

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

THAIS BASSOS DOS SANTOS

Sensoriamento Remoto aplicado à análise climática: clima e vegetação dos manguezais do
Sistema Costeiro Cananéia-Iguape, São Paulo.

São Paulo

2022

THAIS BASSOS DOS SANTOS

Sensoriamento Remoto aplicado à análise climática: estudo de caso – clima e vegetação dos manguezais do Sistema Costeiro Cananéia-Iguape, São Paulo.

Trabalho de Graduação Integrado (TGI) apresentado ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Área de Concentração: Geografia Física

Orientador: Prof. Dr. Emerson Galvani

São Paulo

2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

B111s Bassos, Thais
Sensoriamento Remoto aplicado à análise climática:
estudo de caso - clima e vegetação dos manguezais do
Sistema Costeiro Cananéia-Iguape, São Paulo. / Thais
Bassos; orientador Emerson Galvani - São Paulo, 2021.
55 f.

TGI (Trabalho de Graduação Individual) - Faculdade
de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da
Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia.

1. Climatologia. 2. Sensoriamento Remoto. 3.
Climatologia. I. Galvani, Emerson, orient. II.
Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Divino. Sou grata à minha mãe, Jacira, que me ensinou as possibilidades de libertação através do conhecimento; com o exemplo, a ter forças para nunca desistir de seguir meus sonhos. Ao Professor Doutor Emerson Galvani, orientador e mestre que compartilhou conhecimentos no âmbito acadêmico – e ricas experiências e possibilidades. Às amigas e aos amigos que me apoiaram (em campo ou remotamente) e me ajudaram a chegar até aqui. À Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, pela oportunidade de realização do curso e por me permitir conhecer a Geografia.

*Posso sair daqui para me organizar
Posso sair daqui para desorganizar
Da lama ao caos, do caos à lama
Um homem roubado nunca se engana
O sol queimou, queimou a lama do rio
Eu vi um chié andando devagar
Vi um aratu pra lá e pra cá
Vi um caranguejo andando pro sul
Saiu do mangue, virou gabiru
Oh Josué, eu nunca vi tamanha desgraça
Quanto mais miséria tem, mais urubu ameaça
Peguei o balaio, fui na feira roubar tomate e cebola
Ia passando uma véia, pegando minha cenoura
Aí minha véia, deixa a cenoura aqui
Com a barriga vazia, não consigo dormir
E com o bucho mais cheio comecei a pensar
Que eu me organizando posso me desorganizar
Que eu desorganizando posso me organizar
Da lama ao caos, do caos à lama
Um homem roubado nunca se engana.*

(Da Lama ao Caos - Chico Science)

Oxumarê me deu dois barajás

Na festa de Nanã

A velha deusa das águas

Quer mugunzá

Seu ibiri enfeitado com fitas e búzios

O ponto pra assentar

Mandou cantar

Ê, Salubá!

Ela vem no som da chuva

Dançando devagar seu ijexá

Senhora da Candelária, abá

Pra toda a sua nação iorubá

(Ponto de Nanã, Mariene de Castro).

A revolução será televisionada.

RESUMO

BASSOS, Thais. **Sensoriamento Remoto aplicado à análise climática**: estudo de caso – clima e vegetação dos manguezais do Sistema Costeiro Cananéia-Iguape, São Paulo. 2021. 55f. Trabalho de Graduação Individual (TGI) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

Os Manguezais são ecossistemas únicos, formados e desenvolvidos através de fatores bióticos e abióticos específicos. Fonte de matéria orgânica às águas costeiras adjacentes, constitui a base de cadeias tróficas de espécies de suma importância à preservação da biodiversidade fornecendo em seu ambiente condições para abrigo, reprodução, desenvolvimento e alimentação de espécies marinhas, estuarinas, límnicas (proveniente de áreas alagadas) e terrestres. Suas origens remetem às sucessivas transgressões e regressões do nível do mar. O Sistema Costeiro Cananéia-Iguape, com suas formações lagunares características, apresenta a ocorrência de diversas espécies de mangue, abrigando as áreas do ecossistema mais extensas e preservadas do estado de São Paulo. O objetivo do presente trabalho consiste em verificar a aplicação de tecnologias de Sensoriamento Remoto (através das imagens do satélite NOAA-20 e o processamento de imagens Landsat 8 com o uso do software livre Quantum GIS) para o mapeamento de mudanças no ecossistema Manguezal presente no Sistema Costeiro Cananéia-Iguape considerando a dinâmica dos sistemas atmosféricos, umidade regional e mudanças no uso da terra e ocupação do solo.

Palavras-chave: Manguezal. Sensoriamento Remoto. Climatologia.

SUMÁRIO

1 O ECOSISTEMA MANGUEZAL.....	10
2 OBJETIVOS.....	25
3 ÁREA DE ESTUDOS	26
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
4.1. NDVI	35
4.2. NDWI	36
4.3. TST	37
4.4. FOTOINTERPRETAÇÃO.....	38
5 RESULTADOS	40
6 DISCUSSÃO.....	48
REFERÊNCIAS	51
APÊNDICE A – A CULTURA POPULAR LIGADA AO MANGUEZAL	55
APÊNDICE B – TIPOS DE MANGUEZAIS.....	56
APÊNDICE C – AMEAÇAS AOS MANGUEZAIS.....	59

1 O ECOSSISTEMA MANGUEZAL

Os Manguezais¹ são únicos. Formados em ambientes de condições climáticas – geológicas, geomorfológicas, pedológicas, hidrológicas – específicas, os ecossistemas dos mangues são fonte de matéria orgânica para as águas costeiras adjacentes e constituem a base de cadeias tróficas de espécies de suma importância à preservação da biodiversidade. É um ambiente que atua como área de abrigo, reprodução, desenvolvimento e alimentação de espécies marinhas, estuarinas, límnicas² e terrestres; pontos de pouso (alimentação e repouso) para diversas espécies de aves migratórias ao longo de suas rotas de migração; contribui à biodiversidade da região costeira e à proteção da linha de costa, evitando a erosão e assoreamento dos corpos d'água adjacentes; controlador de vazão, prevenção de inundações e proteção contra tempestades; filtro de sedimentos e substâncias³; fonte de renda e alimento para comunidades tradicionais; recreação e lazer, associados ao seu alto valor cênico (SOARES, 1997). Segundo RAMSAR (1996) este ecossistema é responsável, assim como os recifes de coral, pela manutenção da alta diversidade biológica encontrada nas regiões costeiras tropicais da Terra. Cabe ressaltar a terminologia do ecossistema, nomeado como “mangue” e “manguezal”:

É comumente utilizado para identificar as árvores e arbustos que desenvolveram adaptações morfológicas a este ambiente (por exemplo, raízes aéreas, glândulas de excreção de sal e viviparidade de sementes), bem como o próprio ecossistema (LIMA, 2014 apud FAO, 2007).

O Manguezal ocorre geralmente em áreas de transição entre os ambientes terrestres e marinhos (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995) e a dinâmica do ecossistema é caracterizada e condicionada por fatores climatológicos e biogeográficos. As características estruturais e funcionais das florestas de mangue são determinadas pela interação de características ambientais, que atuam em escalas global, regional e local. Em áreas submetidas a influências antrópicas – degradação da vegetação, contaminação do solo, e poluição das águas e do ar, mudanças no relevo e alterações na dinâmica hídrica do ambiente –, a ocorrência de distúrbios – alterações na composição do solo, ar e das águas (abrangendo os níveis de salinidade) – e suas características (crônicos ou agudos), natureza, variabilidade espacial e temporal, frequência e capacidade de regeneração do sistema deve ser considerada (SOARES, 1997), por

¹ A palavra manguezal tem sido usada para referir-se tanto às plantas constituintes das florestas tropicais interditais quanto ao ecossistema como um todo (TOMLINSON, 1986).

