Capítulo 4

Monitoramento do ecossistema manguezal: estrutura e características funcionais

Yara Schaeffer-Novelli
Claudia Câmara do Vale
Gilberto Cintrón

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

SCHAEFFER-NOVELLI, Y., VALE, CC., and CINTRÓN, G. Monitoramento do ecossistema manguezal: estrutura e características funcionais. 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. 62-80. 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 4

MONITORAMENTO DO ECOSSISTEMA MANGUEZAL: ESTRUTURA E CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS

Yara Schaeffer-Novelli, Claudia Câmara do Vale, Gilberto Cintrón

Foto: Claudia C. Vale

INTRODUÇÃO

O aquecimento global tem gerado uma das maiores polêmicas da ciência, pois a complexidade do assunto é reforçada pelas implicações sociais, econômicas e políticas decorrentes das mudanças climáticas que podem afetar toda a humanidade. A modificação da composição da atmosfera, provocada pela emissão dos gases do efeito estufa, principalmente pela ação do homem e seu possível efeito no aquecimento global, seguida das consequências climáticas desse fato, ganhou relevância na década de 1970, levando à criação, em 1988, do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC – sigla em inglês) pela Organização Meteorológica Mundial (OMM, órgão da Organização das Nações Unidas), em conjunto com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), congregando um grupo interdisciplinar, com participação aberta para todos os países membros da OMM e do PNUMA.

Ao longo da história geológica da Terra ocorreram vários ciclos glaciais. Apesar disso, a compreensão de que o clima não é constante, data da década de 1840, a partir de evidências cuja veracidade é indiscutível. Embora o registro instrumental tenha começado há aproximadamente 150 anos, indicadores indiretos (*proxy*) de anéis de crescimento das árvores, pólen em sedimentos de pântanos e lagos, registros de parâmetros físicos e químicos em testemunhos de gelo, e foraminíferos oceânicos em sedimentos, fornecem ricas evidências paleoclimáticas (Barry & Chorley, 2013).

Na década de 1970 as preocupações estavam voltadas para um novo período glacial e, consequentemente, para um resfriamento global, com base tanto na duração do Último Máximo Glacial (UMG), de aproximadamente 10.000 anos, na quantidade de aerossóis na atmosfera e na diminuição da radiação solar incidente, como no aumento da extensão da cobertura de neve no Hemisfério Norte. Paradoxalmente, nessa mesma década, iniciam-se as inquietações sobre o aumento do dióxido de carbono na atmosfera e o aquecimento provocado pelo efeito estufa (Cuadrat & Pita, 2004).

Para Barry & Chorley (2013), mesmo que os sinais do clima sejam reais, é impossível atribuí-los a causas únicas, em função da complexidade do sistema climático que se caracteriza pela interação entre os vários componentes, bem como aos eventos de diferentes escalas espaço-temporais. A Figura 4-1 apresenta, de forma simplificada, as diversas interações entre os elementos do clima e as relações do sistema Terra-atmosfera.

Figura 4-1. Esquema de processos que causam variabilidade e mudanças no sistema climático. Fonte: Barry & Chorley (2013 *apud* Alley *et al.*, 2007).

As escalas do clima não devem ser compreendidas apenas como as dimensões espaciais e temporais nas quais os elementos climáticos se manifestam, mas como processos dinâmicos dotados de todas as forças terrestres, atmosféricas e cósmicas que exercem ou provocam quaisquer tipos de interferência no sistema climático, incluídas também as intervenções antrópicas e sócioespaciais (Amorim & Sant'Anna Neto, 2013).

Para o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, a variabilidade climática refere-se às flutuações no estado médio e outras estatísticas de elementos climáticos em todas as escalas espaciais e temporais, além das de eventos climáticos individuais. Tais variações podem, ainda, ser associadas a processos internos naturais do sistema climático ou a variações nas forçantes naturais ou antropogênicas. Enquanto por mudanças climáticas, o IPCC considera como *uma variação estatisticamente significativa no estado médio do clima ou em sua variabilidade, que persiste por um período prolongado, geralmente de décadas ou período maior*. Tais mudanças podem ser atribuídas a processos internos naturais, forçantes externas naturais ou mudanças antropogênicas persistentes na composição atmosférica, e no uso e na ocupação da terra. A distinção entre variabilidade e mudança depende da estrutura temporal em que se consideram as estatísticas climáticas.

