

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

NATHÁLIA MOREIRA DOS SANTOS

**OS MANGUEZAIS DO COMPLEXO ESTUARINO DE
PARANAGUÁ: VARIAÇÕES INTERDECADAIS,
DISTRIBUIÇÃO DA BIOMASSA AÉREA E FORMAS DE
USO DA MADEIRA**

**PONTAL DO PARANÁ
2013**

NATHÁLIA MOREIRA DOS SANTOS

OS MANGUEZAIS DO COMPLEXO ESTUARINO DE
PARANAGUÁ: VARIAÇÕES INTERDECADAIS,
DISTRIBUIÇÃO DA BIOMASSA AÉREA E FORMAS DE
USO DA MADEIRA

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em
Sistemas Costeiros e Oceânicos, Centro de Estudos do Mar,
Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná,
como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em
Sistemas Costeiros e Oceânicos.

Orientador: Prof. Dr. Paulo da Cunha Lana

Co-orientador: Prof. Dr. Mauricio de Almeida Noernberg

PONTAL DO PARANÁ
2013

CATALOGAÇÃO NA FONTE:
UFPR / SIBI - Biblioteca do Centro de Estudos do Mar

Santos, Nathália Moreira dos
S237m Os manguezais do complexo estuarino de Paranaguá: variações interdecadais, distribuição da biomassa aérea e formas de uso da madeira. / Nathália Moreira dos Santos. – Pontal do Paraná, 2013.
103f.; 29 cm.

Orientador: Prof. Dr. Paulo da Cunha Lana.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

1. Manguezais - Paranaguá. 2. Madeira. 3. Biomassa - Madeira. 4. Variação espaço-temporal. I. Título. II. Paulo da Cunha Lana. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD 583.42

*“OS MANGUEZAIS DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ:
VARIAÇÕES INTERDECADAIS, DISTRIBUIÇÃO DA BIOMASSA
AÉREA E FORMAS DE USO DA MADEIRA”*

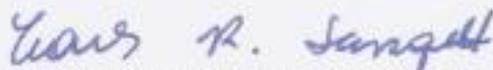
POR

Nathália Moreira dos Santos

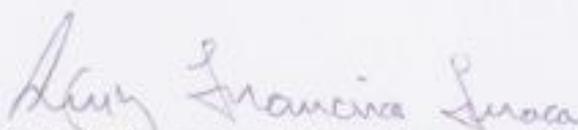
Dissertação nº 109 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre(a) no Curso de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:



Dr(a). Paulo da Cunha Lana - UFPR
Orientador(a) e Presidente(a)



Dr(a). Carlos Roberto Sanquetta- UFPR
Membro Examinador(a)



Dr(a). Luiz-Francisco Ditzel Faraco - ICMBio
Membro Examinador(a)

Pontal do Paraná, 27/03/2013.

TERMO DE APROVAÇÃO

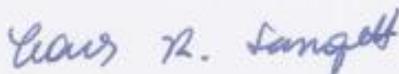
Nathália Moreira dos Santos

OS MANGUEZAIS DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ: VARIAÇÕES INTERDECADAIS, DISTRIBUIÇÃO DA BIOMASSA AÉREA E FORMAS DE USO DA MADEIRA

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre(a) em Sistemas Costeiros e Oceânicos, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:



Dr(a). Paulo da Cunha Lana - UFPR
Orientador(a) e Presidente(a)



Dr(a). Carlos Roberto Sanquetta- UFPR
Membro Examinador(a)



Dr(a). Luiz Francisco Ditzel Faraco - ICMBio
Membro Examinador(a)

Pontal do Paraná, 27/03/2013.

“When you watch the ocean we were given,
And look at how the waves are driven,
Towards any tropical coast,
Towards a forest, towards a host.
Towards a ground made for breeding,
Where one is lodged or comes for feeding,
Where the water meets the land,
Where you only find this plant.

Once a seedling must have stranded,
Making this site so enchanted,
Lots of curious floating fruits.
Unusual systems for dispersing,
Exotic life forms there for nursing,
Swimming, jumping, climbing trees,
Fish and crabs and more of these.

Many threats is what they face,
Try surviving their own ways,
All subjected to hard stress,
But still thriving nonetheless,
What on Earth is this unlike?
Which plant is forming a living dyke?
Who is it rooting in the sea?
The mangrove tree,
The mangrove tree.”
(Farid Dahdouh-Guebas)

“Meios para fazer coisas lindas e impossíveis existem”

“É preciso, antes de mais nada, querer”

(Amyr Klink)

Agradecimentos

- Ao meu orientador Prof. Paulo da Cunha Lana pela orientação e por me disponibilizar sempre toda a infraestrutura para a realização do trabalho. Foram ensinamentos, provocações e ideias que me fizeram conhecer um novo campo da ciência e de mim.
- Ao meu co-orientador Prof. Mauricio de Almeida Noernberg pela calma, paciência e ajuda com as inúmeras dúvidas que me surgiram durante todo o trabalho.
- A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro para bolsa de mestrado.
- Ao Centro de Estudos do Mar e ao Programa de Pós-graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos pela infraestrutura e material disponível para realização do trabalho.
- Ao Prof. Carlos Roberto Sanquetta pela disponibilidade de ajuda e dúvidas durante a realização do trabalho e pela parceria estabelecida para estudo dos manguezais.
- A Prof^ª. Ana Paula Dalla Corte pela disposição de me ajudar com parte do processamento de dados. Sem sua disponibilidade e tempo, o trabalho não teria tido uma etapa, que a meu ver é uma das mais bonitas. Agradeço também pela sugestão de uso do EVI na análise de regressão.
- Ao Instituto de Meteorologia (INMET) por disponibilizar parte dos dados de precipitação.
- A Diretoria de Hidrologia e Navegação da Marinha por disponibilizar dados da altura de maré da região.
- A Fundação Araucária por parte do suporte financeiro para a realização do trabalho.
- Ao Prof. José Milton Andriguetto Filho pelas sugestões e correções para melhoria do trabalho.
- Ao Prof. Jarbas Bonetti e ao Prof. Mário Soares pelas sugestões e correções no relatório.
- A Tiago Mafra, Ricardo Krul, Andrielli Medeiros e Josias Tavares pelos contatos nas comunidades para a realização das entrevistas sobre um tema tão delicado.
- A Carolina de Paiva Silva pela amizade, ajuda com imagens e softwares, ajuda em campo, risadas, vinhos, e por mostrar que não importa o quanto de lama tenha em você, o sorriso tem que ser mantido.
- Ao Marco Brustolin e Leonardo Sandrini pela ajuda com análises estatísticas e com o software R.
- Aos marinheiros Josias Tavares, Abraão de Campos e Moisés Serafim Mota por sempre nos trazer em segurança apesar de todo mau tempo e vento sul que surgia. A experiência e a paciência em todos os momentos foram essenciais para que cada dia de trabalho em campo desse certo.
- A toda Miss e Muso do mangue que corajosamente enfrentou a lama e os insetos para me ajudar nas coletas em campo. Gisele Moraes, Carol Silva, João Bosco Gusmão, Fernanda de Felipe, Inara Mendonça, Marco Brustolin, André Menegotto, Kalina Brauko, Steffany Baudisch, Maiara Miotto, Angélica Vianna, Marcella Córdova, Joana Carneiro, Cristiane Michelette, Iarema Carvalho, Landerson Zini, Anne Nonohay, Ana Luiza Martins, Ana Martini de Souza, Leonardo Sandrini, Alessandro Prantoni, Pedro Wadt.

- A todos os queridos membros do Laboratório de Bentos pelas conversas, risadas, churrascos e ajudas em muitos momentos e que tive o imenso prazer de conviver.
- Aos amigos da turma PGSisCO 2011 pela convivência, amizade, festas e por tornar o sofrimento de seminários e provas em algo mais divertido. Foi muito bom conhecer e estar com todos vocês.
- Aos amigos próximos e distantes, que com muito pensamento positivo e incentivo, me apoiaram e deram forças para que esse trabalho fosse realizado.
- Aos meus pais Dolores e Roberto e minha irmã Roberta pelo apoio, financiamento e paciência. Obrigada por me ajudarem a realizar mais uma etapa da minha vida, mesmo distante e sem entenderem muito bem o porque ou o que eu fazia.
- A todos aqueles que contribuíram de alguma maneira para a realização desse trabalho.

Muito obrigada!

Resumo

Os manguezais são considerados Áreas de Preservação Permanente (APP) pelo Código Florestal Brasileiro (Lei 12651/2012). Esta normativa restringe o uso de recursos madeireiros dos manguezais. Tais restrições conflitam com as demandas e necessidades de populações costeiras que dependem tradicionalmente destas florestas ao longo do litoral brasileiro. Assim, as formas de uso praticadas há centenas de anos se tornam ilegais. Visando proporcionar melhores bases científicas para uma análise da disponibilidade da madeira de manguezais ao longo do espaço e do tempo, este trabalho tem os objetivos de: avaliar a dinâmica espaço-temporal dos manguezais do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) entre 1986 e 2011; estimar a biomassa de madeira dos manguezais regionais combinando técnicas de campo e de sensoriamento remoto; descrever os usos atuais e pretéritos da madeira dos manguezais pelas comunidades pesqueiras da região. A área total de manguezais no complexo estuarino permaneceu estável ao longo dos últimos 25 anos. O processo natural de expansão foi contrabalançado por processos pontuais de retração da área de cobertura, principalmente devido à expansão urbana. A integração de técnicas de campo com técnicas do sensoriamento remoto evidenciou que a distribuição da biomassa aérea é heterogênea entre os tipos fisiográficos de franja, bacia e ribeirão. Os manguezais de franja e de bacia próximo à desembocadura possuem menor biomassa do que os manguezais de rios e de bacia das regiões internas com menor energia do CEP. A diferença na biomassa é um resultado a própria variabilidade estrutural das florestas. Os manguezais ribeirinhos possuem maior biomassa de madeira, maior desenvolvimento estrutural, ocorrência das três espécies e fácil acesso para os usuários, e hipotetiza-se que podem ser locais mais adequados para extração da madeira. Os principais usos pretéritos da madeira eram o corte para lenha e extração de tanino, com episódica comercialização, além do uso de subsistência. Os usos atuais estão mais relacionados com as demandas da pesca, incluindo varas para amarrar redes e construção de ranchos para embarcações. Essa redução dos usos tradicionais está associada à disponibilidade de novas fontes de energia, como o gás de cozinha e a eletricidade e redes de náilon. As restrições legais e a implantação de unidades de conservação também contribuíram para que o corte de árvores diminuísse ao longo do tempo.

Palavras-chave: Madeira, manguezal, dinâmica espaço-temporal, biomassa de madeira, formas de uso.

Abstract

Mangroves are considered Permanent Preservation Areas (PPA) by Brazilian Forest Code (Law 12651/2012). This normative restricts the use of wood resources from mangroves. These restrictions conflict with the demands and needs of coastal populations who depend traditionally on these forests along the Brazilian coast. Therefore, the forms of use practiced for hundreds of years were turned illegal. In order to provide a better scientific basis for the analysis of wood availability in mangroves along space and time, this work aims to: evaluate the spatial-temporal dynamics of the mangroves in the Paranaguá Estuarine Complex (PEC) from 1986 to 2011; estimate the wood biomass of the local mangroves combining field techniques and remote sensing; describe the current and past uses of mangrove wood by fishing communities of the region. The total area of mangroves in the estuarine complex keep stable over the last 25 years. The natural process of expansion was counterbalanced by punctual processes of retraction of the coverage area, principally due to urban expansion. The integration of field techniques with remote sensing techniques evidenced that the aboveground biomass is heterogeneous among the physiographic types of fringe, basin and riverine mangroves. The fringe and basin mangroves near the mouth have lower biomass than the riverine and basin mangroves of the internal regions with lower energy in the PEC. The difference in biomass is a result of the structural variability of the forests. The riverine mangroves have the higher wood biomass, higher structural development, occurrence of the three species and easy access for the users, and it is hypothesized these can be more adequate for the extraction of wood. The major past uses of the wood were cutting for firewood and tannin extraction, with episodic commercialization, beyond the subsistence use. The current uses are related with fishing demands, including stems for nets and construction of boat houses. This decreasing is associated with the availability of new energy sources, like gas and electricity and nylon nets. The legal restrictions and the implantation of protected areas also contributed for tree cuts decreasing over time.

Keywords: Wood, mangrove, spatial-temporal dynamics, wood biomass, use forms.

Sumário

Introdução Geral	1
Referências.....	3
Capítulo I	5
Dinâmica espacial dos manguezais no Complexo Estuarino de Paranaguá (Paraná, Brasil) entre 1986 e 2011 sob uma abordagem hierárquica.....	5
Resumo	5
1. Introdução	6
2. Métodos	9
2.1 Área de estudo.....	9
2.2 Estimativa da variação espaço-temporal por análise de imagens de satélite	11
2.3 Validação de campo	12
3. Resultados.....	14
3.1 Variação espaço-temporal.....	14
3.2 Validação de campo.....	21
3.2.1 Classes de idade e análise comparada.....	21
3.2.2 Retração	23
4. Discussão	26
4.1 Tendências de variação espaço-temporal de manguezais nos diversos níveis hierárquicos.....	26
4.2 Classes de idade dos manguezais.....	30
5. Considerações finais	32
6. Referências.....	34
Capítulo II	39
Distribuição espacial e disponibilidade de madeira, expressa como biomassa aérea, em manguezais de um estuário subtropical	39
Resumo	39
1. Introdução	40
2. Métodos	43
2.1 Área de estudo.....	43
2.2 Inventário florestal e estimativa de biomassa	44
2.3 Mapas de biomassa	46
3. Resultados.....	48
3.1 Caracterização geral da vegetação	48

3.2 Modelo de regressão	50
3.3 Estimativa e distribuição de biomassa	51
4. Discussão	56
5. Referências.....	60
Capítulo III.....	65
Usos presentes e pretéritos da madeira dos manguezais do Complexo Estuarino de Paranaguá (Paraná, Brasil)	65
Resumo	65
1. Introdução	66
2. Métodos	67
2.1 Área de estudo.....	67
2.2 Obtenção e análise de dados	69
3. Resultados.....	70
3.1 Usos atuais	74
3.2 Usos pretéritos	75
4. Discussão	77
5. Referências.....	85
Conclusão geral.....	89
Referências.....	90
Anexos	91

Introdução Geral

Os manguezais são sistemas costeiros dominantes em muitas regiões tropicais e subtropicais. No Brasil, sua área de cobertura é estimada em mais de 1 100 000 ha (Magris e Barreto, 2010). Reconhecidos como áreas de elevada produtividade primária, fornecem bens de importância econômica, como peixes, moluscos, crustáceos e recursos florestais. Entre estes bens, a madeira é usada para fins variados em muitas regiões do globo (Walters et al., 2008). No Brasil, o uso da madeira é ainda recorrente, particularmente pelas populações costeiras tradicionais, apesar da existência de poucos registros na literatura sobre suas formas de uso e apropriação. É conhecida a sua extração e uso principalmente no norte e nordeste, para construção, produção de lenha e carvão vegetal ou extração de remédios e tanino (Diegues, 2001; Glaser, 2003; Vasques et al., 2011). Na região sul, as árvores também são ou foram utilizadas para construção, combustível e extração de tanino (Bigarella, 1946; Diegues, 2001).

Os manguezais são considerados Áreas de Preservação Permanente (APP) pelo Código Florestal Brasileiro (Lei Federal 12651/2012). Esta normativa determina que as APPs devem ser protegidas, com a função de preservar recursos, a paisagem e a biodiversidade. A intervenção ou supressão da cobertura vegetal destas áreas somente é permitida para fins de utilidade pública, interesse social ou em atividades de baixo impacto ambiental. Apesar da possibilidade dessas intervenções, não são permitidas a produção ou a extração de madeira dos manguezais, o que é uma fonte potencial de conflitos socioambientais. Como os manguezais se relacionam historicamente com a dinâmica social de populações locais, dependentes de seus recursos madeireiros, na prática as diretrizes mais recentes da legislação ambiental tornam ilegais formas de uso que vinham sendo adotadas há centenas de anos (Glaser e Oliveira, 2004).

Os manguezais vêm sendo degradados em larga escala por processos de urbanização, descarga de efluentes e atividades de aquicultura, entre outros (Alongi, 2002; Duke et al., 2007; Giri et al., 2011). Sua presumida sensibilidade ou vulnerabilidade a tais tensões tem em parte fundamentado a legislação restritiva que sobre eles incide. Esta legislação está igualmente fundamentada na presumida homogeneidade dos manguezais, tratados como unidades de paisagem em planos de zoneamento e desenvolvimento, na sua alta produtividade e na capacidade de exportação de matéria para sistemas adjacentes (Lana, 2004; Pulner, 2007). Tais conhecimentos foram incorporados às normativas ambientais nas décadas de 60 e 70 e se mantêm como principal justificativa para a restrição do uso dos manguezais no Brasil (Pulner, 2007). Apesar da incorporação desses conceitos às normas legais, estudos mais recentes têm

demonstrado que os manguezais são de fato sistemas heterogêneos que admitem ampla variação em sua produtividade e na sua capacidade de exportação de nutrientes e energia (Kristensen et al., 2008; Alongi, 2009). Neste sentido, a legislação brasileira estaria em desacordo com o melhor conhecimento científico atual, podendo contribuir, apesar de suas boas intenções, para uma intensificação de conflitos socioambientais, em vez de amenizá-los ou resolvê-los.

Pulner (2007) considerou que há manguezais que poderiam ser explorados se de fato forem demonstradas a heterogeneidade e a ampla variabilidade na sua capacidade de produção e exportação de energia. Neste contexto, a legislação deveria permitir intervenções ou uso sustentáveis, com o necessário acompanhamento de atividades extrativas ou produtivas, com rigoroso monitoramento. Para isso, são necessários estudos, de natureza principalmente quantitativa, capazes de identificar as possíveis margens de uso de recursos dos manguezais, sem afetar a sua sustentabilidade ou viabilidade. Há, portanto, a real necessidade de estudos empíricos para implementar uma efetiva política de conservação dos manguezais, baseada na conciliação do conhecimento científico disponível com o conhecimento tradicional, que se expressa por sua vez em formas tradicionais ou potenciais de uso.

Em locais nos quais o uso de recursos naturais renováveis complementa o modo de vida de comunidades litorâneas, contribuindo para sua sobrevivência material e renda, o manejo adequado é necessário para que estas populações não tenham ainda mais reduzida a sua qualidade de vida (Diegues, 2001). Por exemplo, há casos de manejo bem sucedido, envolvendo a extração e uso de madeira de forma sustentada por dezenas ou centenas de anos, em manguezais da Malásia (Alongi, 2002). No entanto, a introdução de práticas sustentáveis de extração ou produção deve necessariamente se basear no conhecimento das dinâmicas de ocorrência, variação e disponibilidade dos recursos envolvidos e dos sistemas como um todo.

Informações sobre a dinâmica espaço-temporal, o estoque e as formas atuais de uso da madeira de manguezais do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), no sul do Brasil, poderão auxiliar futuros planos de manejo e gestão na região, ou mesmo indicar novas possibilidades do uso sustentável. Apesar dos manguezais e outras formações de áreas úmidas recobrirem 295,5 km² das margens do CEP (Noernberg et al., 2006), pouco se sabe a respeito de sua dinâmica espaço-temporal no nível de paisagem (Martin, 1992; Naizot, 1993; Caneparo, 1999; Krug et al., 2007) ou das dinâmicas locais relacionadas com a produção e o uso da madeira. Adotando estratégias amostrais em diferentes escalas espaciais e temporais, esta dissertação descreve aspectos pouco conhecidos da dinâmica deste recurso florestal sob legislação restritiva, com os objetivos de: analisar a dinâmica espaço-temporal dos manguezais no CEP entre 1986 e 2011;

estimar o estoque de madeira dos manguezais regionais combinando técnicas de campo e de sensoriamento remoto; descrever os usos atuais e pretéritos da madeira dos manguezais regionais por populações costeiras. O trabalho está dividido em três capítulos, cada um correspondendo a um destes objetivos.

Referências

- Alongi, D.M. 2002. Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, 29: 331–349.
- Alongi, D.M. 2009. Paradigm shifts in mangrove biology. In: Coastal wetlands: an integrated ecosystem approach. Perillo, G.M.E; Wolanski, E.; Cahoon, D.R. & M.M. Brinson (eds): 615 – 640pp.
- Bigarella, J.J. 1946. Contribuição ao estudo da planície litorânea do estado do Paraná. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, 1: 75-111.
- Caneparo, S.C. 1999. Manguezais de Paranaguá uma análise da dinâmica espacial da ocupação antrópica - 1952-1996. Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná, 289p.
- Diegues, A.C.S. 2001. Ecologia humana e planejamento em áreas costeiras. 2ª edição. NUPAUB, USP, São Paulo. 192p.
- Duke, N. C.; Meynecke, J.-O.; Dittmann, S.; Ellison, A. M.; Anger, K.; Berger, U.; Cannicci, S.; Diele, K.; Ewel, K. C.; Field, C. D.; Koedam, N.; Lee, S. Y.; Marchand, C.; Nordhaus, I.; Dahdouh-Guebas, F. 2007. A World Without Mangroves? *Science*, 317: 41-42.
- Giri, C.; Ochieng, E.; Tieszen, L.L.; Zhu, Z.; Singh, A.; Loveland, T.; Masek, J.; Duke, N. 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20: 154–159.
- Glaser, M. 2003. Interrelations between mangrove ecosystem, local economy and social suitability in Caeté Estuary, North Brazil. *Wetlands Ecology and Management*. 11, 265-272.
- Glaser, M.; Oliveira, R.S. 2004. Prospects for the co-management of mangrove ecosystems on the North Brazilian coast: Whose rights, whose duties and whose priorities? *Natural Resources Forum*, 28: 224–233.
- Kristensen, E.; Boullion, S.; Dittmar, T.; Marchand, C. 2008. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystem: a review. *Aquatic Botany*. 89, 201-219.
- Krug, L.A.; Leão, C.; Amaral, S. 2007. Dinâmica espaço-temporal de manguezais no Complexo Estuarino de Paranaguá e relação entre decréscimo de áreas de manguezal e dados sócio-econômicos da região urbana do município de Paranaguá – Paraná. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto: 2753-2760*.

- Lana, P.C. 2004. Novas formas de gestão dos manguezais brasileiros: a Baía de Paranaguá como estudo de caso. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 10: 169-174.
- Magris, R.A.; Barreto, R. 2010. Mapping and assessment of protection of mangrove habitats in Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Science*, 5: 546-556.
- Martin, F. 1992. Etude de l'écosystème mangrove de La Baie de Paranaguá (Paraná, Bresil): Analyse des impacts et propositions de gestion rationnelle. Tese de doutorado, Université Paris VII. 289p.
- Naizot, T. 1993. Géographie de La Baie de Paranaguá (Parana, Brésil): Apport des Données satellitaires a L'Étude des Marais a Mangroves. Tese de doutorado. Université Paris, 430p.
- Noernberg, M.A.; Lautert, L.F.C.; Araújo, A.D.; Marone, E.; Angelotti, R.; Netto Jr, J.P.B.; Krug, L.A. 2006. Remote sensing and GIS integration for modelling the Paranaguá Estuarine Complex – Brazil. *Journal of Coastal Research*, 39: 1627 – 1631.
- Pulner, R.C.L. 2007. Análise crítica da cientificidade da legislação relativa a manguezais. Editora Imprensa Oficial, Curitiba. 180p.
- Vasques, R.; Tonini, W.C.T.; Cuevas, J.M.; Santos, D.F.; Faria, T.A.; Falcão, F.C.; Simões, D.R.; Batista, R.L.G.; Couto, E.C.G. 2011. The use of mangrove areas in Taipu de Dentro (Maraú, Southern Bahia, Brazil). *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 11: 155-161.
- Walters, B.B.; Rönnbäck, P.; Kovacs, J.M.; Crona, B.; Hussain, S. A.; Badola, R.; Primavera, J.H.; Barbier, E.; Dahdouh-Guebas, F. 2008. Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*. 89, 220-236.

Capítulo I

Dinâmica espacial dos manguezais no Complexo Estuarino de Paranaguá (Paraná, Brasil) entre 1986 e 2011 sob uma abordagem hierárquica

Revista pretendida: Estuarine, Coastal and Shelf Science (Estuar Coast Shelf S), ISSN (0272-7714), Fator de Impacto (JCR 2011) = 2.247, Qualis CAPES = Estrato A1

Resumo

Diante dos crescentes impactos sobre os manguezais em escala global, torna-se essencial monitorar as transformações espaciais desses sistemas em escalas locais e regionais. O monitoramento é importante como forma de avaliar eventuais variações no estoque e na disponibilidade dos recursos. Neste contexto, o objetivo desse trabalho foi qualificar e quantificar a variação espaço-temporal dos manguezais no Complexo Estuarino de Paranaguá, entre os anos de 1986 e 2011. Foi realizada análise de sobreposição de uma série temporal de imagens do satélite LANDSAT 5/TM, validada por verdade de campo. Foi testada a hipótese de que houve uma tendência de expansão dos manguezais do CEP. As áreas de expansão e retração foram analisadas com o uso de níveis hierárquicos. Entre 1986 e 2011 houve um aumento de apenas 0,44% da área de manguezais considerando o CEP como um todo. A expansão ocorreu tanto na interface dos manguezais com outras vegetações continentais ou próximo à linha de costa. Próximo à linha de costa, a expansão dos manguezais se deu sobre extensos baixios entremarés. Perda de manguezais foi observada no entorno das áreas urbanas devido à expansão dos bairros periféricos. Nos bosques Ribeirinhos o desenvolvimento da vegetação foi marcado pela diminuição da dominância e do valor de importância de *R. mangle*, padrão inverso daquele observado para *A. schaueriana*. Nos bosques de franja, *R. mangle* apresentou os maiores valores de densidade, dominância e valor de importância. A relativa estabilidade da área de cobertura no complexo estuarino como um todo não deve mascarar as variações significativas nos demais níveis hierárquicos considerados (setores e sub-estuários). O processo de formação de bancos e baixios e o desmatamento para expansão urbana foram os fatores mais determinantes das variações registradas. A identificação de áreas com maior capacidade de reposição de biomassa de madeira é essencial para fundamentar ou justificar o seu uso tradicional pelas populações locais. No CEP, sugere-se que essas regiões podem ser o

sub-estuário Cotinga e o Setor Laranjeiras, que sofreram expansão. Esta expansão se deve principalmente à colonização por *R. mangle* e *L. racemosa*, consideradas pioneiras e dominantes nos bosques mais jovens. Neste sentido, hipotetiza-se que a extração do recurso poderia ser sustentável dependendo da tendência sucessional de desenvolvimento e da composição específica dos bosques locais.

Palavras-chave: Variação espaço-temporal, LANDSAT, PCQM, *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia schaueriana*.

1. Introdução

Manguezais são florestas altamente produtivas, responsáveis pela provisão de bens e pela prestação de serviços ecossistêmicos únicos para sociedades humanas em diversos locais do mundo (Giri et al., 2011). Além de importantes como tamponadores de processos de erosão costeira, são sítios de alimentação e refúgio para muitas espécies de peixes, aves, mamíferos e crustáceos de importância ecológica e econômica (Alongi, 2009). São igualmente conhecidos como importantes fornecedores de recursos florestais madeireiros e não madeireiros para as populações costeiras (Walters et al., 2008). Apesar de sua importância como sustentadores da qualidade de vida destas populações, a taxa de perda de manguezais vem aumentando em escala global, devido à progressiva ocupação e urbanização das regiões litorâneas, à sobreexploração de seus recursos e à sua conversão para atividades agrícolas, industriais ou de maricultura.

Diante destes crescentes impactos, o monitoramento das transformações, envolvendo o acompanhamento das tendências de expansão e retração dos manguezais em escalas locais e regionais, torna-se essencial para avaliar eventuais variações no estoque e na disponibilidade dos recursos que fornecem. Neste sentido, o conhecimento da dinâmica dos manguezais em uma dada região é considerado pré-requisito para ações de conservação e manejo, incluindo projetos de restauração (Dahdouh-Guebas et al., 2000).

Técnicas de sensoriamento remoto, baseadas em imagens de satélites ou fotografias aéreas, têm sido aplicadas com sucesso para mapear variações na cobertura florestal ao longo do espaço e do tempo. Mapas mais precisos da cobertura vegetal e da sua evolução temporal podem ser construídos a partir da análise de séries temporais consideradas nas escalas de meses

a décadas (Kairo et al., 2002). Isto permite um monitoramento rápido e eficiente (Wang et al., 2004; Simard et al., 2006). Entre as ferramentas atualmente disponíveis, as imagens do satélite LANDSAT/TM têm se mostrado particularmente eficazes (Long e Skewes, 1996; Giri et al., 2011). Imagens de maior resolução espacial são também utilizadas, como as dos satélites SPOT (Fromard et al., 2004) e IKONOS (Reis Neto et al., 2011). No entanto, o satélite LANDSAT ainda é o mais utilizado em todo o mundo (Giri et al., 2007; Thu e Populus, 2007; Liu et al., 2008; Martins e Wanderley, 2009), por possuir imagens que datam de mais de 35 anos e pela sua média resolução espacial que viabiliza o mapeamento de grandes extensões florestais (Giri et al., 2011).

Análises da evolução espaço-temporal de manguezais, baseadas em séries temporais, vêm se tornando cada vez mais comuns (Dahdouh-Guebas et al., 2000; Giri et al., 2007; Cunha-Lignon et al., 2009; Rakotomavo e Fromard, 2010). No Brasil, apesar da existência de vários estudos, em sua maior parte restritos a simpósios e congressos científicos (Kampel et al., 2005; Almeida et al., 2007; Krug et al., 2007; Melo et al., 2011), são ainda escassos os levantamentos que procuraram relacionar as séries temporais com a validação por verdade de campo. A identificação em campo de áreas de estabilidade, expansão ou retração da vegetação é essencial para descrever e avaliar a variação dos recursos florestais ao longo do tempo. Informações de campo possibilitam ainda o reconhecimento *in situ* dos fatores reguladores da estrutura e dinâmica da vegetação (Fromard et al., 2004). O conhecimento das dinâmicas sucessionais associadas é também essencial para uma avaliação abrangente da distribuição atual e das tendências de variação dos manguezais (Bertrand, 1999).

O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), localizado no sul do Brasil, é margeado por 295,5 km² de cobertura vegetal de áreas úmidas, das quais os manguezais são as principais formações (Noernberg et al., 2006). O CEP recebe um grande aporte de sedimentos fluviais, responsável nas últimas décadas por uma expansão das planícies ou baixios entremarés, particularmente em seus setores mais internos (Bigarella et al., 1978; Lana et al., 2001), situação que favoreceria a expansão de manguezais. Por outro lado, os processos de urbanização, aumento das atividades portuárias e a crescente expansão de aterros e marinas (Lana, 2004; Soares, 2009) têm contribuído para a perda de manguezais (Caneparo, 1999; Soares, 2009; Krug et al., 2007). Há também evidências de que manguezais de outras áreas do litoral brasileiro (Lacerda et al., 2007; Cunha-Lignon et al., 2009) vêm passando por processos de expansão.

Apesar da existência de um estudo sobre a dinâmica espaço-temporal dos manguezais do CEP como um todo (Krug et al., 2007), não há outras estimativas sistemáticas e consistentes

das tendências espaciais de variação destes sistemas em um dos mais amplos e bem preservados complexos estuarinos subtropicais da América do Sul. Krug et al. (2007) identificaram áreas de variação espacial dos manguezais entre 1985 e 2005 no CEP, mas sem quantificar as áreas de variação, ou mesmo levantar informações sobre a localização dessas áreas em distintas escalas.