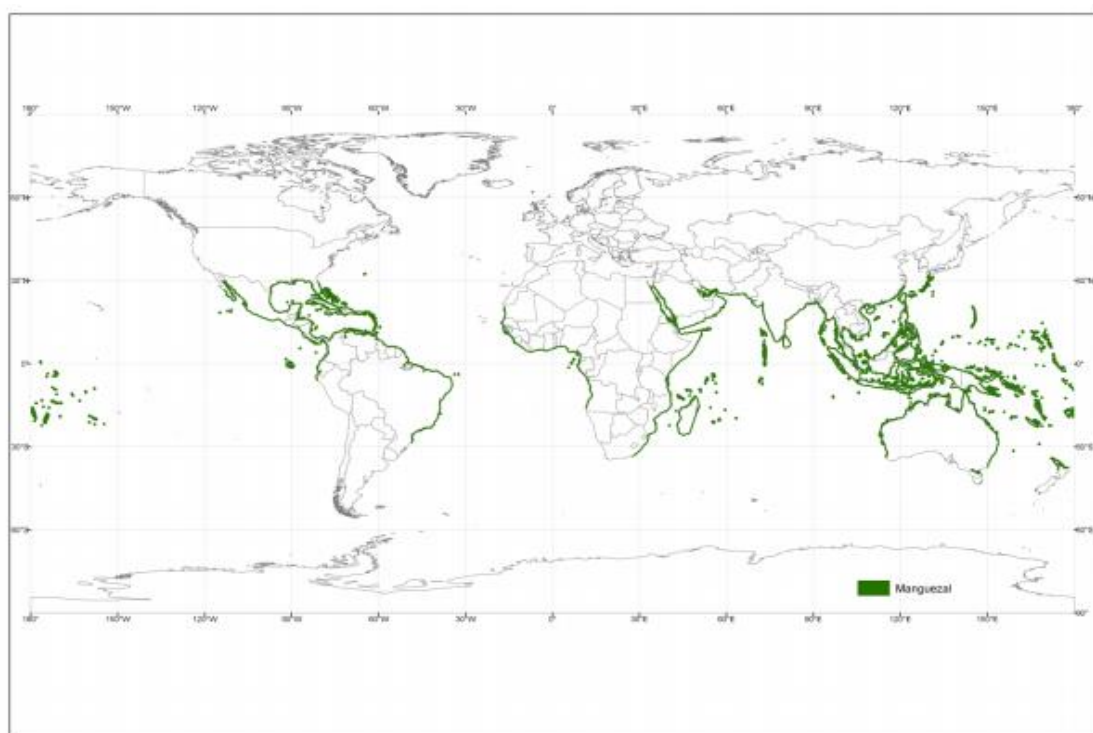
² Proveniente de áreas alagadas.

³ Atuando como filtro natural de sedimentos, o Manguezal absorve também a poluição, como rejeitos químicos e metais pesados, através da biota e sua estrutura vegetal densa, cursos d'água e correntes marinhas.

impactarem diretamente sobre a dinâmica de manutenção da vida do ecossistema – intimamente relacionado à manutenção da vida nos oceanos e biomas em escala planetária.

Os fatores climáticos são condicionantes à ocorrência de Manguezais, que se estabelecem em regiões específicas da Terra. Em especial a pluviosidade é determinante em relação às áreas passíveis de ocupação dos Manguezais. O mapa apresentado na Figura 1 a seguir representa a localização do ecossistema no globo:

Figura 1: Mapa da Distribuição Global dos Manguezais



Fonte: IUCN (2010) apud LIMA (2010)

Estudos apontam valores de extensão mundial de manguezais em uma área total de 162.000 km² (FRUEHAUF, 2005). De ocorrência condicionada por fatores específicos, o ecossistema se estabelece em áreas costeiras entre os 30°14' N e 30°8' S, aproximadamente:

O Manguezal ocorre com maior expressividade nas regiões entre os trópicos de Câncer e Capricórnio. Os Manguezais representam cerca de 75% da vegetação entre-marés das áreas tropicais do globo (CINTRON & SCHAFFER-NOVELLI, 1985 e GRASSO et al. 1995 apud FRUEHAUF, 2005).

O Manguezal é um ecossistema representado por espécies que possuem adaptações que lhes permitem colonizar terrenos alagados e sujeitos a intrusões salinas (Cintron & Schaeffer-Novelli 1985 Grasso et al., 1995), geralmente sistemas jovens, pouco maduros, uma vez que a dinâmica das áreas onde se encontram produz constantemente modificações desses terrenos, que são resultado de uma sequência de avanços e recuos (Coelho Jr., 1998 Schaeffer-Novelli,

1997) das marés. A vegetação se estabelece e desenvolve segundo fatores climáticos que propiciam condições ideais para as espécies (FREUHAUF, 2005 apud WALSH, 1974; MACEDO e ROCHA, 1985; CEARÁ, 1992). Além da temperatura e precipitação, há ainda outras condições para o aparecimento dos Manguezais: solos aluviais onde predominam os lodos finos e ricos em matéria orgânica; áreas litorâneas planas e calmas, protegidas do impacto das ondas; larga amplitude da maré; existência de água salobra, formada pela mistura de água doce do rio com a água salgada do mar.

Os fatores climáticos são fundamentais à manutenção dos recursos. São necessários à ocorrência dos Manguezais em sua distribuição global. A ocorrência do ecossistema nesta região latitudinal deve-se à temperatura (FREUHAUF, 2005), que permite maior desenvolvimento das espécies. Um exemplo desta dinâmica condicionada pela temperatura é a ocorrência de *Rhizophora mangle* (Mangue Vermelho) no estado do Pará (que apresenta temperaturas médias anuais de 26,7°C), onde indivíduos alcançam 25 m de altura e 35 cm de diâmetro. Na região Sul do Brasil, de clima Temperado e temperatura branda de médias entre 10° C e 15° C, as espécies não ultrapassam 1,5 m de altura. O Manguezal apresenta expressiva biodiversidade e importância aos demais ecossistemas na Terra, chegando a ultrapassar 400 espécies por hectare (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 1992), apresentando elevadas taxas de endemismo na flora:

Aproximam-se de 50% para as 10.000 espécies de plantas conhecidas (com taxas endêmicas de 53% das espécies arbóreas, 74% das bromélias e 49% das palmeiras) [...], grande riqueza em epífitas (FREUHAUF, 2005 apud POR, 1992) como um dos aspectos fisionômicos expressivos da Mata Atlântica colocando o sudeste brasileiro com o maior centro de diversidade de bromélias, abundantes tanto na Floresta úmida quanto na Restinga e nos Manguezais (FREUHAUF, 2005).

Os Manguezais brasileiros se estabelecem na faixa costeira leste, na região fitogeográfica da Mata Atlântica (FREUHAUF, 2005) – ambiente também condicionado por fatores climáticos característicos, em relação à umidade e temperatura⁴. Resultado de sequências de avanços e recuos das marés (COELHO JR., 1998; SCHAEFFER-NOVELLI, 1997), o ecossistema é continuamente afetado por fatores de influência antrópica como mudanças climáticas, poluição das águas e dos solos por resíduos industriais, alterações no relevo e introdução de espécies exóticas.

As mudanças climáticas afetam a dinâmica vital do ambiente, influenciando, por exemplo, sobre a disponibilidade hídrica, que modifica os componentes do solo e a dinâmica de reprodução e sobrevivência das espécies do ecossistema. No Brasil, inseridos no bioma Mata

⁴ A zona costeira dos 17 estados litorâneos do Brasil perfaz 7.408 quilômetros de contato com as águas do Oceano Atlântico, incluindo Fernando de Noronha, com o único manguezal oceânico do Atlântico Sul (SCHAEFFER-NOVELLI, 2018).

Atlântica, os manguezais, com sua extensão original de cerca de 100 milhões de hectares, estão reduzidos a menos de 10% de sua área primitiva, com pequenos fragmentos remanescentes e poucas florestas contínuas preservadas (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 1992). Ocorrendo em regiões abrigadas, o Manguezal é um ecossistema de suma importância. As espécies marinhas, estuarinas e os biomas do entorno – considerando sua atuação no equilíbrio natural do clima e a manutenção da vida em escalas regional e global – contribuem com a transformação de nutrientes em matéria orgânica, apresentando condições propícias para alimentação, proteção e reprodução de espécies (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1995). Dentre os fatores abióticos responsáveis pelo estabelecimento e desenvolvimento dos manguezais, destaca-se a dinâmica das marés. Os ciclos de avanço e recuo das águas salinas permitem condições específicas ideais ao desenvolvimento das espécies de mangue:

O papel da maré é marcante no ambiente manguezal, contribuindo com a entrada e saída de energia no ambiente. Dada a interação entre as fases da lua e o nível de maré, em que se têm as maiores amplitudes de variação da maré nas luas cheia e nova (maré de sizígia) e menores amplitudes nas luas minguante e crescente (maré de quadratura), optou-se por separar os dados de acordo com as fases da lua (início e término de cada fase), visando agrupar os períodos de máxima variação da maré e os de mínima variação (LIMA, 2014).

