

# **ESTUDOS CLIMÁTICOS NAS ESCALAS INFERIORES DO CLIMA: manguezais da Barra do Rio Ribeira, Iguape, SP**

Prof. Dr. Emerson Galvani

Pesquisador CNPq

Departamento de Geografia – FFLCH/USP

Av. Prof. Lineu Prestes, 338 - Cidade Universitária, CEP 05508-000, São Paulo (SP) - Brasil

Tel.: (+ 55 11) 3091-8577 - egalvani@usp.br

Msc. Nádia Gilma Beserra de Lima

nadia.lima@usp.br

## **RESUMO**

Este artigo apresenta um exemplo de estudo do clima na escala microclimática. Adotou-se como ambiente de trabalho os manguezais da Barra do Ribeira do Rio Ribeira no Município de Iguape, SP. Realizou-se extensa e detalhada revisão bibliográfica acerca dos estudos, em especial, do meio físico para este ambiente. Os trabalhos de campo visaram identificar as espécies presentes nesta área. Instalou-se uma torre microclimática para avaliação dos atributos do clima em escala temporal adequada aos pressupostos teóricos-metodológicos dos estudos microclimáticos. A estrutura fisionômica do mangue apresenta influência direta na variação dos atributos climáticos em especial na redução da precipitação, da radiação solar global e na velocidade do vento abaixo do dossel.

**Palavras-Chave:** Microclima, manguezal, escalas inferiores do clima.

## **ABSTRACT**

This article presents an example of climate study on the microclimatic scale. The study area were the mangroves of 'Barra do Ribeira' of Ribeira river, in Iguape's city, SP, Brazil. Was realized an extensive and detailed review about the studies of the physical features of this environment. The field works were realized to identify the species present in the area. A meteorological tower was installed to evaluate the climatic attributes in a temporal scale appropriate to the theoretical-methodological presuppositions of the microclimatic studies. It was found that the physiognomic structures of mangroves has a direct influence on variation of climatic attributes in particular in reducing precipitation, solar radiation and wind speed below the canopy.

**Key words:** Microclimate, mangrove, inferior scales of climate.

## **RÉSUMÉ**

Cet article présente un exemple d'étude du climat à la l'échelle microclimatique. A été adoptée telle que l'environnement de travail des palétuviers de la 'Barra do Ribeira' du fleuve Ribeira, Iguape, SP, Brazil. Il a été réalisé une révision approfondi et détaillé concernant les études, en particulier, sur les caractéristiques physiques de cet environnement, il a été réalisés aussi des travaux de champ pour identifier les espèces présentes dans ce secteur. Une tour météorologique a été installée pour évaluer les attributs climatiques dans une échelle temporelle appropriée aux présuppositions théoriques-méthodologiques des études microclimatiques. On l'a constaté que le structure physiognomique des palétuviers il présenté une influence directe sur la variation des attributs climatiques en particulier en réduisant la précipitation, le rayonnement solaire et la vitesse du vent au-dessous de la verrière.

**Mots- Clés:** Microclimat, palétuvier, échelles inférieures du climat.

---

## **INTRODUÇÃO**

Os estudos climáticos compreendem análises nas mais distintas escalas, tanto espaciais quanto temporais. Acerca das escalas espaciais estes podem compreender desde o nível zonal (global) até àqueles nas escalas inferiores do clima (meso, topo e microclimático). No nível topo-climático o relevo e seus atributos (altitude ou cota, orientação, declividade e forma da vertente) é um importante controle climático (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). Aspectos da cobertura vegetal e uso do solo são controles que devem ser avaliados e quantificados a exaustão nestas escalas de análise. A estrutura da vegetação (espécies, altura, densidade, área foliar e índice de área foliar etc) também deve ser objeto de interesse em estudos na escala microclimática.

Para o estudo em escalas inferiores do clima, a vegetação se destaca como um dos principais controles climáticos, visto que estes estão essencialmente ligados ao uso e/ou cobertura do solo. Os manguezais refletem as forças subsidiárias atuantes na área em que estão inseridos, refletindo nas características e os hábitos de crescimento das espécies. Além disso, os fatores abióticos influenciam diretamente na existência do manguezal e, tais condicionantes, em condições adversas, conduzem o manguezal a alterações fisiológicas extremas, que podem resultar em seu desaparecimento (RIBEIRO, 2001). As características fisionômicas da vegetação apresentam papel fundamental nos estudos microclimáticos de ambientes como o manguezal. A estrutura dos manguezais reflete as características e os hábitos de crescimento das espécies que o constituem. A cobertura promovida pelo dossel controla a quantidade, qualidade e distribuição temporal e espacial da radiação solar, determinando níveis diferenciados de umidade do ar, temperatura e condições de umidade do solo, além de promover a interceptação das chuvas, reduzindo o impacto direto sobre o solo, portanto a cobertura atua diretamente nas condições microclimáticas do ambiente. Dessa forma, a cobertura é um dos determinantes do “micro-habitat” de uma floresta, afetando o crescimento e sobrevivência de plântulas, influenciando processos de oxidação da matéria orgânica e controlando processos erosivos (MELO et al., 2007), portanto a cobertura atua diretamente nas condições microclimáticas do ambiente.

O manguezal é um ecossistema costeiro, de transição entre os ambientes terrestres e marinhos, característico de regiões tropicais e subtropicais, sujeito ao regime das marés. Esse ambiente halófito, estabelecido sobre as zonas de entre marés, associa-se a cobertura vegetal típica, com desenvolvimento de flora especializada, caracterizada por espécies arbóreas que lhe conferem fisionomia peculiar (feição “mangue”), a qual exposta a lavagens diárias pelas marés exporta material particulado (folhas, galhos, propágulos), a ser decomposto nos corpos d’água adjacentes (rios, estuários, águas costeiras). Ocorrem em regiões abrigadas e apresenta condições propícias para alimentação, proteção e reprodução de muitas espécies de animais, sendo considerado importante transformador de nutrientes em matéria orgânica (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1995). Segundo Schaeffer-Novelli et al., (2000), o termo manguezal refere-se ao ecossistema, enquanto mangue é utilizado para designar o grupo de espécies arbóreas com adaptações para sobreviver no ambiente entre marés.