A identificação das características do desenvolvimento florestal e de seus tensores é pré-requisito para um melhor conhecimento da dinâmica evolutiva dos manguezais. O CEP, situado em uma região subtropical, abriga extensa área de manguezais (Martin, 1992; Noernberg et al., 2006; Silva, 2011), com funções ecológicas e econômicas ainda pouco conhecidas. Situados em maiores latitudes, os manguezais subtropicais têm menor desenvolvimento estrutural, mas estão sujeitos aos mesmos processos que acarretam as variações espaciais em manguezais mais desenvolvidos de regiões tropicais, como erosão, agradiação, desmatamento e degradação (e.g. Giri et al., 2007). O reconhecimento dos processos que prevalecem em cada região e o mapeamento dos locais mais suscetíveis a estas mudanças são fundamentais para ações adequadas de conservação e uso sustentável de recursos. Particularmente face à reconhecida heterogeneidade destes sistemas, associada a distintas condições geomorfológicas, hidrodinâmicas e de ocupação humana (Alongi, 2002; Alongi, 2007; Giri et al., 2007)

Neste contexto, este trabalho tem o objetivo de qualificar e quantificar a variação espaço-temporal dos manguezais no Complexo Estuarino de Paranaguá, entre os anos de 1986 e 2011. Foi utilizada uma análise de sobreposição da série temporal de imagens do satélite LANDSAT 5/TM, validada por verdade de campo. O trabalho testa a hipótese de que houve uma tendência de expansão dos manguezais do CEP, devido ao aumento da área de cobertura nos setores mais internos e de baixa energia do estuário. A expansão estaria associada à dinâmica natural de assoreamento e à crescente formação de baixios entremarés. Esta tendência de expansão se sobreporia às tendências de perda por processos erosivos ou pelas intervenções humanas. A análise espacial utilizada permitiu ainda estimar a idade relativa dos bosques, com a distinção dos manguezais mais antigos e aqueles formados no decorrer dos últimos 25 anos.

2. Métodos

2.1 Área de estudo

O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) está localizado na planície litorânea paranaense, englobando as Baías de Paranaguá e Antonina no eixo leste-oeste, e as Baías de Laranjeiras e Pinheiros no eixo norte-sul. Noernberg et al. (2006) propuseram uma divisão do CEP em três níveis hierárquicos para estudos espaciais. O maior nível abrange o CEP como um todo, possuindo relevo e clima comparáveis. O segundo nível compreende cinco setores que correspondem às quatro baías, além de um setor de Mistura, formado pela confluência dos dois eixos, na proximidade da desembocadura do CEP. O terceiro e menor nível é composto por sete sub-estuários dentro dos setores, que foram delimitados considerando características morfológicas, como área de drenagem própria (Fig. 1).

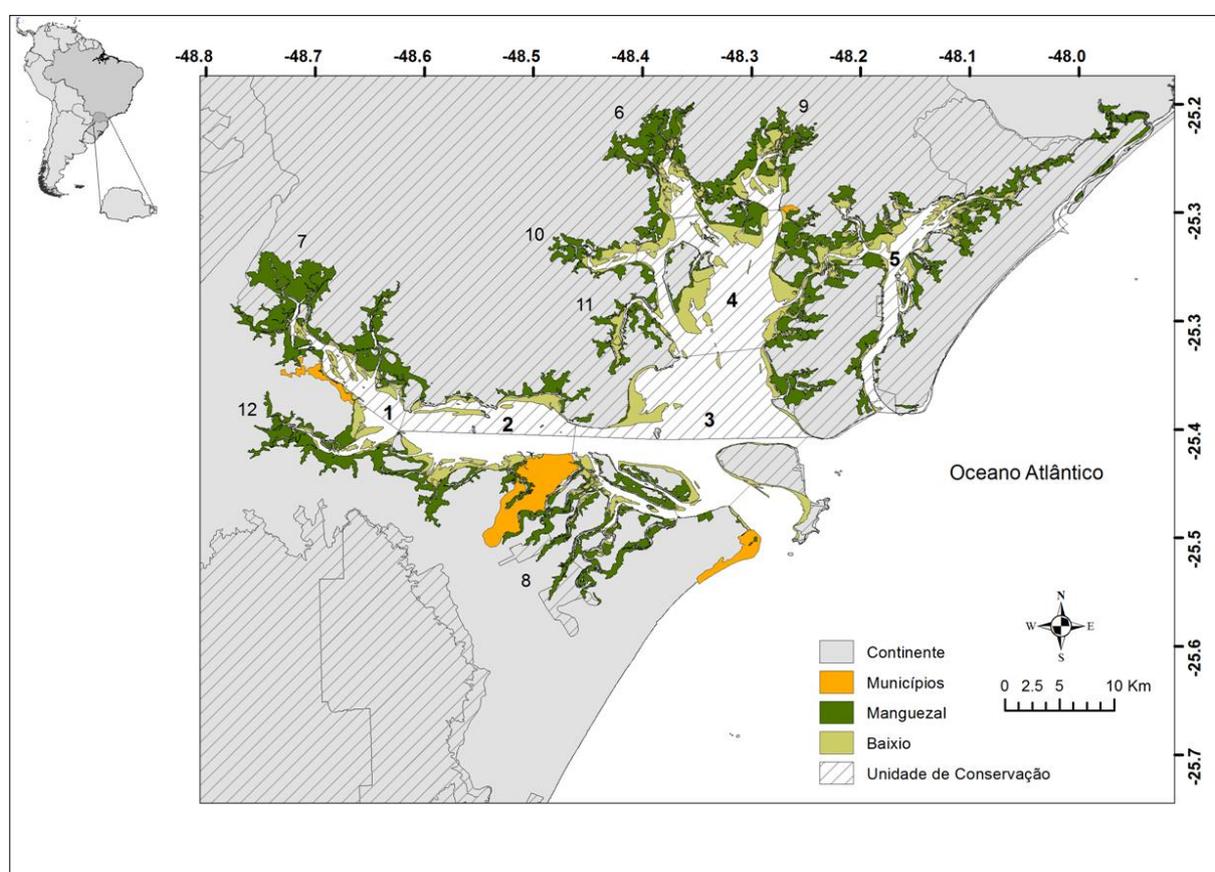


Fig. 1. Complexo Estuarino de Paranaguá (Paraná, Brasil). 1-Baía de Antonina. 2-Baía de Paranaguá. 3-Setor de Mistura. 4-Baía de Laranjeiras. 5-Baía de Pinheiros. 6-Sub-estuário Benito. 7- Sub-estuário Cachoeira. 8- Sub-estuário Cotinga. 9- Sub-estuário Guaraqueçaba. 10- Sub-estuário Itaquí. 11- Sub-estuário Medeiros. 12- Sub-estuário Nhundiaquara.

A região tem uma estação chuvosa, que se estende do final da primavera até o verão, e uma estação menos chuvosa, ao longo do outono até o final do inverno, interrompida por um período curto chuvoso, no início do inverno. A média de precipitação é de 2 500 mm, com taxas de precipitação três vezes maiores no período mais chuvoso (Lana et al., 2001).

A hidrodinâmica estuarina é condicionada pelas correntes de marés e pelo escoamento dos rios (Lana et al., 2001; Noernberg et al., 2006). As marés são semi-diurnas, com amplitudes médias de 1,5 m na desembocadura, aumentando para o interior da baía, onde podem atingir 2,2 m, e propagação ocorrendo de forma mista. Variações de salinidade são pronunciadas, com valores de 0 a 34, com marcados gradientes ao longo dos dois eixos principais do complexo, por sua vez afetados pelo maior ou menor aporte de água doce, dependendo da estação (Lana et al., 2001).

Os manguezais, marismas e demais formações vegetais inundáveis (Angulo e Muller, 1990) localizados na margem do CEP ocupam aproximadamente 295,5 km² (Noernberg et al., 2006). Os bosques de manguezais são formados pelas espécies *Rhizophora mangle* L., *Avicennia schaueriana* Stapf & Leech e *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. De acordo com a classificação de Schaeffer-Novelli et al. (1990) aplicada à costa brasileira, o CEP se enquadra na Unidade VII (Cabo Frio a Torres). Nesta unidade, os bosques tendem a ser monoespecíficos de *L. racemosa* ou *R. mangle*, ou pluriespecíficos com as três espécies. As espécies se distribuem de maneira muito heterogênea ao longo do sistema estuarino, com fisionomias que variam em função da distância da desembocadura e da elevação do terreno (Martin, 1992). Os manguezais regionais estão presentes ao longo dos dois eixos principais do CEP, e tendem a ser mais desenvolvidos e complexos estruturalmente nos setores mais internos (Martin, 1992; Lana, 2004). Os manguezais do CEP estão distribuídos em pelo menos seis unidades morfológicas regionais, tais como reconhecidas por Martin (1992): ilhas marítimas, deltas de rios, gamboas, bacias, baías abertas e ilhas de confluência. O desenvolvimento da vegetação é favorecido nas regiões mais lodosas em processos de sedimentação, como as margens convexas dos rios, mas pode ocorrer retração de manguezais em locais com processos erosivos, pela ação de ondas ou correntes de maré, nas áreas periféricas das cidades, na proximidade do porto e nas áreas de atividade industrial. Os impactos antrópicos sobre os manguezais regionais não são diferentes dos relatados em outras regiões da costa brasileira. O desmatamento para expansão urbana, portuária e industrial é o principal processo de perda da vegetação (Lana, 2004).

2.2 Estimativa da variação espaço-temporal por análise de imagens de satélite

As mudanças na cobertura florestal dos manguezais no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) foram avaliadas através da análise de uma série temporal de imagens do satélite LANDSAT 5, abrangendo um período total de 25 anos, entre 1986 e 2011 (Tabela 1). As imagens foram obtidas pelo sensor Thematic Mapper (TM) na órbita 220 e pontos 77 e 78. Foram realizadas etapas de pré-processamento e processamento das imagens no software ENVI 4.2.

Tabela 1

Imagens do satélite LANDSAT 5 do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) com valores da altura da maré e da precipitação média acumulada no momento de aquisição das imagens. Altura da maré registrada pelo marégrafo de Paranaguá. Média da precipitação acumulada nos 10 dias anteriores à data da imagem registrada na Estação Meteorológica de Paranaguá.

Data	Satélite/Sensor	Resolução espacial (m)	Altura da maré (m)	Precipitação-média de 10 dias (mm)
14/09/1986	LANDSAT 5/TM	30	0,48	1,28
24/06/1997	LANDSAT 5/TM	30	1,50	3,51
05/09/2006	LANDSAT 5/TM	30	1,70	6,12
02/08/2011	LANDSAT 5/TM	30	0,2	3,36

O pré-processamento das imagens consistiu no georreferenciamento, correção geométrica, correção atmosférica e montagem de mosaicos. As imagens foram registradas utilizando a imagem de 1986 (mais antiga) como base para seleção dos pontos de controle. O Erro Médio Quadrático (RMS) foi menor do que 1 pixel e a re-amostragem dos pixels foi feita com a técnica do vizinho mais próximo. A projeção utilizada foi a UTM/SAD-69. Foram montados os mosaicos de cada data e feita a correção atmosférica pelo método do Pixel Escuro (Chavez, 1989). Em cada mosaico houve adição do índice NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada). Este índice é calculado com as bandas do vermelho e do infravermelho próximo da imagem de satélite para ressaltar a resposta espectral da vegetação (Ponzoni e Shimabukuro, 2010).

Na etapa de processamento, foram selecionadas amostras de regiões de interesse para posterior Classificação Supervisionada por Máxima Verossimilhança em cada mosaico contendo as bandas das imagens e o NDVI (Giri et al., 2007). Apenas a banda Termal (banda

6) não foi utilizada. As classes delineadas foram: Manguezal, que inclui outras vegetações inundáveis; Vegetação não inundável; Água; Praia/Área Urbana; Baixio. Em seguida, foram aplicadas técnicas de correção e edição para minimizar erros de classificação. A correção foi de agrupamento e a edição foi realizada com auxílio das composições coloridas R5G4B3 e R4G3B2.

A vegetação de manguezal se destaca pela sua forma irregular, influência da água no substrato e localização em planícies litorâneas (Florenzano, 2011). No caso das composições coloridas utilizadas, os manguezais ainda se destacam devido à cor mais escura que os outros tipos de vegetação (Florenzano, 2011). Devido a essas características, a edição foi realizada com base na análise dos elementos de cor, forma e localização. Em seguida, a classe Manguezal de cada mosaico foi vetorizada para estimativa das variações da sua área de cobertura pelo método de sobreposição. Foi utilizado o software SPRING 5.1.8 e seu programa de linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) (Câmara et al., 1996). Cada arquivo vetorial foi associado a uma classe (ex: manguezal de 1986) para a análise realizada no LEGAL através de Lógica Booleana para álgebra de mapas. Foram utilizadas as expressões booleanas de intersecção e união disjunta. Essas expressões foram aplicadas em quatro pares de vetores para determinar a variação espacial ao longo do tempo: 1986-1997; 1997-2006; 2006-2011; 1986-2011. Cada novo vetor criado foi associado a uma das seguintes classes de tendência: Estável, Expansão, Retração. Por fim, as variações com área menor do que 1 pixel foram filtradas dos vetores de expansão e retração para minimizar os possíveis erros de georreferenciamento entre as imagens. Para identificar as tendências gerais, as localizações e as possíveis causas de variação, os polígonos de expansão e retração foram analisados com o uso dos níveis hierárquicos propostos por Noernberg et al. (2006). Os níveis utilizados são o CEP, os cinco setores que compõem o sistema e os sete sub-estuários delimitados.

2.3 Validação de campo

Para validação e uma melhor compreensão do resultado da análise de imagens, foram realizadas saídas de campo nos manguezais identificados nas classes de tendência da série temporal. Os manguezais estáveis e de expansão foram categorizados por classes de idades (Tabela 2). Segundo Jiménez et al. (1985) e Fromard et al. (1998), é esperado que os

manguezais que permaneceram estáveis sejam mais desenvolvidos estruturalmente do que aqueles que se expandiram entre 2006 e 2011, que teoricamente seriam mais recentes.

Tabela 2

Categorização dos manguezais do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) em classes de idade estimadas com imagens do satélite LANDSAT.

Tendência	Descrição	Idade	Classe
Estável	Maturidade	≥ 25 anos	1
Expansão 1986-1997	Início da maturidade	14 - 25 anos	2
Expansão 1997-2006	Estágio juvenil	5 - 14 anos	3
Expansão 2006-2011	Colonização/Desenvolvimento inicial	≤ 5 anos	4

Dados primários dos parâmetros florestais foram obtidos com o Método dos Quadrantes Centrados ou PCQM (Dahdough-Guebas e Koedam, 2006). Os dados foram coletados ao longo de 12 transectos com amostragem em intervalos de 10 m de distância, totalizando 20 pontos por transecto. Cada ponto de amostragem foi dividido em quatro quadrantes. Em cada quadrante foi mensurada a árvore mais próxima do ponto, com diâmetro na altura do peito (DAP, padronizado a 1,3 m de altura) maior que 2,5 cm. Para cada árvore foram mensurados o DAP, a altura total e a distância da árvore até o ponto. Os dados de campo foram utilizados para estimar a densidade, o DAP médio, a altura média, a área basal total, a dominância e o valor de importância de cada espécie (Dahdough-Guebas e Koedam, 2006). A significância das diferenças entre os valores do DAP, considerado a principal medida de comparação entre florestas de diferentes idades, foi avaliada por ANOVA unifatorial, seguido do teste estatístico de Tukey quando detectada significância. Os parâmetros florestais pelo PCQM foram estimados, para cada classe de idade, em três fisiografias de floresta (Franja, Bacia, Ribeirinho), devido à heterogeneidade dos manguezais no CEP. Os transectos em cada fisiografia foram sempre perfilados na mesma unidade geomorfológica, tal como reconhecidas por Martin (1992), para reduzir erros de comparação entre os bosques. Para interpretação, os manguezais foram codificados com a primeira letra do tipo fisiográfico e com o número da classe de idade a que pertenciam. Por exemplo, os manguezais da classe 1 (> 25 anos) dos tipos franja, ribeirinho e bacia, são aqui denominados F1, R1 e B1, respectivamente.

Lugo e Snedaker (1974) classificaram os manguezais do Caribe em seis tipos fisiográficos de acordo com sua localização, desenvolvimento e hidrodinâmica local. Essa classificação foi modificada neste trabalho para melhor categorização dos manguezais regionais, como descrito a seguir. Os manguezais de Franja ocorrem ao longo de margens em linhas de costa protegidas e ilhas. Localizam-se nas bordas da linha de costa próximas à água, em baixios ou planícies de maré com menor declividade e maiores taxas de inundação. Os manguezais Ribeirinhos ocorrem associados à margem dos rios, gamboas e demais cursos d'água. Ocorrem principalmente nas áreas de várzeas altas com salinidades mais baixas e elevado aporte de nutrientes. Os manguezais de Bacia ocorrem em locais com menores taxas de inundação, restrita às marés mais altas, devido à maior declividade do terreno e sua maior distância em relação à linha da água. Este tipo fisiográfico está associado com depressões de sistemas de drenagem e com canais de escoamento em direção ao litoral.

A validação de áreas de retração foi realizada em seis pontos de cada um dos seguintes intervalos: 1986-1997, 1997-2006 e 2006-2011. Os polígonos selecionados se distribuíram por todo o CEP e foram visitados para identificar a presença ou ausência de vegetação, baixios entre marés, erosão e distúrbios antrópicos.

3. Resultados

3.1 Variação espaço-temporal

Entre 1986 e 2011 houve um aumento de 0,44% da área de manguezais, considerando o CEP como um todo. A área de manguezais em 1986 era de 255,82 km², aumentando para 256,96 km² em 2011. No entanto, as mudanças não foram uniformes ao longo do período. Entre 1986-1997 houve aumento de 6,16% de manguezais, e retração de 0,26% e 5,13%, entre 1997-2006 e 2006-2011, respectivamente. Foram estimados 271,57 km² e 270,86 km² de manguezais em 1997 e 2006. O valor percentual da expansão dos manguezais do CEP foi pequeno em relação à área total de manguezal estimada.

A análise de sobreposição indicou a ocorrência tanto de áreas de aumento como de diminuição dos manguezais, embora a variação total entre 1986 e 2011 tenha resultado da ligeira tendência de maior expansão sobre retração. Esse resultado foi encontrado na sobreposição entre os vetores de 1986 e 2011, como na sequência de sobreposição dos intervalos entre 1986-1997, 1997-2006 e 2006-2011 (Tabela 3). As maiores tendências de variação, geralmente de retração, foram registradas na interface dos manguezais com o

continente. A variação na interface dos bosques com o corpo estuarino foi menor. Um exemplo da variação ocorrida na interface dos manguezais com o continente, registrada com maior ou menor intensidade em outros níveis hierárquicos do sistema estuarino, está ilustrado na Fig. 2.

Tabela 3

Tendência geral de variação (km²) dos manguezais no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) para cada intervalo analisado

Níveis hierárquicos	1986-1997	1997-2006	2006-2011	1986-2011
Setor Antonina	2,44	-1,69	-3,12	-2,18
Setor Laranjeiras	5,82	1,09	-2,73	4,16
Setor Mistura	3,38	-2,80	-0,01	0,66
Setor Paranaguá	1,23	-0,97	-0,63	-0,45
Setor Pinheiro	1,35	1,52	-4,37	1,79
Sub-estuário Benito	0,83	0,41	-1,62	0,11
Sub-estuário Cachoeira	-0,34	-0,72	-1,81	-2,60
Sub-estuário Cotinga	1,61	-1,69	-0,18	-0,21
Sub-estuário Guaraqueçaba	0,33	0,85	-0,36	0,84
Sub-estuário Itaquí	0,47	0,55	-0,51	0,38
Sub-estuário Medeiros	1,37	-1,00	0,18	0,50
Sub-estuário Nhundiaquara	0,99	-0,52	-0,88	-0,48

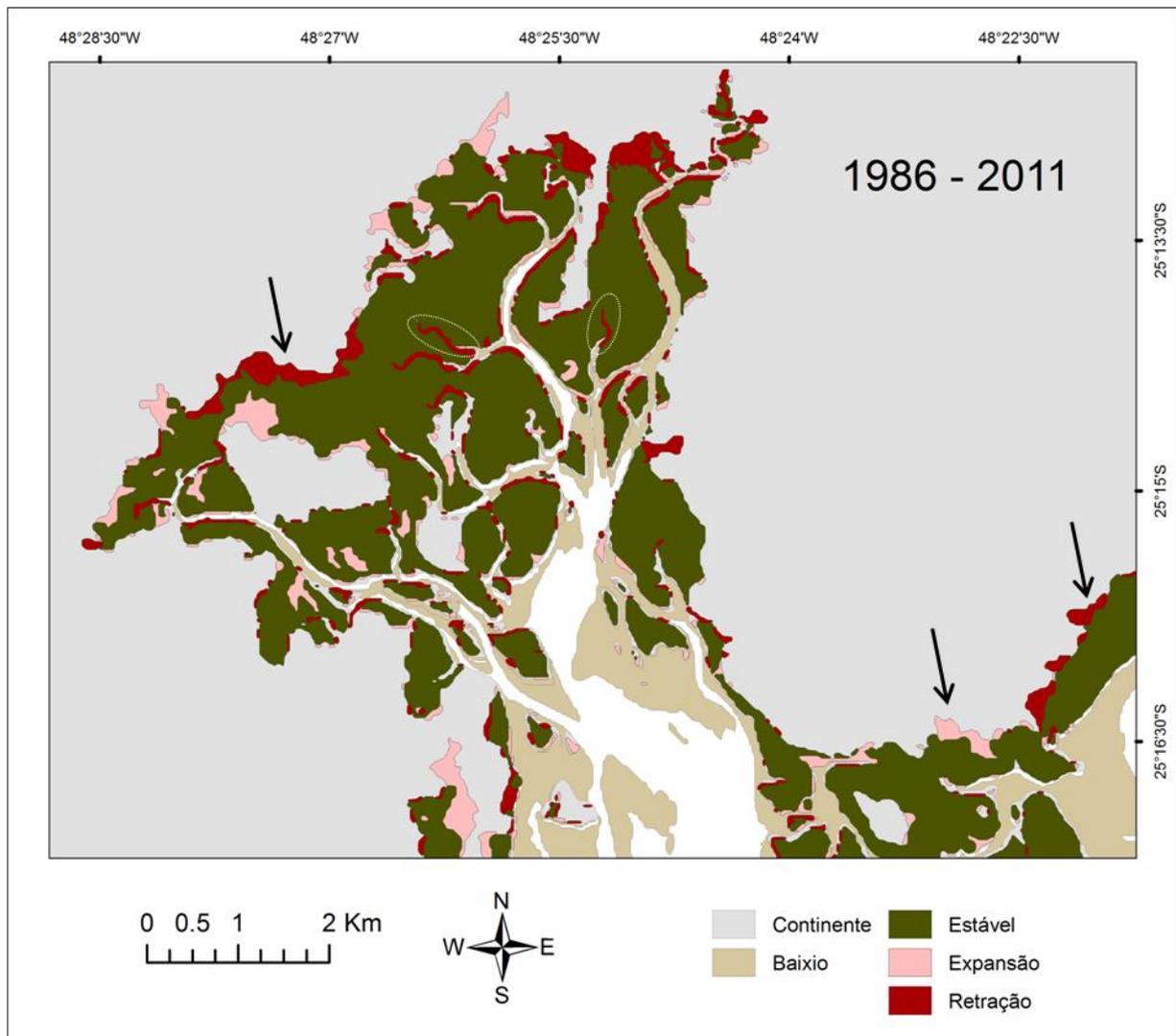


Fig. 2. Sub-estuário Benito do Complexo Estuarino de Paranaguá (Paraná, Brasil), com as classes de tendências de variação do manguezal entre 1986 e 2011. Setas indicam exemplos de variação localizada na parte mais continental da vegetação. Elipses indicam classificação de rios e gamboas em manguezal.

Perda de manguezais foi observada no entorno das áreas urbanas devido à expansão dos bairros periféricos. O decréscimo causado por esse processo ocorreu principalmente na cidade de Paranaguá (Fig. 3), localizada entre rios e gamboas, margeados por manguezais. No período entre 1986 e 1997, os manguezais periurbanos foram desmatados para a expansão urbana, como nas margens do Rio Itiberê e da Ilha Valadares. Entre 1997 e 2006, e entre 2006 e 2011 ainda ocorreu esse tipo de retração próximo aos limites das áreas urbanizadas, mas com menor intensidade. Nos municípios de Antonina e Guaraqueçaba, também foi registrado o crescimento urbano sobre os manguezais entre 1986 e 1997 e entre 1997 e 2006. Já no intervalo entre 2006 e 2011, esse processo não ocorreu.

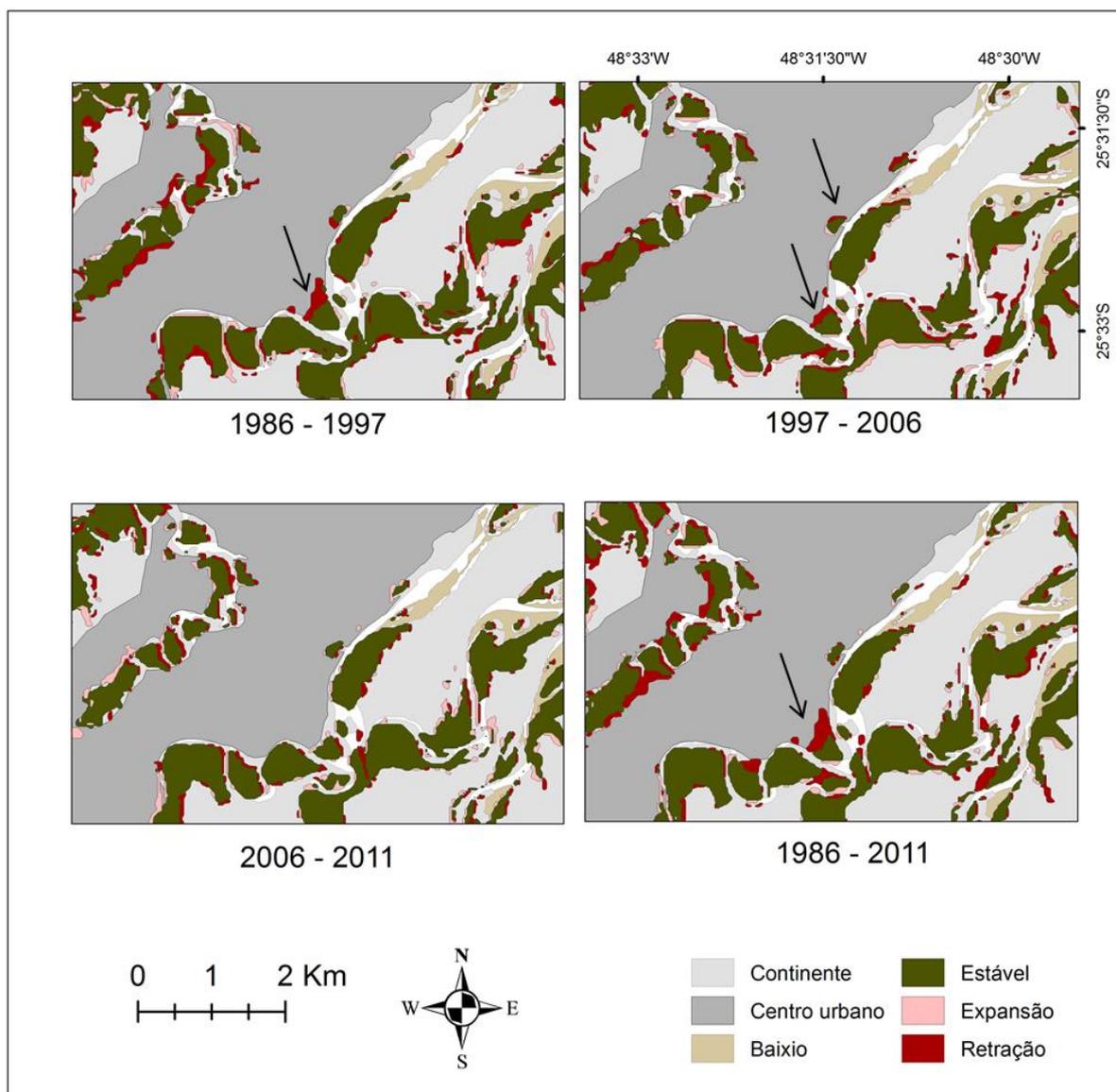


Fig. 3. Complexo Estuarino de Paranaguá (Paraná, Brasil) na região de Paranaguá, com as classes de tendências de variação do manguezal. Setas exemplificam áreas de retração observadas nas margens do rio Itiberê.

Áreas de retração não restritas às proximidades das áreas urbanizadas também foram registradas, como em pontos de contato dos manguezais com a vegetação não inundável (Fig. 2). Foram ainda identificadas pequenas áreas de variação, que na verdade eram pequenos rios e gamboas do sistema, classificados equivocadamente como manguezais durante o processamento das imagens (Fig. 2). Apesar de representarem possíveis erros da classificação das imagens de satélite, essas áreas não foram retiradas da análise final pelo pequeno erro introduzido e por não haver uma maneira sistemática e confiável de evitá-las.

Assim como nos casos de retração, áreas de expansão de manguezais foram registradas em todo o CEP. A expansão ocorreu na interface dos manguezais com outras vegetações ou próximas à linha de costa. Na interface dos manguezais com o continente, onde ocorre a transição para vegetações não inundáveis, as áreas de expansão são maiores. Próximo à linha de costa, a expansão dos manguezais se deu sobre extensos baixios entremarés (Fig. 4).

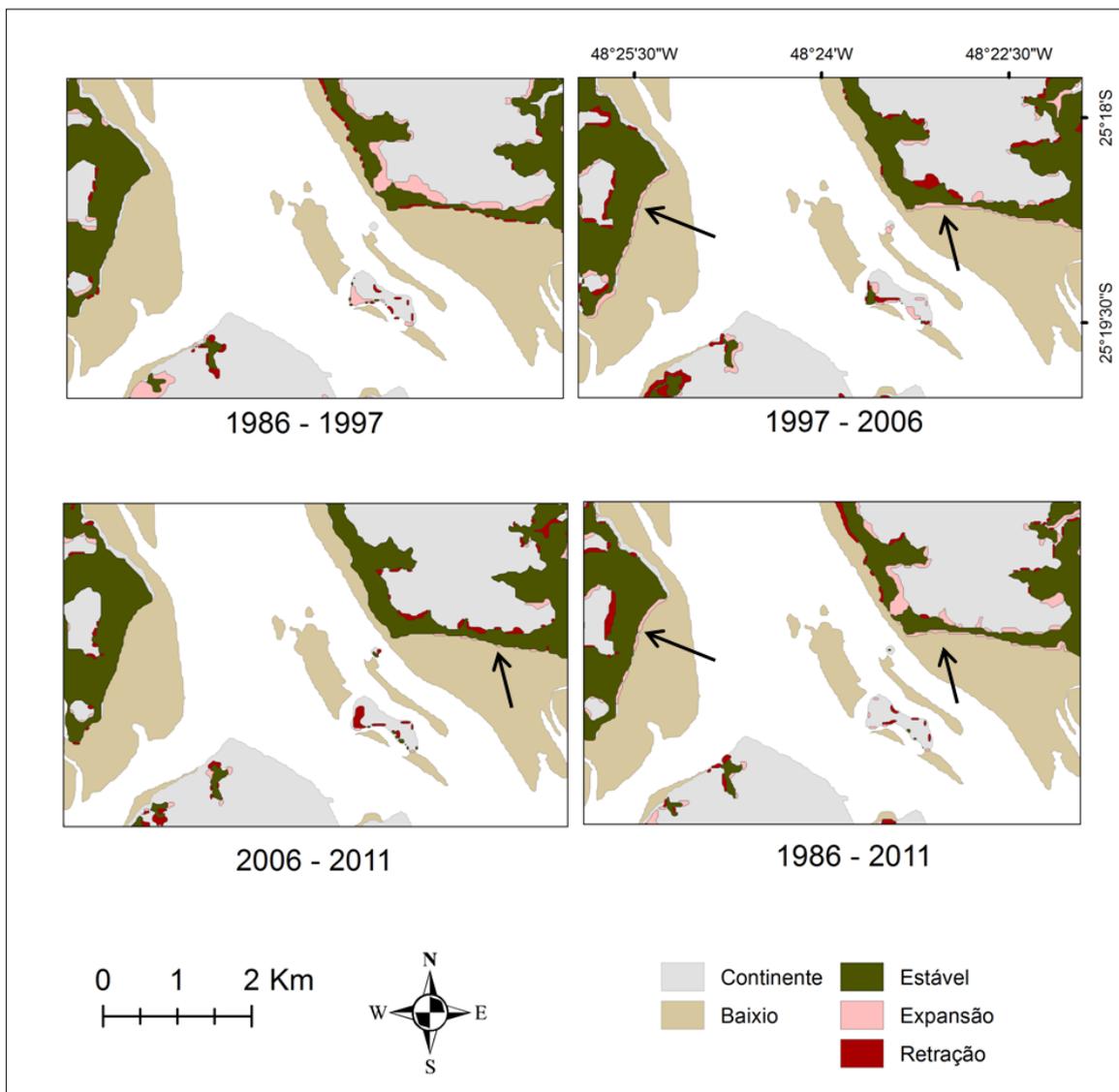


Fig. 4. Setor de Laranjeiras do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), com as classes de tendências de variação do manguezal entre 1997 e 2006. Setas indicam expansão de manguezais sobre baixios entremarés.