Em relação à redução do impacto de eventos extremos, o ecossistema, com sua cobertura vegetal com estruturas singulares - como espécies que desenvolvem raízes-escora - pode ser uma barreira natural de proteção contra o avanço das marés e ventos fortes, como tsunamis e furacões:

As florestas de mangue com larguras de 6 a 30 km ao longo do Golfo da Sul da Flórida atenuaram ondas de tempestades gerados pelo furacão Wilma (categoria 3), reduzindo tanto a amplitude quanto a extensão da inundação. Simulações numéricas mostraram que a área de inundação pelo furacão Wilma se estenderia pelo menos 70% a mais para o continente, caso não existisse o manguezal, causando inundação nas áreas localizadas atrás no manguezal (LIMA, 2014 apud ZHANG, et al., 2012).

A atenuação de processos erosivos pela estrutura vegetal do ecossistema depende da densidade da vegetação e do espaçamento entre as árvores, conforme ilustra a Figura 2. O emaranhado de raízes e troncos permite certa proteção à ação das ondas, agindo como um amortecedor contra a força das marés. A idade e altura das árvores funcionam como "fortificadores" da resistência à força das ondas (fatores como a espessura dos troncos, o desenvolvimento de raízes-escora e a área de abrangência do manguezal) e dos ventos (altura do dossel e o estágio de desenvolvimento do mangue geram uma superfície rugosa) reduzindo a velocidade dos ventos.

Figura 2: Fatores que podem influenciar a atenuação da força das ondas pelos manguezais



Fonte: MCLVOR et al. (2012)

As características fisionômicas e a influência em relação aos processos erosivos são decorrentes de espécies com raízes-escora. Estas árvores e arbustos apresentam resistência considerável ao fluxo de água, pois formam uma rede acima do substrato (MCLVOR et al., 2012); Espécies como *Sonneratia* spp. e *Avicennia* spp. possuem pneumatóforos que atuam como obstáculos ao movimento da água em profundidades rasas (LIMA, 2014). Formando uma rede vegetal, as raízes agem como amortecedoras de forças.

Ocorrendo em áreas litorâneas e dependente da dinâmica das marés, o Manguezal necessita de fatores específicos para sua manutenção. No Brasil os manguezais ocorrem desde o extremo norte – Rio Oiapoque (04° 20' N) até Laguna, em Santa Catarina (28°30' S) (SCHAEFFER-NOVELLI, 1989) a área ocupada por manguezais no Brasil é de 25.000 km² (SAENGER et al., 1983), no entanto, estima-se que o ecossistema ocupa uma área inferior a 10.000 km² (KAMPEL et. al., 2005 apud HERZ, 1987). Há 60 milhões de anos, durante o período Terciário, estima-se que os manguezais se originaram através das formações decorrentes da Deriva Continental – a ruptura do *super* continente Pangeia ocasionou mudanças drásticas na paisagem e no relevo da Terra, permitindo o desenvolvimento de distintos biomas e ecossistemas. Fatores como a temperatura, precipitação, evaporação, salinidade, topografia, amplitude de marés, frequência de inundações, ventos, insolação e aporte de sedimentos geraram condições propícias para a formação dos manguezais, que dependem do equilíbrio climático e biológico específico – condicionados através do relevo e da dinâmica de marés.

As variações no nível do mar geraram os ambientes propícios ao surgimento dos manguezais e desenvolvimento das espécies de mangue, na medida em que condicionaram o relevo e a composição dos solos em áreas estuarinas e lagunares onde atualmente estão

estabelecidos. No Sistema Costeiro Cananéia - Iguape um evento significativo foi a redução do nível do mar durante o período Pleistocênico, que deslocou o nível de base até profundidades próximas aos níveis batimétricos atuais de aproximadamente 110m (SOUZA-JUNIOR et al., 2007 apud Suguio & Martin, 1978), evento conhecido como Transgressão Cananéia:

No decorrer do período regressivo, após o último máximo glacial, foram formadas as planícies de cordões litorâneos de constituição arenosa, assentadas sobre os depósitos arenosos e argilo-arenosos transgressivos. Ainda no decorrer do evento regressivo, além da construção das planícies de cordões regressivos, a drenagem continental, no seu processo de evolução sobre o espaço gerado pelo recuo marinho, ocasionou aprofundamento dos canais fluviais a partir da erosão dos sedimentos da planície arenosa transgressiva, formando, dessa maneira, extensos canais de drenagem, baías e lagunas (SOUZA-JUNIOR et al., 2007).

Há distintas teorias acerca do surgimento do ecossistema, suas variações e localização no globo. Há pesquisadores que defendem a teoria de uma distribuição geográfica originária de um ponto específico da Terra, ocupando áreas distantes através de propágulos flutuantes, em períodos em que a configuração dos continentes permitia o movimento das espécies, que se estabeleceram em regiões propícias. Outra vertente defende distintos pontos de ocorrência de mangues, resultando em suas diferentes adaptações e distribuição geográfica.

A riqueza de espécies de mangue no Indo-Pacífico e a pobreza de espécies (em outras regiões) têm sugerido a vários investigadores que o centro de origem destas plantas seria a região Indo-Malásia (SCHAEFFER-NOVELLI, 1983 apud CINTRÓN, 1962). Deste centro de origem, os gêneros de *Rhizophora* e *Avicennia* disseminaram para o leste no sentido das Américas e para o oeste da África segundo (DING HOU e STEENIS, 1960; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983 apud CINTRÓN, 1962). Ambos os gêneros teriam alcançado a região do Caribe durante o Cretáceo Superior, quando não existia o istmo do Panamá. Da região do Caribe, a dispersão das espécies continuou para a costa oriental da América do Sul e a costa Ocidental do continente africano:

Para Chapman, op. cit., a distribuição dos manguezais não pode ser explicada em termos de posição das atuais massas continentais, e a história do passado geológico é de grande importância para o entendimento de tal distribuição [...] No entanto, autores como McCoy e Heck (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 (LIMA, 2009).

Além dos fatores geológicos e geomorfológicos decorrentes da dinâmica tectônica, as mudanças climáticas foram determinantes em relação à limitação e expansão do ecossistema. Exemplos de alterações na dinâmica dos mangues ocasionadas por mudanças climáticas são a supressão dos mangues na região do Mediterrâneo – decorrente de alterações na temperatura e umidade da região – e a limitação da distribuição das espécies que, posteriormente, melhor se desenvolveram na região Indo-Malásia, decorrente do fechamento do Mar de Tethys:

As baixas temperaturas presentes na parte sul do continente africano impediram a chegada das demais espécies de mangue por essa via [...]. É notado que o limite sul dos manguezais da costa oeste da África coincide com a fronteira entre uma corrente de água fria dirigida ao sul e uma corrente de água quente. A mesma situação é verificada na costa oeste da Austrália e para uma distribuição muito restrita na costa oeste da América do Sul, onde a corrente fria de Humboldt estende-se para o norte (LIMA, 2014).

As espécies do manguezal desenvolvem-se em temperaturas específicas. Assim, alterações no clima podem ocasionar o desaparecimento dos mangues – fator que determinou, também, sua origem e distribuição, como observado no continente africano.