Em função dessa discussão conceitual, parece mais clara a definição estabelecida pela *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) que define mudança como *uma alteração no clima que é atribuída direta ou indiretamente à atividade humana, que modifica a composição da atmosfera e que se soma à variabilidade climática natural observada ao longo de escalas temporais comparáveis*. Esse conceito é útil, pois deixa claro o que é antrópico e o que é natural.

Para entender como tais mudanças repercutem sobre o sistema Terra-atmosfera é necessário compreender o que são as forçantes, os *feedbacks* e as respostas climáticas. Nesse sentido, há de se ter claro que a medida fundamental do estado climático da Terra é *a média global de temperatura do ar junto à superfície* (Nimer, 1979; Foucault, 1993; Barry & Chorley, 2013).

Os fatores forçantes representam perturbações impostas sobre o sistema global e são definidos como positivos quando provocam aumento da temperatura média global na superfície e negativos quando provocam diminuição. Tais fatores podem ser naturais e antrópicos. Já os *feedbacks* podem ser compreendidos a partir de um exemplo que ocorre na natureza, sendo o *feedback* do vapor d'água um dos mais importantes. *O aquecimento resulta em mais evaporação, e uma atmosfera mais quente pode conter mais vapor d'água, que é um gás do efeito estufa, logo, causa maior aquecimento* (Barry & Chorley, 2013: 435). Os *feedbacks* também podem ser positivos e negativos.

No contexto dos protocolos para monitoramento de manguezais e marismas, é de extrema importância a identificação dos processos associados às principais forçantes climáticas. Dentre eles pode-se citar a tectônica de placas, as periodicidades astronômicas, a variabilidade solar, as erupções vulcânicas e as mudanças induzidas pelo homem (antrópicas). Embora a característica comum dessas forçantes seja o fato de influenciarem aspectos do balanço de radiação da Terra, elas se diferenciam pelas escalas temporais em que ocorrem. A tectônica de placas atua em escala de milhões de anos, as forçantes astronômicas de Milankovich atuam em escalas de dezenas de milhares de anos, já as alterações na radiação solar e as atividades vulcânicas têm efeitos imediatos.

As variações dos níveis dos oceanos são controladas, principalmente, pelas flutuações nos volumes das bacias oceânicas, principalmente em função da tectônica de placas (tectono-eustasia), flutuações nos volumes das águas nas bacias oceânicas, principalmente por fenômenos de glaciação e de deglaciação (glacio-eustasia) e, finalmente, pelas deformações das superfícies oceânicas de origem gravitacional (geoideustasia). Por outro lado, as mudanças nos níveis dos continentes, submetidas aos movimentos tectônicos, horizontais e verticais, afetam a crosta terrestre por mecanismos de dinâmica interna de duração geológica longa e/ou instantânea. Movimentos isostáticos, relacionados às variações nas sobrecargas exercidas pela expansão e retração das geleiras sobre os continentes, tanto pela deposição como pela erosão em bacias sedimentares ou pela transgressão e regressão sobre as plataformas continentais (hidro-isostasia), também acarretam mudanças no nível dos continentes, tanto quanto as deformações das superfícies continentais devidas, principalmente, a causas gravitacionais (Suguio, 1999).

Para Murray-Wallace & Woodroffe (2014), o Período Quaternário, o mais recente da história da Terra, foi caracterizado por repetidos crescimento e decaimento das placas de gelo continentais e polares e pelas expressivas flutuações no nível do mar em escala global, cujos estudos apontam tal período como aquele que mais tem sido estudado acerca das variações do Nível Médio Relativo do Mar – NMRM – , em todo o mundo, e suas repercussões sobre os sistemas costeiros.

As hipóteses sobre as causas da elevação do nível relativo do mar são encaradas hoje com menos controvérsias nas Ciências da Terra, embora raramente tenham sido resolvidas dessa forma. Uma hipótese pode parecer válida em um determinado exemplo, mas uma explicação alternativa pode ser mais apropriada para outro local ou em outro momento, e às vezes várias hipóteses são amalgamadas em uma explicação complexa, conforme afirmam Murray-Wallace & Woodroffe (2014). Ainda segundo esses mesmos autores, a modelagem de sistemas vem fornecendo um meio particularmente útil de conceituar as mudanças

do nível relativo do mar durante o Quaternário, incorporando a diversidade de processos inter-relacionados dentro de litosfera, da hidrosfera, da pedosfera, da biosfera e da atmosfera da Terra que interagem para gerar tais mudanças (Figura 4-2).