No nível de Setor, seguindo a hierarquia de Noernberg et al. (2006), considerando a porcentagem da vegetação que sofreu variação, os setores apresentaram tendências diferentes ao longo dos 25 anos estudados. Entre 1986 e 1997, os manguezais de todos os setores apresentaram expansão, com valores percentuais entre 11,23% e 15,17% de expansão, com maior valor no setor de Mistura (Fig. 5). Os valores percentuais de retração variaram entre 6,30% e 9,15%, com menor valor na Baía de Laranjeiras. No intervalo entre 1997 e 2006, os setores Laranjeiras e Pinheiros foram os únicos que se mantiveram em expansão. O setor Laranjeiras se manteve com o menor valor percentual de retração. Todos os setores apresentaram mais retração comparado com o período 1986-1997 (Tabelas 3 e Fig. 5). Entre 2006 e 2011, todos os setores sofreram retração na área de cobertura por manguezais. O setor de Mistura foi o único com valor percentual de expansão ligeiramente maior que o de retração. Considerando o período total de estudo (1986-2011), os manguezais dos setores Antonina e Paranaguá sofreram retração e aqueles dos setores Laranjeiras, Mistura e Pinheiros sofreram expansão. O setor Laranjeiras apresentou as maiores taxas de expansão e o setor Antonina, as maiores de retração.

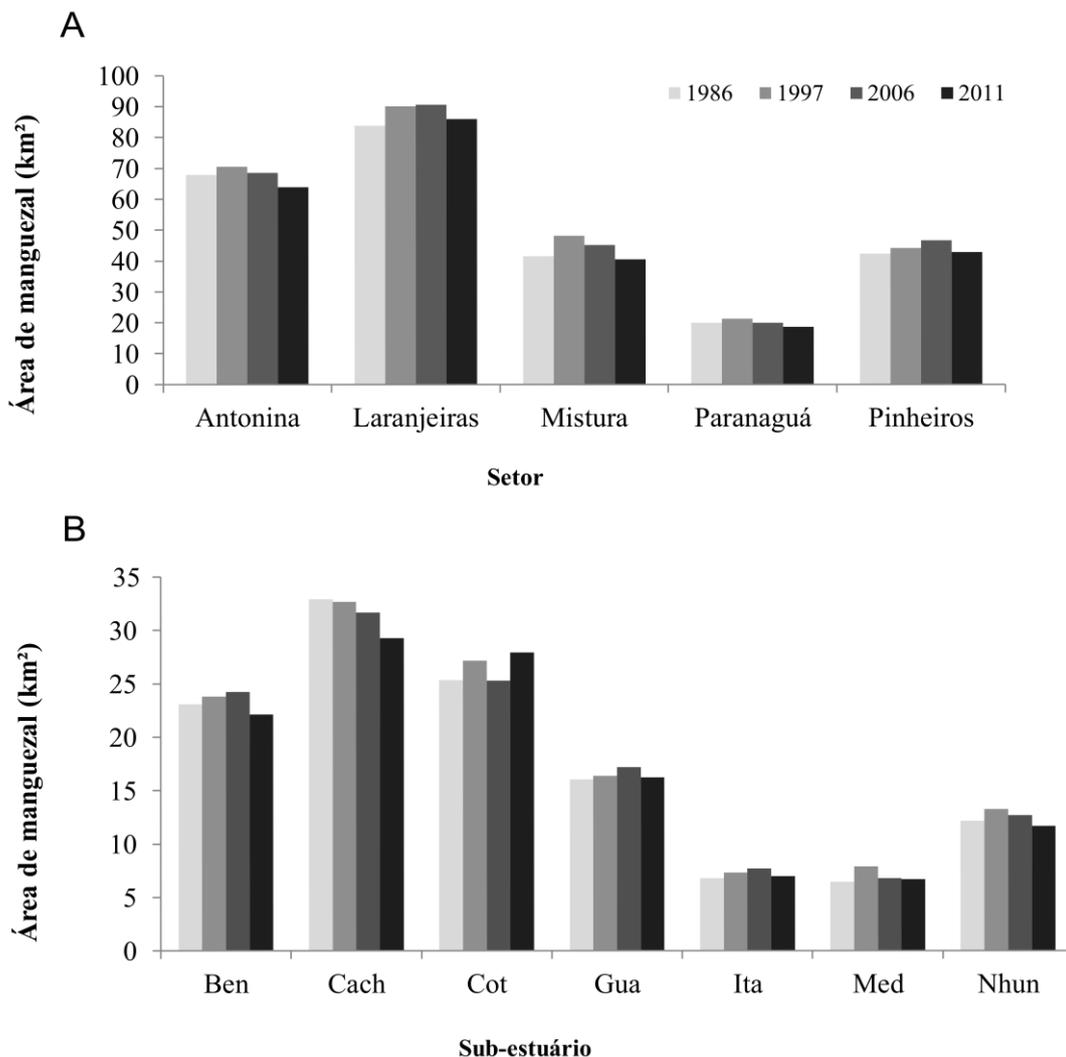


Fig. 5. Área de cobertura de manguezais no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) nas datas 1986, 1997, 2006 e 2011. A. Área de manguezal em cada Setor. B. Área de manguezal em cada Sub-estuário. Ben-Benito. Cach-Cachoeira. Cot-Cotinga. Gua-Guaraqueçaba. Ita-Itaqui. Med-Medeiros. Nhun-Nhundiaquara.

No menor nível hierárquico do CEP, houve expansão dos manguezais nos sub-estuários entre 1986 e 1997. Apenas Cachoeira, na Baía de Antonina, sofreu retração (Tabelas 3 e Fig. 5). A expansão nesse sub-estuário foi muito menor (7%) do que aquela registrada nos demais. Medeiros apresentou o maior valor percentual de expansão. Entre 1997 e 2006, as tendências foram diferentes entre os sub-estuários (Tabela 3 e Fig. 5). Os manguezais dos sub-estuários Cachoeira, Nhundiaquara e Cotinga retraíram (Tabelas 3 e Fig. 5). Medeiros apresentou retração, com valor percentual muito superior aos outros sub-estuários (Fig. 5). Os manguezais

dos outros sub-estuários do setor Laranjeiras apresentaram expansão. Entre 2006 e 2011, houve tendência de retração nos sub-estuários, com exceção de Medeiros. Considerando o período total, o sub-estuário Nhundiaquara apresentou as maiores taxas de retração e o sub-estuário Medeiros as maiores de expansão.

As mudanças da cobertura vegetal dos manguezais no CEP, de retração ou expansão, foram registradas nas desembocaduras e margens de rios, nas ilhas e nas proximidades das áreas urbanas. Não houve, portanto, uma unidade geomorfológica única que concentrasse tendências claras de expansão e retração.

3.2 Validação de campo

3.2.1 Classes de idade e análise comparada

As densidades, tamanhos e espécies dominantes de árvores variaram em cada fisiografia de manguezal (Tabela 4 e Fig. 6). Nos manguezais Ribeirinhos, R1 apresentou maior valor de DAP médio e diâmetros distribuídos em uma faixa maior de valores (Fig. 6A). R4 não apresentou diferenças significativas com R1 ($p > 0,05$) e não apresentou características de estágio inicial/colonização. O desenvolvimento da vegetação de R3 para R2 e de R2 para R1 foi marcado pela diminuição da dominância e do valor de importância de *R. mangle*, padrão inverso ao de *A. schaueriana* (Tabela 4). Esta espécie só foi registrada nos manguezais com as maiores idades estimadas. A densidade total em R3 e R2 apresentou valores similares, decaindo abruptamente no estágio de maturidade (Tabela 4).

Os valores de DAP registrados para F1 diferiram significativamente dos diâmetros das outras classes ($p < 0,05$). Somente entre F2 e F3 não houve diferença significativa ($p > 0,05$). F4 não apresentou características de estágio inicial/colonização e foi a única classe onde *R. mangle* não apresentou os maiores valores de densidade, dominância e valor de importância.

Na fisiografia de bacia, os valores de DAP não diferem significativamente entre as classes ($p > 0,05$) (Fig. 6C). Em B4, *R. mangle* apresentou o maior valor de importância, que diminuiu em B3 e B2, com situação inversa para *L. racemosa*. B1 apresentou dominância de *R. mangle* no manguezal, e queda brusca no valor de importância de *A. schaueriana* (queda de 67%) devido à menor frequência da espécie (Tabela 4).

Tabela 4

Variáveis estruturais e desvio padrão dos manguezais no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), por fisiografia e classe de idade.

	Franja				Bacia				Ribeirinho			
	F1	F2	F3	F4	B1	B2	B3	B4	R1	R2	R3	R4
DAP médio (cm)	9,9 ± 4,9	6,4 ± 3,1	6,9 ± 3,5	16 ± 9,6	8,3 ± 3,5	9,2 ± 6,9	7,4 ± 3,5	8,4 ± 5,1	11,9 ± 8,4	9,9 ± 3,4	8,1 ± 4,2	10,1 ± 7,2
Altura média (m)	4,8 ± 1,5	3,9 ± 1,1	3,4 ± 1,1	3,7 ± 1,3	4,4 ± 1,1	4,5 ± 1,3	4,4 ± 1,4	5 ± 1,5	4 ± 0,9	5,2 ± 1	4,3 ± 1,6	5,2 ± 1,8
Área basal (m²/ha)	23,8	24,3	24,8	106,1	26,2	34,8	23,0	11,4	37,0	28,5	21,8	26,3
Densidade (árvores/ha)	2498	6161	5315	3897	4084	3302	4338	5281	2218	3337	3312	2196
<i>Rhizophora mangle</i>												
Densidade (troncos/ha)	2050	5699,4	3720,7	1559,0	2450,1	1337,7	2657,1	4453,1	1023,5	2711,5	2693,8	1263,5
Área basal (m²/ha)	21,3	21,8	19,1	34,0	16,3	8,1	14,9	29,4	13,1	21,9	20	14,5
Densidade relativa (%)	82,05	92,5	70	40	60	40,5	61,3	81,3	46,2	81,3	81,3	57,5
Dominância relativa (%)	89,49	89,4	77	32	62,2	23,4	65,1	71	35,5	76,9	90,1	55
Frequência relativa (%)	62,5	83,3	57,1	44,1	50	37,5	50	63,3	40	64,5	69	50
Valor de Importância	234	265,3	204,1	116,2	172,2	101,4	176,3	215,6	121,6	222,7	240,4	162,5
<i>Laguncularia racemosa</i>												
Densidade (troncos/ha)	384,0	385,0	1528,1	2338,5	1327,1	1421,3	1301,4	685,1	852,9	166,9	618,2	812,3
Área basal (m²/ha)	2,0	2,0	5,4	72,1	8,7	9,5	5,0	2,4	5,3	2,0	2,2	6,3
Densidade relativa (%)	15,4	6,3	28,8	60	32,5	43	30	12,5	38,5	5	18,7	37
Dominância relativa (%)	8,7	8,3	21,8	68	33,2	27,4	21,8	5,8	14,4	7,2	9,9	24,1
Frequência relativa (%)	31,3	12,5	40	55,9	32,4	37,5	37,5	26,7	35	6,5	31	38,2
Valor de Importância	55,3	27,1	90,5	183,8	98	107,9	89,3	45	87,9	18,6	59,6	99,4
<i>Avicennia schaueriana</i>												
Densidade (troncos/ha)	64,0	77,0	66,4	--	306,3	543,4	380	342,5	341,2	458,9	--	120
Área basal (m²/ha)	0,40	0,55	0,31	--	1,2	17,0	3,0	10	18,5	4,5	--	5,5
Densidade relativa (%)	2,6	1,3	1,3	--	7,5	16,5	8,8	6,3	15,4	13,8	--	5,5
Dominância relativa (%)	1,8	2,3	1,2	--	4,6	49,3	13,2	23,2	50,1	15,9	--	20,9
Frequência relativa (%)	6,3	4,2	2,9	--	17,6	25	12,5	10	25	29	--	11,8
Valor de Importância	10,6	7,7	5,4	--	29,7	90,7	34,4	39,4	90,5	58,7	--	38,1

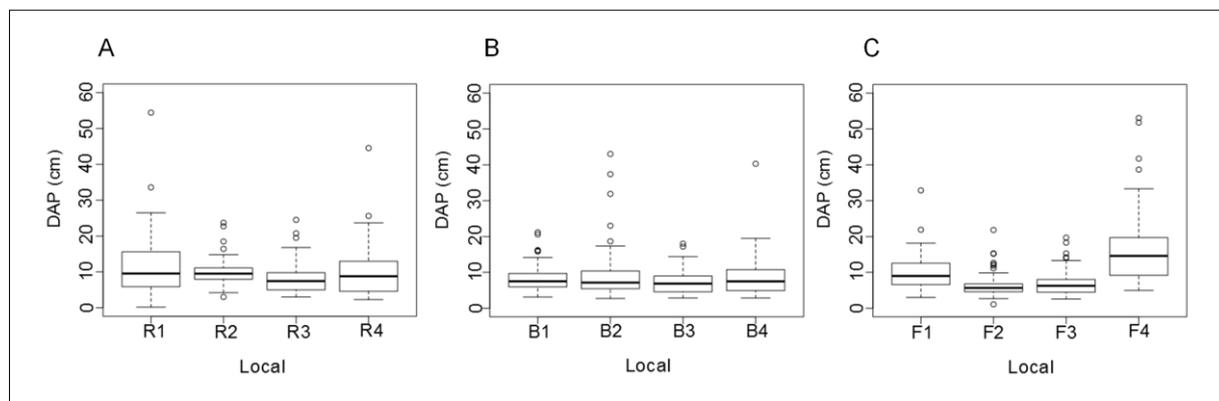


Fig. 6. Classes de idade dos manguezais no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP). A- DAP em manguezais ribeirinhos. B-DAP em manguezais de bacia. C-DAP em manguezais de franja. Caixa- Delimita quartil superior e quartil inferior; Linha preta- Mediana; Barra- Limite superior e limite inferior; Círculo - Outline.

3.2.2 Retração

As áreas de retração comumente estiveram associadas a baixios entremarés, áreas de manguezal com troncos caídos na margem e faixas arenosas contendo árvores de manguezal e de outras vegetações (Fig. 7).

Entre 1986 e 1997, algumas áreas continham manguezais bem desenvolvidos, enquanto outras tinham poucas árvores de manguezal de pequeno desenvolvimento estrutural. Essas áreas comumente eram faixas estreitas seguidas por restinga, marisma ou mata atlântica (Fig. 7A). Nos casos em que a área de manguezal era maior, havia troncos caídos na margem (Fig. 7B). As espécies de árvores presentes variaram entre as áreas. Houve locais contendo as três espécies e locais ocupados apenas por *R. mangle*. Entre 1997 e 2006, as áreas de retração também continham manguezais. Algumas dessas áreas eram faixas arenosas com poucos indivíduos juvenis de *R. mangle* e com troncos caídos (Fig. 7C). Essas faixas de manguezal eram seguidas por outros tipos de vegetação marginal. Houve ainda áreas de retração em que os manguezais eram precedidos de baixios entremarés, inclusive com troncos caídos na margem (Fig. 7D).

As áreas de retração foram mais variadas entre 2006 e 2011, com área de ocupação urbana (Fig. 7E), faixa arenosa contendo apenas troncos secos não caídos (Fig. 7F), e faixas arenosas com *L. racemosa* (Fig. 8A). As árvores desse último local eram pouco desenvolvidas e distantes umas das outras. Nesse período, o único ponto sem árvores de manguezal estava localizado em uma pequena ilha com fragmentos rochosos e vegetação não inundável (Fig. 8B). Áreas de retração com ocupação urbana foram encontradas às margens do Rio Itiberê, na cidade de Paranaguá (Fig. 8C e 8D). A interface entre o rio e o continente estava ocupada por residências e atracadouros para embarcações, por vezes rodeados por manguezal.



Fig. 7. Áreas de retração dos manguezais registradas no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP). A- Faixa de manguezal bem desenvolvido com indivíduos de *Rhizophora mangle*. B- Manguezal com troncos caídos na margem. C- Faixa arenosa com indivíduos juvenis e pouco desenvolvidos de *R. mangle*. D-Manguezal precedido de baixo entremarés. E- Ocupação urbana. F- Troncos secos não caídos junto com marisma. (Fotos: N.M.Santos).



Fig. 8. Áreas de retração dos manguezais registradas no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP). A- Faixa arenosa com *Laguncularia racemosa*. B- Ilha com fragmentos rochosos e vegetação não inundável. C- Ocupação urbana na margem do rio Itiberê. D- Ocupação urbana na margem do rio Itiberê. (Fotos: N.M.Santos).

4. Discussão

4.1 *Tendências de variação espaço-temporal de manguezais nos diversos níveis hierárquicos*

A sobreposição da série temporal indicou pequena tendência geral de expansão dos manguezais no CEP. Contudo a porcentagem encontrada foi muito pequena diante da área total de manguezal estimada, refutando a hipótese central do trabalho. Neste contexto, houve relativa estabilidade dos manguezais no maior nível hierárquico, devido às taxas de expansão ou de retração terem sido pequenas em relação ao total de área florestal estimada. Por outro lado, a análise das variações nos demais subníveis hierárquicos demonstrou que de fato estas formações se comportam de maneira muito dinâmica ao longo do tempo. A alternância de processos de expansão e retração se expressa com maior ou menor intensidade em distintas escalas do tempo e do espaço. Por exemplo, a clara tendência de expansão entre 1986 e 1997 foi revertida por uma tendência de retração na década seguinte, que é a tendência mais atual no CEP como um todo.

Essa relativa estabilidade está primariamente associada ao baixo nível de urbanização da região, ao contrário do que acontece em outros grandes sistemas estuarinos da costa brasileira. Além disto, o fato do CEP estar inserido em uma grande área de preservação do Bioma Mata Atlântica e de unidades de conservação (Lana et al., 2001; Andriquetto, 2003) contribuiu para uma melhor preservação dos manguezais na região ao longo das últimas décadas, principalmente nas Baías de Laranjeiras e Pinheiros. De fato, o CEP é um dos sistemas costeiros menos impactados no sul e sudeste do Brasil (Lana et al., 2001). Ao contrário da maioria das regiões costeiras do país, o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola do Paraná não se concentrou no litoral (Lana et al., 2001), o que contribuiu para a estabilidade dos manguezais na região. Os impactos mais significativos observados atualmente são as dragagens dos canais de acesso aos portos de Antonina e Paranaguá, a descarga de esgoto doméstico, principalmente na região de Paranaguá, e a expansão das atividades portuárias e balneárias.

A análise das séries temporais evolutivas de manguezais já feitas no Brasil revelaram principalmente tendências de retração, com a perda de grandes áreas florestais por impactos antrópicos (Cunha-Lignon et al., 2009; Martin e Wanderley, 2009; Reis Neto et al., 2011). Por exemplo, os manguezais no nordeste do Brasil têm sido degradados para a construção de salinas e de moradias (Martin e Wanderley, 2009; Reis Neto et al., 2011). Na região sul e sudeste, há ainda a pressão trazida pela construção de marinas e portos (Cunha-Lignon et al., 2009; Soares, 2009). As regiões centro e norte do litoral de São Paulo também sofreram a

perda de grande área de manguezais devido à ocupação humana ao longo das duas últimas décadas. No entanto, as tendências de expansão e retração são variáveis em escala local, e assim como encontrado neste trabalho, a área de manguezais aumentou nos últimos 16 anos no litoral sul de São Paulo, associado aos processos deposicionais da região (Cunha-Lignon et al., 2009). No Nordeste, o desenvolvimento de novas áreas de manguezal também foi relacionado com a formação de bancos e ilhas, desta vez em função das mudanças na hidrodinâmica de cursos d'água (Lacerda et al., 2007).

Apesar do menor nível de urbanização no litoral do Paraná, também foi registrado desmatamento localizado de manguezais devido à expansão urbana, seguindo uma tendência recorrente em outros estuários da costa brasileira. Este processo foi reconhecido como um dos responsáveis por parte da retração aqui registrada, principalmente na cidade de Paranaguá. Soares (2009) descreveu o processo de expansão da cidade de 1950 até 2005, com o progressivo aumento da malha urbana em áreas cada vez mais distantes do centro da cidade, principalmente em direção ao sul, sobre os manguezais. Entre 1980 e 1996, a expansão da cidade diminuiu em 124 ha a área de cobertura por manguezais na região (Caneparo, 1999), principalmente em pontos identificados na comparação entre 1986 e 1997 do presente estudo. O adensamento da rede viária e o aterro de manguezais foram registrados principalmente na margem esquerda do rio Itiberê, nas margens do rio Emboguaçu e na Ilha Valadares.

A tendência máxima de expansão dos manguezais ocorreu até 1997, seguido do predomínio de retração nos anos seguintes. Logo, a tendência de retração foi a mais atual encontrada considerando o CEP como um todo. Entre 1985 e 1997, Noernberg e Marone (2003) encontraram avanço máximo da evolução da linha praial na desembocadura do CEP, seguido das maiores variações negativas até 1999. Observaram que o processo erosivo entre 1997 e 1999 estava associado às mudanças na frequência e intensidade dos ventos, provavelmente relacionada ao fenômeno de El Niño de 1997/1998. Processos de erosão provocam alterações na linha de costa, afetando conseqüentemente os ambientes costeiros, como manguezais. A maneira com que o fenômeno da Oscilação Sul/El niño (ENSO) afeta os manguezais não é clara e depende do clima, geomorfologia e hidrogeologia local (Drexler e Ewel, 2001). A inversão da tendência espacial dos manguezais também no período do fenômeno climático demonstra que a dinâmica do ecossistema está sob a influência de processos ambientais locais, mas também pode estar sob efeito de eventos climáticos de larga escala. Drexler e Ewel (2001) observaram que a seca no Pacífico relacionada ao ENSO diminuía o recrutamento e crescimento de sementes em manguezais e marismas, acentuando a importância destes processos de larga escala.

As maiores variações registradas neste estudo estiveram relacionadas com as áreas de contato entre os manguezais e o continente, principalmente por causa da expansão urbana. As demais áreas de retração estiveram associadas a processos erosivos naturais ou não diretamente atribuíveis a atividades humanas. De modo geral, as variações nas áreas de cobertura de manguezais na interface com os corpos estuarinos tendem a ser principalmente causadas por fatores naturais, enquanto variações na interface com o continente, por forças antrópicas (Giri et al., 2007). A ocorrência de algumas áreas de retração ou de expansão distantes da linha de costa e dos centros urbanos foram provavelmente artefatos de técnica derivados do processo de classificação das imagens. Esse tipo de erro ocorre devido às alterações na resposta espectral da vegetação causadas pelas distintas condições ambientais no momento de aquisição das imagens. As imagens utilizadas nesse estudo foram obtidas sob distintas condições de maré e precipitação média. Isto pode ter provocado a classificação de outros tipos de vegetação como manguezais, equivocadamente identificadas como áreas de retração ou expansão, principalmente na região mais continental, nos intervalos de tempo subsequentes. Esse mesmo tipo de erro, devido às diferenças de inundação da maré, também ocorreu com pequenos rios e gamboas.

Dentre as principais variáveis que influenciam a resposta espectral de uma floresta estão o conteúdo de umidade no dossel e no solo (Jensen, 2009). Os dados de precipitação, a época do ano e a inundação da maré são fatores que alteram o reconhecimento dos ecossistemas costeiros, como os manguezais (Florenzano, 2011). Os manguezais possuem uma resposta espectral característica, mas podem ser confundidos com outras florestas úmidas devido ao conteúdo de água no sistema (Meza et al., 2003). Erros podem ter sido igualmente introduzidos pela média resolução espacial do satélite LANDSAT 5/TM, principalmente em uma linha de costa recortada por muitos rios e gamboas como é o caso do CEP. Com essa resolução, se torna mais difícil reconhecer o limite entre os manguezais e as áreas adjacentes, como rios, baixios e outras vegetações. Kampel et al. (2005) consideraram que o erro de identificação do limite de áreas inundadas, por causa da diferença nos níveis de maré, pode levar à identificação de áreas de alteração do manguezal em até 0,05 km². Esse tipo de artefato pode inclusive ser responsável pela pequena porcentagem de expansão (menor que 1%) encontrada para o CEP, o que também fundamenta a refutação da hipótese central do trabalho.

A análise de sobreposição somente com as imagens de 1986 e 2011 resultou nas mesmas tendências de expansão ou retração do período de 1997 a 2006, que são intermediárias. Como as imagens de 1986 e 2011 foram adquiridas sob condições ambientais semelhantes, com valores de altura de maré próximos, a introdução de artefatos de técnica pode ter sido

menor. A proximidade dos resultados dessas duas análises de sobreposição demonstra a consistência geral da presente análise. O uso de uma série temporal com mais de duas imagens é importante para fornecer informações mais precisas sobre mudanças e tendências do ecossistema em menores escalas de tempo, como aqui demonstrado.

A relativa estabilidade dos manguezais no maior nível hierárquico não deve ser considerada como ausência de mudanças espaciais ao longo do tempo. As variações encontradas foram representativas nos demais níveis hierárquicos e indicou heterogeneidade ambiental sobre os manguezais do CEP. Giri et al. (2007), embora também tenham registrado poucas variações espaciais nos extensos manguezais de Sundarbans, em Bangladesh e na Índia, sugeriram que esta presumida estabilidade oculta as mudanças significativas por erosão, agradiação, desflorestamento, reflorestamento e degradação. Estes processos seriam resultado do aumento da salinidade, da sobreexploração de madeira e outras atividades humanas.

No segundo nível hierárquico, o setor de Mistura foi o que sofreu maiores alterações. O setor de Mistura corresponde ao compartimento euhalino do CEP, caracterizado por maiores valores de salinidade e maior energia ambiental (Lessa et al., 1998; Lana et al., 2001), próximo à desembocadura do estuário, com maior influência oceânica. O setor euhalino abriga ainda o sub-estuário Cotinga em sua porção sudoeste, com 34,1% de sua área total representada por baixios ou planícies de maré (Noernberg et al., 2006). Isto evidencia a marcada heterogeneidade geomorfológica dentro de um mesmo setor, justificando abordagens nos diferentes níveis hierárquicos. No sub-estuário Cotinga, o processo deposicional permitiu a formação de pequenas ilhas, colonizadas por manguezais ao longo do período (obs. pess.). Esse processo de acreção foi responsável por áreas de expansão no sub-estuário, mesmo que nem todas as pequenas ilhas tenham sido detectadas devido à resolução das imagens.

Processos de sedimentação recente também afetaram a dinâmica dos manguezais no setor de Laranjeiras, que recebe grande parte da descarga fluvial do CEP, com sedimentos finos e matéria orgânica formando vastos bancos lamacentos e promovendo o desenvolvimento de extensos manguezais (Naizot, 1993). Essas características sedimentológicas explicam a expansão contínua de manguezais até 2006 no setor de Laranjeiras, inclusive com baixas taxas percentuais de perda da vegetação no mesmo período. No menor nível hierárquico, se destacou o sub-estuário Medeiros, com pequena área de cobertura, quando comparado com os outros sub-estuários da baía. Os altos valores percentuais e a alternância entre retração e expansão revelam que esse sub-estuário apresenta maiores níveis de energia e dinâmica ambiental atuando sobre os manguezais.

Cachoeira, localizado mais internamente no setor Antonina, foi o único sub-estuário que apresentou tendência de retração em todos os períodos de tempo estudados ao longo dos 25 anos, inclusive com os menores valores percentuais de expansão. Essa tendência parece estar relacionada às características geomorfológicas do sub-estuário. Noernberg et al. (2006) definiram Cachoeira como a maior área de drenagem do CEP, com o menor valor percentual de planícies de maré (8,5%) e gradiente hidráulico entre os maiores valores. Essas características são indicadoras da maior energia da bacia de drenagem do sub-estuário, que acarretou maior retração e menor disponibilidade de substrato para colonização por manguezais. Áreas de retração de vegetações em planícies de maré foram identificadas entre 1952 e 2001 nos rios Cachoeira e Faisqueira (Branco, 2008). A perda da vegetação ocorreu devido ao processo de erosão das planícies de maré agravado pelo aumento da vazão na bacia do rio Cachoeira, principalmente com a inauguração de uma hidrelétrica. O aumento da vazão na bacia teria alterado uma tendência que era de assoreamento para o carreamento do sedimento, que passou a ser depositado na porção central da Baía de Antonina (Branco, 2008).

4.2 Classes de idade dos manguezais

Monitorar os manguezais em campo é fundamental para entender suas dinâmicas espaço-temporais, incluindo os padrões de zonação e sucessão (Cunha-Lignon et al., 2009). Neste trabalho, a validação de campo não pretendeu abordar ou descrever os processos sucessionais dos manguezais locais, mas apenas associar os atributos das árvores e bosques às classes de idade estimadas por sensoriamento remoto. Não há estudos disponíveis sobre os processos sucessionais de manguezais na região do CEP, o que seria um cenário comparativo ideal com os presentes resultados. No entanto, foi possível evidenciar um gradiente de desenvolvimento florestal com o aumento da idade do bosque, como identificado pelas imagens, expresso pela diminuição da densidade de árvores e aumento do DAP com a idade, padrão já registrado por vários autores em outras regiões (Jímenez et al., 1985; Fromard et al., 1998; Alongi, 2002).

As características dos manguezais com distintas classes de idade variaram entre tipos fisiográficos de bosques. Os manguezais ribeirinhos apresentaram aumento da dominância e do valor de importância de *A. schaueriana* com o aumento da idade ou maturidade dos bosques. Como no CEP as espécies *R. mangle* e *L. racemosa* apresentam um comportamento pioneiro ou oportunista em relação a *A. schaueriana* (Martin, 1992), os presentes resultados ilustram

muito bem a transformação que ocorre durante o amadurecimento dos manguezais ribeirinhos regionais. Fromard et al. (1998) descreveram para a Guiana Francesa, que o amadurecimento de manguezais de um estágio pioneiro foi marcado pelo aumento dos valores nos parâmetros estruturais e pelo desenvolvimento de uma nova espécie (*A. germinans*). Berger et al. (2006) também observaram que a colonização de *Avicennia* era o último estágio do desenvolvimento de manguezais em regeneração.

Os manguezais de franja apresentaram maior densidade e dominância de *R. mangle* em todas as classes de idades. Essa característica é comum para os manguezais desse tipo fisiográfico, nos quais há uma baixa densidade de *Laguncularia* e *Avicennia* (Lugo e Snedaker, 1974). Assim, as principais transformações registradas estiveram associadas a *R. mangle*. Por exemplo, o aumento da área basal de *R. mangle* nos bosques com mais de cinco anos de idade até os 25 anos, é indicativo do aumento da maturidade dos bosques deste tipo de fisiografia. A diminuição na densidade total das árvores de uma classe de idade para outra também expressou claramente o amadurecimento dos bosques. Nos manguezais ribeirinhos e de franja, a densidade aumentou até os 25 anos de idade, e diminuiu abruptamente quando na fase mais madura. Essa diminuição ocorre pelo desbaste natural, descrito por Jiménez et al. (1985), como resultado da competição por espaço.

Os limites de idades utilizados para a categorização de classes de idade são genéricos e não devem ser vistos ou tratados como limites precisos. Com isso, alguns dos manguezais analisados podem ter idades próximas e sem diferenças significativas entre os parâmetros fitossociológicos (Ex: DAP em F2 e F3). A dificuldade de reconhecer características do amadurecimento de uma classe de idade para outra, como ocorreu para os manguezais de bacia, pode ser também resultado de alterações nas condições ambientais que influenciam o desenvolvimento dos manguezais, como salinidade e aporte de nutrientes (Krauss et al., 2008).