Os mangues apresentam adaptações particulares em função dos fatores limitantes do seu ambiente. Dentre elas destaca-se o sistema radicular, altamente especializado, fisiologicamente adaptado. A necessidade do desenvolvimento de um sistema radicular que permaneça exposto a atmosfera em, pelo menos, uma parte do dia, está relacionada a natureza anaeróbica e inconsolidada dos substratos nos quais se desenvolvem (VALE, 2004). Inúmeros estudos têm sido desenvolvidos nos manguezais localizados no Sistema Costeiro Cananéia-Iguape, com destaque para os que enfocam a ecologia e a zonação dos manguezais. Do ponto de vista dos estudos climáticos, Silva (1991) avaliou o balanço de radiação nas áreas cobertas pelos manguezais do Complexo Estuarino-Lagunar de Cananéia-Iguape, determinando a variação sazonal e suas relações com outros parâmetros físicos. Após detalhada revisão bibliográfica percebe-se que ainda persiste uma carência de estudos em nível de detalhe nestes ambientes.

O objetivo deste trabalho é demonstrar a importância dos estudos nas escalas inferiores do clima, neste caso a escala microclimática, evidenciando a importância da cobertura vegetal nas interações entre os atributos climáticos e a superfície terrestre e apresentar como estudo de caso dos manguezais da Barra do Ribeira-Iguape/SP.

A estrutura deste artigo difere do formato tradicional em função da especificidade deste e da forma como este foi concebido, ou seja, a partir do conteúdo de uma mesa redonda chegou-se a este perfil de artigo que se apresenta.

## ÁREA DE ESTUDO: o Sistema Costeiro Cananéia-Iguape

A área do Sistema Costeiro Cananéia-Iguape pode ser considerada uma das mais preservadas do Estado de São Paulo, devido à sua extensão e estágio de preservação. Apresenta uma complexa biodiversidade e produtividade, rica em espécies aquáticas de elevado valor econômico, constituindo-se em extensas áreas de manguezais, restingas e mata atlântica. Os manguezais, com importante destaque na área de estudo, caracterizam-se por ambiente salinizado e pela constante inundação causada por marés. Sua importância maior está relacionada à produção de biomassa, introduzida no sistema bioenergético natural, aumentando a produtividade da zona costeira com a introdução de particulados orgânicos, nas águas estuarino-lagunares, pelos processos químicos e biológicos (HERZ, 1988). Representam comunidades vegetais adaptadas a vários condicionantes físicos atuantes nas zonas costeiras, entre eles, os climáticos. A elevada biodiversidade, característica do manguezal, depende em grande parte da estabilidade do meio físico, constituído pelo solo, atmosfera e a cobertura vegetal, porém, esses elementos têm passado por alterações resultantes da ação antrópica. A modificação da cobertura vegetal, além de alterações microclimáticas, tem aumentado a preocupação sobre a possível irreversibilidade do impacto ambiental local e sua influência nos regimes hidrometeorológicos. Atualmente, ainda, se conhece pouco a respeito das respostas do manguezal em relação às condições climáticas nas diferentes escalas climáticas.

Estudos indicam o ecossistema manguezal como indicador biológico das variações climáticas globais e do aumento previsto do nível relativo do mar, como Snedaker et al., (1981) e Schaeffer-Novelli (2002). Estudos dos atributos climáticos dentro desse ambiente, relacionado à estrutura da vegetação e as demais características, tendem a contribuir com a identificação de futuras alterações, sejam elas de escala global ou resultantes de alterações locais.

A figura 1 apresenta a localização da Barra do Ribeira, Iguape/SP. Esta área localiza-se ao sul do litoral do estado de São Paulo, constituída, principalmente, pelo setor nordeste do Sistema Costeiro Cananéia-Iguape, drenada pelo curso inferior do Rio Ribeira de Iguape.

Segundo Suguio e Tessler (1992), a bacia hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape desempenhou importante função nos processos evolutivos da área durante o quaternário, sendo um dos poucos rios do Estado de São Paulo, que ainda apresenta influência continental até bem próximo a sua foz, localizada na Barra do Ribeira, no município de Iguape.

O Sistema Costeiro Cananéia-Iguape é considerado um dos mais produtivos e um dos principais locais de abrigo e reprodução de inúmeras espécies marinhas da costa sudeste brasileira. Nesse sentido, esta área compreende um importante complexo estuarino de grande complexidade biofísica, onde ocorre o ecossistema manguezal ao lado das planícies e cordões arenosos marinhos, recortados por planícies fluviais, cujos sedimentos marinhos são retrabalhados pelos rios e acrescidos de outros sedimentos procedentes do interior do continente. A Figura 1 apresenta o uso do solo e a vegetação da Barra do Ribeira – Iguape/SP elaborada a partir fotografias aéreas, onde é possível visualizar a atual distribuição dos manguezais ao longo da foz do Rio Ribeira de Iguape.

Segundo Vale (2004), as teorias que explicam a origem e a atual distribuição dos manguezais ao longo das regiões costeiras da Terra, não convergem para uma única hipótese. Entretanto, a maioria é unânime em afirmar a existência de um centro de origem, a partir do qual os mangues dispersaram-se, ocupando as costas dos continentes e ilhas ao redor do mundo ao longo da evolução geológica da Terra. No entanto, autores como MacCoy e Herk (1976) não concordam que o centro de maior diversidade específica seja correspondente ao centro de origem e consideram que a tectônica de placas pode explicar o atual padrão de distribuição biogeográfica dos manguezais. Tomlinson (1986 apud VALE, 2004) acredita que ainda tem que haver mais consistência experimental para considerar a distribuição da atual flora de mangue. Para esse autor é necessário um entendimento baseado em mais registros, tanto fósseis quanto atuais, integrados com conhecimento biogeográfico geral e análises paleoclimáticas.