A dinâmica de vida do Manguezal depende de fatores específicos. Assim, sua ocorrência é restrita a zonas entremarés dos litorais e ilhas das regiões tropicais. Associados a estuários, baías e lagunas e em locais protegidos dos impactos das ondas, onde a salinidade se situa entre 5 e 30%, podendo chegar até 90%, a temperatura média ideal está entre 18 e 24°C e a precipitação pluvial fica acima de 1.500 mm por ano. Estima-se que no mundo existam cerca de 160.000 km² de manguezais, dos quais 25.000 km² estão no Brasil - em Pernambuco são 270 km² (MUSEU DO UNA, 2021). No Brasil a área está compreendida desde o Cabo Orange, no Amapá, até Laguna, em Santa Catarina:

No litoral paulista, os manguezais são encontrados na foz e áreas estuarinas, como na Baixada Santista (Rios Cubatão e Mogi), em Bertioga (Rios Itapanhaú, Guaratuba e Itaguapé), em Iguape (Rios Ribeira de Iguape e Mar Pequeno), em Peruíbe (Rio Una do Prelado), entre outros de menor extensão (ROSS e MOROZ, 1997 apud LIMA, 2009).

Os fatores climáticos são influentes em relação à distribuição dos manguezais. Os limites latitudinais observados são geralmente relacionados à temperatura – os manguezais ocorrem geralmente onde a temperatura média do mês mais frio é superior a 20 °C e a variação sazonal não excede 5 °C, exceto no leste da África onde a variação pode chegar a 10 °C:

Para Duke et al. (1998), os fatores que influenciam a estrutura e a função dos manguezais variam em relação às escalas global, regional e local sobre diferentes escalas de tempo. Na escala global, os manguezais são limitados pela temperatura do ar, enquanto em escala regional, a área e a biomassa desse ecossistema podem variar em relação à chuva, marés, ondas e rios (LIMA, 2014).

A área de ocorrência dos Manguezais é determinada pela disponibilidade hídrica. Os Manguezais ocorrem comumente em estuários protegidos e lagoas rasas, usufruindo da localização de influência aluvial – através das águas salgadas do oceano, doces das chuvas, rios e águas subterrâneas – configurando a troca regular de matéria orgânica (FRUEHAUF, 2005 apud MAESTALLER, 1990). As condições climatológicas essenciais para o desenvolvimento dos Manguezais estão em temperaturas médias acima de 20 °C, média das temperaturas mínimas não inferior a 15 °C, amplitude térmica anual menor que 5 °C e precipitação pluvial acima de 1.500 mm por ano sem prolongados períodos de seca (FRUEHAUF, 2005). Além da

temperatura do ar e da superfície, as variações nas isotermas dos oceanos influem diretamente nos mangues e determinam a distribuição geográfica dos manguezais (LIMA, 2014 apud TOMLINSON, 1986). A isoterma de 24 °C corresponde aos limites de ocorrência do ecossistema:

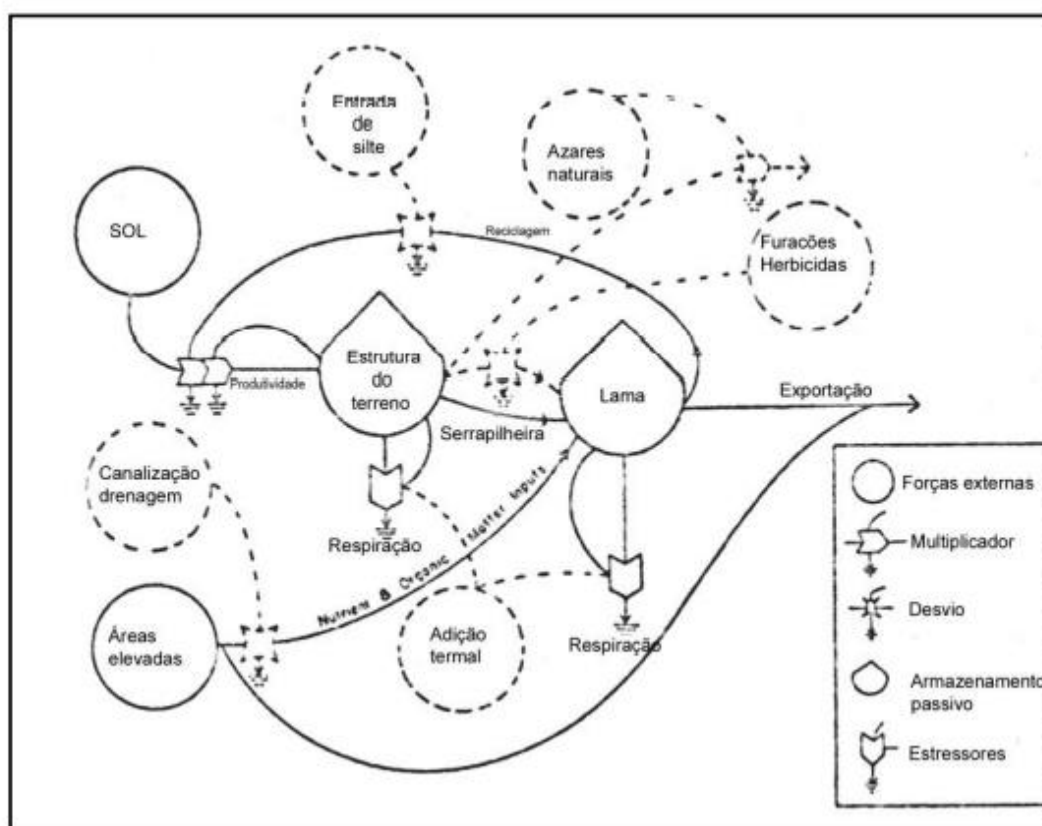
Exceção a esse padrão ocorre na costa atlântica da América do Norte e da África, onde o limite é mais próximo de 27 °C, e no sul do Japão. Isso sugere que as espécies do gênero *Avicennia* no hemisfério ocidental são menos tolerantes ao frio do que a espécies no hemisfério oriental. Tomlinson (1986) ainda destaca que os manguezais não toleram resfriamento e frequentemente, temperaturas em torno de 5 °C são desfavoráveis ao crescimento da maioria das espécies (LIMA, 2014).

As baixas temperaturas limitam a ocorrência latitudinal das florestas de mangue. As árvores dos manguezais dominam a vegetação herbácea em latitudes acima de 32°N e 40°S (STUART, et al., 2007). Os manguezais são mais vulneráveis nos limites latitudinais na América do Norte, em uma área onde o congelamento é raro, mas grave, e na Austrália, em uma área onde o congelamento é frequente, mas leve. A embolia por congelamento pode desempenhar papel significativo na definição dos limites latitudinais de distribuição dos mangues (LIMA, 2014). As precipitações também são importantes ao desenvolvimento do ecossistema, na medida em que fornecem umidade e mantém a dinâmica natural de temperatura e recursos hídricos (LIMA, 2014 apud Chapman, 1976), contribuindo à manutenção de um ambiente propício ao desenvolvimento de espécies halófitas, nas propriedades físicas dos solos e nos níveis de salinidade das águas.

Árvores de mangue – como as do gênero *Avicennia*, presente no Sistema Costeiro Cananéia-Iguape – possuem a capacidade de absorção do sal através das raízes, ou, se necessário, de expelir o excesso de sal nas folhas - utilizando glândulas de excreção ou pela transpiração cuticular – além de armazenar sal em tecidos (LIMA, 2014 apud FAO, 2007) em uma elevada complexidade evolutiva destas espécies que vivem através das interações entre variáveis físicas, climáticas e biogeográficas do ecossistema (ODUM, 1967 apud CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1985). Fatores como a variação das marés, disponibilidade e dinâmica da energia solar, aporte de água doce, nutrientes (LIMA, 2014) – a contribuição dos fluxos de energias e materiais disponíveis – condicionam um maior ou menor desenvolvimento do mangue, a depender da intensidade e frequência com que atuam essas forças.