A classe 4 não apresentou características de um estágio mais jovem ou de colonização entre os três tipos fisiográficos. Esse resultado indicou que as diferenças entre a resposta espectral dos manguezais nas imagens de 2006 e 2011 foram significativas. A imagem de 2006 possuiu maior altura de maré e foi tomada em um período em que havia sido registrado o dobro da precipitação acumulada em relação à imagem de 2011. Essas diferenças podem ser responsáveis por uma classificação menos precisa da idade dos bosques. A estimativa equivocada da idade pode não ter ocorrido apenas para a fisiografia de franja. O bosque de franja da classe 4 pode ser mais desenvolvido, apesar da menor idade, por causa de mudanças nas condições ambientais locais, que reduziram o estresse sobre as árvores e favoreceram seu crescimento. Os manguezais de franja amostrados estavam localizados na margem de ilhas marítimas, locais

onde a expansão do bosque ocorre pela disponibilidade de um novo substrato decorrente do processo de sedimentação. Assim, o manguezal mais próximo da linha da água certamente se formou mais recentemente (Fromard et al., 2004).

Não houve características padrão para descrever todas as áreas de retração visitadas, mas determinadas configurações se repetiram. Por exemplo, a ocorrência de juvenis, plântulas e troncos caídos em faixas arenosas principalmente no setor de Mistura. As características do sedimento (areia) e a condição mais energética do setor não foram favoráveis para o crescimento e sobrevivência das espécies, levando às áreas de retração identificadas apesar do contínuo estabelecimento de indivíduos por dispersão de propágulos ou brotamento. É difícil determinar a causa da morte e perda de árvores sem o monitoramento local, e apenas o desmatamento resultante da ocupação do solo por atividades antrópicas é facilmente identificado.

Entre 2006 e 2011, uma das áreas de retração era uma faixa de troncos secos de manguezal. As árvores não estavam caídas e morreram no curto período de tempo entre 2006 e 2011. Jiménez et al. (1985) consideraram que a morte de indivíduos de distintas classes de tamanho em um curto período de tempo como esse, pode ser causada por fatores biológicos, como competição, herbivoria e doenças, e por fatores físicos, como mudanças no regime de marés, e diminuição de chuvas e do aporte terrestre. Sendo, portanto, difícil estabelecer qual desses processos está associado à retração. Foram ainda encontradas áreas de retração com manguezais bem desenvolvidos, sobre as quais há duas opções a serem consideradas. A primeira foi o rápido restabelecimento da vegetação e a segunda foi a errada identificação da área de retração durante o processamento das imagens. Por isso, deve haver cuidado na consideração das áreas de retração apontadas por sensores de média resolução, principalmente em curtos períodos de tempo e sem influência antrópica aparente.

5. Considerações finais

A área total de cobertura de manguezais no complexo estuarino se manteve ao longo dos últimos 25 anos. Esta relativa estabilidade da grande área da vegetação no nível do sistema como um todo não deve mascarar as variações significativas nas suas áreas de cobertura, em distintas escalas de espaço e tempo. O CEP é um sistema heterogêneo, com marcados gradientes ambientais, evidenciados por variações na granulometria, pH e salinidade das

planícies de maré (Martin, 1992), nas suas características morfológicas e sedimentares (Lessa et al., 1998) e nos níveis de energia ambiental entre setores mais internos e externos (Lessa et al., 1998; Lana et al., 2001). Os manguezais regionais são condicionados por estes gradientes, distribuindo-se em um mosaico de configurações fisiográficas, que respondem de forma distinta aos diversos fatores reguladores, sejam eles forçantes naturais ou atividades humanas. No segundo nível hierárquico estudado, houve tendência de expansão nos setores mais internos do CEP, não refutando a hipótese central do trabalho. Apenas para o sub-estuário Cachoeira, localizado mais internamente no sistema, a tendência de retração prevaleceu, devido à maior intensidade dos processos erosivos e à menor área de planícies de maré disponíveis para colonização. Neste contexto, o processo de formação de bancos e baixios foi o fator primariamente determinante da evolução dos manguezais, ao longo dos últimos 25 anos. Este processo natural foi contrabalançado por retração causada principalmente pelo desmatamento para expansão urbana, industrial e portuária.

Embora a validação de campo tenha se mostrado essencial, é ainda necessário avaliar com maior precisão os processos ecossistêmicos associados com a evolução dos manguezais da região, como é o caso dos padrões de zonação e sucessão. O uso do satélite LANDSAT 5 pode gerar artefatos devido a média resolução espacial das imagens, afetando a acuidade da interpretação das mudanças apontadas pela série temporal. O uso futuro de outras ferramentas do sensoriamento remoto poderá complementar as análises do presente trabalho. No CEP, fotografias aéreas foram utilizadas para estudar variações nas áreas de cobertura de manguezais apenas nas regiões de Paranaguá e de Cachoeira (Caneparo, 1999; Branco, 2008). São ainda necessárias análises mais finas de outras regiões, como o setor de Mistura e o sub-estuário Medeiros, que foram identificados como locais de maior energia para a vegetação. A integração de informações geradas por outras ferramentas será essencial para o desenvolvimento de planos de gestão para a região. Estudos em diferentes escalas espaciais, aliando sensores de maior e menor resolução ou fotografias aéreas, poderão fornecer maiores subsídios aos tomadores de decisão para o gerenciamento costeiro (Schaeffer-Novelli et al., 2000; Cunha-Lignon et al., 2009).

Entender esta dinâmica permitirá aos cientistas e gestores prever variações futuras nas funções, serviços e bens ecossistêmicos (Hauff et al., 2006). Por exemplo, a identificação de áreas com maior capacidade de reposição de biomassa de madeira será essencial para fundamentar o seu uso tradicional pelas populações locais. No CEP, essas regiões podem ser o sub-estuário Cotinga e o Setor Laranjeiras, compartimentos com bosques maduros e em expansão por causa da dinâmica natural de formação de bancos e baixios, disponíveis para

colonização de manguezais. Esta expansão se deve principalmente à colonização por *R. mangle* e *L. racemosa*, consideradas pioneiras e mais frequentes nos bosques mais jovens. Neste sentido, supõe-se que dependendo da tendência de desenvolvimento e da composição específica dos bosques locais, a extração do recurso poderia ser sustentável ou viável. Por outro lado, a extração de madeira em locais de alta energia pode levar à erosão e consequente perda da área de manguezais (Hauff et al., 2006). Com isso, é possível hipotetizar que a extração do recurso terá menor impacto em setores com áreas estáveis ou em expansão, sem tendências de retração. Contudo, tais suposições dependem de outros estudos sobre a vegetação. Estratégias de manejo dos manguezais dependem do constante monitoramento da vegetação em diferentes escalas espaciais, do conhecimento aprofundado dos estágios sucessionais nas distintas fisiografias de manguezais da região e de estudos sobre a capacidade de regeneração e suporte dos estoques de madeira.

6. Referências

- Almeida, L.G.; Silva, M.L.F.; Vale, C.C. 2007. Análise multitemporal da baía de Vitória (ES) utilizando sensoriamento remoto. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis: 4557-4564.
- Alongi, D.M. 2002. Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, 29: 331–349.
- Alongi, D.M. 2007. Resilience of mangrove forests, tsunamis, and global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 20: 1-13.
- Alongi, D.M. 2009. Paradigm shifts in mangrove biology. In: *Coastal wetlands: an integrated ecosystem approach*. Perillo, G.M.E; Wolanski, E.; Cahoon, D.R. & M.M. Brinson (eds): 615 – 640pp.
- Andriguetto-Filho, J.M. 2003. A mudança técnica e o processo de diferenciação dos sistemas de produção pesqueira do Litoral do Paraná, Brazil. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 8: 43-58.
- Angulo, R.J.; Muller, A.C. 1990. Preliminary characterization of some tidal flat ecosystems on the State of Paraná Coast. Brasil. In: *Simp Simpósio sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira*, ACIESP, p.158-168.
- Berger, U.; Adams, M.; Grimm, V. & H. Hildenbrandt. 2006. Modelling secondary succession of neotropical mangroves: Causes and consequences of growth reduction in pioneer species. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 7: 243–252.

Bertrand, F. 1999. Mangrove dynamics in the Rivières du Sud area, West Africa: an ecogeographic approach. *Hydrobiologia*, 413: 115–126.

Bigarella, J.J.; Becker, R.D.; Matos, D.G. & A. Werner. 1978. A Serra do Mar e a porção oriental do Paraná, um problema de segurança ambiental e nacional. Secretaria de Estado de Planejamento do Paraná.

Branco, J.C. 2008. Tidal flats ecosystems and morphological changes on the mouth of the Cachoeira river, Paraná. Publicativo UEPG, Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias, 14: 33-41.

Câmara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M. & J. Garrido. 1996. SPRING: Integrating remote sensing and GIS object-oriented data modelling. *Computer and Graphics*, 20: 395-403.

Caneparo, S.C. 1999. Manguezais de Paranaguá uma análise da dinâmica espacial da ocupação antrópica - 1952-1996. Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná, 289p. P.S. Chavez Jr. Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper multispectral images. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 55 (1989), pp. 1285, pp.

Chavez, P.S. 1989. Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper multispectral images. *Photogrammetric Eng. Remote Sensing*, 55: 1285 pp.

Cunha-Lignon, M.; Menghini, R.P.; Santos, L.C.M.; Niemeyer-Dinóla, C. & Y. Schaeffer-Novelli. 2009. Case Studies in the Mangrove Forests of the State of São Paulo (Brazil): Application of Tools Using Different Spatial and Temporal Scales. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 9:79-91.

Dahdouh-Guebas, F. & N. Koedam. 2006. Empirical estimate of the reliability of the use of the Point-Centred. *Forest Ecology and Management*, 228:1–18.

Dahough-Guebas, F.; Verheyden, A.; De Genst, W.; Hettiarachchi, S. & N. Koedam. 2000. Four decade vegetation dynamics in Sri Lankan mangroves as detected from sequential aerial photography: a case study in Galle. *Bulletin of Marine Science*, 67: 741-759.

Drexler, J.Z.; Ewel, K.C. 2001. Effect of the 1997–1998 ENSO-Related Drought on Hydrology and Salinity in a Micronesian Wetland Complex. *Estuaries*, 24: 347–356.

Florenzano, T.G. 2011. Iniciação em Sensoriamento Remoto. 3ª Edição. Editora Oficina de Textos, São Paulo. 128p.

Fromard, F.; Puig, H.; Mougin, E.; Marty, G.; Betoulle, J.L. & L. Cadamuro. 1998. Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana. *Oecologia*, 115: 39 – 53.

Fromard, F.; Veiga, C. & C. Proisy. 2004. Half a century of dynamic coastal change affecting mangrove shorelines of French Guiana. A case study based on remote sensing data analyses and field surveys. *Marine Geology*, 208: 265–280.

Giri, C.; Ochieng, E.; Tieszen, L.L.; Zhu, Z.; Singh, A.; Loveland, T.; Masek, J. & N. Duke. 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20: 154–159.

Giri, C.; Pengra, B.; Zhu, Z.; Singh, A. & L.L. Tieszen. 2007. Monitoring mangrove forest dynamics of the Sundarbans in Bangladesh and India using multi-temporal satellite data from 1973 to 2000. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 73: 91-100.

Hauff, R.D.; Ewel, K.C. & J. Jack. 2006. Tracking human disturbance in mangroves: estimating harvest rates on a Micronesian island. *Wetlands Ecology and Management*. 14, 95–105.

Jensen, J.R. 2009. Sensoriamento remoto do ambiente. Editora Parêntese. Segunda Edição. São José dos Campos, SP.

Jimenez, J.A.; Lugo, A.E. & G. Cintrón. 1985. Tree mortality in mangrove forests. *Biotropica*, 17: 177-185.

Kairo, J.G.; Kivyatu, B. & N. Koedam. 2002. Application of remote sensing and GIS in the management of mangroves forests within and adjacent to Kiunga Marine Protected Area, Lamu, Kenya. *Environment, Development and Sustainability* 4: 153–166.

Kampel, M.; Amaral, S. & M.L.G. Soares. 2005. Imagens CCD/CBERS e TM/Landsat para análise multi-temporal de manguezais no Nordeste brasileiro. Um estudo no litoral do Estado do Ceará. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*: 979 - 986.

Krauss, K.W.; Lovelock, C.E.; McKee, K.L.; López-Hoffman, L.; Ewe, S.M.L. & W.P. Sousa. 2008. Environmental drivers in mangrove establishment and early development: A review. *Aquatic Botany*, 89: 105-127.

Krug, L.A.; Leão, C.; Amaral, S. 2007. Dinâmica espaço-temporal de manguezais no Complexo Estuarino de Paranaguá e relação entre decréscimo de áreas de manguezal e dados sócio-econômicos da região urbana do município de Paranaguá – Paraná. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*: 2753-2760.

Lacerda, L.D.; Menezes, M.O.T.; Molisani, M.M. 2007. Changes in mangrove extension at the Pacoti River estuary, CE, NE Brazil due to regional environmental changes between 1958 and 2004. *Biota Neotropica*, 7: 67-72.

Lana, P.C. 2004. Novas formas de gestão dos manguezais brasileiros: a Baía de Paranaguá como estudo de caso. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 10: 169-174.

Lana, P.C.; Marone, E.; Lopes, R.M. & E.C. Machado. 2001. The subtropical estuarine complex of Paranagua Bay, Brazil. *Ecological Studies*. 144, 131-145.

Lessa, G.C.; Meyers, R.S. & E. Marone. 1998. Holocene stratigraphy in the Paranaguá Bay Estuary, Southern Brazil. *Journal of Sedimentary Research*, 68: 1060–1076.

- Liu, K.; Li, X.; Shi, X.; Wang, S. 2008. Monitoring mangrove forest changes using remote sensing and GIS data with decision-tree learning. *Wetlands*, 28: 336–346.
- Long, B.G. & T.D. Skewes. 1996. A technique for mapping mangroves with LANDSAT TM satellite data and geographic information system. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 43: 373–381.
- Lugo, A.E. & S.C. Snedaker. 1974. The Ecology of Mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5: 39-64.
- Lugo, A. E., M. Sell & S. C. Snedaker. 1999. Mangrove ecosystem analysis. In: A. Yáñez-Arancibia & A. L. Lara-Domínguez (eds.). *Ecosistemas de Manglar en América Tropical*. Instituto de Ecología A.C. México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA. 380 p.
- Martin, F. 1992. Etude de l'écosystème mangrove de La Baie de Paranaguá (Paraná, Brésil): Analyse des impacts et propositions de gestion rationnelle. Tese de doutorado, Université Paris VII. 289p.
- Martins, P.T.A. & L.L. Wanderley. 2009. Spatial occupation dynamic of the adjacencies areas (period 1987-2008) and your relation with anthropic tensors in the mangrove forest at Cachoeira River, Ilhéus, Brazil. *Sociedade e Natureza*, 21: 77-89.
- Melo, J.G.S.; Oliveira, T.H.; Silva, C.A.V.; Torres, M.F.A.; Galvíncio, J.D.; Silva, H.A. 2011. Análise espaço temporal do manguezal do baixo curso do rio Capibaribe, Recife-PE: uma contribuição para o gerenciamento ambiental. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, p.6586
- Meza Díaz, B. & G.A. Blackburn. 2003. Remote sensing of mangrove biophysical properties: evidence from a laboratory simulation of the possible effects of background variation on spectral vegetation indices. *Integrative Journal of Remote Sensing*, 24: 53-73.
- Naizot, T. 1993. Géographie de La Baiel de Paranaguá (Parana, Brésil): Apport des Données satellitaires a L'Étude des Marais a Mangroves. Tese de doutorado. Université Paris, 430p.
- Noernberg, M.A.; Marone, E. 2003. Spatial-temporal Monitoring of the Paranaguá Bay Inlet Margins Using Multispectral Landsat-TM Images. *Journal of Coastal Research*, 35: 221-231.
- Noernberg, M.A.; Lautert, L.F.C.; Araújo, A.D.; Marone, E.; Angelotti, R.; Netto Jr, J.P.B. & L.A. Krug. 2006. Remote sensing and GIS integration for modelling the Paranaguá Estuarine Complex – Brazil. *Journal of Coastal Research*, 39: 1627 – 1631.
- Rakotomavo, A. & F. Fromard. 2010. Dynamics of mangrove forests in the Mangoky River delta, Madagascar, under the influence of natural and human factors. *Forest Ecology and Management*, 259: 1161–1169.
- Reis Neto, A.S.; Cunha-Lignon, M.; Arruda-Reis, M.C.C. & A.J.A. Meireles. 2011. The Ceará river mangrove's landscape (northeast Brazil): comparative analyses of 1968 and 2009. *Journal of Coastal Research*, 64: 1802-1805.

- Schaeffer-Novelli, Y.; Cintrón-Molero, G.; Adaime, R.R. & T.M. Camargo. 1990. Variability of mangroves ecosystems along the Brazilian coast. *Estuaries*. 13, 204-218.
- Schaeffer-Novelli, Y.; Cintrón-Molero, G.; Soares, M.L.G. & T. De-Rosa. 2000. Brazilian mangroves. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 3; 561-570.
- Silva, C.P. 2011. Caracterização dos manguezais do Complexo Estuarino de Paranaguá a partir de imagens SPOT. Monografia de conclusão de curso, Universidade Federal do Paraná. 30p.
- Simard, M.; Zhang, K.; Rivera-Monroy, V.H.; Ross, M.S.; Ruiz, P.L.; Castañeda-Moya, E.; Twilley, R.R. & E. Rodriguez. 2006. Mapping Height and Biomass of Mangrove Forests in Everglades National Park with SRTM Elevation Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 72, 299-311.
- Soares, C.R. 2009. Os portos de Paranaguá (PR) e Itajaí (SC): Análise comparativa das suas relações com as cidades de inserção, da estrutura operacional atual e das condições sócio-ambientais das regiões de entorno. Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná. 184p.
- Thu, P.M. Populus, J. 2007. Status and changes of mangrove forest in Mekong Delta: Case study in Tra Vinh, Vietnam. *Estuarine, Coastal e Shelf Science*, 71: 98-109.
- Walters, B.B.; Rönnbäck, P.; Kovacs, J.M.; Crona, B.; Hussain, S. A.; Badola, R.; Primavera, J.H.; Barbier, E. & F. Dahdouh-Guebas. 2008. Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*. 89, 220-236.
- Wang, L.; Sousa, W.P.; Gong, P. & G.S. Biging. 2004. Comparison of IKONOS and QuickBird images for mapping mangrove species on the Caribbean coast of Panama. *Remote Sensing of Environment*. 91, 432-440

Capítulo II

Distribuição espacial e disponibilidade de madeira, expressa como biomassa aérea, em manguezais de um estuário subtropical

Revista pretendida: Forest Ecology and Management (Fores Eco Man), ISSN(0378-1127), Fator de Impacto (JCR 2011) = 2.487, Qualis CAPES = Estrato A1.

Resumo

A madeira, usada principalmente como lenha, para a produção de carvão vegetal e para a construção de casas e artefatos de pesca artesanal, é um dos principais recursos fornecidos por manguezais em escala global. As dinâmicas de uso resultam da interação entre dinâmicas naturais das florestas, incluindo variações da biomassa aérea, e das dinâmicas socioambientais das populações que a utilizam. Neste contexto, é essencial estimar o estoque do recurso e seus padrões de distribuição para fundamentar ações de preservação estrita ou de manejo compatíveis com realidades e demandas locais. Neste trabalho, buscamos quantificar a biomassa de madeira de manguezais e descrever sua distribuição espacial na Baía de Paranaguá, um amplo e bem preservado complexo estuarino no sul do Brasil. O trabalho foi realizado a partir da integração de inventários florestais e ferramentas de sensoriamento remoto. O sensor de altíssima resolução RAPIDEYE e índices de vegetação foram utilizados para gerar um modelo de predição de biomassa de madeira. Os valores de biomassa variaram entre 1 e 542 t ha⁻¹, com menores valores localizados próximo à linha d'água ao longo dos eixos do sistema. Valores maiores de biomassa foram registrados em manguezais ribeirinhos e no interior dos bosques. Essa distribuição sugere que as taxas de inundação e o aporte dos rios influenciam marcadamente a produtividade e conseqüente acúmulo de biomassa nos troncos. Os manguezais ribeirinhos apresentaram também maior abundância relativa da espécie *Avicennia schaueriana*, mais desenvolvida e com maior biomassa que as outras duas espécies, influenciando assim os padrões mais gerais de variação dos bosques como um todo. Os manguezais menos desenvolvidos estruturalmente e com menor biomassa se localizaram próximo à desembocadura do sistema, mas mesmo neste setor há bosques com elevados estoques. Os rios facilitam o acesso dos usuários, e por isso, o maior estoque e acessibilidade ao recurso tornam os manguezais de rios mais adequados para extração de madeira na região.

Tentativas de mapeamento da biomassa de manguezais por sensoriamento remoto são ainda escassas e permitem análises em escalas espaciais muito amplas, contribuindo assim para futuras ações de uso sustentável dos manguezais em escalas local e regional.

Palavras-chave: Manguezal, biomassa de madeira, RAPIDEYE, distribuição espacial.

1. Introdução

Os manguezais são conhecidos por proteger a linha de costa contra erosão, fornecer alimento, abrigo e sítios de reprodução para inúmeras espécies de importância econômica e pelo seu papel no ciclo global do carbono e de nutrientes (Ewel et al., 1998; Walters et al., 2008). Dentre os bens produzidos pelos manguezais, o uso de madeira se destaca em diversos países (Walters et al., 2008). Esse tipo de exploração é relatado e conhecido há centenas de anos, com extração principalmente para produção de lenha e carvão vegetal e para a construção civil (Walters et al., 2008). A exploração de madeira ocorre principalmente para fins de subsistência, mas pode complementar a renda familiar quando há comercialização em escala local e regional, ou mesmo pode assumir importância industrial, como ocorre no Japão (Bandaranayake, 1998; Glaser et al., 2003). A extração ocorre comumente para produção de tanino, fabricação de varas, estacas e postes, construção de barcos, cercos de pesca e uso como inseticidas, entre outros (Bandaranayake, 1998; Dahdouh-Guebas et al., 2000; Glaser et al., 2003; Hauff et al. 2006; Walters et al., 2008; capítulo III desta dissertação). Há reconhecidamente uma potencialidade e uma diversidade de usos da madeira em diferentes regiões, dependendo das necessidades das populações envolvidas e da fisiografia dos manguezais locais (Hauff et al. 2006; Walters et al., 2008).

Manguezais são considerados florestas altamente produtivas (Bouillon et al., 2008; Kristensen et al., 2008). As taxas de produção primária se expressam em uma grande disponibilidade de biomassa aérea e subterrânea, com valores comparáveis às de outras florestas tropicais (Alongi, 2002; 2011). A biomassa florestal, por sua vez, influencia as dinâmicas de extração e uso da madeira. Populações costeiras têm maior dependência do recurso onde os bosques são mais complexos e onde há mais biomassa disponível para exploração (Alongi, 2002).

As regiões equatoriais e do Indo-Pacífico possuem os manguezais mais desenvolvidos estruturalmente (Alongi, 2002). Valores de biomassa aérea de até 315 t ha⁻¹ são estimados em bosques maduros da Guiana Francesa (Formard et al., 1998), de 436,4 t ha⁻¹ na Indonésia (Komiyama et al., 1988), de 240 t ha⁻¹ no Sri Lanka (Amarasinghe e Balasubramaniam, 1992) e de 460 t ha⁻¹ na Malásia (Putz e Chan, 1986). Manguezais de regiões subtropicais possuem em média menor biomassa aérea, com aproximadamente 100 t ha⁻¹ (Komiyama et al., 2008).

A maioria das estimativas de biomassa de manguezais atualmente disponíveis foi feita a partir de técnicas alométricas, com análises de regressão sobre parâmetros estruturais, como o diâmetro e a altura do tronco (Komiyama et al., 2008). Entretanto, o método alométrico depende do corte de indivíduos e pode ser muito trabalhoso em campo. No Brasil, esse método foi utilizado para estimar biomassa ou volume por Silva et al. (1993) e Medeiros e Sampaio (2008) no Nordeste, e por Soares e Schaeffer-Novelli (2005), Estrada et al. (2011) e Estrada (2013) no sudeste do país. Trabalhos com essa finalidade são ainda escassos no Brasil, sendo ainda necessárias estimativas regionais diante da grande variabilidade dos manguezais ao longo da costa brasileira (Schaeffer-Novelli et al., 1990). Nos complexos estuarinos de Paranaguá e Guaratuba no Estado do Paraná, sul do Brasil, existe ainda uma grande área de manguezais subtropicais, bem preservados, cuja biomassa florestal é desconhecida. O conhecimento da biomassa em escala local é útil como expressão do potencial de produtividade florestal, do estoque e ciclagem de nutrientes e do valor comercial da madeira (Soares e Schaeffer-Novelli, 2005).

As ferramentas do sensoriamento remoto permitem que grandes superfícies florestais sejam mapeadas de forma mais rápida e eficiente, sendo hoje consideradas essenciais para avaliar a extensão da cobertura florestal e a distribuição de biomassa em escalas espaciais mais amplas (Fatoyinbo et al., 2008). O mapeamento da distribuição da biomassa florestal, por exemplo, permite a espacialização de estimativas e estudos sobre estoques de carbono (Blackard et al., 2008). Possibilita ainda uma melhor avaliação da distribuição espacial de madeira, de difícil mensuração em campo, devido à complexidade estrutural dos manguezais (Fatoyinbo e Simard, 2013).

Estimativas da biomassa aérea florestal com técnicas do sensoriamento remoto foram feitas em manguezais da África (Fatoyinbo et al., 2008; Fatoyinbo e Simard, 2013), Austrália (Lucas et al., 2007), Colômbia (Simard et al., 2008), Flórida (Simard et al., 2006), Guiana Francesa (Proisy et al., 2007) e Malásia (Hashim et al 1999). A maioria dos estudos utilizou os sistemas de radar SRTM e JERS-SAR. Esses sistemas geram imagens de média resolução, de 18 m e 30 m, respectivamente, e se mostraram eficazes para o mapeamento de parâmetros

biofísicos. A vantagem dos sistemas de radar é o mapeamento da vegetação em área de constante cobertura de nuvens, como ocorre com frequência na zona costeira. O procedimento mais utilizado é o mapeamento da altura das árvores com SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e posterior aplicação de equações alométricas que calculam a biomassa a partir da altura estimada (Simard et al., 2006; Fatoyinbo et al., 2008; Simard et al., 2008; Fatoyinbo e Simard, 2013). Entretanto, os dados do SRTM necessitam de calibração com dados de campo, sistemas de laser ou modelos de elevação digital (Simard et al., 2006).

Estimativas de biomassa florestal com o sensoriamento remoto também ocorrem a partir do comportamento espectral da vegetação, como por exemplo, com o uso dos Índices de Vegetação (IVs). Estes são modelos matemáticos que realçam a resposta espectral da vegetação e são frequentemente relacionados a parâmetros biofísicos (Xia et al., 2006; Jensen, 2009; Ponzoni e Shimabukuro, 2010). Dentre os IVs desenvolvidos, o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é o mais comumente utilizado para essa finalidade.

Além das estimativas dos estoques de carbono, a biomassa aérea é um atributo ecológico cada vez mais importante para o monitoramento das mudanças na estrutura florestal (Labrecque et al., 2006). A maior porcentagem dessa biomassa está acumulada nos troncos e galhos (Komiyama et al., 2008), constituindo um importante recurso florestal explorado em manguezais de todo o mundo (Kovacs, 1999; Dahdouh-Guebas et al., 2000; Glaser et al., 2003; Walters et al., 2008). Por isso, a importância de identificar estoques da madeira e padrões de distribuição espacial desse recurso.

A importância assumida pelo uso da madeira de manguezais em todo o Brasil torna igualmente necessária a estimativa de estoque desse recurso. Apesar da restrição de uso acarretada pela legislação ambiental, a extração de madeira ocorre de fato, com maior ou menor intensidade, ao longo de toda a costa (Diegues, 2001; Glaser et al., 2003; Vasques et al., 2011). A superexploração e a extração ilegal da madeira em distintos locais contribuem para a perda florestal e podem acarretar a perda ou redução na disponibilidade de outros bens e serviços ecossistêmicos. Dados quantitativos sobre este recurso são assim necessários como base para quaisquer intervenções nos manguezais, seja para fins de preservação estrita ou conservação, englobando ações de manejo ou exploração sustentável. Neste contexto, o presente trabalho tem o objetivo de estimar a biomassa de madeira e avaliar sua distribuição espacial nos manguezais da Baía de Paranaguá, um amplo e bem preservado sistema estuarino subtropical do sul do Brasil.

2. Métodos

2.1 Área de estudo

A área alvo foi o Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), localizado no sul do Brasil (48° 25' O, 25° 30' S) (Fig. 1). O CEP é formado por quatro baías com denominações locais (Antonina, Paranaguá, Laranjeiras e Pinheiros), que se distribuem ao longo dos eixos leste-oeste e norte-sul. A hidrodinâmica local é guiada pela ação de correntes de marés e aporte dos rios (Lana et al., 2001). Um gradiente de energia e salinidade se forma ao longo dos eixos do complexo estuarino da água doce às condições marinhas. O setor mais externo, com salinidades mais altas e maiores níveis de energia ambiental, próximo à desembocadura, é denominado euhalino. O setor médio é denominado polihalino, e os setores mais internos e de menor energia são denominados oligo- e mesohalino (Lana et al., 2001). O sistema é conectado com o mar aberto por três canais de maré (Noernberg et al., 2006), com a principal comunicação formada pelos dois maiores canais ao sul do sistema.

O complexo estuarino possui 295,5 km² de vegetação inundável (Noernberg et al., 2006). Estas colonizam as planícies de maré e incluem marismas, manguezais, pântanos de maré, brejos de maré e zonas de *Cladium* (Angulo e Müller, 1990; Branco, 2008). Manguezais são as formações dominantes, compostos pelas espécies *Rhizophora mangle* L., *Avicennia schaueriana* Stapf & Leech e *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. Os manguezais regionais foram categorizados em diferentes unidades vegetais de acordo com sua composição, desenvolvimento e local de ocorrência (Martin, 1992). As diferentes formações podem ser monoespecíficas ou pluriespecíficas. As fisionomias monoespecíficas são as formações arbustivas, subarbustivas, os bosques altos e as florestas monoestratificadas. As fisionomias pluriespecíficas são os bosques arbustivos, os bosques altos, as florestas de dois estratos e as florestas de três estratos. A variação estrutural dos manguezais está aparentemente associada ao regime hídrico dos diferentes domínios morfológicos regionais, em função da distância da desembocadura do sistema e da topografia que varia localmente. As três espécies se distribuem de maneira muito variável ao longo do complexo estuarino, com fisionomias de maior diversidade estrutural em margens e deltas de rios (Martin, 1992). *R. mangle* e *L. racemosa* são dominantes nos bosques e se distribuem ao longo de todos os manguezais, enquanto *A. schaueriana* ocorre em cotas mais elevadas, nas quais as taxas de inundação são menores (Alves, 2011).