Figura 4-2. Mudanças relativas ao nível do mar em escalas de tempo do Quaternário (ka), representado como um sistema de processo-resposta e ilustrando a inter-relação entre processos internos (endógenos) e processos externos (exógenos). O diagrama revela que inúmeros processos são responsáveis por alterações no nível do mar (a partir de Murray-Wallace & Woodroffe, 2014, p.37).

A despeito das origens que causam as mudanças do nível relativo do mar e, conseqüentemente, que atingem manguezais e marismas ora de forma erosiva, ora deposicional, provocando ou o desmantelamento da vegetação ou o avanço da mesma em direção à linha da costa. Tanto por mudanças no uso e ocupação de uma determinada bacia que tem no seu nível de base os bosques de mangue em pleno desenvolvimento, quanto pelas mudanças climáticas locais e/ou regionais (microescala e mesoescala), os manguezais constituem excelentes bioindicadores, respondendo aos gradientes de inundação, de nutrientes e de salinidade.

O grau de desenvolvimento ou de complexidade que um manguezal pode alcançar depende de fatores externos (abióticos) que incidem sobre o sistema e o regulam. Esses fatores são forçantes de natureza atmosférica, hidrográfica, oceanográfica e geológica. O grau de desenvolvimento alcançado é, portanto, um índice de quão ótimo ou desfavorável é um determinado local para o desenvolvimento do manguezal. Por sua vez, o grau de complexidade adquirido atua sobre as características funcionais do sistema.

No ambiente do manguezal atuam muitas forças, de diferentes intensidades e frequências, sendo altamente subsidiadas por fontes externas de energia, provenientes da energia do Sol que se reflete nas condições climáticas de um bosque. A ação das marés, das precipitações, dos aportes de água doce e salgada, dos *inputs* de sedimentos fluviais e marinhos são captadas pelas espécies vegetais presentes no ambiente e

transformadas em estrutura florestal. Além disso, os sistemas frontais, sobretudo nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, têm um papel muito importante no que se refere às respostas que a feição bosque de mangue exibe em função da dinâmica atmosférica e da morfologia costeira. Quanto maior disponibilidade e abundância dessas energias, maior desenvolvimento será alcançado pelos componentes vegetais (Cintrón *et al.*, 1984; Cintrón & Schaeffer-Novelli, 1984; Twilley, 1995; 2001). A interação entre as forças e as respostas do ambiente, Odum, (1967 *apud* Cintrón & Schaeffer-Novelli, 1984) denomina “assinatura energética” (Figura 4-3).

Figura 4-3. Esquema das fontes de energia e das forças naturais que atuam sobre o ecossistema manguezal. Fonte: Clemente Coelho-Jr, modificado de Twilley (2001).

O ecossistema manguezal pode apresentar estrutura caracterizada por um *continuum* de feições: lavado, mangue (bosque de mangue) e apicum. Como lavado, considera-se a feição exposta à maior frequência de inundação, apresentando substrato lamoso ou areno-lamoso exposto, desprovido de qualquer cobertura vegetal vascularizada. A feição mangue apresenta cobertura vegetal típica, constituída por espécies arbóreas que lhe conferem fisionomia peculiar. Enquanto que a feição apicum pode estar envolvida pela feição mangue, ou limitando-se a esta em sua porção mais interna, atingida pelas águas estuarinas ou marinhas nas preamares de sizígia, equinociais e/ou empilhadas por aspectos da dinâmica atmosférica, tais como os sistemas frontais ou frentes frias*.

O lavado, por ser a feição mais exposta à inundação pelas marés, pode ser erodido rapidamente por ocasião dos eventos de grandes ondas, marés meteorológicas e sistemas frontais. Pode haver erosão acelerada de tais áreas, fazendo com que seja perdido seu serviço de estabilização da feição seguinte (mangue). A feição mangue, conseqüentemente, pode vir a sofrer grandes perdas da estrutura arbórea. A erosão pode provocar queda de árvores em ritmo superior ao de sua recuperação populacional (ou de comunidade).

.....
* Existem diferentes tipos de massa de ar, sendo a zona de transição entre uma massa de ar quente e uma massa de ar frio chamada de frente. Elas são marcadas pela descontinuidade, uma vez que é uma área de transição térmica, higrométrica e barométrica.