Lugo e Snedaker (1974), baseados na linguagem do circuito ecológico criado por H. Odum (1967), construíram um modelo – apresentado na Figura 3 – que representa a estrutura essencial e os atributos funcionais do ecossistema (LIMA, 2014), bem como a principal fonte externa de energia e estresse que afetam o sistema:

Figura 3: Modelo ilustrativo dos maiores armazenamentos e fluxos de energia em um ecossistema manguezal. Os estressores potenciais estão representados por linhas tracejadas



Fonte: Lugo e Snedaker (1974)

A estrutura do terreno e a lama permitem o armazenamento passivo de energia. A adição da radiação solar multiplica a produtividade biótica. Os estressores potenciais podem ser reciclados, compondo, também, a lama – que sustenta o ecossistema, é rica em nutrientes e que age como fator estressor da respiração. A exportação das espécies é dependente da lama e de áreas elevadas. Furacões, herbicidas, azares naturais, entrada de silte e a canalização de drenagem são desvios de nutrientes e matéria orgânica – componentes internos importantes ao ecossistema. A incidência da radiação solar é um fator determinante à manutenção da dinâmica vital do ecossistema.

Influindo diretamente sobre a temperatura do ar e a sobrevivência do mangue, a temperatura superficial do solo e das águas geram alterações que podem causar o desaparecimento do mangue⁵. Entretanto, além de sofrer influências externas – das variações da radiação solar e da dinâmica climática global – os manguezais, através da cobertura do dossel, possuem microclima característico (LIMA, 2014) e mantêm a temperatura do ar diferenciada

⁵ As espécies tendem a desaparecer quando a temperatura média do mês mais frio é inferior a 16°C (LIMA, 2009 apud BASCO, 1984).

nos ambientes periféricos – principalmente em relação à mata costeira, que processa e acumula a radiação de modo próprio muito distinto ao da Floresta Atlântica.

A declinação solar provoca mudanças do balanço térmico e na capacidade energética pela variação no fluxo de radiações incidentes. Os ciclos de produção foliar condicionam a incidência das radiações, considerando a variabilidade das dimensões das copas das árvores e sua posição no ecossistema, acumulando substrato e energia distribuída sazonalmente (LIMA, 2014 apud HERZ, 1998) – fator que contribui às alterações do balanço térmico do ecossistema:

Para Ribeiro, op. cit., 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 (LIMA, 2009).

A dinâmica do dossel dos manguezais implica em variações no microclima do ecossistema. O estudo do perfil vertical do manguezal do Sistema Costeiro Cananeia-Iguape permitiu a verificação da variação na quantidade de folhas, dinâmica que influi sobre a variação dos atributos microclimáticos do ambiente (LIMA, 2012) e é condicionada por fatores externos (precipitação, radiação solar e velocidade do vento) que resultam na abertura ou no fechamento do dossel durante as estações do ano e as diferentes fases lunares.

A vida neste ambiente singular pode ser afetada por fatores externos. A força das ondas e dos ventos pode danificar a estrutura vegetal; modificar o relevo; alterar a composição do solo, a dinâmica hídrica e os níveis de salinidade; podendo resultar na morte de espécies e na incapacidade de regeneração do ecossistema (LIMA, 2014). A extensão dos manguezais pode ser influente sobre a proteção da linha de costa contra processos erosivos e eventos extremos.

A existência de extensos manguezais depende de sete requisitos básicos (LIMA, 2014) que incluem a temperatura do ar, costas abrigadas, água salgada, variação da maré, substrato argiloso, correntes oceânicas e baixios praias (LIMA, 2014 apud CHAPMAN, 1975) que condicionam a dinâmica das espécies e do ecossistema. Contribuindo à manutenção da vida em distintas escalas, o delicado equilíbrio ecológico é influenciado⁶ por elementos atmosféricos, como a radiação solar, o vento, a chuva, a evaporação, a evapotranspiração, a temperatura do ar e a umidade (LIMA, 2014 apud BLASCO, 1994; KJERFVE, 1990; WOLANSKI, 2006). A dinâmica energética funciona de forma cíclica e é condicionada por fatores externos e internos ao ecossistema:

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

⁶ A influência dos fatores abióticos vem sendo demonstrada em diversos estudos com plântulas de mangue. Dentre os fatores ambientais que influenciam a germinação destacam-se a água e a temperatura (BEWLEY; BLACK, 1994 apud OLIVEIRA, 2005).

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 (LIMA, 2009).

A dinâmica das marés condiciona os níveis de salinidade das águas, importante à reprodução das espécies. Áreas de água doce permitem a ocorrência de espécies que competem com o mangue por nutrientes e espaço, ocasionando dificuldades na reprodução biológica característica do ecossistema. O limite dos manguezais coincide com a distância máxima onde a água salgada penetra (LIMA, 2009 apud CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983). Os aspectos oceanográficos também são importantes no desenvolvimento dos manguezais (LIMA, 2009). As correntes oceânicas frias inibem e, às vezes, impedem a distribuição dos manguezais ao longo da costa.

O manguezal é um indicador natural das mudanças climáticas e do aumento do nível do mar, na medida em que sua vegetação sensível às variações de temperatura pode denunciar anomalias – é mensurável o avanço das águas sobre a costa e a degradação da vegetação é visível através de métodos como o uso de Sensoriamento Remoto. A alteração da área de ocorrência dos mangues se dá devido à alteração na salinidade das águas e da força das ondas sobre a vegetação. As mudanças climáticas são responsáveis por alterações na dinâmica hídrica – desde o escoamento das bacias fluviais (LIMA, 2014), nos cursos d'água, ao lençol freático. Com alterações profundas nos níveis de salinidade:

As chuvas regionais exercem uma influência importante na dissolução dos sais marinhos, diminuindo seu conteúdo acumulado no substrato, que, caso contrário importaria um processo de concentração do sal durante secas pronunciadas por longos períodos, afetando a estabilidade das soluções no lençol freático. Tais condicionantes induzem alterações fisiológicas extremas no ecossistema que levam as espécies à intolerância e extinção (LIMA, 2014 apud HERZ, 1998).

A radiação solar⁷ é um fator de suma importância ao manguezal, na medida em que condiciona suas áreas de ocorrência, como apresentado, sendo responsável pelo fornecimento da energia necessária às funções metabólicas das espécies de mangue (LIMA, 2014 apud RIBEIRO, 2001). Contribuindo à produtividade em relação ao armazenamento e ao balanço de calor local, que varia segundo a incidência de radiação solar, destaca-se a influência da temperatura:

Os limites de ocorrência global do gênero *Avicennia* coincidem com a temperatura da superfície do mar variável entre 4,3 °C e 13°,8°C e temperatura anual entre 6,2°C e 20,6°C. Diferenças semelhantes foram encontradas entre os limites de *Rhizophora*, com temperatura da superfície do mar variando de 4,3°C a 13,2°C e temperatura do ar entre 3,8°C a 15,8°C (LIMA, 2014 apud Quisthoudt et al., 2012).

⁷ As pesquisas de Nadia Bezerra de Lima (2009) são importantes contribuições à análise da atuação da radiação solar, que condiciona diretamente o desenvolvimento e o crescimento das plantas; e indiretamente o regime térmico de qualquer sistema terrestre, através da evapotranspiração de água pelas superfícies naturais, por exemplo.

Espécies podem desaparecer caso a temperatura média do ar do mês mais frio seja inferior a 16°C (BLASCO, 1984), pois há um limite de tolerância térmica dos organismos de mangue. A espécie *Avicennia germinans* (L.) L. é capaz de tolerar ambientes de temperatura mínima de até 10°C (LIMA, 2014 apud CHAPMAN, 1976). O ambiente halófito⁸ dos manguezais mantém as temperaturas mais altas do que áreas adjacentes de vegetação durante o período diurno, com desvio de até 3°C. No período noturno, essa situação se inverte – permanecendo os manguezais sob temperaturas mais baixas – devido à interrupção do fluxo solar e imersão do ecossistema pela penetração da maré (LIMA, 2014 apud Silva e Herz, 1987). Assim, a radiação – e as consequentes médias de temperatura do ar e da superfície – é um fator de destaque na manutenção dos manguezais, na medida em que fornecem às espécies de mangue a energia necessária à sua reprodução⁹.