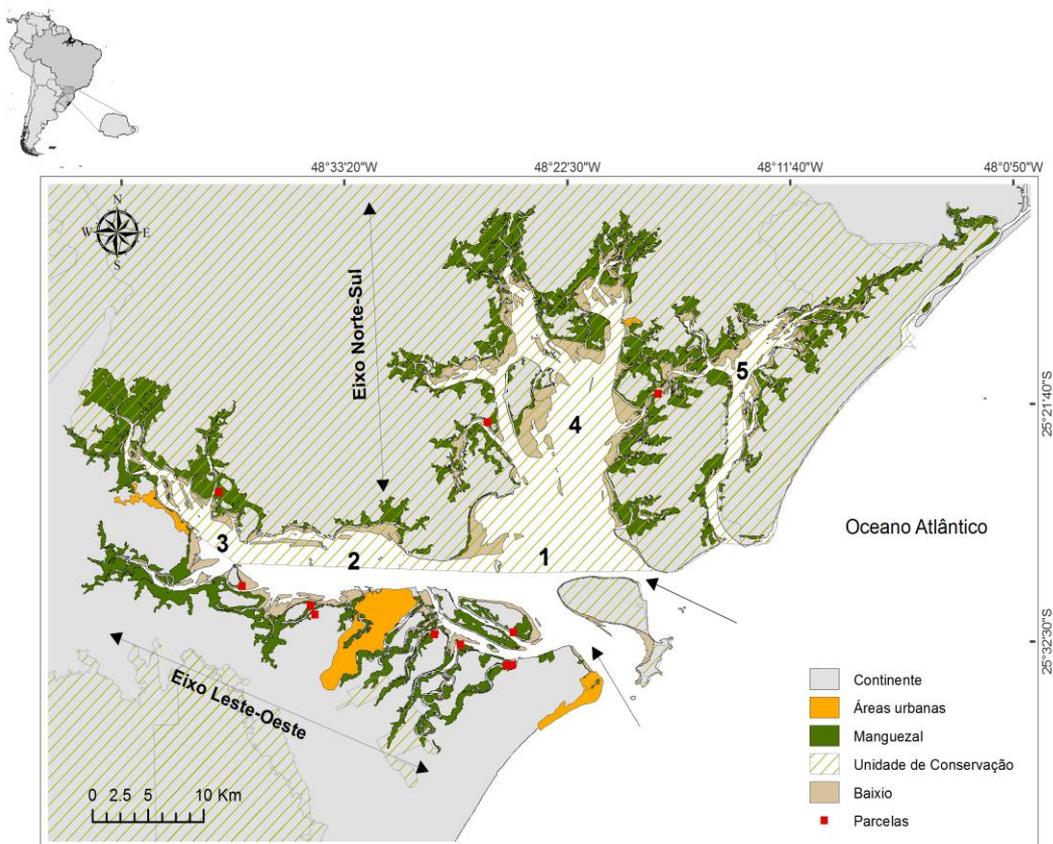


Fig. 1. Complexo Estuarino de Paranaguá (Paraná, Brasil), com indicação da área de cobertura dos manguezais e localização das parcelas utilizadas para o inventário florestal. 1-Setor de Mistura. 2-Baía de Paranaguá. 3-Baía de Antonina. 4-Baía de Laranjeiras. 5-Baía de Pinheiros. Setas indicam principais comunicações do sistema com o mar aberto.

2.2 Inventário florestal e estimativa de biomassa

O estoque de madeira dos manguezais do CEP foi estimado pelo cálculo da biomassa de troncos, realizado através do método alométrico não destrutivo. Este método estima o peso dos troncos através de equações alométricas derivadas de análises de regressão sobre as dimensões das árvores, como a altura e o diâmetro na altura do peito, padronizada a 1,3 m de altura (Komiyama et al., 2008). O inventário florestal foi realizado com o método de parcelas com área fixa de 300 m² (30 m x 10 m), descrito por Schaeffer-Novelli e Cintrón (1986). As parcelas foram distribuídas aleatoriamente no CEP, abrangendo três tipos fisiográficos de manguezais (Bacia, Franja, Ribeirinho). Cada uma das 11 parcelas foi georreferenciada, para posterior espacialização da biomassa.

Lugo e Snedaker (1974) classificaram os manguezais do Caribe em seis tipos fisiográficos de acordo com sua localização, desenvolvimento e hidrodinâmica local. Essa classificação, simplificada por Cíntron et al. (1985) e Schaeffer-Novelli et al. (2000) para as fisiografias de Franja, Bacia e Ribeirinho, foi adotada e ligeiramente modificada neste trabalho para melhor categorização dos manguezais regionais, como descrito a seguir. Os manguezais de Franja ocorrem ao longo de margens em linhas de costa protegidas e ilhas. Localizam-se nas bordas da linha de costa próximas à água, em baixios ou planícies de maré com menor declividade e maiores taxas de inundação. Os manguezais Ribeirinhos ocorrem associados à margem dos rios, gamboas e demais cursos d'água. Ocorrem principalmente nas áreas de várzeas altas com salinidades mais baixas e elevado aporte de nutrientes. Os manguezais de Bacia ocorrem em locais com menores taxas de inundação, restrita às marés mais altas, devido à maior declividade do terreno e sua maior distância em relação à linha da água. Este tipo fisiográfico está associado com depressões de sistemas de drenagem e com canais de escoamento em direção ao litoral.

As árvores foram identificadas por espécie (*Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia schaueriana*) e o diâmetro dos troncos foi medido na altura do peito (DAP) com o uso de paquímetro digital e fita métrica. No caso de *Rhizophora mangle*, o diâmetro foi obtido a 1,3 m ou imediatamente acima da última raiz escora. A altura de cada indivíduo foi obtida com telêmetro de visada laser. O inventário incluiu apenas os indivíduos com DAP maior do que 2,5 cm, padrão nos estudos ecológicos e fitossociológicos de manguezais (Schaeffer-Novelli e Cintrón, 1986). A partir dos dados primários de campo, foram estimados os valores de densidade, área basal (AB), DAP médio e altura média.

Os valores do DAP e da altura mensurados das árvores foram aplicados em equações alométricas para estimativa da biomassa aérea seca de madeira. A biomassa foi estimada a partir de equações disponíveis na literatura (Tabela 1). Essas equações foram escolhidas por terem sido desenvolvidas em locais próximos ao CEP, em manguezais estruturalmente similares (Soares, M., com. pess.).

Tabela 1

Equações para obtenção da biomassa seca de troncos de *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* e *Avicennia schaueriana*. DAP=Diâmetro a 1,3 m; H=Altura.

Espécie	Equação	Fonte
<i>Rhizophora mangle</i>	Biomassa = -1586,62311+(131,45408 x DAP ²)+(421,67081 x H)+(14,50127 x (DAP ² x H))	Soares e Schaeffer-Novelli (2005)
<i>Laguncularia racemosa</i>	Biomassa = -590,18014 + (266,81851 x DAP ²)	Soares e Schaeffer-Novelli (2005)
<i>Avicennia schaueriana</i>	ln(Biomassa) = 4,39 + (2,5361 x ln(DAP))	Estrada (2013)

2.3 Mapas de biomassa

A biomassa calculada com dados do inventário florestal foi relacionada ao sensor RAPIDEYE. Essa abordagem permitiu explicitar a distribuição espacial da biomassa de madeira na região. O sensor possui resolução espacial de 5 m com cinco bandas: Azul, Verde, Vermelho (630-685 nm), Vermelho (690-730 nm) e Infravermelho próximo. As imagens utilizadas datam de janeiro, março e julho de 2012, período coincidente com o inventário de campo dos manguezais regionais.

As imagens foram georreferenciadas no datum UTM WGS-84 e pré-processadas com a correção atmosférica pelo método do Pixel mais Escuro (Chavez, 1989). A imagem contendo todo o sistema de estudo foi obtida com mosaico de cenas e equalização do histograma para redução de erros entre as cenas de diferentes datas. Os números digitais das bandas do Azul, do Vermelho (630-685 nm) e do Infravermelho próximo foram convertidos para radiância e posteriormente para reflectância (Eva e Lambin, 1998). Com os valores de reflectância foram adquiridas as bandas com valores do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) (Eq. 1), do Índice de Vegetação da Razão Simples (RS) (Eq. 2), do e do Índice de Vegetação Realçado (EVI) (Eq. 3),

$$NDVI = (p_{IVP} - p_V) / (p_{IVP} + p_V) \quad \text{Eq. 1}$$

$$RS = p_{IVP} / p_V \quad \text{Eq. 2}$$

$$EVI = G \times (p_{IVP} - p_V) / (p_{IVP} + L + (C_1 \times p_V - C_2 \times p_A)) \quad \text{Eq. 3}$$

onde p_{IVP} é a Frequência de Reflectância na banda do Infravermelho Próximo; p_V é a Frequência de Reflectância na banda do Vermelho (630-685 nm); p_A é a Frequência de

Reflectância na banda do Azul; G é uma constante (2,59) ; L é uma constante (1) ; C_1 é uma constante (6) ; C_2 é uma constante (7,5) .

O mapeamento da biomassa de madeira foi realizado pelo método de Relações Radiométricas Diretas (Labrecque et al., 2006). As coordenadas geográficas das unidades do inventário florestal foram utilizadas para recorte de pixels da imagem final do sistema. O número de pixels recortados por parcela variou entre 12 e 14, de modo que as coordenadas formassem um retângulo de aproximadamente 300 m². O recorte foi feito para as bandas do Verde, do Vermelho (630-685 nm), do Infravermelho próximo, do RS, do NDVI, do EVI e da Primeira Componente Principal de quatro das bandas que compõem a imagem (PC). Esta variável foi obtida com a análise de Componentes Principais das bandas do Azul, do Verde, do Vermelho (630-685 nm) e do Infravermelho próximo. Essas bandas foram selecionadas para recorte por apresentarem coeficiente de correlação com a biomassa de madeira maior que 0,1. Para cada parcela foi obtido o valor médio dos pixels nas sete bandas recortadas, estes foram posteriormente relacionados com a biomassa de madeira em cada parcela através da análise de regressão múltipla.

Os pixels foram considerados variáveis independentes e a biomassa a variável dependente. A análise foi realizada no software R 2.15.1. O método de stepwise utilizando o critério de Akaike (AIC) foi utilizado para seleção do melhor modelo de regressão com o pacote MASS (Venables e Ripley, 2002), disponível no software R. O modelo selecionado por AIC foi espacializado na imagem RAPIDEYE, gerando uma imagem com valores de biomassa de madeira. A área dos manguezais foi recortada da imagem final com um layer criado para a vegetação e com uma máscara para eliminação de pixels contendo rios e gamboas. A vegetação afetada pela inundação se destaca pela sua cor mais escura do que outras vegetações em composições coloridas RGB, sendo assim de fácil reconhecimento. A criação de classes na área de manguezais recortada nos permitiu gerar os mapas de biomassa de madeira e identificar a distribuição desses valores no CEP. Conjuntos de classes foram delineados com intervalos de 28 t ha⁻¹.

É importante ressaltar que, apesar de dominantes no complexo estuarino como um todo, os manguezais são substituídos por outras vegetações inundáveis nas áreas mais internas do sistema (Angulo e Müller, 1990; Branco, 2008). Por isso, a área recortada para os mapas de biomassa incluem estas vegetações inundáveis em sua porção mais interna. Apesar de não haver um limite preciso de onde ocorre a substituição, os padrões observados e descritos neste trabalho foram baseados principalmente nas áreas corretamente identificadas como manguezal.

Essa identificação foi validada pelas campanhas de campo, executadas durante toda a realização do trabalho e relatadas também nos capítulos I e III desta dissertação.

3. Resultados

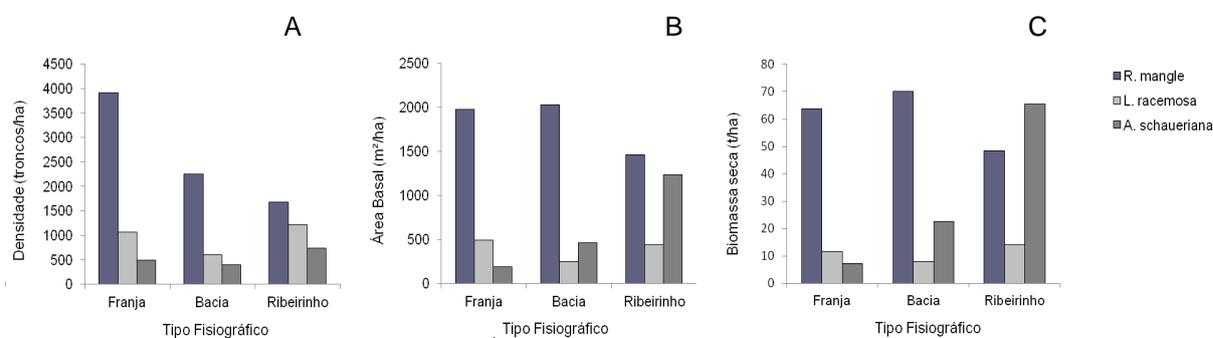
3.1 Caracterização geral da vegetação

As três espécies de árvores estavam presentes em todas as parcelas, com exceção de um manguezal de franja onde não ocorria *Laguncularia racemosa*. As características das três fisiografias estão na Tabela 2 e Figura 2. O CEP apresentou em média 104,14 t ha⁻¹ de biomassa seca de madeira considerando as três fisiografias (Tabela 2). A soma de biomassa foi maior para os manguezais ribeirinhos (Tabela 2 e Fig. 2). *A. schaueriana* foi a espécie que concentrou mais biomassa nestes bosques (Tabela 2 e Fig. 2), enquanto *R. mangle* foi a espécie com maior biomassa nos manguezais de franja e de bacia (Tabela 2 e Fig. 2).

Tabela 2

Parâmetros florestais e desvio padrão dos manguezais no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP).

	<i>Rhizophora mangle</i>	<i>Laguncularia racemosa</i>	<i>Avicennia schaueriana</i>	Total
Franja				
Densidade (tronco ha ⁻¹)	3917	1058	488	5467
DAP médio (cm)	7,52 ± 2,8	6,13 ± 2,4	5,99 ± 3,8	7,11 ± 2,9
Altura média (m)	6,72 ± 1,9	4,68 ± 1,4	4,32 ± 1,4	6,12 ± 2,01
Área Basal total (m ² ha ⁻¹)	1975	489	192	2534
Soma da Biomassa (t ha ⁻¹)	63,73	11,69	7,22	82,64
Bacia				
Densidade (tronco ha ⁻¹)	2256	600	389	3244
DAP médio (cm)	10,05 ± 3,7	6,39 ± 3,4	9,92 ± 7,2	9,36 ± 4,4
Altura média (m)	7,75 ± 1,7	4,44 ± 1,5	6,47 ± 2,7	6,99 ± 2,2
Área Basal total (m ² ha ⁻¹)	2030	246	459	2736
Soma da Biomassa (t ha ⁻¹)	70,20	8,02	22,71	100,93
Ribeirinho				
Densidade (tronco ha ⁻¹)	1683	1208	733	3633
DAP médio (cm)	9,73 ± 4	5,09 ± 3,3	12,18 ± 8,1	8,95 ± 5,5
Altura média (m)	7,14 ± 1,9	4,54 ± 1,6	6,64 ± 2,8	6,17 ± 2,4
Área Basal total (m ² ha ⁻¹)	1466	437	1232	3135
Soma da Biomassa (t ha ⁻¹)	48,48	14,13	65,44	128,05

**Fig. 2.** Contribuição relativa das espécies de árvores para a densidade (A), Área Basal (B) e Biomassa seca de madeira (C) nos três tipos fisiográficos amostrados de manguezais no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP).

3.2 Modelo de regressão

A análise de regressão múltipla entre a biomassa de madeira e os pixels da imagem RAPIDEYE considerou sete variáveis independentes (Tabela 3). O modelo final com o menor valor de AIC expresso por

$$B = -231,632 - (8,282GREEN) - (227,214RED) + (171,01PC) + (1596,64NDVI) - (26528,754EVI)$$

Onde *B*- Biomassa seca de madeira (t/ha); *GREEN*- Radiância no Verde; *RED*- Radiância no Vermelho; *PC*- Primeira Componente Principal; *NDVI*- Índice de Vegetação da Diferença Normalizada; *EVI*- Índice de Vegetação Realçado.

contém valores nas bandas do Verde, do Vermelho (630-685 nm), da Primeira Componente Principal, do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e do Índice de Vegetação Realçado (EVI). O PC apresentou a maior correlação com a biomassa estimada em campo (Tabela 3). Dentre os índices de vegetação, o EVI foi o índice de vegetação com maior correlação. A Fig. 3 representa a correlação entre a biomassa estimada em campo e a biomassa estimada pelo modelo de predição.

Tabela 3

Matriz de correlação entre biomassa de madeira e valores de pixels derivados da imagem RAPIDEYE. GREEN-Verde; RED-Vermelho; NIR-Infravermelho próximo; PC-Primeira Componente Principal; RS-Índice de Vegetação da Razão Simples; NDVI- Índice de Vegetação da Diferença Normalizada; EVI-Índice de Vegetação Realçado.

	Biomassa	GREEN	RED	NIR	PC	RS	NDVI	EVI
Biomassa	1							
GREEN	-0,266	1						
RED	0,135	0,412	1					
NIR	-0,381	-0,558	-0,622	1				
PC	-0,532	-0,201	-0,362	0,9	1			
RS	-0,291	-0,482	-0,917	0,868	0,671	1		
NDVI	-0,26	-0,584	-0,898	0,893	0,673	0,977	1	
EVI	-0,424	-0,391	-0,779	0,949	0,865	0,945	0,943	1

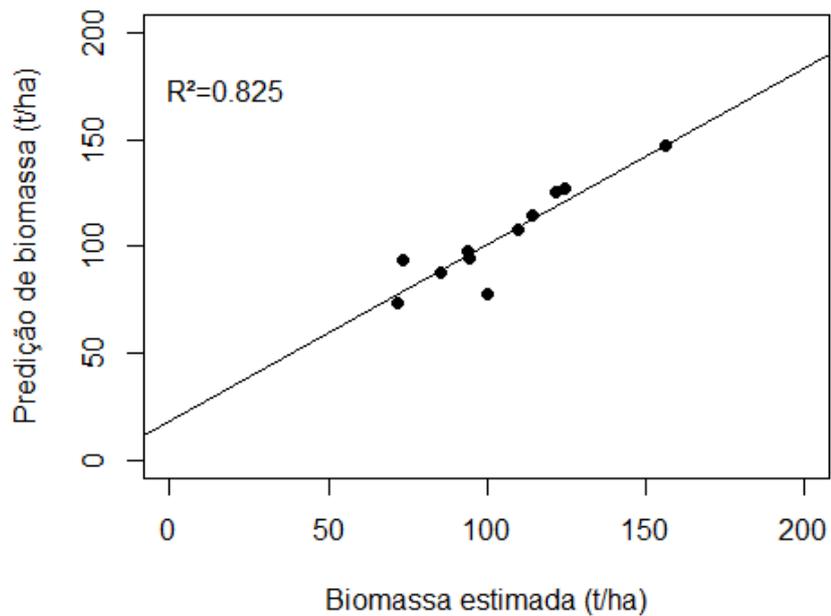


Fig. 3. Correlação entre a biomassa de madeira estimada em campo e a biomassa estimada pelo modelo de predição. R² - coeficiente de determinação.

3.3 Estimativa e distribuição de biomassa

A biomassa de madeira estimada com as imagens RAPIDEYE variou de 1 a 542 t ha⁻¹, com média de 188 (± 114) t ha⁻¹. Padrões de distribuição da biomassa seca de madeira no CEP estão indicados na Fig. 4.

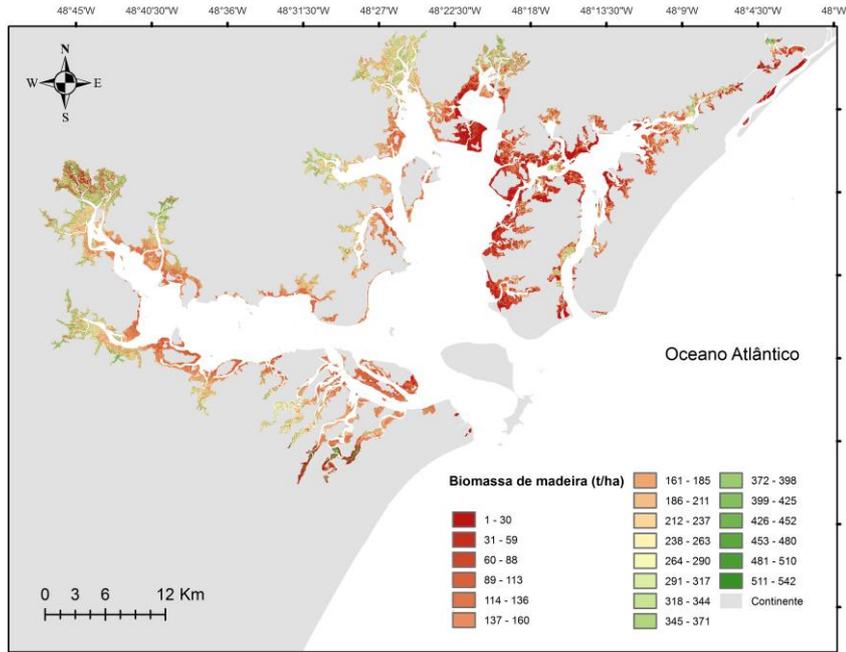


Fig. 4. Mapa da distribuição da biomassa de madeira dos manguezais no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP).

Valores de biomassa de madeira de até 160 t ha^{-1} ocorreram em aproximadamente 50% dos manguezais no complexo estuarino. A classe de biomassa entre 114 e 136 t ha^{-1} foi mais frequente (Fig. 5), enquanto que a classe entre 511 e 542 t ha^{-1} foi menos frequente. Valores de biomassa superiores a 399 t ha^{-1} foram registrados em apenas 6,16% dos manguezais.

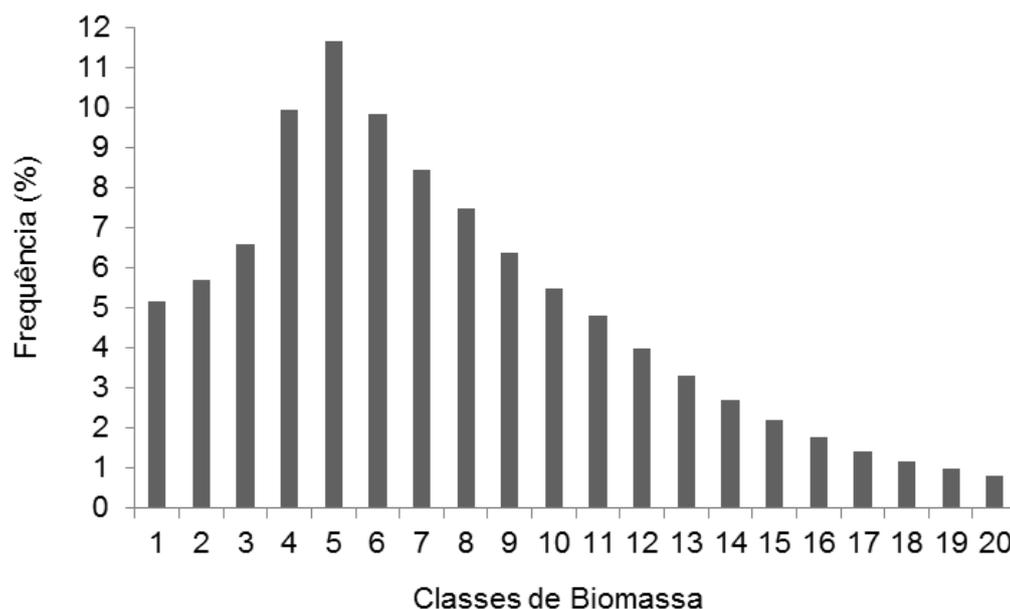


Fig. 5. Distribuição de biomassa de madeira em classes com intervalo de 28 t ha⁻¹. 1-30 (1). 31-59 (2). 60-88 (3). 89-113 (4). 114-136 (5). 137-160 (6). 161-185 (7). 186-211 (8). 212-237 (9). 238-263 (10). 264-290 (11). 291-317 (12). 318-344 (13). 345-371 (14). 372-398 (15). 399-425 (16). 426-452 (17). 453-480 (18). 481-510 (19). 511-542 (20).

Os menores valores de biomassa foram encontrados nos manguezais de franja de todo o complexo estuarino e nos manguezais de bacia próximo à desembocadura (Fig. 4 e Fig. 6). Valores de biomassa de madeira chegaram a até 160 t ha⁻¹ nos manguezais na desembocadura. Os maiores valores de biomassa foram encontrados nos manguezais ribeirinhos (Fig. 4 e Fig. 7) e nos manguezais de bacia distantes da desembocadura (Fig. 8). Houve aumento gradual nos valores de biomassa nos manguezais ribeirinhos da desembocadura a montante dos rios (Fig. 7). Os valores de biomassa também aumentaram da desembocadura do CEP no setor eusalino até o setor oligohalino mais interno. Esse padrão de distribuição pode ser constatado principalmente ao longo do eixo leste-oeste (Fig. 9).

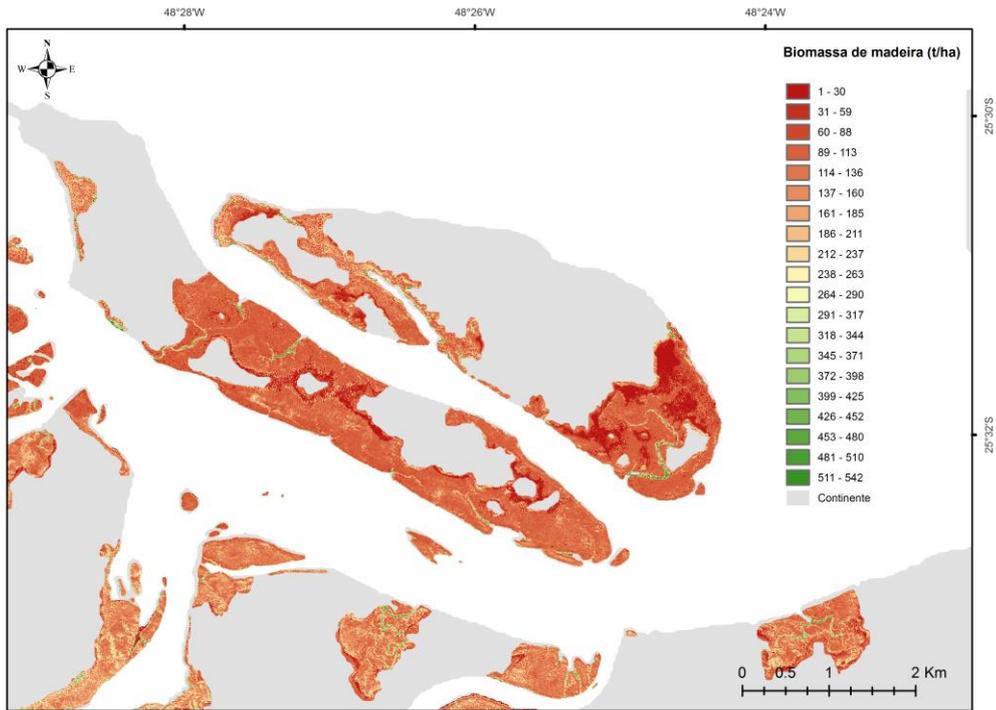


Fig. 6. Mapa da distribuição de biomassa de madeira dos manguezais próximos à desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP).

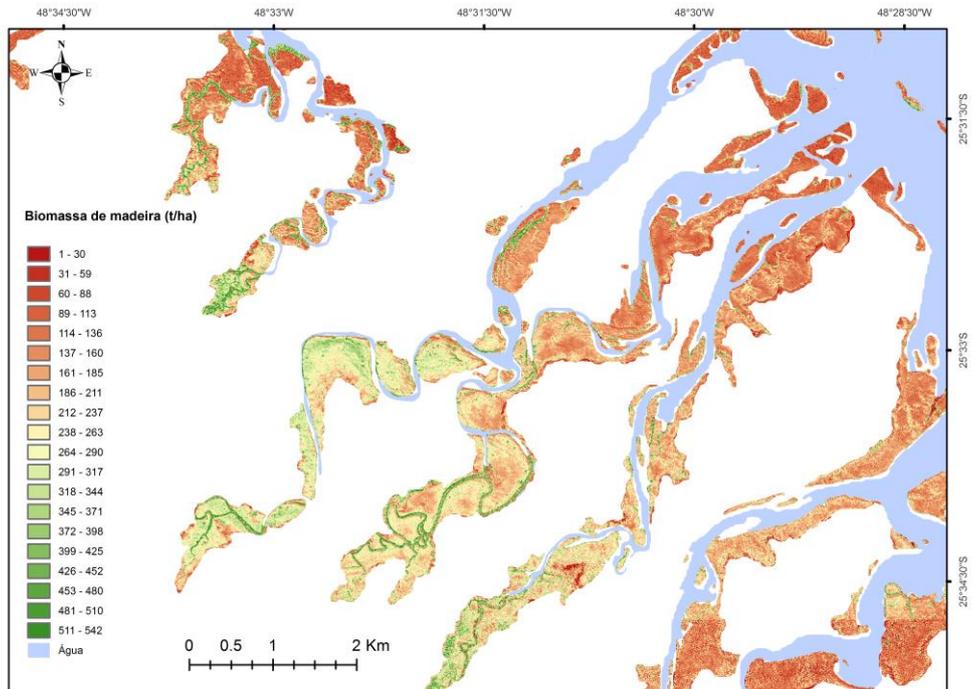


Fig. 7. Mapa da distribuição de biomassa de madeira dos manguezais em rios que desaguam no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP).

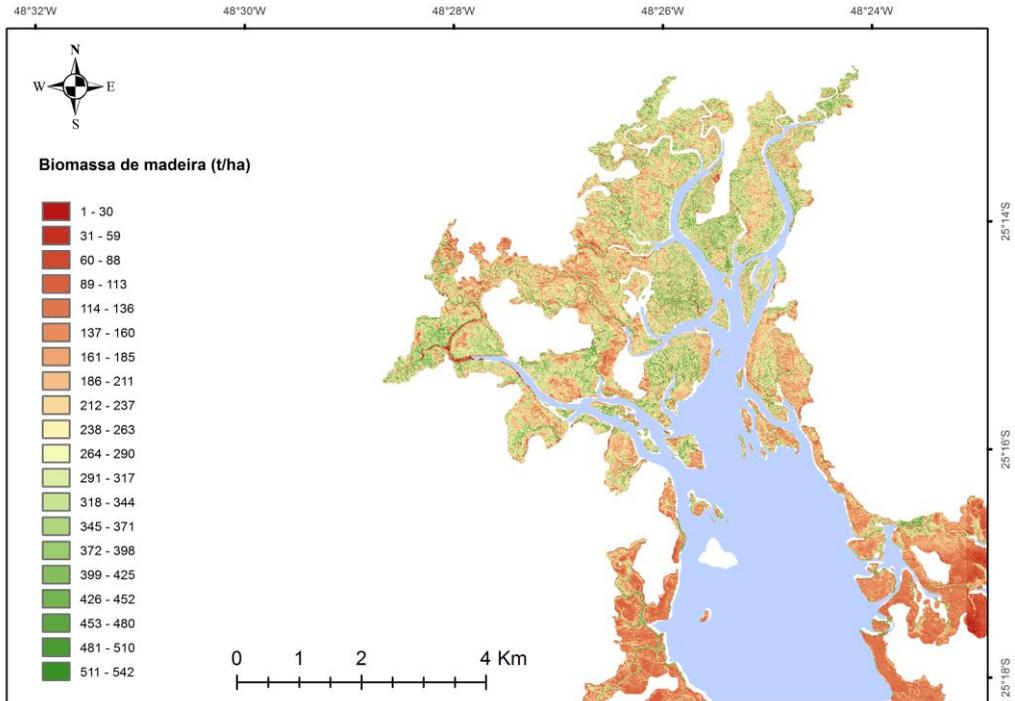


Fig. 8. Mapa da distribuição de biomassa de madeira dos manguezais no norte do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP).

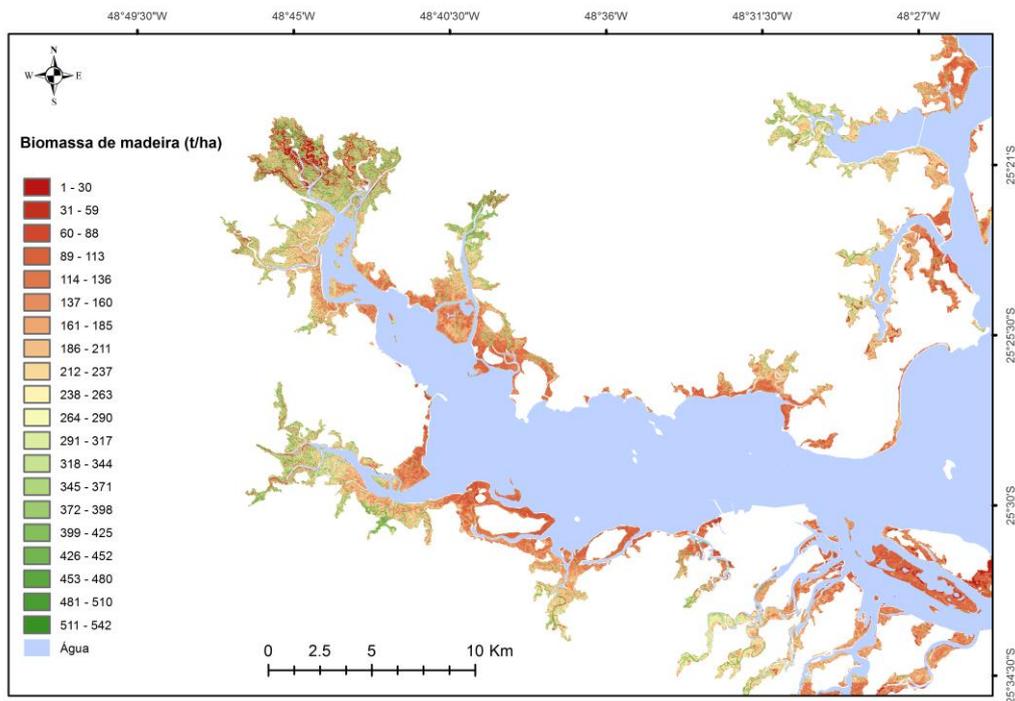


Fig. 9. Mapa da distribuição de biomassa de madeira dos manguezais no eixo leste-oeste do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP).