O grande aporte de água doce pode vir a causar maior colonização por espécies terrestres ou dulcícolas. Além disso, o assoreamento por sedimento terrígeno altera a composição sedimentar e a capacidade de estabelecimento das diferentes espécies de mangue.

A feição mangue (bosque de mangue) é composta por plantas lenhosas, chamadas de mangue. Nesse ambiente existem também espécies herbáceas, epífitas, hemiparasitas e aquáticas. Nas faixas de transição entre o bosque de mangue e os ecossistemas de terra firme, ou em manguezais alterados, podem ocorrer outras espécies vegetais, tais como o algodoeiro-da-praia (gênero *Hybiscus*), samambaia-do-mangue (gênero *Acrostichum*) e o mangue-de-botão (*Conocarpus erectus*). Quando a maré está baixa pode-se ver o praturá, gramínea do gênero *Spartina*, assim como algumas ciperáceas (*Scirpus*, *Eleocharis*, *Creneia*), espécies do ecossistema marisma que podem estar associadas ao ecossistema manguezal (Sugiyama, 1995). Dessa forma, torna-se claro afirmar que o termo mangue refere-se a uma das feições do ecossistema manguezal.

Várias epífitas crescem sobre a vegetação típica de mangue. São as diferentes espécies de líquens (Marcelli, 1992), musgos, samambais, gravatás, filodendros, orquídeas e cactos, como também micro e macroalgas que ocorrem na parte inferior dos troncos e sob os rizóforos e pneumatóforos do mangue. Sobre troncos e ramos das árvores observa-se, com certa frequência, uma semiparasita, a erva-de-passarinho, pertencente aos gêneros *Struthanthus* e *Phoradendron*, cujos frutos são muito apreciados pelas aves (Sugiyama, 1995).

O apicum, última feição do ecossistema manguezal, serve de zona de amortecimento. Com o aumento do NMRM ele poderia ser mais frequentemente inundado por água doce e por água salgada, criando novas áreas propícias à colonização de árvores de mangue.

OBJETIVOS

A partir do uso deste protocolo, pretende-se que o pesquisador entenda as respostas do ecossistema aos fatores locais. Tal conhecimento é de grande valor para entender seu funcionamento e, possivelmente, suas respostas às mudanças climáticas. A necessidade de pesquisa torna imprescindível a utilização de técnicas similares, de forma a permitir comparações entre os resultados obtidos ao longo do tempo e em diferentes localidades ao longo da costa, onde quer que ocorram manguezais.

MÉTODOS

PLANEJAMENTO AMOSTRAL

Considerando a necessidade de seleção de áreas para monitoramento que sejam mais vulneráveis aos possíveis impactos decorrentes do aumento do NMRM (*sensu* Ellison, 2012), devem ser consideradas, no mínimo, duas zonas ao longo de um perfil de inundação: (1) a franja do bosque de mangue, próximo ao curso d'água e (2) o ambiente de transição do bosque com outras feições típicas de manguezais (apicum e/ou clareira topográfica) ou com ecossistemas adjacentes, tais como vegetação de restinga, cordão praial, duna, encosta ou outras feições da Mata Atlântica, conforme se observa nas Figuras 4-4 e 4-5.

Figura 4-4. Exemplo de transecto ao longo de área de marisma, manguezal, ecótono e restinga. Espécies e gêneros vegetais encontrados na região de Cananéia, SP. Esquema: Sarah Charlier Sarubo.

Igualmente, subindo um nível de observação (escala de *setting* geomorfológico; Thom, 1982) faz-se necessária seleção de áreas vulneráveis dentro do sistema estuarino, ou seja, áreas mais sujeitas aos fatores associados às mudanças climáticas. Esse é o cenário encontrado na foz de rios ou estuários (Thom, 1984). Ainda há de se considerar trechos dentro desta zona, que seria o estuário inferior, livres de situações extremas de dinamismo sedimentar, como meandros, por exemplo, por serem áreas onde se verifica maior influência de processos de progradação e de 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 nível local (por exemplo, dois ou mais perfis ou transectos dentro de um mesmo bosque de mangue) ou regional, nesse caso, diferentes manguezais, localizados ao longo de um segmento costeiro, seriam representados por um ou mais perfis ou transectos que agrupados representariam réplicas daquela região (i.e., Ecorregiões Marinhas, *sensu* Spalding *et al.*, 2007). Em outras palavras, nesta abordagem macroecológica, as ecorregiões marinhas seriam as regiões, e os manguezais dentro das regiões seriam as réplicas, os bosques de mangue, perfis ou transectos, dentro de cada manguezal seriam as pseudorréplicas destinadas a captar a variabilidade ambiental necessária, e assim por diante.