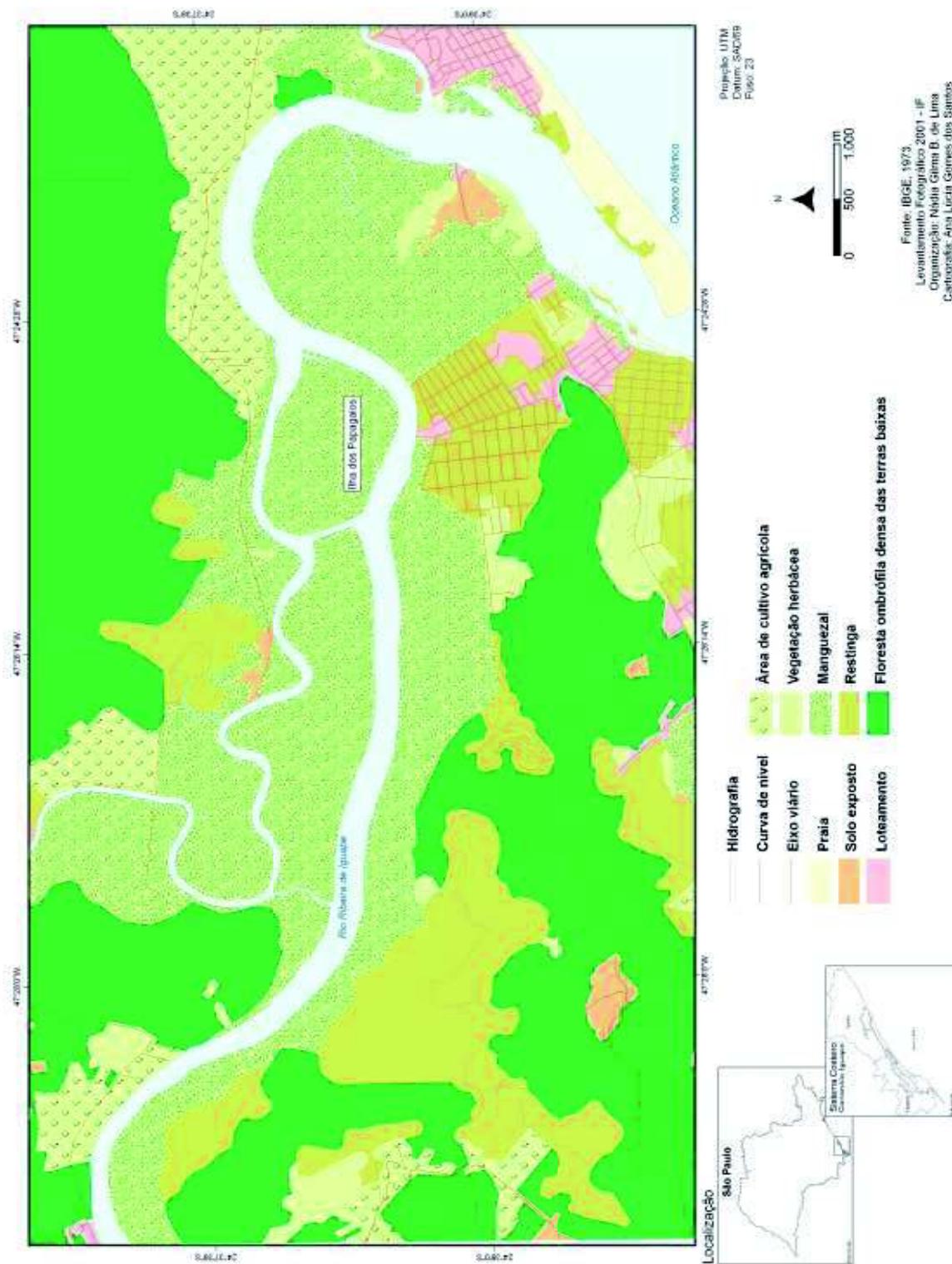


Figura 1 - Localização dos manguezais da Barra do Ribeira – Iguape/SP.

Os manguezais são formações tropicais e como tal seu maior desenvolvimento ocorre da faixa entre os trópicos de Câncer e Capricórnio (23°30' N e 23°30' S). Ocasionalmente se estendem para latitudes superiores, alcançando 30°N e 30°S, mas o desenvolvimento e vigor nesses extremos latitudinais se reduzem, pois estas não toleram o clima dessas latitudes. Seu máximo de desenvolvimento ocorre na linha do Equador (CHAPMAN, 1975). Na costa Pacífica do continente americano, o limite norte dos manguezais corresponde a latitude 31°, próximo a Puerto Lobos, no litoral desértico do Estado de Sonora, no México, enquanto que o limite sul corresponde a 5°30' S, na desembocadura do Rio Piura, no Peru. No Atlântico, o limite norte dos manguezais alcança 32°, nas ilhas Bermudas.

De acordo com Schaeffer-Novelli et al. (1995), o Brasil possui de 10.000 a 25.000 km<sup>2</sup> de manguezais, dependendo da fonte consultada, enquanto que no mundo todo existem cerca de 162.000 km<sup>2</sup> desse ecossistema. No Brasil, os manguezais são encontrados ao longo de praticamente todo o litoral, margeando estuários, lagunas e enseadas, desde o Amapá até Laguna (28°30' S), em Santa Catarina, limite austral desse ecossistema no Atlântico Sul Ocidental (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1995). No litoral Sudeste, uma faixa densa de manguezais é encontrada na Baixada Santista e no Sistema Costeiro Iguape- Cananéia, em São Paulo.