4. Discussão

A integração de dados de campo com técnicas do sensoriamento remoto evidenciou uma marcada heterogeneidade no modelo de distribuição do estoque de madeira dos manguezais do complexo estuarino da Baía de Paranaguá. Os manguezais de franja e de bacia próximos à desembocadura têm biomassa menor do que os manguezais de rios e de bacia nas regiões internas do complexo, como clara expressão da própria variabilidade estrutural dos bosques regionais. Os manguezais do setor mais energético e salino são estruturalmente menos desenvolvidos, com valores médios de biomassa e demais parâmetros florestais aumentando nos setores mais internos. Essa variação estrutural dos manguezais é uma função dos regimes hídricos nos domínios geomorfológicos, da distância da desembocadura e da topografia local (Martin, 1992).

O valor médio de biomassa de madeira estimado no presente estudo é similar aos registrados em latitudes mais altas (Saenger e Snedaker, 1993; Alongi, 2002; Komiyama et al., 2008), com a maior parte dos valores de biomassa não ultrapassando 200 t ha^{-1} na escala regional. Entretanto, há manguezais bem desenvolvidos, com elevados estoque de madeira, cujos valores se equiparam aos de regiões equatoriais. O maior aporte de nutrientes e de água doce nos setores mais internos parece favorecer o estoque de madeira em manguezais ribeirinhos e as maiores taxas de inundação parecem desfavorecer o estoque nos manguezais de franja e bacia próximos a desembocadura. Esse resultado sugere que a variabilidade da biomassa nos manguezais é de fato uma função de fatores de larga escala, que determinam as diferenças entre altas e baixas latitudes, mas também de fatores de menor escala, responsáveis pela variabilidade do estoque do recurso dentro de um mesmo sistema estuarino, como é o caso do CEP. Fatoyinbo et al. (2008) mapearam a biomassa de manguezais ao longo de 16° de latitude e não encontraram diminuição sistemática de valores com aumento da latitude, sugerindo que as principais diferenças estariam relacionadas à proximidade de água doce, com maior desenvolvimento de manguezais ribeirinhos. Neste trabalho, foram encontrados valores maiores de 500 t ha^{-1} , que devem ser vistos com ressalvas, na medida em que a presença de água nos manguezais, durante as preamares, podem provocar uma superestimativa do valor de biomassa de madeira, afetando a correta espacialização da biomassa.

A classificação dos manguezais nas três fisiografias aqui abordadas foi modificada para Franja e Bacia por Schaeffer-Novelli et al. (2000), englobando os manguezais ribeirinhos na fisiografia de Franja. No entanto, estes autores haviam reconhecido que as condições ribeirinhas se destacam das demais por diferenças nos níveis de água doce e nutrientes. Comparado com outros locais, os manguezais ribeirinhos recebem maior aporte de água doce e

de nutrientes, fatores que favorecem a biomassa aérea e a quantidade de carbono acumulado em cada compartimento das árvores. Alongi (2011) encontrou uma correlação positiva entre a concentração de nitrogênio e fósforo no solo e nas folhas, e a biomassa aérea, produção de madeira e o DAP, demonstrando que os nutrientes são um importante fator regulador dos manguezais e conseqüentemente da distribuição espacial da biomassa de madeira.

A distribuição da biomassa de madeira nos manguezais regionais está também associada às taxas de inundação. A menor biomassa de madeira ocorre em manguezais com as maiores taxas de inundação. Alves (2011) encontrou taxas de inundação maiores no limite inferior de ocorrência dos manguezais regionais (franja), que permanecem de 40 a 80% do tempo inundados, enquanto as árvores mais próximas do limite continental da floresta (bacia) permanecem de 0 a 20% do tempo inundados. As taxas médias de inundação influenciam também a ocorrência das classes de menor biomassa próximo à desembocadura, em decorrência da menor declividade das planícies de maré. Os manguezais nessas localidades são principalmente bosques de franja, inundados logo após o início da preamar (Alves, 2011). Os manguezais de franja e de bacia próximos à desembocadura estão situados no setor euhalino. Esse setor é mais energético e salino devido a maior influência da água marinha e da ação de ondas e correntes, o que leva os manguezais do local a estarem sob maior estresse e com menor desenvolvimento estrutural. Portanto, as forçantes da hidrodinâmica do sistema estuarino influenciam as características estruturais e a composição dos bosques e são os principais fatores que atuam sobre o estoque de madeira nos manguezais regionais.

Em uma escala local, os padrões de composição, biomassa e produtividade parecem ser primariamente regidos por fatores associados ao substrato, por sua vez influenciados pelos padrões de inundação, escoamento terrestre e infiltração de água no solo, que criam complexos gradientes ambientais ao longo da paisagem (Sherman et al., 2003). Como o acúmulo de madeira nos troncos representa grande parte da biomassa aérea florestal (Clough et al 1997, Komiyama et al., 2008), os processos responsáveis pela variabilidade desse parâmetro nas florestas são os mesmos que afetam o estoque do recurso.

Além dos fatores hidrodinâmicos, os distintos padrões de distribuição das três espécies nos manguezais do CEP também influenciam a variabilidade no estoque de madeira entre os três tipos fisiográficos. No CEP, a diferença se deve à maior ou menor ocorrência de *Avicennia schaueriana*, dominante nos manguezais ribeirinhos. Embora as espécies *R. mangle* e *L. racemosa* sejam dominantes no sistema, *A. schaueriana* apresentou elevada biomassa em decorrência do seu maior tamanho. Apesar de ocorrer em densidades significativamente menores do que *Rhizophora mangle* e *Laguncularia racemosa*, *Avicennia* apresenta elevada

área basal, com reflexos na biomassa. O maior desenvolvimento estrutural de árvores de *Avicennia* pode estar relacionado à sua estratégia adaptativa para eliminação do sal, que implica menores gastos energéticos. Por isso, sob as mesmas condições ambientais, *A. schaueriana* se desenvolve mais do que as outras duas espécies (Martin, 1992). De fato, a disponibilidade de nutrientes é importante para o desenvolvimento dos manguezais, mas as estratégias adotadas por distintas espécies para eliminação do sal podem representar um custo energético que se reflete em seu crescimento e desenvolvimento, como exemplificado pelo maior desenvolvimento de *A. germinans* em relação a *R. mangle* em bosques ribeirinhos (Lugo et al., 1999).

Simard et al. (2006) utilizaram SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) em manguezais da Flórida, chegando a estimativas de um máximo de 200 t ha⁻¹ de biomassa aérea, similares à média de valores no CEP. No entanto, a região do CEP tem manguezais com valores de biomassa muito mais elevados, apesar de menos frequentes. O cálculo da biomassa dos bosques, no caso da Florida, foi feito a partir da altura, o que implica metodologicamente menores valores de biomassa. No caso do CEP, mesmo manguezais com altura média equivalente nos três tipos fisiográficos apresentaram valores de biomassa aérea marcadamente distintos. Por exemplo, foram registrados indivíduos de *A. schaueriana* de mesma altura que árvores das outras espécies, mas com maior diâmetro, área basal e conseqüente maior biomassa. Neste contexto, deve haver ressalvas no uso da altura como parâmetro para estimativas da biomassa de madeira em manguezais subtropicais, como no CEP.

Estudos sobre a biomassa florestal em manguezais foram baseados em trabalhos intensivos de campo para corte e pesagem dos indivíduos e estimativas através de modelos alométricos. Poucas investigações tem feito uso das imagens de satélites para extrapolar as estimativas ou mesmo identificar padrões espaciais consistentes e replicáveis. Esse tipo de abordagem é necessário para o estudo da biomassa em escala regional e para obter uma visão mais ampla desse parâmetro florestal. Além de tais vantagens, obtidas com o uso de ferramentas do sensoriamento remoto, este trabalho utilizou um sensor óptico de altíssima resolução, que pode gerar imagens e estimativas mais precisas da vegetação. A maioria dos estudos de biomassa aérea de manguezais com técnicas do sensoriamento remoto utilizaram sistemas de radar, como SRTM. Esses sistemas possuem a vantagem de captar a resposta espectral da vegetação mesmo com cobertura de nuvens, mas geram imagens de média resolução espacial.

Juntamente com um sensor de altíssima resolução, utilizamos Índices de Vegetação (IVs) para mapear a biomassa de madeira. O EVI foi o índice de vegetação que apresentou a

maior correlação com a biomassa dos manguezais neste trabalho, mostrando-se adequado para estimativas desta natureza. Devido a sua localização na zona costeira, os manguezais estão sobre influência da água e da constante cobertura de nuvens. Como o EVI foi desenvolvido para otimizar a resposta da vegetação e reduzir influências do solo e da atmosfera (Chen et al., 2004; Jiang et al., 2008; Jensen, 2009), sua utilização pode otimizar análises da variação espaço-temporal da cobertura vegetal sob tais condições ambientais. Os estudos de manguezais com o EVI são ainda ausentes e os resultados deste trabalho sugerem que este índice tem um excelente potencial a ser explorado.

A aplicação dos IVs é uma prática comum no estudo de manguezais (Green et al., 1998; Satyanarayana et al., 2001; Kovacs et al., 2005; Giri et al., 2007), principalmente dos índices que utilizam as bandas do Vermelho e do Infravermelho próximo. O NDVI é atualmente o índice mais aplicado na comparação da resposta espectral de manguezais com dados fitossociológicos, devido à sua correlação com a cobertura foliar da vegetação, com as condições florestais e com a biomassa (Jiang et al., 2006). No entanto, nosso trabalho encontrou que o EVI possui maior importância na determinação do estoque de madeira no complexo estuarino que o NDVI.

É importante ressaltar que a biomassa de madeira estimada para os manguezais do complexo estuarino pode ter sido subestimada por dois fatores. O primeiro é a aplicação de critério para a medição de árvores em campo. As árvores mensuradas foram aquelas com DAP maior ou igual a 2,5 cm, critério comumente utilizado na aplicação dos métodos fitossociológicos. Esse critério de seleção não incluiu indivíduos juvenis que possuem troncos pequenos, mas que já representam estoque de madeira potencialmente utilizável. Por outro lado, nossas observações sobre as atuais formas de uso da madeira dos manguezais (capítulo III dessa dissertação) revelam que os troncos utilizados são de fato preferencialmente maiores. Portanto, se pensarmos apenas na quantidade de madeira disponível para extração, a subestimação do estoque não necessariamente ocorreu devido ao critério de seleção.

O segundo fator que pode ter causado a subestimativa da biomassa dos manguezais é a ausência de um limite preciso entre os manguezais e as outras vegetações de planícies de maré. Os padrões de distribuição da biomassa de madeira foram descritos levando em consideração áreas definidas a priori como de manguezais, mesmo na ausência das melhores evidências fatuais. Portanto, podem ter sido desconsiderados valores importantes de biomassa de madeira dos manguezais em zonas de transição.

De modo geral, a biomassa de madeira de manguezais não está necessariamente disponível para exploração quando as árvores possuem pequeno desenvolvimento estrutural ou

principalmente quando não é facilmente acessível para as populações que a utilizam, devido à localização ou fisiografia dos bosques, que permitem ou dificultam o acesso. Por isso, os manguezais ribeirinhos podem ser os locais mais apropriados para extração desse recurso florestal. Esses manguezais possuem a maior biomassa de madeira na região, maior desenvolvimento estrutural e ocorrência das três espécies arbóreas, além de serem mais facilmente acessados pelos usuários das vilas locais. Frequentemente, a extração e o uso da madeira dos manguezais ocorrem nos locais onde a complexidade e biomassa dos bosques são maiores (Alongi, 2002), dependendo da localização e da maior ou menor facilidade de acesso às árvores (Hauff et al., 2006; Walter et al., 2008). Há reconhecidamente uma potencialidade de aplicações da madeira dos manguezais em diferentes regiões do globo (Walters et al., 2008). Neste sentido, os padrões de distribuição da madeira relatado neste trabalho são fundamentais para o possível uso sustentável dessas florestas ou mesmo para futuras ações de preservação estrita.

5. Referências

- Alongi, D.M. 2002. Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, 29: 331–349.
- Alongi, D.M. 2011. Patterns of mangrove wood and litter production within a beach ridge-fringing reef embayment, northern Great Barrier Reef Coast. *Estuaries and Coasts*, 34:32–44.
- Alves, D.S.M. 2011. O papel das taxas de inundação na distribuição da vegetação e fauna em manguezais de um estuário subtropicais. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 59p.
- Amarasinghe, M.D.; Balasubramaniam, S. 1992. Net primary productivity of two mangrove forest stands on the northwestern coast of Sri Lanka. *Hydrobiologia*, 247: 37-47.
- Angulo, R.J.; Muller, A.C. 1990. Preliminary characterization of some tidal flat ecosystems on the State of Paraná Coast. Brasil. In: *Simpósio sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira*, ACIESP, p.158-168.
- Bandaranayake, W.M. 1998. Traditional and medicinal uses of mangroves. *Mangroves and Salt Marshes*. 2, 133-148.
- Blackard, J.A.; Finco, M.V.; Helmer, E.H.; Holden, G.R.; Hoppus, M.L.; Jacobs, D.M.; Lister, A.J.; Moisen, G.G.; Nelson, M.D.; Riemann, R.; Ruefenacht, B.; Salajanu, D.; Weyermann, D.L.; Winterberger, K.C.; Brandeis, T.J.; Czaplewski, R.L.; McRoberts, R.E.; Patterson, P.L.;

- Tymcio, R.P. 2008. Mapping U.S. forest biomass using nationwide forest inventory data and moderate resolution information. *Remote Sensing of Environment*, 112: 1658–1677.
- Bouillon, S.; Borges, A. V.; Castañeda-Moya, E.; Diele, K.; Dittmar, T.; Duke, N.C.; Kristensen, E.; Lee, S.Y.; Marchand, C.; Middelburg, J.J.; Rivera-Monroy, V.H.; Smith III, T.J.; Twilley, R.R. 2008. Mangrove production and carbon sinks: a revision of global budget estimates. *Global Biogeochemical Cycles*, 22: 1-12.
- Branco, J.C. 2008. Tidal flats ecosystems and morphological changes on the mouth of the Cachoeira river, Paraná. *Publicativo UEPG, Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias*, 14: 33-41.
- Chavez, P.S. 1989. Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper multispectral images. *Photogrammetric Eng. Remote Sensing*, 55: 1285 pp.
- Chen, X.; Vierling, L.; Rowell, E.; DeFelice, T. 2004. Using lidar and effective LAI data to evaluate IKONOS and Landsat 7 ETM+ vegetation cover estimates in a ponderosa pine forest. *Remote Sensing of Environment*, 91: 14–26.
- Cintrón, G., Lugo, A.E., Martinez, R., 1985. Structure and functional properties of mangrove forest. In: D'Arcy, W.G., Correa, M.D. (Eds.), *The Botany and Natural History of Panama*. Missouri Botanical Garden, St. Louis, Missouri, pp. 53-66.
- Clough, B. F.; Dixon, P.; Dalhaus, O. 1997. Allometric relationships for estimating biomass in multi-stemmed mangrove trees. *Australian Journal of Botany*, 45: 1023–1031.
- Dahdouh-Guebas, F.; Mathenge, C.; Kairo, J.G.; Koedam, N. 2000. Utilization of mangrove wood products around mida creek (Kenya) amongst subsistence and commercial users. *Economic Botany*. 54, 513-527.
- Diegues, A.C.S. 2001. *Ecologia humana e planejamento em áreas costeiras*. 2ª edição. NUPAUB, USP, São Paulo. 192p.
- Estrada, G.C.D. 2013. *Análise espaço-temporal do sequestro e estoque de carbono na biomassa aérea de manguezais*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 261p.
- Estrada, G.C.D.; Soares, M.L.G.; Santos, D.M.C.; Cavalcanti, V.F.; Almeida, P.M.M.; Rodrigues, D.P.; Estevam, M.R.M.; Machado, M.O.; Souza, B.T.; Perazzo, M.M. 2011. Quantificação do estoque de carbono em florestas de mangue: desenvolvimento de modelo alométrico para estimativa da biomassa aérea de *Avicennia schaueriana*. IV Regional Conference on Global Change. São Paulo, Brasil.
- Eva, H., Lambin, E.F., 1998. Burnt area mapping in Central Africa using ATSR data. *International Journal of Remote Sensing*, 19: 3473-3497.
- Ewel, K.C.; Twilley, R.R.; Ong, J.E. 1998. Different kinds of mangrove forests provide different goods and services. *Global Ecology and Biogeography Letters*. 7, 83-94.
- Fatoyinbo, T. E.; Simard, M. 2013. Height and biomass of mangroves in Africa from ICESat/GLAS and SRTM. *International Journal of Remote Sensing*, 34: 668-681.

- Fatoyinbo, T. E.; Simard, M.; Washington-Allen, R. A.; Shugart, H. H. 2008. Landscape-scale extent, height, biomass, and carbon estimation of Mozambique's mangrove forests with Landsat ETM+ and Shuttle Radar Topography Mission elevation data. *Journal of Geophysical Research*, 113: 1-13.
- Fromard, F.; Puig, H.; Mougin, E.; Marty, G.; Betoulle, J.L.; Cadamuro, L. 1998. Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana. *Oecologia*, 115: 39 – 53.
- Giri, C.; Pengra, B.; Zhu, Z.; Singh, A.; Tieszen, L.L. 2007. Monitoring mangrove forest dynamics of the Sundarbans in Bangladesh and India using multi-temporal satellite data from 1973 to 2000. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 73: 91-100.
- Glaser, M.; Berger, U.; Macedo, R. 2003. Local vulnerability as an advantage: mangrove forest management in Pará state, north Brazil, under conditions of illegality. *Regional Environmental Change*, 3: 162-172
- Green, E.P.; Clark, C.D.; Mumby, P.J.; Edwards, A.J.; Ellis, A.C. 1998. Remote sensing techniques for mangrove mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 19: 935-956.
- Hashim, M.; Hazli, W.; Kadir, W.; Yoong, L. K. 1999. Global rain forest mapping activities in Malaysia: radar remote sensing for forest survey and biomass indicators. JERS-1 Science Program Reports: Global Forest Monitoring and SAR Interferogram. National space development Agency of Japan: 63-70.
- Hauff, R.D.; Ewel, K.C. & J. Jack. 2006. Tracking human disturbance in mangroves: estimating harvest rates on a Micronesian island. *Wetlands Ecology and Management*. 14, 95–105.
- Jensen, J.R. 2009. *Sensoriamento remoto do ambiente*. Editora Parêntese. Segunda Edição. São José dos Campos, SP.
- Jiang, Z.; Huete, A.R.; Chen, J.; Chen, Y.; Li, J.; Yan, G.; Zhang, X. 2006. Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 101: 366–378
- Jiang, Z.; Huete, A.R.; Didan, K.; Miura, T. 2008. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment*, 112: 3833–3845.
- Komiyama, A., Moriya, H., Prawiroatmodjo, S., Toma, T., Ogino, K., 1988. Forest primary productivity. In: Ogino, K., Chihara, M. (Eds.), *Biological System of Mangrove*. Ehime University, pp. 97–117.
- Komiyama, A.; Ong, J.E.; Pongpan, S. 2008. Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: a review. *Aquatic Botany*. 89, 128-137.
- Kovacs, J.M.; Wang, J.; Flores-Verdugo, F. 2005. Mapping mangrove leaf area index at the species level using IKONOS and LAI-2000 sensors for the Agua Brava Lagoon, Mexican Pacific. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 62: 377–384.

- Kristensen, E.; Boullion, S.; Dittmar, T.; Marchand, C. 2008. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystem: a review. *Aquatic Botany*, 89, 201-219.
- Labrecque, S.; Fournier, R.A.; Luther, J.E.; Piercey, D. 2006. A comparison of four methods to map biomass from Landsat-TM and inventory data in western Newfoundland. *Forest Ecology and Management*, 226: 129–144.
- Lana, P.C.; Marone, E.; Lopes, R.M.; Machado, E.C. 2001. The subtropical estuarine complex of Paranaguá Bay, Brazil. *Ecological Studies*, 144, 131-145.
- Lucas, R.M.; Mitchell, A.L.; Rosenqvist, A.; Proisy, C.; Melius, A.; Ticehurst, C. 2007. The potential of L-band SAR for quantifying mangrove characteristics and change: case studies from the tropics. *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystem*, 17: 245–264.
- Lugo, A.E. & S.C. Snedaker. 1974. The Ecology of Mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5: 39-64.
- Lugo, A. E., M. Sell and S. C. Snedaker, 1999. Mangrove ecosystem analysis. In: *Ecosistemas de Manglar en América Tropical*. Yáñez-Arancibia, A.; Lara-Domínguez, A. L. (eds.) Instituto de Ecología A.C. México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA. 380p.
- Martin, F. 1992. Etude de l'écosystème mangrove de La Baie de Paranaguá (Paraná, Brésil): Analyse des impacts et propositions de gestion rationnelle. Tese de doutorado, Université Paris VII. 289p.
- Medeiros, T.C.C.; Sampaio, E.V.S.B. 2008. Allometry of aboveground biomasses in mangrove species in Itamaracá, Pernambuco, Brazil. *Wetlands Ecology Management*, 16: 323–330.
- Noernberg, M.A.; Lautert, L.F.C.; Araújo, A.D.; Marone, E.; Angelotti, R.; Netto Jr, J.P.B.; Krug, L.A. 2006. Remote sensing and GIS integration for modelling the Paranaguá Estuarine Complex – Brazil. *Journal of Coastal Research*, 39: 1627 – 1631.
- Ponzoni, F.J.; Shimabukuro, Y.E. 2010. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. Editora Parêntese. São José dos Campos, São Paulo.
- Proisy, C.; Coutron, P.; Fromard, F. 2007. Predicting and mapping mangrove biomass from canopy grain analysis using Fourier-based textural ordination of IKONOS images. *Remote Sensing of Environment*, 109: 379–392.
- Putz, F.E.; Chan, H.T. 1986. Tree Growth, Dynamics, and Productivity in a Mature Mangrove Forest in Malaysia. *Forest Ecology and Management*, 17: 211-230.
- Saenger, P., Snedaker, S.C., 1993. Pantropical trends in mangrove above-ground biomass and annual litterfall. *Oecologia* 96, 293–299.
- Satyanarayana, B., B. Thierry, D. Lo See, A.V. Raman, and G. Muthusankar. 2001. Remote sensing in mangrove research – relationship between vegetation indices and dendrometric

parameters: A Case for Coringa, East Coast of India. Paper presented at the 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 5-9 November 2001. Singapore.

Schaeffer-Novelli, Y.; Cintrón, G. 1986. Guia para estudo de áreas de manguezal: estrutura, função e flora. Caribbean Ecological Research, São Paulo.

Schaeffer-Novelli, Y.; Cintrón-Molero, G.; Adaime, R.R.; Camargo, T.M. 1990. Variability of mangroves ecosystems along the brazilian coast. *Estuaries*. 13, 204-218.

Schaeffer-Novelli, Y.; Cintrón-Molero, G., Soares, M.L.G.; De-Rosa, T. 2000. Brazilian mangroves. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 3:4, 561-570.

Sherman, R.E.; Fahey, T.J.; Martinez, P. 2003. Spatial patterns of biomass and aboveground net primary productivity in a mangrove ecosystem in the Dominican Republic. *Ecosystems*, 6: 384-398.

Silva, J.A.A.; M.R.C.S.; Borders, B.E. 1993. A volume equation for mangrove trees in northeast Brazil. *Forest Ecology and Management*, 58:129-136

Simard, M.; Zhang, K.; Rivera-Monroy, V.H.; Ross, M.S.; Ruiz, P.L.; Castañeda-Moya, E.; Twilley, R.R.; Rodriguez, E. 2006. Mapping Height and Biomass of Mangrove Forests in Everglades National Park with SRTM Elevation Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 72, 299-311.

Simard, M.; Rivera-Monroy, V.H.; Mancera-Pineda, J.E.; Castañeda-Moya, E.; Twilley, R.R. 2008. A systematic method for 3D mapping of mangrove forests based on shuttle radar topography mission elevation data, ICESat/GLAS waveforms and field data: application to Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Remote Sensing of Environment*, 112: 2131-2144.

Soares, M.L.G.; Schaeffer-Novelli, Y. 2005. Above-ground biomass of mangrove species. I. Analysis of models. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 65, 1-18.

Vasques, R.; Tonini, W.C.T.; Cuevas, J.M.; Santos, D.F.; Faria, T.A.; Falcão, F.C.; Simões, D.R.; Batista, R.L.G.; Couto, E.C.G. 2011. The use of mangrove areas in Taipu de Dentro (Maraú, Southern Bahia, Brazil). *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 11: 155-161.

Venables, W. N.; Ripley, B. D. 2002. *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York.

Walters, B.B.; Rönnbäck, P.; Kovacs, J.M.; Crona, B.; Hussain, S. A.; Badola, R.; Primavera, J.H.; Barbier, E.; Dahdouh-Guebas, F. 2008. Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*. 89, 220-236.

Xia, L.; Anthony, Y.; Kai, L.; Shugong, W. 2006. Inventory of mangrove wetlands in the Pearl River Estuary of China using remote sensing. *Journal of Geographical Science*, 16: 155-164.

Capítulo III

Usos presentes e pretéritos da madeira dos manguezais do Complexo Estuarino de Paranaguá (Paraná, Brasil)

Revista pretendida: Aquatic Botany (Aqua Bot), ISSN (0304-3770), Fator de Impacto (JCR 2011) = 1.516, Qualis CAPES = Estrato A2

Resumo

Os manguezais são fonte de madeira e outros recursos florestais para populações costeiras em todo o mundo. A madeira é tradicionalmente usada para construção, produção de lenha e carvão e extração de tanino, embora haja também um uso industrial importante pela indústria madeireira na Ásia. No Brasil também há registros do uso de manguezais, apesar da proibição pela legislação ambiental, que os define como áreas de preservação permanente. Tais restrições estão em desacordo com a realidade socioambiental de muitas populações costeiras, tradicionais ou neotradicionais, que dependem destes recursos. Isto torna essencial o conhecimento das formas de uso para a efetiva conservação destas florestas. Nesse trabalho, identificamos os usos atuais e pretéritos da madeira dos manguezais do complexo estuarino de Paranaguá, no sul do Brasil, em vilas costeiras cujas estratégias de vida ainda dependem desses sistemas. Foram realizadas entrevistas semi-estruturadas com informantes privilegiados, incluindo moradores residentes de longa data ou líderes comunitários. Os principais usos pretéritos eram o corte de madeira para lenha e extração de tanino, inclusive com relatos de comercialização, além do uso de subsistência. Os usos atuais estão mais relacionados com as necessidades da pesca, incluindo varas ou estacas para amarrar redes e construção de ranchos para embarcações. Com a recente modernização e ocupação de amplos setores do complexo estuarino, o uso da madeira vem diminuindo, restringindo-se hoje a fins de subsistência e consumo próprio. Essa diminuição está associada à disponibilidade de novas fontes de energia, como o gás de cozinha e a eletricidade, e novos materiais para a pesca, como as redes de náilon. As restrições legais e a implantação de unidades de conservação também contribuíram para que o corte de árvores diminuísse ao longo do tempo. Estes processos geraram um cenário atual de pequena demanda de madeira em uma vasta área de manguezais, com ampla disponibilidade do recurso, situação que poderia de fato viabilizar o seu uso sustentável.

Palavras-chave: Manguezal, recurso florestal, extração de madeira, *Rhizophora*, *Laguncularia*, *Avicennia*.

1. Introdução

Os manguezais são florestas dominantes em áreas costeiras e abrigadas de regiões tropicais e sub-tropicais (Alongi, 2002). Fornecem habitats e alimentação para uma variedade de espécies de peixes, crustáceos e moluscos de importância comercial, o que os torna fontes de recursos para populações costeiras em todo o mundo (Diegues, 2001; Walters et al., 2008). Além do uso de animais e de outros recursos vegetais, muitas populações costeiras dependem fortemente da madeira dos manguezais, principalmente nas áreas em que as florestas são mais desenvolvidas e com grande biomassa aérea (Dahdouh-Guebas et al., 2000; Walters, 2004).

A madeira extraída do manguezal é utilizada principalmente para a construção de casas e como lenha em diferentes partes do mundo (Dahdouh-Guebas et al., 2006; Walters et al., 2008). Outros usos são a construção de cercos para peixes, construção de barcos, extração de vigas e varas, produção de carvão vegetal e extração de fibras para papel (Diegues, 2001; Walters et al., 2008). As árvores do manguezal são também utilizadas para extração de tanino, cultivo de mel, fins medicinais e retirada de folhas para alimentação de animais (Bandaranayake, 1998; Rönnbäck, 1999; Walters et al., 2008).

A extração de madeira do manguezal é realizada principalmente para uso familiar, mas pode complementar a renda quando vendida em mercados locais ou indústrias na Ásia (Bandaranayake, 1998). Muito raramente é a principal atividade de renda (Walters et al., 2008). A exploração da madeira depende da localização e da maior ou menor facilidade de acesso às árvores, que são função da fisiografia, das condições sócio-econômicas da população envolvida e do estado de conservação dos bosques (Hauff et al. 2006; Walters et al., 2008).

O uso da madeira também ocorre no Brasil, com poucos registros na literatura. Na região norte e nordeste, a madeira é usada para construção e como lenha e carvão vegetal, além de extração de remédios e tanino (Diegues, 2001; Glaser, 2003; Vasques et al., 2011). No estuário do rio Caeté, no Pará, 82% dos moradores utilizam algum tipo de recurso do manguezal para subsistência ou comércio, incluindo 38% que cortam a madeira do mangue, para distintas finalidades (Glaser, 2003). Na região sul, as árvores também são utilizadas para construção, produção de lenha e extração de tanino (Bigarella, 1946; Diegues, 2001).

A legislação brasileira sobre os manguezais proíbe o corte de madeira para qualquer finalidade. Os manguezais são considerados Áreas de Preservação Permanente (APP) pelo Código Florestal Brasileiro (Lei Federal 12651/2012), e frequentemente inseridos em unidades de conservação federais, estaduais ou municipais. Essa proibição de uso resulta na incompatibilidade da política ambiental com a realidade social e econômica de muitas regiões do litoral brasileiro (Diegues, 2001; Lana, 2004; Glaser et al., 2003; Vasques et al., 2011). A rigor, não deveria haver esta dicotomia entre as necessidades das populações humanas locais e os objetivos de conservação de um ecossistema. Neste sentido, informações sobre a disponibilidade e as formas de uso da madeira poderiam contribuir para uma maior compatibilização entre as normativas ambientais e as práticas de exploração do recurso (Walters 2005a), além de auxiliar os gestores na identificação das necessidades de uso em cada local, que podem ser muito distintas (Kovacs, 1999).

Diante desse contexto, este trabalho descreve as formas de uso atuais e pretéritas da madeira de manguezais por populações costeiras do Complexo Estuarino de Paranaguá, no sul do Brasil. Essa região é margeada por uma vasta área de manguezais e abriga algumas dezenas de vilas pesqueiras que ainda dependem de recursos associados com os manguezais locais.

2. Métodos

2.1 Área de estudo

O litoral norte do Paraná é recortado pelo Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) (Fig 1). A região possui grande riqueza natural (Pierri et al., 2006), com extensas áreas remanescentes de Floresta Atlântica e florestas de manguezais bem preservadas, formadas pelas espécies *Rhizophora mangle* L., *Avicennia schaueriana* Stapf & Leech e *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. As florestas contêm as três espécies ou são monoespecíficas de *R. mangle* e *L. racemosa*. Ocorrem sob a forma de diferentes tipos fisiográficos que variam em altura e densidade, com florestas baixas de até 2 m de altura até florestas altas de dois e três estratos. A classificação dos manguezais regionais ocorre ainda em função da localização no sistema, com florestas de maior diversidade estrutural nas margens dos deltas de rios (Martin, 1992).