O ecossistema manguezal ocorre entre a transição dos ambientes terrestre e marinho. Os aspectos geológico-geomorfológicos referem-se à disponibilidade de sítios para o estabelecimento dos manguezais – que agem como barreiras naturais à processos erosivos, protegendo a linha de costa. Falta de reentrâncias, de costas abrigadas, protegidas do embate das ondas e marés, restringem a expansão de suas espécies (LIMA, 2014). A composição do substrato inclui vasa¹⁰ e lama, superficialmente, formadas por depósitos recentes, ricos em silte e argila e distintas concentrações de areia (MUSEU DO UNA, 2021). A variação dos componentes do sedimento está diretamente relacionada com as diferentes origens¹¹, tanto marinhos quanto dos fluxos dos rios e estuários, que juntos formam o substrato¹² das áreas de manguezais. Estes também são formados por folhas, galhos e material vegetal e animal em diferentes etapas de decomposição (CORREIA; SOVIERZOSKI, 2005), acarretando baixo teor de oxigênio.

⁸ Capacidade de absorver componentes do infravermelho e transformá-los em manifestações do termal.

⁹ Estudos e pesquisas acerca do microclima dos manguezais vêm sendo desenvolvidos no Brasil desde a década de 1980. Nádia Bezerra de Lima (2009) realizou estudos específicos nos manguezais do Sistema Costeiro Cananéia-Iguape através da coleta de dados em campo, de importante contribuição às pesquisas e ao entendimento do tema. Silva e Herz (1987) também realizaram estudo de microclima em manguezais de Cananéia-Iguape, com uso de informações produzidas coletadas através do sensor termal (TM7) do satélite Landsat 5.

¹⁰ Espécie de lama de consistência muito tênue que se acumula no fundo do mar, formada de elementos orgânicos (carapaças de animais e diatomáceas) e minerais (definição do dicionário Oxford, 2020).

¹¹ A configuração do litoral brasileiro, tanto em relação à sua posição geográfica quanto em termos de orientação da linha de costa, resultou em grande parte da reativação pós-paleozóica que deu origem às bacias sedimentares tafrogênicas e à própria gênese do Oceano Atlântico (SCHAEFFER-NOVELLI, 2018). O que se vê hoje ao longo da costa do Brasil é reflexo da interação entre vários processos e fatores, tais como os climáticos, os geológicos, os oceanográficos e os geomorfológicos.

¹² O substrato inconsolidado (“solo” dos manguezais) é rico em salinidade e de matéria orgânica. Manguezais extensos são associados a solos argilosos, apesar de também crescerem sobre a areia, turfa e rochas (LIMA, 2009). O substrato é composto por sedimentos finos (como argila e silte depositados pelos rios e pelo escoamento superficial) e por matéria orgânica (proveniente da deposição e decomposição de espécies) do ecossistema.

O manguezal melhor se desenvolve em áreas costeiras onde o relevo permite proteção contra a ação de ondas e marés. Estas forças são capazes de mover as plântulas antes que elas se estabilizem, incapacitando a reprodução das espécies de mangue. Assim, os baixios praias – formações de declividade suave – provêm uma oportunidade para o desenvolvimento extensivo dos manguezais (LIMA, 2014), enquanto sob declive íngreme é possível o desenvolvimento de franja de mangue.

A importante biodiversidade¹³ do ecossistema é composta por espécies adaptadas ao ambiente alagado e salino. Apresentando rica fauna (com espécies¹⁴ que se locomovem para outras áreas e indivíduos adaptados somente às condições locais) e flora com singularidades condicionadas pelo habitat, o manguezal é responsável por fornecer nutrientes aos biomas marinhos e terrestres e abrigo para peixes e invertebrados:

Cada um dos componentes, segundo propriedades físicas em relação a sua interação com a radiação solar, promove circunstâncias de absorção, reflexão e transmissão de energia capazes de manter fatores muito próprios de transformação que incidem sobre o condicionamento microclimático dos bosques, especialmente do seu balanço térmico (LIMA, 2014).

A reação da vegetação aos fatores abióticos como a temperatura e a precipitação confere a diversidade estrutural dos bosques, que são resultado da otimização e do aproveitamento das energias subsidiárias representadas pelas condições edáficas e topográficas (SCHAEFFER-NOVELLI, 2018). As espécies de mangue possuem delicadas formas de reprodução:

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 (LIMA, 2009 apud SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1995).

¹³ Há maior diversidade de espécies na Ásia, seguida pela África Oriental (LIMA, 2014 apud TOMLINSON, 1986; LUGO; SNEDAKER, 1974; FAO, 2007; SPALDING et al., 2010), considerando as espécies híbridas e endêmicas.

¹⁴ A adaptação às águas salinas inclui organismos capazes de filtrar e expelir o sal, flutuações em marés e locomoção no ambiente. As espécies incluem os grupos: Sesséis, incluindo ostras (como a Ostra-do-mangue, *Crassostrea brasiliana*), sururus (*Mytella charruana*), taiobas (*Xanthosoma sagittifolium*), cracas (Thoracica), unhas-de-velho (*Tagelus plebeius*); Aborículas: aratús-de-mangue (*Goniopsis cruentata*), caranguejos-marinheiro (*Aratus pisonii*); Rastejadores como o caramujo-do-mangue (*NERITINA virgínea*); Escavadores: caranguejo-chamamare (Uca), caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*), guaiamuns (*Cardisoma guanhumi*); Voadores: insetos (Insecta), garças (Ardeidae), três-cocos (*Aramides cajaneus*), socós (*Tigrisoma lineatum*) e outras aves de pequeno e médio porte que se alimentam de peixes e invertebrados e aves migratórias; Natantes: bagres (Siluriformes), tainhas (*Mugil curema*), carapebas (*Eucinostomus gula*), baiacus (Tetraodontidae), tainhas (Mugilidae), cascudos (Loricariidae), manjubas (*Anchoviella lepidentostole*), agulhas (*Strongylura marina*); Oportunistas: serpentes, jacarés (Alligatoridae), golfinhos (Delphinidae), tubarões (Lamnidae), peixe-boi-marinho (*Trichechus manatus*), guaxinins (Procyonidae), sagüis (Callithrix); Caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) (CORREIA; SOVIERZOSKI, 2005). Sete são as espécies de mangue que ocorrem no Brasil: *Rhizophora mangle*, *R. harrisonii*, *R. racemosa*, *Avicennia schaueriana*, *A. germinans*, *Laguncularia racemosa* e *Conocarpus erecta*. Destas, apenas *R. mangle* e *L. racemosa* são encontradas desde o Amapá até Santa Catarina (SCHAEFFER-NOVELLI, 1991). *A. schaueriana* distribui-se desde Santa Catarina até o Pará, *A. germinans* do Amapá ao Rio de Janeiro e *R. harrisonii* e *R. racemosa* do Amapá ao Maranhão.

A escassez de oxigênio do substrato, em suas camadas mais profundas, ocasiona a projeção das raízes da vegetação para cima – denominadas raízes-escora e aéreas – de forma que as estruturas de captação de nutrientes e água das espécies arbóreas e arbustivas do Manguezal fiquem expostas, reduzindo o impacto das ondas das marés e servindo de abrigo para ostras e outros organismos. Para sua reprodução, as espécies produzem pneumatóforos – que brotam das raízes submersas – e as lenticelas – das raízes aéreas, estruturas flutuantes que se locomovem sobre a água e disseminam mudas.

O Manguezal possui funções importantes na dinâmica de reprodução de espécies, além de proporcionar o sustento de famílias que vivem em seu entorno – o extrativismo e coleta de crustáceos, por exemplo, favorece populações caíçaras, ribeirinhas e camponesas. O berçário da vida marinha – assim conhecido por seu papel de ambiente de eclosão de ovos de peixes e de lugar seguro para o desenvolvimento de filhotes – é formado por vegetação característica que pode alcançar até 20 metros de altura (MUSEU DO UNA, 2021), a depender da localização e nível de preservação da mata, com espécies de cerca de cem anos de vida.

Há a possibilidade de desenvolvimento de Manguezais à margem de rios e riachos (ribeirinho), em ilhotas fluviais e em bacias fluviais. Na região Nordeste existe um tipo de manguezal conhecido como mangue seco (MUSEU DO UNA, 2021), onde predominam árvores de pequeno porte e solo com alta salinidade; no Sudeste, predominam bosques de arbustos.