Figura 4-5. A figura demonstra que as áreas na frente do bosque de mangue, em todos os cenários (a, b, c, d), e a área do contato com a "terra firme", são aquelas que mais prontamente respondem a uma possível subida do nível do mar. Modificado de McIvor (2013).

AMOSTRAGEM

Parcelas fixas são demarcadas para facilitar o estudo das características estruturais e a composição florística do bosque ao longo do monitoramento. Na delimitação das parcelas, assim como no estabelecimento de perfis e transectos, podem ser utilizados fios de náilon previamente marcados de metro em metro ou fitas calibradas (trenas). A trena deverá ser de material resistente à água, tanto doce como salgada, e de leitura fácil.

A orientação das parcelas é importante, pois devem estar posicionadas perpendicularmente aos gradientes ambientais. Se o trabalho é em uma franja, parte anterior do bosque de mangue, a parcela deve estar orientada paralela à margem que seria o curso d'água principal. Se há diferenças estruturais significativas dentro do bosque, as parcelas devem atender às características fisiográficas e estruturais (Cintrón & Schaeffer-Novelli, 1984; Schaeffer-Novelli & Cintrón, 1986).

Visando a continuidade ou o monitoramento de um mesmo bosque, orienta-se que sejam levantadas as coordenadas geográficas, usando um GPS (*Geographical System Position*) de precisão. Além das coordenadas, é importante a leitura do rumo, que pode ser lida também pelo GPS ou por uma bússola.

Uma forma de amostragem empregada com frequência é, por exemplo, a de delimitar uma sequência de 10 ou mais parcelas contíguas, de 10 x 10 m, de forma a cobrir uma faixa de 10 x 100 m perfazendo 0,1 ha. Em se tratando de bosque maduro, com árvores de grande diâmetro, cada uma das parcelas deve ter seu tamanho adequado para incluir no mínimo 30 indivíduos (Cintrón & Schaeffer-Novelli, 1984; Schaeffer-Novelli & Cintrón, 1986) (Figura 4-6).

Figura 4-6. Delineamento amostral para levantamento estrutural – quantitativo e qualitativo – de um bosque de mangue, mostrando duas parcelas descontínuas, sendo uma composta por mais de uma espécie e outra composta apenas por uma espécie.

Há várias técnicas para determinar densidade, por exemplo, contando todas as árvores acima de um determinado diâmetro (DAP), geralmente, maior ou igual a 2,5 cm, em parcelas de dimensões conhecidas. O tamanho da parcela é função da densidade da vegetação e da uniformidade do bosque. O problema com parcelas excessivamente grandes é o tempo que se necessita para o trabalho de caracterização de todos os indivíduos e a maior chance de equívocos. A experiência é o melhor guia para selecionar o tamanho da amostra, devendo cada parcela incluir, no mínimo, 30 árvores adultas. Os tamanhos utilizados variam de 5 x 5 m em bosques muito jovens, 10 x 10 m em bosques com densidades de mais de 3.000 indivíduos/ha e parcelas de 10 x 50 m ou 10 x 100 m em bosques maduros, de grande porte.

VARIÁVEIS OBRIGATÓRIAS

Na prática, a feição que caracteriza mais propriamente o ecossistema manguezal é a da cobertura vegetal, que seria o bosque de mangue. A caracterização estrutural de um bosque passa então, a ser

a segunda etapa no estudo das áreas de manguezal. A descrição estrutural nos dá uma ideia do grau de desenvolvimento do bosque, além de permitir a identificação e a delimitação dos bosques similares, o que permite comparações entre áreas.

Nos estudos do ecossistema manguezal, as características mais frequentes na caracterização estrutural e funcional dos bosques, de acordo com Cintrón & Schaeffer-Novelli (1984); Schaeffer-Novelli & Cintrón (1986); English *et al.* (1997); Ellison (2012), são:

- Identificação das espécies presentes;
- Diâmetro das árvores;
- Altura média do bosque;
- Densidade;
- Área basal das árvores;
- Fitomassa aérea (ou volume);
- Descrição qualitativa do bosque.