O CEP abriga os centros urbanos de Antonina, Guaraqueçaba, Paranaguá e Pontal do Paraná. Pertencentes a esses municípios, há vilas pesqueiras distribuídas dentro e fora do

estuário, em ambiente rural ou urbano (Andriguetto, 2003; Pierri et al., 2006). Os municípios de Paranaguá e Guaraqueçaba somam metade das 60 vilas com mais de 5 domicílios que existem em todo litoral paranaense, o município de Antonina possui 16,5% e o município de Pontal do Paraná possui 8,6% (Pierri et al., 2006). Essas vilas possuem estratégias de vida diretamente ligadas ao estuário, com diferentes atividades e fontes de renda, evidente mesmo entre domicílios (Faraco, 2012; Mafra, 2012). A renda dos domicílios pode ser obtida de aposentadorias, bolsa família, seguro defeso, trabalhos assalariados, comércio, trabalhos temporários, extração de recursos do mangue e pesca na água (Mafra, 2012). Portanto, as vilas são heterogêneas em relação às atividades de renda praticadas e à importância relativa de cada atividade entre os domicílios (Faraco, 2012; Mafra, 2012).

As atividades para obtenção de renda podem estar diretamente ligadas ou não à extração de recursos naturais, com maior dependência da pesca ocorrendo, de forma geral, em vilas menores (Faraco, 2012). As características da pesca e a produção pesqueira variam entre as vilas, que adotam distintos sistemas técnicos pesqueiros (Andriguetto, 2003). Destaca-se também na região a extração de recursos pesqueiros no manguezal (Miranda, 2004). As espécies bênticas comumente exploradas na região são o caranguejo-uçá *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), a ostra do mangue *Crassostrea rhizophorae* (Guilging, 1828) e o bivalve sururu *Mytella guyanensis* (Lamarck, 1819). Os usos desses recursos na região estão relacionados às diferentes estratégias econômicas pesqueiras das vilas, à capacidade tecnológica para extração e à disponibilidade dos recursos em função da fisiografia dos bosques (Miranda, 2004).

Estratégias de proteção ambiental foram intensificadas no litoral paranaense na década de 80, com a criação de diversas Unidades de Conservação (UCs) e a regulamentação de atividades pesqueiras (Pierri et al., 2006). Grande parte das pessoas vive dentro ou próximo ao limite dessas UCs e estão sob política preservacionista estrita para exploração dos recursos naturais locais (Faraco, 2012). Segundo Pierri et al. (2006), a criação das UCs reduziu a sustentabilidade econômica e social dessa população, gerando conflitos sócio-ambientais importantes.

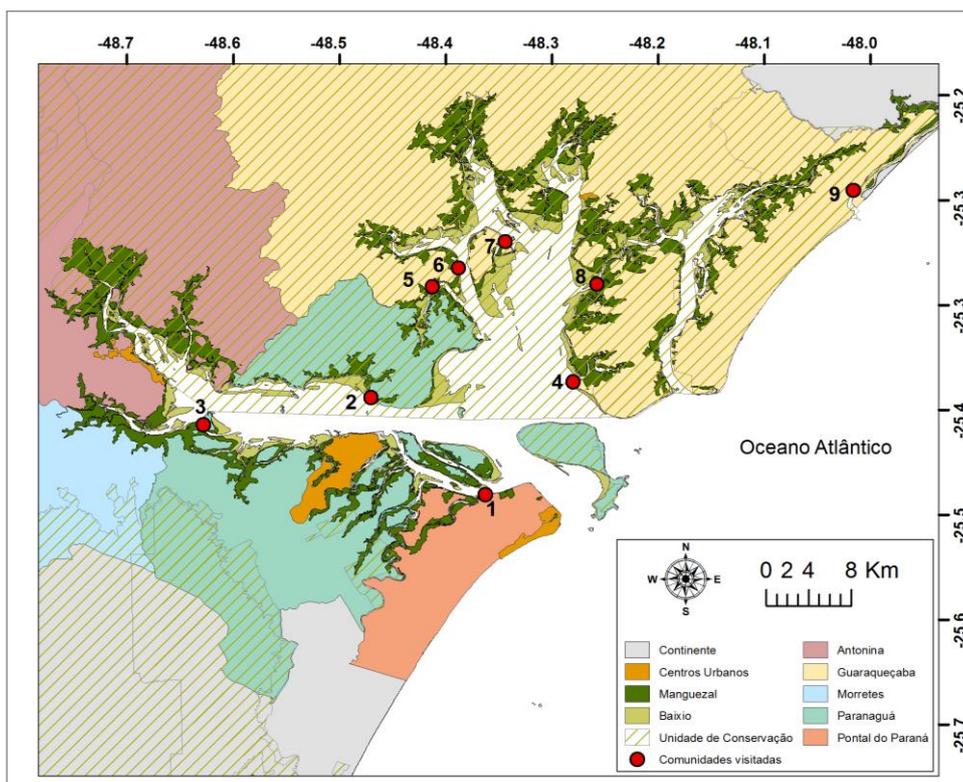


Fig. 1. Complexo Estuarino de Paranaguá (Paraná, Brasil), com indicação das vilas pesqueiras estudadas. 1- Maciel. 2-Amparo. 3-Teixeira. 4-Vila das Peças. 5-Medeiros. 6-Massarapuã. 7-Gamelas. 8-Guapicum. 9-Barra do Ararapira.

2.2 Obtenção e análise de dados

A avaliação das formas de uso da madeira dos manguezais foi realizada em 9 vilas pesqueiras que se localizam à margem do CEP (Fig. 1). Em cada vila, foram realizadas entrevistas semi-estruturadas entre outubro de 2011 e outubro de 2012. Essa abordagem permite que a pessoa entrevistada aprofunde o assunto em questão ou mesmo aborde novos tópicos relacionados durante a entrevista (Seixas, 2005).

As vilas escolhidas para as entrevistas foram distribuídas em diversos setores do CEP, para uma amostragem mais representativa da realidade socioambiental regional. Em cada vila, foi feita uma primeira visita para contato com os entrevistados e conversas informais sobre a natureza do trabalho. A partir destas conversas, foram identificados informantes privilegiados, escolhidos entre residentes de longo prazo na vila ou líderes comunitários. Comumente os entrevistados eram pessoas que haviam participado de projetos de pesquisa anteriores na região.

Ao todo, foram realizadas 13 entrevistas, incluindo duas entrevistas piloto, para teste do questionário e eventuais correções. As entrevistas foram realizadas próximo ou na casa dos entrevistados e tiveram duração entre 40 min e 1h30. No decorrer do diálogo, fotos das três espécies de mangue foram utilizadas para auxiliar os entrevistados e evitar equívocos ou ambiguidades na identificação das espécies. O reduzido número de entrevistas foi resultado da seleção de informantes privilegiados e da saturação de informações em determinado momento do trabalho, independente do setor do CEP amostrado.

A descrição e a categorização dos usos relatados para a madeira do manguezal foram determinadas com base nas variáveis *Época de uso*, *Espécie usada*, *Parte da árvore usada*, *Frequência de exploração*, *Quantidade explorada*, *Local de exploração* e *Valor econômico*. Foram igualmente incluídas perguntas para conhecer algumas características da vila e das atividades de renda e identificar possíveis usos potenciais para a madeira do manguezal.

A análise metodológica seguiu a rotina estabelecida por Pinheiro et al. (2008), na seguinte sequência: transcrição da entrevista; separação de unidades (trechos dos relatos relacionados aos diferentes tipos de uso encontrados); categorização (agrupamento dos trechos relacionados às variáveis); descrição do resultado; interpretação do resultado (compreensão das informações) e comparação do resultado com outros registros de uso de madeira em outros locais do país e do mundo.

Observações nas comunidades e nos manguezais da região, com registros fotográficos e anotações serviram para complementar o trabalho.

3. Resultados

As vilas visitadas apresentaram a pesca estuarina ou oceânica como principal fonte de renda. A pescaria nos próprios manguezais, para coleta de caranguejo e ostras, também foi descrita como uma atividade rotineira, mas praticada com menor intensidade. Outras atividades relatadas foram o cultivo de ostra, a manutenção de pousadas e mercados, e a prestação de serviços para turistas.

De forma geral, os manguezais foram reconhecidos pelos entrevistados como importantes para a extração de recursos animais de importância econômica e para a manutenção da pesca local, como áreas de abrigo e alimentação. O corte e a retirada de árvores são raros, sendo descritos como uma atividade que já não ocorre com frequência. Assim, a maioria dos tipos de uso relatados nas entrevistas são pretéritos (Tabela 1 e Fig 2). O pouco uso

atual desse recurso condiz com as observações de campo. Foram registrados poucos pontos de corte nos manguezais da região (Fig 3 e 4), ou mesmo o uso da madeira nas vilas (Fig 5). Das observações feitas em campo, as espécies identificadas como objeto de corte foram *Rhizophora mangle* e *Laguncularia racemosa*. Não houve registro do corte de *Avicennia schaueriana*.

Os entrevistados identificaram as três espécies de árvores dos manguezais regionais. As espécies *R. mangle*, *L. racemosa* e *A. schaueriana* foram localmente identificadas como *candapuva/canapuva*, *mangue/mangue-manso/mangue-bravo* e *siriúba/siriúva*, respectivamente.

Tabela 1

Usos atuais e pretéritos para a madeira do manguezal no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP).

Tipo de uso	Época	Espécie	Partes das árvores
Lenha e carvão	Pretérito	<i>R. mangle/L. racemosa/A. schaueriana</i>	Tronco e galho
Vara	Atual e pretérito	<i>L. racemosa/ R. mangle</i>	Tronco
Construção	Atual e pretérito	<i>R. mangle/L. racemosa/A. schaueriana</i>	Tronco
Sapata	Atual e pretérito	<i>L. racemosa</i>	Tronco
Repelente	Pretérito	<i>L. racemosa/A. schaueriana</i>	Tronco e galho
Extração de tinta	Atual e pretérito	<i>R. mangle</i>	Tronco e galho
Cerco	Pretérito	<i>R. mangle/A. Schaueriana</i>	Tronco

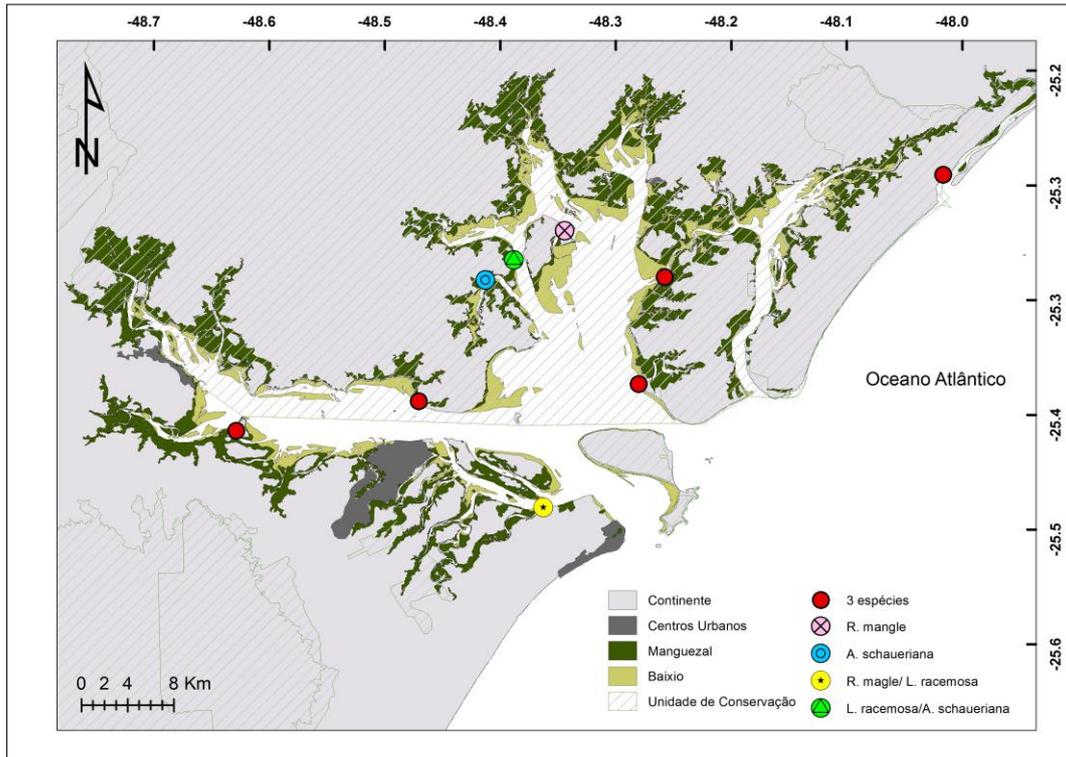


Fig. 2. Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP). Espécies de árvores do manguezal utilizadas como fonte de madeira.

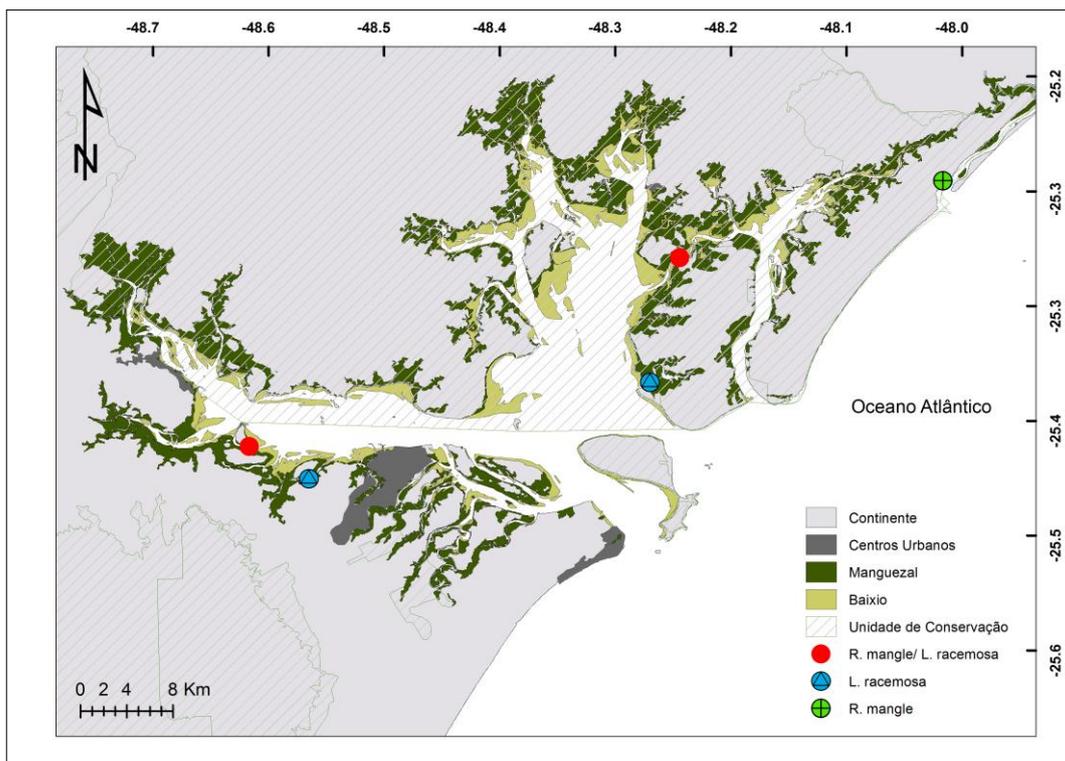


Fig. 3 Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP). Locais com evidências de corte de árvores em manguezais.



Fig. 4. Espécies de árvores que são cortadas em manguezais do CEP. (A) *Laguncularia racemosa*. (B) *Laguncularia racemosa*. (C) *Laguncularia racemosa*. (D) *Rhizophora mangle*. (Fotos: N.M.Santos)



Fig. 5. Usos de madeira da espécie *Laguncularia racemosa* no CEP. (A) Visão panorâmica de uma vila com casas construídas sobre sapatas. (B) Detalhe da sapata de uma casa. (C) Embarcação amarrada a uma vara. (D) Detalhe de uma vara já descascada com rede de pesca amarrada. (Fotos: N.M.Santos)

3.1 Usos atuais

Os usos atuais relatados são o corte para fazer varas para amarrar redes e embarcações de pesca, para construção de ranchos de embarcações e para elevar a base das casas, como sapatas ou palanques (Fig 5). Os três tipos de uso atuais também ocorriam antigamente, mas há menção de terem se reduzido ao longo das últimas três ou quatro décadas.

O uso como varas ou estacas, para amarrar redes ou embarcações, prioriza as espécies *L. racemosa* e *R. mangle*. A primeira espécie é a mais comum, sendo descrita como mais adequada para essa finalidade pelo fato de *R. mangle* se partir com facilidade. Para esse tipo de uso são utilizados os troncos descascados de árvores finas com 3 ou 4 m de altura. Um dos entrevistados mencionou que esse tipo de uso diminuiu pela disponibilidade no mercado de “varas” de ferro, e que atualmente a madeira só é usada por pessoas que não podem comprar tais estacas de ferro. A quantidade explorada para consumo próprio seria de 4 ou 5 varas por pescador por ano.

Para a construção de ranchos, são utilizados troncos das três espécies. *A. schaueriana* é considerada a melhor, principalmente em relação à *R. mangle* pela ausência de raízes de apoio. Esse tipo de uso é pouco frequente, com a retirada de no máximo 10 troncos ao ano por usuário. Além da construção de ranchos, a madeira era extraída também para fazer cercas para a casa, tipo de uso que já não é feito atualmente.

O uso da madeira para fazer apoios de casa em áreas alagadiças ou sujeitas a alagamento durante as marés altas, chamado de sapata ou palanque, é atual e pretérito. Esta forma de uso foi observada na vila Guapicum. O entrevistado local disse que os palanques duram entre 10 e 20 anos, e que o uso observado atualmente é resultado do corte feito anos atrás. Para essa finalidade, é utilizado apenas o tronco da *L. racemosa*, com o corte sendo feito a partir de 1 m de altura da árvore. Esse tipo de corte não é mais realizado, as pessoas que constroem casas novas na vila já utilizam sapata de concreto. Foi relatado que uma árvore pode fornecer 3 ou 4 sapatas, e que na construção de uma casa, são necessários apenas dois troncos para obtenção de sapatas. Atualmente, a madeira para construção de casas ou cercas é comprada. Quando necessária pequena quantidade, a madeira é retirada de matas no entorno das vilas (“mato”) e não necessariamente do manguezal.

3.2 Usos pretéritos

Os usos pretéritos mais relatados da madeira dos manguezais regionais foram como lenha e para extração de tanino (chamado de *tinta* pelos pescadores). As três espécies dos manguezais locais eram exploradas como lenha. Os troncos eram a preferência de corte e em apenas uma entrevista, foi relatado o uso de todas as partes da árvore, incluindo galhos e raízes. A maioria dos entrevistados relatou o corte da madeira já seca no manguezal, mas também ocasionalmente havia o corte de árvores vivas. Neste caso, a madeira podia ser queimada verde ou permanecer exposta ao sol, na própria vila, para secagem.

A lenha era usada para subsistência, mas houve relatos de comercialização da madeira para caldeiras de fábricas de Guaraqueçaba e Paranaguá. A venda era feita por metro cúbico (Fig. 6). Os troncos das árvores eram cortados em partes de 1 metro de comprimento e empilhados em uma tábua de 1 metro, até atingir 1 metro de altura. Esse conjunto de troncos era vendido por centavos. Um dos entrevistados mencionou que o pedido era feito novamente entre 15 e 20 dias. Foi mencionado também o uso atual de fogão de gás em todas as vilas. Quando ocasionalmente necessário nos dias de hoje, a madeira para lenha é obtida da vegetação próxima à vila (“mato”) ou mesmo da praia quando trazida pelas marés.

A extração de tanino é um tipo de uso pretérito, feito apenas com *R. mangle*, com apenas um relato de uso atual. Os troncos e galhos das árvores eram cortados para retirada da casca, que era fervida para extração da *tinta* de cor vermelha. Essa tinta era usada para tingir as redes de pesca, antigamente feitas de algodão, para curtir couro nos centros urbanos e para tingir assoalhos de madeira. A retirada de cascas era semanal ou de 10 em 10 dias. Na maioria das vezes era para uso próprio, mas há relatos de comercialização das cascas para curtumes dos centros urbanos de Paranaguá e Antonina (Fig 6). As cascas eram vendidas por centavos em sacas de um quilo. Para tingir a rede, alguns entrevistados mencionaram o uso da *R. mangle* juntamente com a aroeira e o jacatirão (espécies da Mata Atlântica ou da mata de restinga). A quantidade retirada não foi definida, mas houve relato de que um tronco por vez já era suficiente para tingir uma rede.

Os entrevistados mencionaram que as redes de algodão foram substituídas pelas de náilon há pelo menos 20 anos. Um único entrevistado relatou que tinge as redes de náilon com a *tinta* extraída da *R. mangle*. Para isso, uma vez ao ano usa 1 m³ de troncos empilhados para tingir 2 redes de 120 braças cada. Mesmo sendo de náilon, o entrevistado acha que a rede fica mais firme e melhor.

A lenha e a extração de tanino foram os usos primários da madeira dos manguezais regionais. Usos menos frequentes e secundários foi o uso da madeira para repelente de insetos

e para cercos de pesca. Como repelente, os troncos e os galhos secos de *A. schaueriana* eram queimados em um jarro para espantar mosquitos. A queima era feita nas casas ou à noite nos barcos durante a pesca. Apenas um entrevistado mencionou que utilizava também *L. racemosa*. A retirada ocorria uma vez na semana próximo à comunidade. Não foi definida a quantidade retirada, apenas relatando-se que era para uso próprio. Para cercos de pesca, os pescadores utilizavam taquara (do “mato”) e eventualmente troncos de *A. schaueriana* e *R. mangle*. Esse tipo de uso foi proibido no Paraná e por isso não ocorre atualmente.

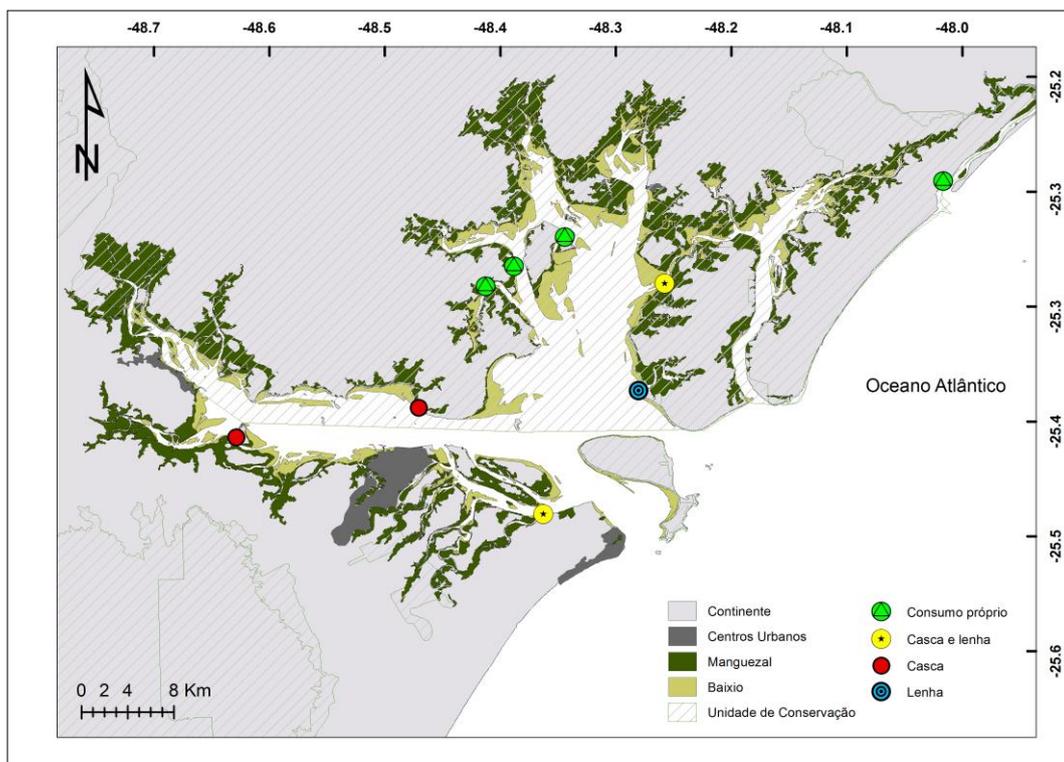


Fig. 6. Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP). Localização das vilas com relatos de venda da lenha e das cascas de *Rhizophora mangle*.

Os tipos de uso da madeira estão bastante relacionados com as características das três espécies de árvores que ocorrem na região. Os usos como lenha ou para construção foram os únicos empregavam as três espécies. No entanto, apenas *A. schaueriana* e *L. racemosa* foram consideradas adequadas para a construção de barracos ou cercas, pois não possuem raízes de apoio. Para os demais tipos de uso relatados nas entrevistas, apenas uma ou duas espécies foram consideradas mais adequadas (Tabela 1).

Todas as vilas pesquisadas possuem áreas de manguezais no seu entorno imediato. Em todas as entrevistas, a retirada de madeira ocorre ou ocorria nos bosques mais próximos. Algumas das vilas são próximas de rios ou gamboas margeados por manguezais, e frequentemente utilizados para facilitar o acesso aos bosques. Alguns entrevistados mencionaram que “subiam” o rio de canoa retirando os troncos encontrados secos para queimar como lenha.

Quando questionados sobre a potencialidade da madeira dos manguezais para novas formas de uso, os entrevistados citaram poucas possibilidades. Em alguns casos, os entrevistados não sabiam referir um único uso potencial ou mesmo consideravam que o manguezal não servia para nada hoje em dia. A madeira foi considerada útil somente para montar cerco para pesca, para curtir couro, para lenha, para construção de casas, sustentação de telhados ou para fazer cercas das casas.

Os entrevistados também foram perguntados sobre o uso de produtos não madeireiros dos manguezais. Houve relatos apenas do uso de folhas de *L. racemosa*, que juntamente com o praturá (*Spartina alterniflora*), eram antigamente utilizadas para combater frieira.

4. Discussão

As formas de uso da madeira do manguezal encontradas no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) coincidem com registros de outras localidades ao longo do litoral brasileiro, embora a intensidade do uso seja bastante distinta. No estuário do rio Caeté, no Pará, o uso de lenha do mangue é feito por 40% da população local, além do uso de varas e extração de tinta (Glaser, 2003). Em Maraú, na Bahia, a extração ocorre principalmente para construção de casas (Vasques et al., 2011), com consumo constante de lenha. Em outros países, comunidades costeiras dependem fortemente dos produtos madeireiros e não madeireiros dos manguezais, para a obtenção de fibras para papel, remédios, cercos de pesca, cultivo de mel, fabricação de postes e telhados, entre outros (Kovacs 1999; Dahdouh-Guebas et al 2000; Walters et al, 2008).

Os usos da madeira do manguezal como fonte de energia e para construção são os principais registrados em escala global, principalmente com espécies de *Rhizophora* (Walters, 2005a; Walters et al., 2008). A combustão da madeira dessas espécies é intensa e prolongada, o que as tornam atrativas para produção de carvão ou diretamente como lenha (Walters et al., 2008). Na construção, a madeira é utilizada em casas (Rasofolo, 1997; Walters, 2005a),

armadilhas de peixes, cercos de animais, cercas (Walters, 2005a; Atheull et al., 2009) e ranchos de embarcações, assim como relatado no presente estudo.

O corte de madeira no CEP, atual ou pretérito, foi relatado para as três espécies existentes, para usos espécie-específicos e também para usos menos seletivos. As diferentes espécies do manguezal são designadas pelos usuários para diferentes finalidades devido às características de cada madeira (Walters et al., 2008; Atheull et al., 2009). Para os entrevistados, as três espécies possuem finalidades que são únicas, ou consideradas como melhores ou mais adequadas. O uso da madeira como lenha é comumente feito com todas as espécies e não há alguma considerada mais adequada. A extração de *tinta* era feita exclusivamente da espécie *Rhizophora mangle*. Essa extração é feita de espécies da família Rhizophoraceae, que são ricas em tanino (Dahdough-Guebas et al., 2006; Walters et al., 2008). Na região sul do Brasil, *R. mangle* é a única representante da família, embora *R. harrisonii* e *R. racemosa* ocorram nas regiões norte e nordeste do país.

A espécie *Avicennia schaueriana* ocorre apenas na América do Sul, sendo destacada no uso como repelente de insetos por causa do cheiro que a queima de sua madeira produz. Esse tipo de uso ocorre em outros locais, também com destaque para outras espécies do gênero. *A. marina* é a utilizada no Quênia para essa mesma finalidade por criadores de abelhas e por pescadores (Dahdough-Guebas et al., 2000), assim como *A. germinans* no Pará (Glaser et al., 2003). Apenas um entrevistado mencionou o uso de *Laguncularia racemosa* para afastar insetos.

As três espécies de ocorrência regional são consideradas mais ou menos adequadas para determinados usos devido às suas configurações anatômicas e características da madeira. *R. mangle* possui raízes de apoio, o que dificulta o corte dos troncos para construção de ranchos para embarcações, finalidade que tem preferência por *A. schaueriana*. Walters et al. (2008) relataram que troncos de *Avicennia* são curtos e com formas contorcidas e por isso possuem valor limitado. Essas características não são típicas da espécie *schaueriana*, que tem troncos eretos e bem desenvolvidos. Essa característica é condizente com o fato de ser considerada pelos entrevistados a melhor para construção. No Pacífico, troncos eretos de *Avicennia* são também utilizados na construção de canoas (Bandaranayake, 1998). Para fabricar varas ou estacas, *R. mangle* é utilizada, mas novamente não é considerada a mais adequada por se partir com facilidade. No entanto, há registros controversos de que esta madeira é dura e densa, e por isso adequada para muitos usos (Bandaranayake, 1998; Untawale, 1998; Walters et al., 2008). Não se pode descartar que variações nas características e propriedades da madeira dependam

de condições ambientais local-específicas, como frequência de inundação, que influencia o crescimento e a formação da madeira (Menezes et al., 2003).

A espécie *A. schaueriana* foi considerada a mais adequada para construção de ranchos de embarcações, apesar dos registros factuais de corte em campo terem sido feitos somente para *R. mangle* e *L. racemosa*. A ausência de registro de corte para *Avicennia* pode ser resultado da menor frequência dessa espécie nos manguezais regionais, do seu local preferencial de ocorrência e do tamanho dos indivíduos. Árvores de *A. schaueriana* ocorrem em áreas internas das florestas e de difícil acesso para corte e transporte para as vilas. Esses indivíduos comumente atingem maiores diâmetros e alturas, o que dificulta seu corte e transporte. Finalmente, os maiores tamanhos das árvores já não condizem com a própria necessidade atual dos pescadores, na medida em que o uso mais recorrente da madeira de manguezais é para a fabricação de varas e estacas, com preferência por troncos finos de 3 ou 4 m de altura. O maior tamanho dos indivíduos pode também facilitar o reconhecimento dessas árvores por fiscais ambientais, reforçando ainda mais preferência pelas outras espécies, ainda que menos adequadas.

A renda e subsistência das vilas pesqueiras da região são fortemente dependentes da extração de recursos naturais (Andrighetto, 2003; Faraco, 2012). Os manguezais da região são usados principalmente para extração de caranguejos e ostras, por vezes somente para consumo próprio. Neste contexto, a extração de madeira do manguezal não é ou nunca foi a principal fonte de renda das comunidades. A extração é realizada em locais próximos e de fácil acesso. Cortes de árvores em locais mais distantes são feitos apenas quando há a procura de indivíduos de algum tamanho ou características específicas não encontrados no entorno imediato das vilas. As diferenças de uso, principalmente em comparação com áreas de outros continentes, residem mais nas espécies utilizadas e na intensidade do uso do que propriamente nas formas de uso.