A costa brasileira apresenta diferentes formas de relevos costeiros, incluindo rios, baías, enseadas, costões rochosos, deltas, estuários e lagunas costeiras que possibilitam a ocorrência dos mangues em diversos trechos da costa. Ao longo do litoral, tais formas encontram-se sob a influência de diferentes tipos climáticos e diferentes morfoestruturas. Esse fato levou a Schaeffer-Novelli et al. (1989) a associar as feições do litoral (relevo, tipo de solo, cobertura vegetal) aos valores de temperaturas médias anuais, evapotranspiração potencial, amplitude das marés médias e de sizígia, resultando na identificação de oito Unidades Fisiográficas no litoral brasileiro, a saber: Unidade I: (04°30' N – 01°42' N) do Oiapoque ao Cabo Norte, no litoral do Amapá; Unidade II: (01°42' N – 00°36' S), do Cabo Norte à Ponta Coruçá, no litoral do Pará (Golfão Amazônico); Unidade III – (00°36' S – 02°15' S), de Ponta Coruçá à Ponta Mangues Secos, no litoral do Maranhão; Unidade IV – (02°15' S – 05°08' S) da Ponta Mangues Secos ao Cabo Calcanhar, no Rio Grande do Norte; Unidade V: (05°08' S – 13°00' S) do Cabo Calcanhar ao Recôncavo Baiano; Unidade VI: (13°00' S – 23°00' S) do Recôncavo Baiano ao Cabo Frio; Unidade VII – (23°00' S – 29°20' S), de Cabo Frio a Torres; Unidade VIII: (29°20' S – 33°45' S) de Torres ao Chuí. De acordo com Vale (2004), dessas oito unidades apenas na última não ocorrem os manguezais, mas apenas marismas. Os manguezais do Sistema Costeiro Cananéia-Iguape estão localizados na Unidade Cabo Frio a Torres.

### **A FLORA DO MANGUEZAL: Barra da Ribeira-Iguape/SP**

As espécies de manguezais possuem adaptações ao meio, que lhes permitem a sobrevivência. Entre estas adaptações, está a presença de pneumatóforos e lenticelas que permitem a respiração da planta e propágulos que flutuam na água salgada (SCHAEFFER-NOVELLI; CINTRÓN, 1986). Embora essas plantas possam se desenvolver em ambientes livres da presença do sal, em tais condições não ocorre formação de bosque, pois perdem espaço na competição com plantas de crescimento rápido, melhor adaptadas a presença de água doce.

Nesse ambiente existem também espécies herbáceas, epífitas, hemiparasitas e aquáticas típicas. A maioria das angiospermas consideradas como típicas do manguezal, apresenta reprodução por viviparidade. Esse processo permite que as sementes permaneçam na árvore-mãe até se transformarem em embriões. Essas estruturas, conhecidas como propágulos, acumulam quantidade de reservas nutritivas, permitindo sua sobrevivência enquanto flutuam por longos períodos de tempo até encontrarem ambiente adequado à sua fixação (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1995). A seguir são descritas as características dos principais gêneros encontrados no Brasil, segundo Schaeffer-Novelli (1991), com destaque para espécies encontradas na Barra do Ribeira – Iguape/SP.

### Gênero *Rhizophora*:

Nos manguezais brasileiros ocorrem três espécies do gênero *Rhizophora*, também conhecido por mangue vermelho: *Rhizophora mangle*, *Rhizophora harrisonii* e *Rhizophora racemosa*. Esse gênero é encontrado nas franjas em contato com o mar, ao longo de canais, na boca de alguns rios e também em bacias interiores onde a salinidade não é muito alta. É uma árvore de casca lisa e clara, que ao ser raspada mostra a cor vermelha. Seu sistema de sustentação é formado por raízes-escoras, também considerados por alguns pesquisadores como extensão do caule e não raízes, portanto denominando de caule-escora. Essa estrutura mantém a árvore fixa ao terreno lodoso. Realizam as trocas gasosas, através de lenticelas, presentes nas raízes, possuem também raízes adventícias que partem dos galhos e auxiliam na sustentação da árvore. As copas são arredondadas, formando bosques com estaturas variando de 5 a 30 m de altura. As folhas são opostas, coriáceas, carnosas e ovaladas, apresentando comprimento aproximadamente igual ao dobro da largura. A reprodução se dá por viviparidade. A *Rhizophora* é o gênero menos tolerante à presença do sal, desenvolvendo-se melhor em locais onde a água contida no sedimento (água intersticial) apresenta teores menores que 50 partes de sal por 1.000 partes de água (SCHAEFFER-NOVELLI, 1991). A figura 2 apresenta indivíduos de *Rhizophora mangle* presentes na Barra do Ribeira – Iguape/SP.

### Gênero *Avicennia*:

De acordo com Schaeffer-Novelli (1991), a siriúba ou mangue preto, como é popularmente chamada, é uma árvore com casca lisa, de cor castanho-claro, que quando raspada mostra cor amarelada. Os bosques maduros variam de 6 a 25 metros de altura. Seu sistema radicular é muito ramificado horizontalmente, apresentando distribuição radial, não ultrapassando os 50 cm de profundidade no sedimento. Dessas raízes axiais saem ramificações que crescem eretas (geotropismo negativo), são os chamados pneumatóforos, que apresentam consistência esponjosa e têm função destacada no processo das trocas gasosas entre a planta e o meio. A reprodução se dá por viviparidade. Principais espécies: *Avicennia schaueriana* e *Avicennia germinans*. A *Avicennia* é o gênero mais tolerante ao sal, conseguindo sobreviver em locais onde as águas intersticiais chegam a conter 65 a 90 partes de sal por 1000 partes de água.

A figura 3 apresenta a *Avicennia schaueriana*, no município de Cubatão, visto não ter sido encontrada durante os trabalhos de campo realizados na Barra do Ribeira - Iguape/SP.