CÁLCULOS DA ESTRUTURA DE UM BOSQUE DE MANGUE

Ao longo de um transecto ou transversal plotado no interior de um bosque de mangue, são demarcadas parcelas, cujos tamanhos variam em função da idade e do desenvolvimento estrutural do bosque. Uma vez demarcadas as parcelas são feitas as leituras dos dados estruturais do bosque. Para o cálculo de alguns valores é necessário o uso de fórmulas que, usadas em planilhas *Excel*, facilitam sobremaneira a padronização dos dados levantados para que os mesmos sejam comparáveis em qualquer lugar onde sejam mensurados. Planilhas para armazenamento dos dados estão disponíveis no ANEXO 4-I. Dessa forma, as fórmulas estão listadas a seguir:

Área Basal

A área basal é definida como sendo a área ocupada por um tronco com um dado diâmetro. O diâmetro é uma das medidas mais simples empregadas para fornecer informações quantitativas sobre a estrutura arbórea (Schaeffer-Novelli & Cintrón, 1986). A partir do diâmetro (D.A.P.) calcula-se a área basal e o volume. A área basal de um bosque é a soma das áreas basais de todos os troncos por unidade de área. Geralmente se expressa em termos de metros quadrados de madeira por hectare. Deve-se assumir que a árvore apresenta seção transversal circular e, preferencialmente, utilizar uma trena calibrada, de modo que cada divisão corresponda a 3,1416 cm (π), o que permite uma leitura direta do valor do diâmetro. Pode ser usada uma fita métrica de costura para medir o perímetro do tronco, obtendo, assim o diâmetro e dividindo o perímetro por 3,1416 cm. O diâmetro do tronco é medido à altura do peito do observador (D.A.P.), o que corresponde a aproximadamente a 1,3 m do solo. As medidas de diâmetro são agrupadas em classes de diâmetro < 2,5 cm; 2,5 cm - 10 cm; e > 10,0 cm e plotados os resultados em uma planilha (ANEXO 4-I).

Se a 1,3 m de altura a árvore apresentar anormalidades no seu tronco, mede-se o diâmetro que a árvore teria caso não houvesse anormalidade. Como no manguezal a presença de rizóforos, bifurcações, etc é bastante comum, deve-se adotar os seguintes procedimentos:

- Se os troncos se bifurcam à altura do peito, mede-se o diâmetro abaixo da bifurcação;
- Se os troncos se bifurcam abaixo da altura do peito, consideram-se dois troncos e registram-se duas medidas de diâmetro;

- Quando a árvore é formada por troncos muito próximos, ramificados acima ou abaixo da superfície do solo, mede-se o diâmetro de cada um deles;
- Quando houver deformidades nos troncos, à altura do peito, mede-se o diâmetro acima ou abaixo das imperfeições;
- No caso do gênero *Rhizophora*, o diâmetro deve ser medido acima da saída do último rizóforo.

Um valor de área basal é obtido para cada parcela, por espécie, tronco, classe de D.A.P. e condição da árvore que pode ser viva, morta ou com perda de biomassa, morte apical, característica que pode estar associada à salinização.

A área basal (g) de um tronco é dada por: $g = \pi r^2$ onde g é a área basal e r é o raio, mas como $r = D.A.P./2$, então em termos de diâmetro g é dado por:

$$g = \frac{\pi}{4(D.A.P.)^2}$$

Para expressar g em termos de m^2 , quando se mede o diâmetro em centímetros, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$g = \frac{\pi(D.A.P.)^2}{4(10.000)}$$

ou seja,

$$g(m^2) = 0,00007854 (D.A.P. \text{ cm})^2$$

A área basal do bosque é estimada a partir das medidas dos diâmetros (< 2,5 cm; 2,5 cm - 10,0 cm; >10,0 cm) dentro de uma área determinada. A seguir, os diâmetros individuais (troncos) são transformados em área basal aplicando-se a fórmula (3) e somando os valores obtidos. Esse método requer a delimitação de uma parcela com área conhecida para posteriormente transformá-la em 0,1 ha, ou seja, 1.000 m^2 , homogeneizando, dessa forma, a área de todas as parcelas (ANEXO 4-I).