Uma maior dependência de sociedades humanas pela madeira dos manguezais ocorre em países do Indo-Pacífico, cujos manguezais têm um maior número de espécies, incluindo gêneros que não ocorrem na América do Sul. Essa grande diversidade florestal e a maior alocação de biomassa aérea permite que mais espécies possam ser utilizadas como fonte de recursos madeireiros. Esta situação pode ser parcialmente estendida para outros setores da costa brasileira, onde há uma maior dependência de madeira dos manguezais por comunidades da região norte, principalmente em manguezais da Amazônia (Glaser et al., 2003). Esta dependência coincide com uma maior disponibilidade de biomassa aérea florestal, típica dos bosques estruturalmente mais complexos da região amazônica.

Glaser et al. (2003) relataram que a exploração da madeira no norte do Brasil, pode ser para subsistência (consumo próprio ou familiar), para venda em pequena escala ou venda em escala comercial. Quando para subsistência ou para venda em pequena escala, a exploração estaria diretamente associada com outras estratégias de subsistência dos moradores locais, incluindo a pesca artesanal ou de pequena escala. No CEP, a exploração atual de madeira dos manguezais é apenas de subsistência, e está relacionada às necessidades decorrentes da pesca por pessoas mais pobres. Os relatos de corte atual se referem à fabricação de varas ou estacas para amarrar redes e embarcações, à construção de ranchos para as embarcações. O uso da madeira como sapata ou palanque de casas, não relacionado diretamente à pescaria, ocorre atualmente como registro de cortes pretéritos.

Historicamente, as principais formas de uso da madeira de manguezais na região eram o corte para lenha e a extração de tanino. Essas finalidades, que chegavam a sustentar um pequeno comércio, estão praticamente extintas. A venda de troncos e cascas para fábricas e olarias dos centros urbanos ocorria há 20 ou 30 anos. Nessa época, a exploração do manguezal era de venda em pequena escala, ou podia atingir escala comercial dependendo da vila. A venda de cascas da *R. mangle* foi registrada em vilas muito próximas aos centros urbanos, que já possuíam o hábito de extrair tinta dessa espécie para uso próprio. Alguns dos entrevistados não mencionaram a venda de cascas em sua vila, pois não utilizavam árvores do manguezal para a extração de tinta.

Atualmente, o corte ocorre em pequena quantidade em comparação com relatos de usos pretéritos. Essa diminuição está associada à disponibilidade de novas fontes de energia e de novos materiais para a pesca, como a difusão do uso do gás de cozinha, a eletricidade e as redes de náilon. Estes foram observados em quase todas as vilas visitadas, e apontadas por alguns moradores como responsáveis pela perda do hábito de utilizar o manguezal e por uma redução do nível de dependência das comunidades com os recursos naturais locais. O corte de madeira hoje em dia é uma prática que se restringe a pessoas mais carentes, que por vezes não podem comprar a madeira ou outro material quando necessário.

A pesca no litoral do Paraná foi marcada, entre 1965 e 1975, pela introdução de inovações tecnológicas, como os motores de centro, embarcações de tábuas e as redes sintéticas (Andriguetto, 2003). Essas fibras sintéticas já não necessitavam do processo de tingimento para serem utilizadas nas redes de pesca, contribuindo para o fim da extração de tanino nos manguezais regionais. A introdução das fibras sintéticas aumentou a durabilidade das redes, facilitou o seu manuseio e diminuiu o seu tempo de confecção e manutenção (Andriguetto,

2003), funções que antes só eram possibilitadas pelo ‘curtume’ da rede com fio de algodão na tinta da *R. mangle*.

Outros usos pretéritos também não ocorrem devido às novas alternativas tecnológicas. Além daquelas já relatadas, destaca-se o uso de sapatas ou palanques de concreto para as novas casas e o uso de repelentes industriais. Alguns entrevistados mencionaram o uso pretérito de madeira para a confecção de cercos fixos para captura de peixes. Estes podiam ser montados com taquara ou com troncos de *R. mangle* e *A. schaueriana*. Como uma inovação técnica, os cercos passaram também a serem montados com tubos de PVC (Andriguetto, 2003), substituindo a madeira. O declínio desse tipo de uso está ainda relacionado com a proibição desta prática de pesca no litoral do Paraná.

A mudança de uma exploração de pequena escala para uma exploração pouco recorrente, de subsistência e de pouca relevância econômica está, portanto, em parte relacionada com as próprias mudanças das estratégias da pesca, o que reflete a interdependência destas atividades no passado e no presente destas vilas. Determinados usos podem ter sido historicamente importantes, mas atualmente são menos comuns devido a disponibilidade de alternativas e políticas que desencorajam a prática de corte (Walters et al., 2008), como claramente exemplificado pela realidade socioambiental do litoral do Paraná.

Aliadas às mudanças técnicas e inovações tecnológicas, incide sobre as vilas uma série de restrições de ordem ambiental. Parte dos manguezais do CEP está inserida em unidades de conservação de proteção integral. No eixo norte-sul do estuário, se destacam a Estação Ecológica de Guaraqueçaba e o Parque Nacional do Superagui. A criação dessas unidades de conservação na década de 1980 contribuiu para a redução do uso de recursos florestais dos manguezais. No contexto legal, a pequena extração realizada nos dias de hoje é clandestina, mesmo quando fora das unidades de conservação. A proibição do uso de madeira do manguezal no Brasil torna o tema sensível e de difícil solução pela metodologia de entrevistas semiestruturadas. Naturalmente receosos de eventuais penalizações, muitos entrevistados podem ter sonogado informações relevantes sobre a extração ou uso de madeira em unidades de conservação de proteção integral.

A opinião dos entrevistados ficou dividida em relação à potencialidade de uso da madeira dos manguezais regionais. Alguns consideram que o manguezal já não serve para nada hoje em dia, mas parte dos entrevistados considerou que a madeira do manguezal poderia ser utilizada principalmente na construção. A extração ocorreria para uso pessoal, sendo empregado no reparo de cercas, telhados e construção das casas. O uso da madeira do manguezal na construção pode ser potencialmente um novo uso para a região. Este não é mais

praticado por causa da proibição legislativa e pela existência de alternativas, mas aparece neste trabalho como um potencial a ser explorado, mesmo que apenas para reparos. Foi mencionado ainda o uso da madeira para cercos de pesca se a prática fosse liberada.

Existem ainda, outros usos que poderiam ser feitos com a madeira dos manguezais. Há registros para construção de barcos, móveis, estacas de cais/atracadouros e postes (Walters et al., 2008). Há registros ainda de usos menos recorrentes e específicos de populações mais pobres e isoladas de outras regiões, como andaimes de construção e vigas para ferrovias e minas (Walters et al., 2008). Apesar das vilas no CEP não serem tão carentes ou isoladas como muitas comunidades ribeirinhas de manguezais do norte do país, os usos reconhecidos nas entrevistas, somados àqueles já praticados, poderiam de fato auxiliar os moradores locais em suas pequenas necessidades diárias, contribuindo para uma eventual melhoria de sua qualidade de vida. Como a demanda é pequena, poderia haver um uso potencial para a madeira dos manguezais.

A vulnerabilidade de um ecossistema frente à exploração de seus recursos ou de tensores antrópicos depende das características sociais e naturais do sistema explorado (Faraco, 2012). Estima-se que há aproximadamente 240 km² de área coberta por manguezais na região (Silva, 2011). Os manguezais regionais podem aparentar uma presumida homogeneidade florestal, mas de fato possuem diferentes fisiografias com altura média e densidade arbórea muito variáveis (Martin, 1992), resultando por sua vez em uma grande variabilidade na estrutura e biomassa dos bosques e na disponibilidade de madeira (ver capítulos I e II desta dissertação). Portanto, configura-se no complexo estuarino um cenário atual de pequena demanda da madeira do manguezal, na presença de uma área florestal com elevado estoque e disponibilidade.

A atual legislação brasileira incidente sobre os manguezais é restritiva e está primariamente baseada na restrição em vez da regulação do uso (Lana, 2004). Na prática, esse quadro tem resultado no livre e clandestino acesso ao recurso, pois não há mecanismos de controle que possam ser implementados, ou paradoxalmente na desvalorização do recurso por parte da população, por não ser passível de utilização (Lana, 2004). As atuais normativas ambientais brasileiras consideram os manguezais sistemas homogêneos, com alta produtividade, elevada capacidade de exportação de matéria para sistemas adjacentes e elevada vulnerabilidade (Lana, 2004; Pulner, 2007). No entanto, tais normas não são necessariamente coerentes com o melhor conhecimento científico atual para gestão das florestas. A variabilidade natural dos manguezais deveria ser incorporada nas práticas de manejo e gestão do recurso, permitindo o seu zoneamento e a adoção de normativas mais condizentes com a

realidade socioambiental, incluindo a eventual introdução de usos sustentáveis em reservas extrativistas. A legislação e as políticas públicas deveriam reconhecer que os manguezais são sistemas heterogêneos e que cumprem distintas funções ecológicas e socioeconômicas (Lana, 2004).

É fato conhecido que a exploração dos manguezais, mesmo em pequena escala para fins de extração de madeira, cria clareiras nas florestas. Nessas aberturas, a intensidade de luz incidente aumenta e eleva a evaporação de água, a salinidade intersticial, a concentração de amônia, sulfureto, ferro e manganês (Alongi e Carvalho, 2008). Alguns estudos indicam ainda, efeitos negativos do corte sobre o número de troncos adultos e sobre a altura das árvores (Walters et al., 2008). A diversidade florestal pode também ser alterada pelo corte seletivo de espécies, devido às diferentes respostas que estas apresentam ao corte (Walters, 2005a). Algumas espécies possuem capacidade de brotamento, enquanto outras necessitam do recrutamento de sementes para o crescimento (Walters, 2005b; Walter et al., 2008).

Apesar desses efeitos já conhecidos da extração de madeira sobre os manguezais, existem alternativas de manejo que poderiam minimizá-los ou acelerar os processos de restauração. Podem ser adotadas ou incentivadas ações de manejo mais flexíveis e mais adaptadas à realidade local do que a simples proibição de uso do recurso (Lana, 2004). Por exemplo, em decorrência dos efeitos e da situação socioeconômica das famílias, o co-manejo pode guiar ações de conservação e restauração mais rápidas do que a regeneração natural nas clareiras (Alongi e Carvalho, 2008). Dentre outras ações de manejo, estão as reservas extrativistas para exploração florestal e pesqueira, baseadas em técnicas de silvicultura e de pesca mais sustentáveis (Lana, 2004).

Tensores naturais tendem a ser, em geral, menos intensos e frequentes do que distúrbios antrópicos (Jímenez et al., 1985). Os manguezais são afetados e regulados por estas perturbações naturais, que incluem tempestades, raios, doenças e ação de herbívoros em diferentes escalas espaciais (Allen et al., 2001; Pínzon et al., 2003). Os manguezais são naturalmente capazes de se recuperar e de se adaptar aos distúrbios naturais, e as clareiras nos bosques resultantes dessas perturbações podem promover oportunidades de recrutamento de novos indivíduos (Sherman et al., 2000). No caso dos manguezais, Hauff et al. (2006) consideram que o corte de madeira para subsistência, dependendo da escala e do método de coleta, poderia simular os efeitos de distúrbios naturais de pequena intensidade. Neste contexto, a coleta de madeira poderia ser sustentável em regiões nas quais as populações são pequenas e os manguezais são extensos (Hauff et al., 2006), como é o caso do sistema estudado.

Os manguezais se adaptaram à interface entre o mar e o continente de regiões tropicais e subtropicais (Alongi, 2009), diariamente sujeita às mudanças de maré, temperaturas, salinidade e processos de anoxia (Alongi, 2007). Mais do que contribuir para uma presumida vulnerabilidade dos manguezais, tais condições hidrológicas e físico-químicas condicionaram o desenvolvimento de sistemas florestais robustos, caracterizados por processos regenerativos adaptáveis e dinâmicos (Duke, 2001). A mera presença dessas florestas nesses ambientes, considerados estressantes para outros organismos, implica uma capacidade regenerativa de sucesso (Duke, 2001). Neste sentido, a capacidade de elevada reposição natural, aliada a ações de manejo adequadas, poderiam permitir a extração sustentável de madeira dos manguezais, para os usos pretéritos, atuais ou potenciais. A análise de fotografias aéreas demonstrara que clareiras de menores proporções em manguezais apareceram praticamente regeneradas em nove anos, mesmo em locais com ação crônica de tensores antrópicos (Menghini et al., 2007).

A inadequação socioambiental da atual legislação restritiva já foi tratada na literatura (Glaser et al., 2003; Glaser e Oliveira, 2004; Lana, 2004; Pulner, 2007). As populações costeiras são frequentemente dependentes dos recursos pesqueiros e florestais dos manguezais. Os conflitos socioambientais derivam da histórica dependência dessas populações, tradicionais ou neotradicionais, pelos recursos florestais, que têm sido explorados sob um regime de ilegalidade, tolerado pelos próprios órgãos ambientais. Esse trabalho vem novamente demonstrar que a política ambiental incidente sobre os manguezais conflita com as dinâmicas naturais e socioecológicas do maior e mais preservado sistema estuarino da costa sul do Brasil. Os claros indícios de corte e o uso da madeira nas vilas pesqueiras, ainda que seja uma prática em declínio, atestam a necessidade da população local pelo recurso. Em países em desenvolvimento, como o Brasil, onde inúmeras comunidades tradicionais ainda usam os recursos florestais dos manguezais, principalmente madeiros, para sua reprodução material e social, estratégias de manejo menos conflitivas e tecnicamente mais adequadas deveriam ser implantadas em benefício de pessoas reconhecidamente carentes e vulneráveis. Este trabalho procurou avançar o conhecimento sobre a real disponibilidade de um recurso renovável potencialmente importante e sobre as suas formas de uso reais e potenciais. No futuro, estudos sobre a dinâmica natural de recomposição e regeneração destas florestas costeiras poderão dar fundamentos ainda mais consistentes para a exploração sustentável da madeira de manguezais.

5. Referências

- Allen, J.A.; Ewel, K.C. & J. Jack. 2001. Patterns of natural and anthropogenic disturbance of the mangroves on the Pacific Island of Kosrae. *Wetlands Ecology and Management*, 9: 279–289.
- Alongi, D.M. 2002. Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, 29: 331–349.
- Alongi, D.M. 2007. Resilience of mangrove forests, tsunamis, and global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 20: 1-13.
- Alongi, D.M. 2009. Paradigm shifts in mangrove biology. In: *Coastal wetlands: an integrated ecosystem approach*. Perillo, G.M.E; Wolanski, E.; Cahoon, D.R. & M.M. Brinson (eds): 615 – 640pp.
- Alongi, D.M. & N.A. Carvalho. 2008. The effect of small-scale logging on stand characteristics and soil biogeochemistry in mangrove forests of Timor Leste. *Forest Ecology and Management*, 255: 1359-1366.
- Andriguetto-Filho, J.M. 2003. A mudança técnica e o processo de diferenciação dos sistemas de produção pesqueira do Litoral do Paraná, Brazil. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 8: 43-58.
- Atheull, A.N.; Din, N.; Longonje, S.N.; Koedam, N. & F. Dahdouh-Guebas. 2009. Commercial activities and subsistence utilization of mangrove forests around the Wouri estuary and the Douala-Edea reserve (Cameroon). *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 5: 1-14.
- Bandaranayake, W.M. 1998. Traditional and medicinal uses of mangroves. *Mangroves and Salt Marshes*. 2, 133-148.
- Bigarella, J.J. 1946. Contribuição ao estudo da planície litorânea do estado do Paraná. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*. 1, 75-111.
- Dahdouh-Guebas, F.; Mathenge, C.; Kairo, J.G. & N. Koedam. 2000. Utilization of mangrove wood products around mida creek (Kenya) amongst subsistence and commercial users. *Economic Botany*. 54, 513-527.
- Dahdouh-Guebas, F.; Collin, S.; Seen D.L.; Rönnback, P.; Depommier, D.; Ravishankar, T. & N. Koedam. 2006. Analysing ethnobotanical and fishery-related importance of mangroves of the East-Godavari Delta (Andhra Pradesh, India) for conservation and management purposes. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. 2, 1–24.
- Diegues, A.C.S. 2001. *Ecologia humana e planejamento em áreas costeiras*. 2ª edição. NUPAUB, USP, São Paulo. 192p.
- Duke, N.C. 2001. Gap creation and regenerative processes driving diversity and structure of mangrove ecosystems. *Wetlands Ecology and Management*, 9: 257–269.

- Faraco, L.F.D. 2012. Vulnerabilidade de pescadores paranaenses às mudanças climáticas e os fatores que influenciam suas estratégias de adaptação. Tese de doutorado, UFPR. 261p.
- Glaser, M. 2003. Interrelations between mangrove ecosystem, local economy and social sustainability in Caeté Estuary, North Brazil. *Wetlands Ecology and Management*. 11, 265-272.
- Glaser, M. & R.S. Oliveira. 2004. Prospects for the co-management of mangrove ecosystems on the North Brazilian coast: Whose rights, whose duties and whose priorities? *Natural Resources Forum*, 28: 224–233.
- Glaser, M.; Berger, U. & R. Macedo. 2003. Local vulnerability as an advantage: mangrove forest management in Pará state, north Brazil, under conditions of illegality. *Regional Environmental Change*, 3: 162-172.
- Hauff, R.D.; Ewel, K.C. & J. Jack. 2006. Tracking human disturbance in mangroves: estimating harvest rates on a Micronesian island. *Wetlands Ecology and Management*. 14, 95–105.
- Jimenez, J.A.; Lugo, A.E. & G. Cintrón. 1985. Tree mortality in mangrove forests. *Biotropica*, 17: 177-185.
- Kovacs, J.M. 1999. Assessing mangrove use at the local scale. *Landscape and Urban Planning*, 43: 201-208.
- Lana, P.C. 2004. Novas formas de gestão dos manguezais brasileiros: a Baía de Paranaguá como estudo de caso. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 10: 169-174.
- Mafra, T.V. 2012. Estratégias técnicas e econômicas dos sistemas de produção pesqueiros da região de Guaraqueçaba, litoral do Paraná. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 228p.
- Martin, F. 1992. Etude de l'écosystème mangrove de La Baie de Paranaguá (Paraná, Brésil): Analyse des impacts et propositions de gestion rationnelle. Tese de doutorado, Université Paris VII. 289p.
- Menezes, M.; Berger, U.; Worbes, M. 2003. Annual growth rings and long-term growth patterns of mangrove trees from the Bragança peninsula, North Brazil. *Wetlands Ecology and Management*, 11: 233–242.
- Menghini, R.P.; Cunha-Lignon, M.; Coelho Júnior, C.; Schaeffer-Novelli, Y. 2007. Análise temporal dos impactos antrópicos e da regeneração natural em manguezais da ilha Barnabé (Baixada Santista, SP, Brasil) obtida através de fotografias aéreas. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil, 4037-4044.
- Miranda, R.B. 2004. Dinâmica de apropriação e saberes comunais dos manguezais e de seus recursos bênticos de interesse econômico no Complexo Estuarino da Baía do Paranaguá, Paraná. Tese de doutorado, UFPR. 362p.

Pierri, N.; Angulo, R.J.; Souza, M.C. & M.K. Kim. 2006. A ocupação e o uso do solo no litoral paranaense: condicionantes, conflitos e tendências. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 13: 137-167.

Pinheiro, L.; Lana, P.C.; Andriguetto-Filho, J.M. & N. Hanazaki. 2008. A pesca do arrastão de praia no litoral do Paraná: reflexões sobre o método etnoecológico. In: *Encontros e desencontros na pesquisa etnobiológica e etnoecológica: os desafios do trabalho em campo*. Araújo, T.A.S.; Albuquerque, U.P. (eds.). Recife, NUPEEA.

Pínzon, S.Z.; Ewel, K.C. & F.E. Putz. 2003. Gap formation and Forest regeneration in a Micronesian mangrove forest. *Journal of Tropical Ecology*, 19: 143-153.

Pulner, R.C.L. 2007. *Análise crítica da cientificidade da legislação relativa a manguezais*. Editora Imprensa Oficial, Curitiba. 180p.

Rasofolo, M.V. 1997. Use of mangroves by traditional fishermen in Madagascar. *Mangroves and Salt Marshes*, 1: 243–253.

Rönnbäck, P. 1999. The ecological basis for economic value of seafood production supported by mangrove ecosystems. *Ecological Economics*. 29, 235-252.

Seixas, C.S. 2005. Abordagens e técnicas de pesquisa participativa em gestão de recursos naturais. In: *Gestão Integrada e Participativa de Recursos Naturais: conceitos, métodos e experiências*. Vieira, P.F.; Berkes, F. & C.S. Seixas (eds.). Secco/APED, Florianópolis, SC. 416p.

Sherman, R.E.; Fahey, T.J. & J.J. Battles. 2000. Small-scale disturbance and regeneration dynamics in a neotropical mangrove forest. *Journal of Ecology*, 88: 165-178.

Silva, C.P. 2011. *Caracterização dos manguezais do Complexo Estuarino de Paranaguá a partir de imagens SPOT*. Monografia de conclusão de curso, Universidade Federal do Paraná. 30p.

Untawale, A.G. 1998. Management of mangroves for energy needs. In: *An Anthology of Indian Mangroves*. Annamalai University. 54p.

Vasques, R.; Tonini, W.C.T.; Cuevas, J.M.; Santos, D.F.; Faria, T.A.; Falcão, F.C.; Simões, D.R.; Batista, R.L.G. & E.C.G. Couto. 2011. The use of mangrove areas in Taipu de Dentro (Maraú, Southern Bahia, Brazil). *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 11: 155-161.

Walters, B.B. 2004. Local management of mangroves forests in the Philippines: Successful conservation or efficient resource exploitation? *Human Ecology*. 32, 177-195.

Walters, B.B. 2005a. Patterns of local wood use and cutting of Philippine mangrove forests. *Economic Botany*, 59: 66-76.

Walters, B.B. 2005b. Ecological effects of small-scale cutting of Philippine mangrove forests. *Forest Ecology and Management*, 206: 331–348.

Walters, B.B.; Rönnbäck, P.; Kovacs, J.M.; Crona, B.; Hussain, S. A.; Badola, R.; Primavera, J.H.; Barbier, E. & F. Dahdouh-Guebas. 2008. Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*. 89, 220-236.

Conclusão geral

A abordagem da variação espaço-temporal, da biomassa aérea e das formas de uso da madeira dos manguezais no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) indicou que esse sistema forma florestas heterogêneas no estuário. As florestas sofrem distintas alterações espaciais ao longo do tempo, sob tensores naturais e antrópicos, possuem estoque de madeira variável, e são explorados de maneira distinta pelos moradores, devido a sua composição e localização. Tal heterogeneidade é reflexo à própria variabilidade estrutural dos manguezais e das características hidrodinâmicas e geomorfológicas locais. Essas características naturais são concomitantes com a heterogeneidade entre as vilas pesqueiras e mesmo dentro de cada vila, que determina que o uso da madeira não ocorra da mesma forma em todo o CEP.

Os manguezais são considerados sistemas homogêneos e, portanto, unidades únicas de paisagem no zoneamento ambiental (Lana, 2004; Pulner, 2007). Essa presumida homogeneidade contribui para as restrições de uso dos recursos madeireiros dos manguezais em toda a costa brasileira. O Código Florestal Brasileiro (Lei Federal 12651/2012) classifica os manguezais em Áreas de Preservação Permanente (APPs), cuja intervenção e supressão são somente permitidas para utilidades públicas, atividades de baixo impacto ambiental e quando de interesse social. Apesar de tais possibilidades de intervenção nos manguezais, não são permitidas a produção e extração de recursos madeireiros, o que gera conflitos socioambientais.

A extração e dependência da madeira dos manguezais ocorrem ao longo da costa brasileira (Diegues, 2001; Glaser et al., 2003; Vasques et al., 2011; presente trabalho). A dependência das populações costeiras é maior na região norte do país, principalmente em manguezais da Amazônia (Glaser et al., 2003), o que é coincidente com uma maior disponibilidade de biomassa aérea florestal. No entanto, mesmo em locais de menor dependência, como no CEP, a extração e o uso da madeira poderiam contribuir para a subsistência de moradores mais pobres e auxiliar a manutenção de seu modo de vida. A pequena demanda pelo recurso onde há extensa área florestal, com variabilidade na estrutura, na tendência espacial e no estoque de biomassa poderia ser viável e de menor impacto, dependendo da localização e composição do manguezal. Por isso, há necessidade de incorporar a heterogeneidade dos manguezais nas normativas ambientais, e assim unir a conservação e o uso sustentável do ecossistema. A pequena demanda pelo recurso em um sistema estuarino bem preservado e de grande heterogeneidade entre as florestas pode tornar a extração e o uso

da madeira viável e de menor impacto ambiental. Essa característica é prevista pelo Código Florestal como passível de intervenção em APPs e, portanto, dependendo do local de exploração, a prática não precisaria ser ilegal e possivelmente diminuiria conflitos socioambientais.

Referências

- Diegues, A.C.S. 2001. Ecologia humana e planejamento em áreas costeiras. 2ª edição. NUPAUB, USP, São Paulo. 192p.
- Glaser, M.; Berger, U.; Macedo, R. 2003. Local vulnerability as an advantage: mangrove forest management in Pará state, north Brazil, under conditions of illegality. *Regional Environmental Change*, 3: 162-172.
- Lana, P.C. 2004. Novas formas de gestão dos manguezais brasileiros: a Baía de Paranaguá como estudo de caso. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 10: 169-174.
- Pulner, R.C.L. 2007. Análise crítica da cientificidade da legislação relativa a manguezais. Editora Imprensa Oficial, Curitiba. 180p.
- Vasques, R.; Tonini, W.C.T.; Cuevas, J.M.; Santos, D.F.; Faria, T.A.; Falcão, F.C.; Simões, D.R.; Batista, R.L.G.; Couto, E.C.G. 2011. The use of mangrove areas in Taipu de Dentro (Maraú, Southern Bahia, Brazil). *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 11: 155-161.

Anexos

Tabela 1

Valores das áreas (km²) de expansão e retração de manguezais nos setores do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) para cada intervalo analisado.

Níveis hierárquicos	1986-1997		1997-2006		2006-2011		1986-2011	
	Retração	Expansão	Retração	Expansão	Retração	Expansão	Retração	Expansão
Setor Antonina	5,18	7,62	7,42	5,73	8,59	5,48	8,29	6,11
Setor Laranjeiras	5,28	11,10	8,34	9,43	8,60	5,87	6,27	10,43
Setor Mistura	2,91	6,29	6,09	3,29	3,80	3,79	4,38	5,03
Setor Paranaguá	1,58	2,81	2,48	1,51	2,21	1,58	2,33	1,88
Setor Pinheiro	3,88	5,22	5,29	6,81	7,21	2,84	2,43	4,21

Tabela 2

Valores das áreas (km²) de expansão e retração de manguezais nos sub-estuários do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) para cada intervalo analisado.

Níveis hierárquicos	1986-1997		1997-2006		2006-2011		1986-2011	
	Retração	Expansão	Retração	Expansão	Retração	Expansão	Retração	Expansão
Sub-estuário Benito	1,98	2,81	2,12	2,52	3,63	2,00	2,57	2,68
Sub-estuário Cachoeira	2,93	2,59	3,68	2,96	4,25	2,44	4,29	1,69
Sub-estuário Cotinga	2,18	3,78	3,85	2,16	2,30	2,12	2,86	2,65
Sub-estuário Guaraqueçaba	1,40	1,73	0,80	1,65	1,42	1,06	1,23	2,07
Sub-estuário Itaqui	0,44	0,90	0,55	1,10	0,76	0,25	0,33	0,71
Sub-estuário Medeiros	0,33	1,70	1,46	0,46	0,83	1,00	0,63	1,13
Sub-estuário Nhundiaquara	1,09	2,08	1,85	1,33	2,34	1,46	2,26	1,77

Tabela 3

Taxas (%) de expansão e retração de manguezais nos setores do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) para cada intervalo analisado.

Níveis hierárquicos	1986-1997		1997-2006		2006-2011		1986-2011	
	Retração	Expansão	Retração	Expansão	Retração	Expansão	Retração	Expansão
Setor Antonina	7,63	11,23	10,54	8,14	12,55	8,00	12,20	9,00
Setor Laranjeiras	6,30	13,25	9,26	10,47	9,50	6,49	7,48	12,45
Setor Mistura	7,03	15,17	12,65	6,84	8,40	8,38	10,56	12,14
Setor Paranaguá	7,90	14,05	11,73	7,14	11,08	7,92	11,67	9,41
Setor Pinheiro	9,15	12,33	11,98	15,42	15,46	6,09	5,73	9,94

Tabela 4

Taxas (%) de expansão e retração de manguezais nos sub-estuários do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) para cada intervalo analisado.

Níveis hierárquicos	1986-1997		1997-2006		2006-2011		1986-2011	
	Retração	Expansão	Retração	Expansão	Retração	Expansão	Retração	Expansão
Sub-estuário Benito	8,59	12,18	8,88	10,60	14,96	8,26	11,13	11,60
Sub-estuário Cachoeira	8,91	7,88	11,26	9,05	13,40	7,70	13,02	5,13
Sub-estuário Cotinga	8,58	14,91	14,17	7,95	9,08	8,39	11,29	10,45
Sub-estuário Guaraqueçaba	8,73	10,80	4,88	10,10	8,25	6,16	7,67	12,92
Sub-estuário Itaqui	6,42	13,27	7,53	15,07	9,85	3,24	4,78	10,41
Sub-estuário Medeiros	5,09	26,34	18,54	5,88	12,21	14,82	9,85	17,54
Sub-estuário Nhundiaquara	8,94	17,09	13,95	10,01	18,46	11,50	18,56	14,59

Entrevista semi-estruturada

Data:

Hora de início:

Hora de término:

Sexo do entrevistado:

Idade do entrevistado:

Nome da comunidade em que mora:

Local da entrevista:

- Questões gerais

Há quanto tempo o(a) senhor(a) vive aqui na comunidade?

Como o(a) senhor(a) e sua família vieram para cá? Por quê?

Quais as fontes de renda da família? Sempre foi assim?

As fontes mudam ao longo do ano?

Quantas famílias vivem aqui na comunidade? Todas fazem as mesmas atividades para viver?

Comparada à antigamente, houve mudanças na atividade econômica da sua família e da comunidade?

O(A) senhor(a) e sua família dependem de lenha e madeira para alguma atividade? Como conseguem essa lenha e madeira?

O(A) senhor(a) percebeu diferença no mangue ao redor da comunidade ao longo do tempo? Se notou, ao que o(a) senhor(a) atribui essa mudança?

Como aproveitam o mangue? Retiram alguma coisa do mangue regularmente? O que?

- Questões sobre os usos atuais da madeira do mangue.

A madeira do mangue é aproveitada de alguma maneira?

Para que é usada? (lenha, tanino, barco, casa, vara, cerco pra peixe, cercar o mangue)

Quais árvores são usadas?

Que partes das árvores são retiradas (Raiz, tronco, galhos)?

De onde costumam retirar a madeira?

Há alguma árvore melhor para cortar madeira? Qual? (fotos das espécies)

Há diferenças entre as árvores para diferentes usos?

Tem gente que tira essa madeira para vender? Por quanto vendem? Para quem?

Quanto de madeira é retirado? Com que frequência isso ocorre?

Se a madeira do mangue não é utilizada atualmente, qual o uso poderia ter?

De onde acha que a madeira poderia ser retirada?

Há algum uso feito das árvores que não seja o corte de madeira? (coleta de folhas, ramos, cultivo local de mel)

Se lei permitisse a comunidade de retirar uma pequena quantidade de madeira do manguezal, o uso ocorreria com frequência? Para que uso?

- Questões sobre os usos pretéritos da madeira do mangue.

As pessoas mais antigas da comunidade ou que moravam aqui antes usavam as árvores do mangue?

Para que usavam? (lenha, tanino, barco, casa, vara, cerco pra peixe, cercar o mangue)

Quais árvores eram cortadas?

Que partes das árvores eram retiradas (Raiz, tronco, galhos)?

De onde costumam retirar a madeira?

Alguma árvore era melhor para cortar madeira? Qual? (fotos das espécies)

Havia diferenças entre as árvores para diferentes usos?

Tem gente que tirava essa madeira para vender? Por quanto vendiam? Para quem?

Quanto de madeira era retirado? Com que frequência isso ocorria?

Atualmente é cortada madeira do mangue em maior ou menor quantidade que antigamente?
Com mais ou menos frequência?

Havia algum uso feito das árvores que não era o corte de madeira? (coleta de folhas, ramos, cultivo local de mel).