### Gênero *Laguncularia*

O gênero *Laguncularia*, representado pela espécie *Laguncularia racemosa*, é conhecida popularmente como mangue branco. Encontra-se, às vezes, ao longo de canais de água salobra, em bordos de praias arenosas de costas de baixa energia, sozinha ou em associação com o gênero *Conocarpus* L. O sistema radicular desenvolve, a partir das raízes radiais subterrâneas, formações com geotropismo negativo – os pneumatóforos, que possuem extremidade bifurcada e arredondada. Esse sistema é semelhante a da siriúba, porém menos desenvolvido. É uma árvore cujas folhas têm pecíolo vermelho, como pode ser observado na figura 4, com duas glândulas em sua parte superior, junto a lâmina da folha. O porte é arbustivo ou arbóreo, com copa arredondada, variando de 2 a 8 m de altura. A reprodução se dá por viviparidade. A *Laguncularia* apresenta tolerância intermediária a salinidade, quando comparada com a dos dois gêneros anteriores (SCHAEFFER-NOVELLI, 1991).

### Gênero *Conocarpus*

O gênero *Conocarpus* L., representado pela espécie *Conocarpus erecta*, também é encontrado na Barra do Ribeira-Iguape/SP (figura 5). Essa espécie é conhecida popularmente por mangue botão, muitas vezes considerada uma espécie associada ao manguezal, é uma árvore de pequena estatura, atingindo no máximo cerca de 4 m de altura. As folhas são alternadas, possuindo pecíolos curtos e alados. Junto à base de lâmina foliar, são encontradas duas minúsculas glândulas. O sistema ra-



Figura 2 - *Rhizophora mangle* – Barra do Ribeira - Iguape/SP (Autoria: Nadia G. B. Lima, 2007).



Figura 3 - *Avicennia schaueriana* – Cubatão/SP (Autoria: Ana Lúcia G. Santos, 2008).

dicular não se apresenta adaptado a vida em terrenos alagados e salgados. Geralmente, as plantas crescem em locais somente atingidos por preamares excepcionais – zonas de transição com a terra firme, portanto, considerada como uma espécie associada ao ambiente manguezal. A inflorescência globosa dá origem a uma infrutescência, formada por um conjunto de sementes, como escamas, cuja viabilidade é bastante reduzida, principalmente se a dispersão for por via aquática.



Figura 4 - Destaque para a folha de *Laguncularia racemosa* – Barra do Ribeira/Iguape/SP.  
Autoria: Nádia G. B. Lima, 2009.

Nas faixas de transição entre o manguezal e os sistemas de terra firme, ou em manguezais alterados, podem ocorrer outras espécies vegetais associadas ao manguezal, tais como o algodoeiro da praia (*Hibiscus pernambucensis*), que é um arbusto ramificado, com folhas em forma de coração, flores grandes e vistosas de cor amarelada; ou a samambaia do mangue (*Acrostichum aureum*), cujas folhas podem chegar a 2 metros de comprimento, bem como o lírio do mangue (*Crinum attenuatum*). Quando a maré está baixa pode também se ver o praturá (*Spartina brasilienses*), gramínea do gênero, comum em áreas de manguezais.



Figura 5 - *Conocarpus erecta* – Barra do Ribeira – Iguape/SP  
Autoria: Nádia G. B. Lima, 2007.

## O MICROCLIMA DO MANGUEZAL: o estudo do caso

A figura 6 apresenta uma vista dos manguezais da Ilha dos Papagaios, localizada na Barra do Ribeira-Iguape/SP. Os resultados microclimáticos que serão apresentados compreendem dados de duas estações meteorológicas instaladas neste ambiente, sendo uma acima (10 m) e outra abaixo (2 m) do dossel.



Figura 6 - Vista do manguezal da Ilha dos Papagaios - Barra do Ribeira – Iguape/SP.  
Autoria: Nádia G. B. de Lima, 2008.

Os manguezais representam comunidades vegetais adaptadas a condicionantes climáticas atuantes nas zonas costeiras, geograficamente distribuídas entre latitudes intertropicais. Os atributos climáticos, particularmente a radiação solar e a temperatura do ar, exercem controle sobre a vegetação de forma limitante. Segundo Schaeffer-Novelli et al. (1995), o maior grau de desenvolvimento dos manguezais, do ponto de vista microclimático, dependeria da temperatura média do mês mais frio, superior a 20 °C e amplitude térmica anual maior que 5 °C. Blasco (1984) em suas considerações sobre a biogeografia do manguezal, refere-se que as espécies desaparecem quando a temperatura média do mês mais frio é inferior a 16°.

Vale (2004) ressalta que, com relação à distribuição latitudinal, em muitos lugares o comportamento em relação à temperatura do ar não é observado. Em Santa Catarina, por exemplo, a temperatura média do ar durante o inverno é inferior a 10 °C, assim como em outras localidades em latitudes mais elevadas. Todavia, a vegetação pode sofrer estresse, apresentando menor desenvolvimento estrutural e, muitas vezes, sendo representada apenas pelo gênero *Avicennia*, que resiste melhor as temperaturas mais frias.

Para Silva e Herz (1987) o manguezal tem uma característica de regulador térmico, devido ao acúmulo da radiação solar no substrato, cujo elevado conteúdo de água, constantemente renovado pelo efeito de maré, está sempre disponível para ser usado pelas plantas no processo de evaporação. Ribeiro (2001) afirma que a precipitação tem repercussão na fisiologia das plantas halófitas e propriedades físicas dos solos, expostos as precipitações ou aos deflúvios extremos que reduzem a salinidade das águas no interior dos canais de drenagem das planícies costeiras. Para Ribeiro (2001) o dossel do manguezal e a atmosfera interagem dinamicamente através de processos físicos que produzem transportes de energia e massa. Portanto, todas as informações relacionadas a partição de energia radiante sobre o manguezal, são fundamentais para o entendimento destes processos que controlam o microclima do ambiente.

Vários estudos vêm sendo desenvolvidos considerando a escala microclimática, desde estudos de ambientes urbanos, aqueles voltados a ecologia ou agricultura e até mesmo voltados para a influência de lagos artificiais na instalação de pequenas centrais hidrelétricas, visando a caracterização e derivações climáticas de diversos ambientes. Para o manguezal podemos destacar Silva e Herz (1987); Silva (1991); Ribeiro (2001); Andrade et al. (2003); Ribeiro et al. (2003); Costa et al. (2005) e Moura et al. (2006).

