações do ambiente deposicional de manguezal e a integração de geodados em SIG*. Tese de Doutorado. Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 150p.
- Spalding, M.D.; Fox, H.E.; Allen, G.R.; Davidson, N.; Ferdaña, Z.A.; Finlayson, M.; Halpern, B.S.; Jorge, M.A.; Lombana, A.; Lourie, S.A.; Martin, K.D.; McManus, E.; Molnar, J.; Recchia, C.A.; Robertson, J. 2007. “Marine Ecoregions of the World: a bioregionalization of coast and shelf areas”. *BioScience*, 57: 573-583
- Stagg, C.L.; Sharp, L.A.; McGinnis, T.E.; Snedden, G.A. 2013. *Submergence vulnerability index development and application to coastwide reference monitoring system sites and coastal wetlands planning, protection and restoration act projects: U.S. Geological Survey Open-File Report 2013–1163*. p. 12. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/of/2013/1163/>>.
- Syvitski, J.P.M.; Vörösmarty, C.J.; Kettner, A.J.; Green, P. 2005. “Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean”. *Science*, 308(5720): 376–380.
- Thom, B.G. 1982. “Mangrove ecology – a geomorphological perspective”. pp. 3–17. In: Clough, B.F. (Ed.) *Mangrove Ecosystems in Australia*. Canberra: Australian National University Press.
- Twilley, R.R.; Rivera-Monroy, V.H.; Chen, R.; Botero, L. 1999. “Adapting an ecological mangrove model to simulate trajectories in restoration ecology”. *Marine Pollution Bulletin*, 37: 404–419.
- Twilley, R.R.; Rivera-Monroy, V.H. 2005. “Developing performance measures of mangrove wetlands using simulation models of hydrology, nutrient biogeochemistry and community dynamics”. *Journal of Coastal Research*, 40: 79–93.
- Webb, E.L.; Friess, D.A.; Krauss, K.W.; Cahoon, D.R.; Guntenspergen, G.R.; Phelps, J. 2013. “A global standard for monitoring coastal wetland vulnerability to accelerated sea-level rise”. *Nature Climate Change*, 3: 458-465.
- Woodroffe, C.D. 1990. “The impact of sea level rise on mangroves shorelines”. *Progress in Physical Geography*, 14: 483-520.