Densidade Relativa

A densidade é o número de árvores/troncos por unidade de área. No sistema métrico a densidade é expressa em termos de indivíduos por hectare. A densidade de um bosque é função de sua idade e amadurecimento. Bosques jovens apresentam densidades elevadas, ou seja, muitos indivíduos/troncos por área e a área basal menor do que os bosques maduros, que apresentam baixa densidade por unidade de área. A densidade relativa (DeR) é expressa pela fórmula:

$$DeR = \frac{(N^{\circ} \text{ troncos por classe})}{N^{\circ} \text{ total troncos}} * 100$$

Dominância Relativa

A dominância relativa (DoR) é um parâmetro útil para descrever a comunidade arbórea. É utilizada para indicar a contribuição percentual em área basal de cada espécie vegetal, viva, morta ou com perda de biomassa, por classe de diâmetro, sendo representada pela seguinte fórmula:

$$DoR = \frac{(\text{Área basal por classe})}{\text{Área basal total}} * 100$$

A densidade relativa expressa a importância percentual de uma determinada classe diamétrica, por espécie e por estado (viva, morta ou com perda de biomassa). Juntamente com a dominância relativa, permite aproximações quanto ao grau de maturidade e como possível indicativo da sucessão.

Diâmetro Médio

O diâmetro médio do bosque é definido como sendo o diâmetro da árvore de área basal média. A média dos diâmetros ($\bar{X}$ DAP) é sempre menor que o diâmetro da área basal média (D.A.P.). A área basal g da árvore média é dada pela expressão:

$$g = \frac{\text{Área basal por hectare}}{\text{Nº árvores por hectare}}$$

Como a área basal é igual a:

$$g(m^2) = [D.A.P.][0,00007854]$$

Então, o diâmetro médio é dado por:

$$D.A.P. = \frac{\frac{g}{n}}{0,00007854}$$

ou seja,

$$D.A.P. = \sqrt{\frac{(g)(12732,39)}{n}}$$

O diâmetro da árvore de área basal média é uma medida descritiva de grande utilidade que permite a comparação entre bosques, além de permitir correlacionar com outras medidas estruturais.

Altura

Devem ser realizadas medidas de altura total, ou seja, a distância entre a base da árvore e a extremidade da copa, utilizando, de preferência um telêmetro óptico graduado para leituras de árvores tropicais. Nas árvores com altura inferior a 9 m, podem ser utilizados varas telescópicas ou tubos de PVC articuláveis, demarcados de 10 em 10 cm para facilitar a leitura. Essa leitura deve ser realizada com o cano apoiado no ombro de quem o está segurando e lida por outra pessoa. É importante que o trabalho de leitura das árvores seja realizado sempre pela mesma dupla. O resultado final da altura da árvore é a soma do comprimento dos canos com a altura da pessoa que segura os canos até o ombro. No caso do telêmetro soma-se a altura lida pelo aparelho mais a altura de quem fez a leitura da altura da árvore.

VARIÁVEIS AMBIENTAIS

Além da coleta de dados sobre a 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 ao longo da bacia/micro-bacia, da foz (estuário/delta) em estudo;

- Séries históricas de temperatura ao longo da bacia/micro-bacia, da foz (estuário/delta) em estudo;
- Dados de vazão dos rios, normalmente disponíveis pela Agência Nacional das Águas (ANA);
- Leitura do *Boletim Climadálise*, fornecido gratuitamente pelo INPE/CPTEC, para avaliação dos sistemas frontais e outros eventos extremos como excesso ou escassez de chuva;

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 à movimentação vertical do substrato. Aumentos na salinidade intersticial, por exemplo, podem 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 sedimento de manguezais e marismas. Desse modo, espera-se um aumento na atividade bacteriana seguido de um decréscimo na quantidade de matéria orgânica. Em paralelo, 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 maiores salinidades 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 dessas variáveis seja compatível espaço e temporalmente com o delineamento amostral ora proposto e que tal esforço (número de unidades amostrais ou réplicas) seja suficiente para captar a variabilidade ambiental necessária.

AUTORES

Yara Schaeffer-Novelli – Universidade de São Paulo – USP, Brasil
(autor para correspondência: novelli@usp.br)

Claudia Câmara do Vale – Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Brasil