A entrada da radiação solar no ambiente depende do tamanho, da textura, da espessura e orientação das folhas e galhos, da altura das árvores, da densidade do dossel, que pode ser expresso pelo

índice de área foliar (IAF). O IAF de uma cobertura vegetal definido por Watson (1974) como a área foliar integrada do dossel por unidade de superfície projetada no solo ( $m^2/m^2$ ), é computado ao considerar a superfície de apenas uma das faces das folhas. Esse índice é resultante das respostas ecofisiológicas das plantas às condições químicas, físicas e biológicas do solo; às condições do microclima; as condições bióticas como herbivoria, competição e a interdependências desses fatores nos diferentes estágios sucessionais da vegetação (WANDELLI; MARQUES FILHO, 1999). O conhecimento do IAF é necessário para muitos estudos fisiológicos e ecológicos, constituindo um importante indicador da vitalidade das árvores, refletindo-se nas taxas de assimilação e transpiração da copa, nas trocas gasosas e no balanço hídrico. A determinação desse índice é importante para estudos de estrutura da vegetação, uma vez que está associado à processos físicos como evapotranspiração, fluxos de  $CO_2$ , interceptação da radiação solar e da chuva. Uma das técnicas disponíveis para obtenção de IAF é obtenção de fotografia hemisférica. Com o uso dessa técnica é possível obter medidas de interceptação da radiação solar sob o dossel. Algumas das limitações destes métodos foram esclarecidas por Weiss et al. (2003): a demasiada simplificação da forma da folha, a dificuldade de ajustar a variação dos ângulos entre folhas, galhos e frutos em relação a radiação incidente levam a uma perda na precisão comparados a métodos diretos. Por outro lado, todos os métodos diretos de mensuração são difíceis e demorados quando se deseja medir grandes áreas.

Desta forma, a fotografia hemisférica é utilizada para determinar a geometria e a posição da abertura de dossel, a passagem da radiação solar em períodos sazonais, e subseqüentemente, calcular indiretamente vários parâmetros de luminosidade abaixo do dossel, permitindo inferir sobre as propriedades do dossel (ROXBURGH; KELLY, 1995).

A cobertura vegetal influencia nos totais de radiação global que atinge a superfície abaixo deste, e é tanto maior quanto mais elevado for a área foliar (AF) e o índice de área foliar (IAF) do dossel. A figura 07 apresenta uma fotografia hemisférica obtida nos manguezais da Barra do Ribeira-Iguape/SP. Atualmente, existem programas computacionais capazes de analisar as fotografias hemisféricas e disponibilizar os parâmetros encontrados, como o IAF.

Outros atributos climáticos também são importantes para o desenvolvimento da vegetação. A temperatura do ar exerce influência decisiva no crescimento e desenvolvimento das plantas. A influência de fatores abióticos vem sendo demonstrada em diversos estudos com plântulas de mangue. Dentre os principais fatores ambientais que influenciam na germinação destacam-se a água e a temperatura (Bewley; Black, 1994 apud Oliveira, 2005). Cada fator atua por si ou em interação com os demais. Da absorção de água resulta a hidratação dos tecidos com conseqüente intensificação da respiração e de todas as outras atividades metabólicas, que culminam com o fornecimento de energia e nutrientes necessários para a retomada do crescimento, por parte do eixo embrionário. A temperatura regula as velocidades de absorção de água e das reações bioquímicas que determinam todo o processo. Temperaturas elevadas ocasionam incremento na taxa de evapotranspiração, aumentando o teor de água na atmosfera e reduzindo o aporte de energia que chega a superfície, tornando as temperaturas mais amenas. A água, sob esse ponto de vista, atua como regulador do ecossistema.

A pluviosidade é um dos atributos que mais contribui para o desenvolvimento dos manguezais. De acordo com Chapman (1975), a precipitação, juntamente com a temperatura do ar, têm papel de destaque na biogeografia do manguezal, com influência marcante dessas variáveis para a organização da distribuição do manguezal. No entanto, quando se fala no consumo de água por diferentes tipos florestais, freqüentemente o processo de interceptação da água da chuva pela cobertura florestal é ignorado, ou, quando muito, tratado como componente isolado do ciclo hidrológico (LIMA, 1983).

Ao trabalhar com IAF em manguezais, Galvani e Lima, projeto ainda em andamento, com análise de 32 fotografias hemisféricas, foi constatado em um primeiro momento, que ao longo do ano (2008) o dossel do manguezal apresentou uma variação na quantidade de folhas, bem como na abertura desse dossel. O índice de área foliar médio, obtido nesse projeto, foi de 1,0 e a abertura média do dossel de 39,8%, com abertura mínima em março, 35,2% e abertura máxima em

setembro, com 42,2%. Isso demonstra a característica de produção foliar da estação de verão é perceptível, com aumento na estação chuvosa e redução da salinidade intersticial, favorecendo a formação de folhas novas e diminuindo a produção foliar na estação menos chuvosa. A partir de outubro observou-se um aumento no IAF e uma diminuição da abertura do dossel. Armani (2004), trabalhando com Mata Atlântica, calculou o fator de obstrução, encontrando valores entre 94% e 84%. Enquanto que para o manguezal, a variação de obstrução do céu dentro do dossel está entre 67% a 56%. Isso provavelmente favorece uma maior entrada de radiação solar global, o que tende a contribuir e influenciar na quantidade de vida presente até mesmo no substrato do ambiente.



Figura 7 - Exemplo de Fotografia hemisférica obtida para os manguezais da Barra do Ribeira-Iguape/SP.

Diante dos resultados, foram constatadas variações na abertura do dossel e, consequentemente, na quantidade de folhas presentes no ambiente, influenciado a quantidade de radiação solar transmitida por esse dossel, contribuindo para a formação de um mosaico de luminosidade dentro do bosque, o que tende a contribuir com oportunidades distintas para diferentes espécies de flora e fauna, até mesmo microscópicas.