A estrutura vegetal e a composição do substrato do Mangue funcionam como filtro e provedor de nutrientes à diversas espécies, além de funcionar como uma barreira natural às variações de maré – inclusive em fenômenos como ventos fortes, cheias e avanço das águas do mar sobre o continente. A fauna característica do ecossistema inclui Ostras, mexilhões, moluscos e outros organismos marinhos que, ao se alimentarem, filtram fragmentos presentes na água, como detritos vegetais e de micro-organismos que decompõem a lignina dos troncos.

Além das espécies arbóreas e arbustivas, o Manguezal também é o ambiente de desenvolvimento de algas vermelhas, azuis e verdes. Crescendo sobre as raízes localizadas na faixa de penetração das águas salinas provenientes do avanço e recuo das marés, as algas compõem o conjunto de organismos presentes no solo aquoso e rico do Mangue, como as bactérias e fungos – base da cadeia alimentar do ecossistema – que se desenvolvem através da decomposição de matéria orgânica de folhas do dossel depositadas no solo.

Em todo o globo, há a ocorrência registrada de quarenta e quatro tipos de Manguezais – sete localizam-se no Brasil. As espécies de maior incidência no ecossistema são o Mangue

Vermelho, Mangue Preto e Mangue Branco¹⁵, assim como – em menor expressividade – o desenvolvimento do Mangue-de-botão (*Conocarpus erectus*), avencão (*Acrostichum aureum*) e algodoeiro-da-praia (*Hibiscus pernambuensis*), além de epífitas, espécies compostas por líquens, musgos, bromélias, samambaias e cactos, que se desenvolvem sobre o Manguezal. Há, ainda, o registro de ocorrências de Mangues-seco e Apicuns¹⁶ (CORREIA; SOVIERZOSKI, 2005), caracterizados pela predominância da vegetação herbácea em meio a bancos de areia no interior das florestas de mangues.

Espécies halófitas (adaptadas às águas salinas), heliófilas (que necessitam da luz solar para seu desenvolvimento) e vivíparas (cujo desenvolvimento embrionário ocorre dentro do corpo materno) compõem a dinâmica biogeográfica do Manguezal, que pode abranger grandes áreas e expandir-se através da distribuição de propágulos (que podem flutuar sobre a água por longas distâncias e períodos (CORREIA; SOVIERZOSKI, 2005) e se fixam em locais propícios ao seu crescimento¹⁷) ou por plântulas.

¹⁵ Os mangues Vermelho e Preto apresentam maior densidade de espécies devido à alta fertilidade do solo destas variantes.

¹⁶ Planícies hipersalinas.

¹⁷ Em locais onde as condições são ideais – úmidas, quentes e em planícies alagadas com costas protegidas –, os manguezais formam extensas florestas, com dossel acima de 30 metros; onde as condições são áridas ou salinas, poucas espécies podem sobreviver, e essas têm altura que raramente atinge 3 metros (LIMA, 2014) – no Litoral Norte de São Paulo, por exemplo, as espécies são geralmente arbustivas e a área vegetada é pouco expressiva devido ao relevo da região, caracterizado por planícies muito próximas à Serra do Mar e forte influência da intrusão de águas salinas.

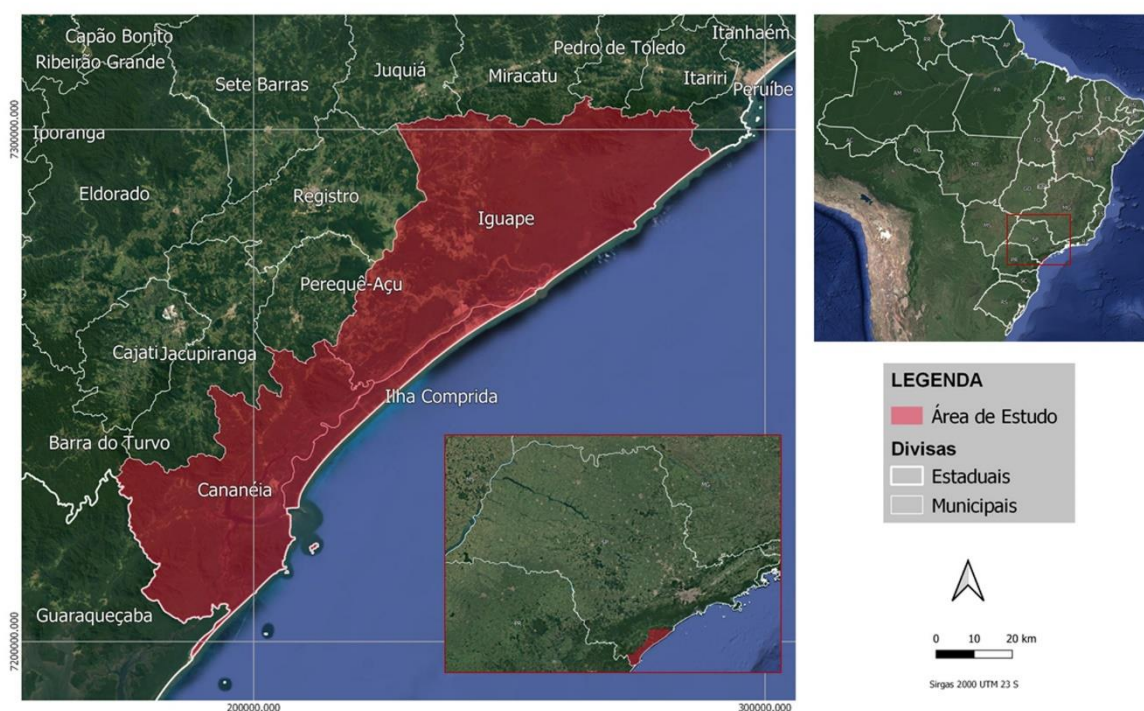
2 OBJETIVOS

Objetiva-se salientar a importância do Manguezal e apresentar o Sensoriamento Remoto aplicado à análise climática no ecossistema presente no Sistema Costeiro Cananéia-Iguape. Abrangendo o mapeamento da área do manguezal; a detecção e mensuração de variações de temperatura superficial; e a extração de índices para o acompanhamento da regeneração ou degradação da vegetação e variações ambientais influentes sobre a dinâmica vital do manguezal.

3 ÁREA DE ESTUDOS

A área de estudo está localizada ao sul do litoral do Estado de São Paulo, constituída, principalmente, pelo setor nordeste do Sistema Costeiro Cananéia-Iguape e drenada pelo curso inferior do Rio Ribeira de Iguape, abrangendo os municípios de Iguape, Cananéia e Ilha Comprida, conforme a Figura 4 a seguir:

Figura4: Localização da área de estudos



Fonte: Elaboração da autora

O manguezal está incluso em Área de Preservação Permanente. A Lei N° 12.651, de 25 de maio de 2012, conhecida como Código Florestal Brasileiro, dispõe sobre a proteção da vegetação nativa inclui no Artigo 4° os manguezais em toda sua extensão nas A.P.P.s. A Lei N° 6.938, de 31 de Agosto de 1981 apresenta a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dispõe acerca da preservação das A.P.P.s; a Resolução CONAMA n° 303, de 20 de março de 2002 dispõe sobre parâmetros, definições e limites das A.P.P.s – definidas como áreas protegidas, com ou sem áreas vegetadas por espécies nativas, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012a); Segundo Artigo 3°, inciso XIII, o manguezal é um ecossistema:

[...] litorâneo que ocorre em terrenos baixos, sujeitos à ação das marés, formado por vasas lodosas recentes ou arenosas, às quais se associa, predominantemente, a vegetação natural conhecida como mangue, com influência fluviomarinha, típica de solos limosos de regiões estuarinas e com dispersão descontínua ao longo da costa brasileira, entre os Estados do Amapá e de Santa Catarina (BRASIL, 2012a).