Gilberto Cintrón – U.S. Fish and Wildlife Service – USF&WS, Estados Unidos

REFERÊNCIAS

- Alley, R. et al. 2007. *Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima: Sumário para os Formuladores de Políticas*. 26/04/2007. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas/> Acesso em: Abril 2014.
- Amorim, M.C.C.T; Sant'anna Neto, J.L. 2013. *Climatologia urbana e regional. Questões teóricas e estudos de caso*. São Paulo: Outras Expressões, p. 274.
- Barry, R.G; Chorley, R.J. 2013. *Atmosfera, tempo e clima*. Porto Alegre: Editora Bookman, p. 512.
- Cuadrat, L.J. M.; Pita, M. F. 2004. *Climatología*. Madrid: Ediciones Cátedra, p. 596.
- Cintrón, G.; Lugo, A.E.; Martinez, R. 1985. "Structural and functional properties of mangrove forests", pp. 53-66. In: W.G. D'Arcy; M.D.A. Correa (eds.) *The botany and natural history of Panama*. Saint Louis, Missouri: Missouri Botanical Garden.
- Cintron, G.; Schaeffer-Novelli, Y. 1984. "Methods for studying mangrove structure" pp. 91-113. In: Snedaker, S.C.; Snedaker, J.G. (Eds.). *The mangrove ecosystem: research methods*, UNESCO, Monographs on Oceanographic Methodology, 8, p. 251
- Ellison, J.C. 2012. *Climate change vulnerability assessment and adaptation planning for mangrove systems*. World Wildlife Fund, Washington DC. p. 130 Disponível em: <<http://worldwildlife.org/publications/climate-change-vulnerability-assessment-and-adaptation-planning-for-mangrove-systems>>
- English, S.; Wilkinson, C.; Baker, V. 1997. *Survey manual for tropical marine resources*. 2nd Edition. Townsville: Australian Institute of Marine Science, p. 390.
- Foucault, A. 1993. *Climat. Histoire du climat et avenir du milieu terrestre*. Paris: Fayard. 328 p.
- Marcelli, M.P. 1992. *Ecologia líquênica nos manguezais do Sul-Sudeste brasileiros*. Bibliotheca Lichenologica, Band 47. Berlin: J. Cramer. 288p + 31 fotos.
- 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. 59 pages. ISSN 2050-7941. URL: <http://coastalresilience.org/science/mangroves/surface-elevation-and-sea-level-rise>
- Murray-Wallace, C.V.; Woodroffe, C. 2014. *Quaternary Sea-Level Changes. A Global Perspective*. New York: Cambridge University Press, p. 484.
- Nimer, E. 1979. "Clima da Região Sudeste". In: *Geografia do Brasil. Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE.
- Schaeffer-Novelli, Y.; Cintrón, G. 1986. *Guia para estudo de áreas de manguezal. Estrutura, função e flora*. São Paulo: Caribbean Ecological Research, p. 150.
- Suguio, K. 1999. *Geologia do Quaternário e mudanças ambientais (passado + presente = futuro?)*. São Paulo: Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, p. 366.
- 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
- Sugiyama, M. 1995. "A flora do manguezal". pp. 17-2. In: Schaeffer-Novelli, Y. (Coord.) *Manguezal ecossistema entre a terra e o mar*. São Paulo: Caribbean Ecological Research, p. 64.

- Thom, B.G. 1982. "Mangrove ecology – a geomorphological perspective". In: Clough, B.F. (Ed.) *Mangrove Ecosystems in Australia*. Canberra: Australian National University Press, pp. 3–17.
- Thom, B.G. 1984. "Coastal landforms and geomorphic processes". pp. 03-17. In: Snedaker, S.C.; Snedaker, J.G. (Eds.) *The mangrove ecosystem: research methods*. UNESCO. Monographs on Oceanographic Methodology, 8, p. 251.
- Twilley, R.R. 1995. "Properties of mangrove ecosystems related to the energy signature of coastal environments". pp. 43-62. In: Hall, C. (ed.) *Maximum Power: the ideas and applications of H.T Odum*. Boulder: The University Press of Colorado.
- Twilley, R.R. 2001. "Patterns process of mangrove ecosystems: response to changing environmental conditions of coastal regions". In: *Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar, San Andres, Resumos expandidos*. p. 9.

ANEXOS — CAPÍTULO 4

ANEXO 4-I – FORMULÁRIOS DE CAMPO

[illegible]

MEDIDAS ESTRUTURAIS DE UM BOSQUE - FICHA 2
FICHA DE LABORATÓRIO - TRANSFORMAÇÕES DOS VALORES DE DIÂMETRO (D.A.P.) EM ÁREA
BASAL

Local: Data:

Parcela: _____ Calculado por: _____

Observação:

[illegible]

ANÁLISE DA ESTRUTURA DE UMA PARCELA - FICHA 3

Local: _____	Data: _____	Parcela: _____
--------------	-------------	----------------

[illegible]