A figura 08 sintetiza as informações obtidas no ambiente manguezal ao se estudar a variação dos atributos climáticos acima e abaixo do dossel, é possível visualizar, em termos de média, as diferenças para os atributos analisados durante o ano de 2008, obtidos como instalação de uma torre meteorológica com 10m de altura no manguezal localizado na Ilha dos Papagaios, na Barra do Ribeira-Iguape/SP (coordenadas geográficas 24°38'01,4" S e 47°25'31,9" W), de forma a obter uma análise da variação vertical dos atributos climáticos acima e abaixo do dossel.

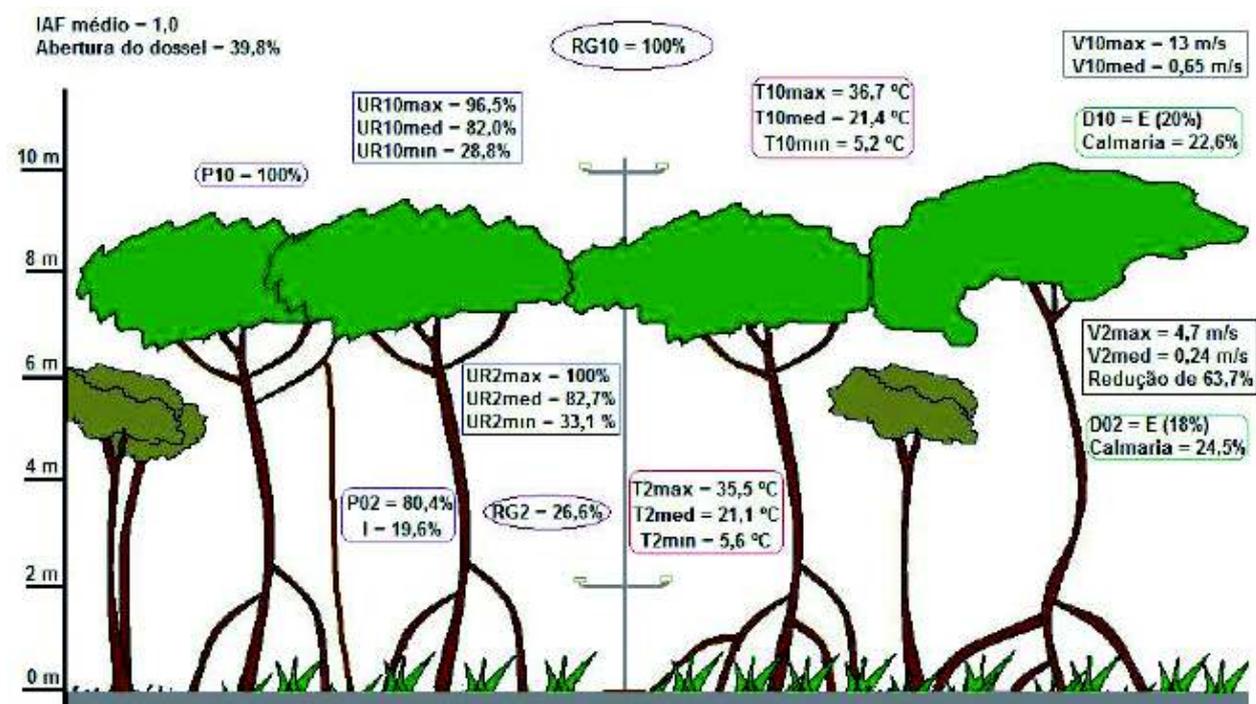


Figura 8 - Síntese dos dados obtidos acima e abaixo do dossel de manguezal da Ilha dos Papagaios – Barra do Ribeira – Iguape/SP.

Verificou-se que essa estrutura fisionômica do dossel de mangue apresenta influência direta na variação dos atributos climáticos, assim como vegetação é resultado da variação desses atributos em diversas escala de análise. A radiação solar global ao interagir com o dossel do mangue, em média, apresentou uma transmissividade de 26,8%, ou seja, do total de radiação que atingiu o topo do dossel, em média, 26,8% atingiu o sensor localizado abaixo desse dossel. A transmissividade do dossel ( $\tau_d$ ) variou entre um mínimo de 16,5% e o máximo de 44,2%. Essa transmissividade do dossel ( $\tau_d$ ) também foi influenciada pela transmissividade atmosférica ( $\tau_a$ ), ou seja, em dias com cobertura de céu nublado a quantidade de radiação solar global abaixo do dossel tende a ser mais reduzida que aquela em dias com cobertura de céu limpo. A transmissividade do dossel no ambiente manguezal apresenta um ciclo de variação, com redução/aumento ao longo do ano, apresentando valores muito parecidos no início e término do ano. Em um primeiro momento, essa variação está associada à declinação solar ao longo do ano. No entanto, com análise na escala diária de dois períodos com declinação solar próximo de  $0^\circ$ , constatou-se que a variação no IAF do manguezal contribui para a variação da radiação solar global abaixo desse dossel. A radiação solar que atravessa o dossel tende a se reduzir à medida que aumenta a densidade do dossel, influenciando no total de energia acumulada no interior do bosque, onde durante o dia, em resposta ao efeito de proteção do dossel, há uma redução na energia acumulada.

A radiação solar global abaixo do dossel de manguezal, ao longo de um dia com céu limpo e nublado variou substancialmente. Observou-se que independente da estação do ano a presença de nebulosidade contribui para uma redução na energia disponível no ambiente e que em dias de céu limpo a incidência de radiação solar está diretamente influenciada pelo ângulo de incidência dos raios solares. Diante disso, concluiu-se que o total de energia acumulada dentro do manguezal é reduzida durante o dia, em resposta ao efeito de proteção causado pelo dossel, e que independente da época do ano, a presença de nebulosidade contribui para uma redução na radiação solar, enquanto em dias de céu limpo e parcialmente nublado, a quantidade de radiação solar abaixo do dossel varia em função do ângulo de incidência dessa radiação no ambiente.

Para a umidade relativa do ar, os valores mais reduzidos ocorreram acima do dossel evidenciando que o dossel apresenta característica de contribuir para que a umidade permaneça no volume

de ar interno do manguezal. A maior diferença entre os sensores ocorreu às 12h, com até 3,4% de diferença. Enquanto no período de resfriamento noturno, a diferença entre os sensores foi de até 0,5%. Deve-se considerar nesta análise a precisão dos sensores de umidade relativa que é de 2,5%, portanto essas medidas podem estar dentro do erro instrumental do aparelho.

A interceptação média da pluviosidade para o ambiente manguezal foi de 19,6% ao longo do período. Constatou-se que o sensor localizado abaixo do dossel registrou precipitação oriunda de outras áreas de captação através da concentração realizadas por folhas e galhos, resultado da arquitetura do dossel e do formato das folhas, o que em muitos momentos fez com que se registrassem valores superiores abaixo do dossel em relação àqueles acima do dossel. Portanto, a interceptação no ambiente manguezal varia de acordo com o aspecto estrutural da vegetação, bem como com o regime de precipitação dominante. A quantidade de precipitação que efetivamente atinge o solo e a forma com que ela é redistribuída dentro do ambiente depende da densidade do dossel e de suas ramificações de galhos e caule. Para o manguezal esse processo é muito importante, visto que a quantidade de chuva que efetivamente atinge o solo contribui para a diminuição da salinidade presente no ambiente, sendo determinante para o tipo de espécie predominante no manguezal. É importante ressaltar, que entender como se dá a distribuição espacial da chuva dentro de um ambiente como o manguezal, identificando os diferentes sítios existentes, contribui para melhor entendimento da germinação, da distribuição e do estabelecimento das espécies arbóreas. A variabilidade espacial da precipitação tem papel importante dentro da distribuição das espécies de manguezal, contribuindo para a redução da salinidade a que este ambiente está exposto.

Para o vento, constatou-se que tanto para a rajada máxima quanto para a velocidade média houve uma redução em torno de 63,7% daquela registrada acima do dossel. Observou-se que ao ultrapassar/interagir o dossel a velocidade do vento devido ao atrito causado pela presença da vegetação ocorre uma redução na velocidade do vento.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresenta resultados de projeto de pesquisa desenvolvido em um ambiente de manguezal. Caracteriza-se por ser um estudo na escala microclimática. Os resultados indicam que a estrutura fisionômica do mangue apresenta influência direta na variação dos atributos climáticos em especial na redução da precipitação, da radiação solar global e na velocidade e direção do vento abaixo do dossel. Indica ainda a necessidade de estudos nas escalas inferiores do clima em especial a escala microclimática.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- CHAPMAN, V. J. Mangrove biogeography. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOLOGY AND MANAGEMENT OF MANGROVES. 1975. *Anais...* Hawai: Teas East-West Center, 1975, p. 3-22.
- CINTRÓN, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Introducción a la ecología del manglar**. Montevideo: Oficina Regional de Ciência y Tecnología de la Unesco para a América Latina y el Caribe, 1983. 109p.
- CINTRÓN, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Características y desarrollo estructural de los manglares de Norte y Sur América. *Ciência Interamericana* Washington, Washington, v. 25, n.1-4, p.4-15, 1985.
- CUNHA-LIGNON, M. Dinâmica do manguezal no Sistema de Cananéia-Iguape, Estado de São Paulo - Brasil. 2001. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- HERZ, R. **Distribuição dos padrões espectrais associados a estrutura física dos manguezais de um sistema costeiro subtropical**. 1988. Tese (Livre Docência) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.
- MACCOY, E. D., HECK JR., K. L. Biogeography of corals, seagrasses and mangroves: a alternative to the center of origin of concept. *Syst. Zool.*, 25(3) 201-210, 1976.

- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: Noções Básicas e Climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- RIBEIRO, J. B. M. **Micrometeorologia do manguezal e o impacto do desmatamento em Bragança-PA**. 2001. 103 p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2001.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN, G.; **Guia para estudo de áreas de manguezal** - estrutura, função e flora. São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1986.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN, G.; Perfil dos ecossistemas litorâneos brasileiros, com especial ênfase sobre o ecossistema manguezal. São Paulo: **Publicação Especial do Instituto Oceanográfico**, n. 7, 1989. p. 1-16.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN, G.; **Manguezais brasileiros**: texto que sistematiza criticamente parte da produção científica. 1991. Tese (Livre-docência) - Departamento Oceanografia Biológica, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN, G.; et al. **Manguezal**: ecossistema entre a terra e o mar. São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1995.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN, G.; et al. Brazilian Magroves. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, n. 3, p. 561-570. 2000.
- SILVA, J. F. **Ensaio sobre o balanço de radiação no ambiente costeiro: Sistema Estuarino-Lagunar Cananéia-Iguape**. 1991. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- SNEDAKER, S. C.; JIMENEZ, J. A.; BROWNS, M.S. 1981. Anomalous aerial roots in *Avicennia germinans* (L). In Florida and Costa Rica. **Bulletin of Marine Science**, 31 (2): 467-470.
- SOARES, M. L. G. 1997. **Estudo da biomassa aérea de manguezais do sudoeste do Brasil** – Análise de modelos. 1997. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997. IO/USP
- SUGUIO, K.; TESSLER, M. G. **Depósitos quaternários da planície de Cananéia-Iguape**. São Paulo: DPNM, 1992.
- TOMLINSON, P. B. **The botany of mangroves**. Nova York: Cambridge University Press, 1986.
- VALE, C. C. do. **Séries geomórficas costeiras do estado do Espírito Santos e os habitats para o desenvolvimento dos manguezais**: uma visão sistêmica. 2004. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

Trabalho enviado em novembro de 2010

Trabalho aceito em dezembro de 2010