Segundo a Resolução SMA 146 CBRN de 2017 que institui o Mapa de Biomas do Estado de São Paulo, o manguezal está inserido no bioma Mata Atlântica. A Lei N° 11.428 de 22 de dezembro de 2006 dispõe acerca da utilização e proteção nativa do bioma, além de outras providências como a regulamentação de supressão de vegetação nativa (primária) e o uso da terra e ocupação do solo. A Lei N° 12.651 de 2012 (Código Florestal Brasileiro) institui determinações acerca da vegetação nativa do território nacional, estabelecendo normas gerais sobre a proteção de áreas vegetadas, Áreas de Preservação Permanente (A.P.P.) e áreas de Reserva Legal, dentre outras providências. Segundo o Decreto n° 10.755/77 a área de estudos está localizada na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 11.

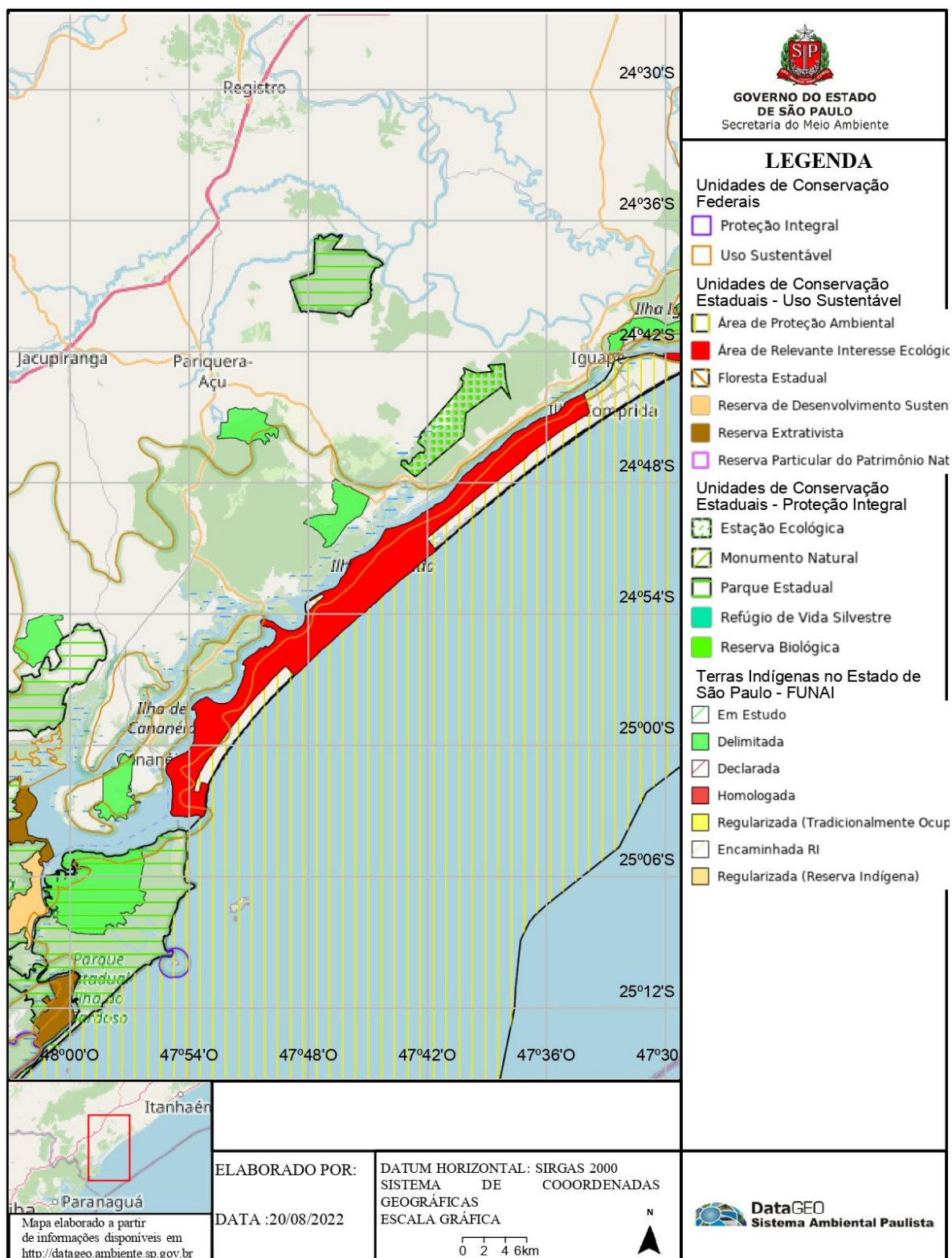
A área de estudos compreende Unidades de Conservação Federais e Estaduais. U.C.s de Uso Sustentável; Área de Proteção Ambiental (APA) Ilha Comprida; Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) Guará; e Unidade de Conservação Federal APA Cananeia-Iguape-Peruíbe (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2022). Também compreende Terras Indígenas (FUNAI, 2021) e Áreas de Proteção Integral, além do Parque Estadual da Ilha do Cardoso. O mapa da Figura 5 contém a Legislação Ambiental vigente sobre a área de estudos.

O Brasil apresenta papel de destaque quanto à área de manguezal. O país ocupa a segunda maior área de manguezal, atrás apenas da Indonésia (LIMA, 2014 apud SPALDING et al., 2010). Os manguezais do Sistema Costeiro Cananéia-Iguape são extensos e se conectam com as restingas e a Mata Atlântica preservadas (LIMA, 2014) – apesar do canal artificial do Valo Grande, que divide a área vegetada:

As planícies costeiras da Baixada Santista e do Sistema Costeiro Iguape-Cananéia somam as maiores áreas de manguezais no Estado de São Paulo, devido à própria condicionante sedimentar atual, formada por depósitos acumulados a partir de processos derivados da flutuação do nível médio do mar. Cananéia é o município que apresenta a maior área de manguezal (69%), seguida por Iguape (18%) e Ilha Comprida (13%) (LIMA, 2014 apud CETESB, 1998).

A Serra do Mar age como uma barreira natural da umidade proveniente do oceano. Inserida no domínio geomorfológico de mares de morros (AB’SABER, 2012), a Serra é caracterizada pela formação de escudos cristalinos que proporcionam condição pedológica ideal para o desenvolvimento de sua fitologia. A vegetação densa recobre interflúvios, vertentes, fundos de vale, rede hidrográfica de ampla recarga e forte umidade do ar, apresentando sutil equilíbrio morfoclimático.

Figura 5: Mapa da Legislação Ambiental vigente sobre a área de estudos



Fonte: DataGEO (2022)

A área de estudos é caracterizada por canais lagunares de formação natural e artificial. O canal Valo Grande causou alterações nos índices naturais de salinidade e nos padrões de sedimentação (LIMA, 2014 apud MAHIQUES et al., 2009). Localizado no sul do estado de São Paulo, entre as coordenadas 24°35'S e 25°10'S e 47°30'W e 48°05'W, estende-se por cerca

de 75km e é composto por um complexo sistema de corpos d'água que circundam quatro ilhas - Iguape, Comprida, Cananéia e Cardoso. As formações lagunares Mar Pequeno e mar de Iguape foram classificadas segundo suas formações e características:

O mar Pequeno é, em geral, pouco meandrante e, devido às suas características, foi dividido por Tessler (1982) em dois. A primeira parte, que se estende da confluência NE dos mares de Cananéia e de Cubatão até a pedra do Tombo, denominada mar Pequeno. Esta região apresenta um canal mais profundo de circulação, ligeiramente meandrante, com diversas ilhas sedimentares. A segunda, que se estende da pedra do Tombo até a Barra de Icapara, foi denominada mar de Iguape. Nesta região, o canal mais profundo tem configuração mais retilínea e as ilhas sedimentares escasseiam (TESSLER & FURTADO, 1983).

A formação dos canais lagunares do Sistema Costeiro Cananéia-Iguape é originária das variações do nível do mar ao longo dos períodos geológicos. A evolução destas áreas alagadas é decorrente das transgressões Cananéia – 120 mil anos A.C. – e Santos – há 5 mil anos D.C. (TESSLER & FURTADO, 1983 apud SUGUIO & MARTIN, 1978). Os manguezais de Cananéia-Iguape dominam praticamente todas as margens do sistema, compreendendo uma área de aproximadamente 72km² (LIMA, 2014 apud CUNHA-LIGNON, 2001).

No litoral paulista, a transgressão de idade pleistocênica (Transgressão Cananéia), ao atingir seu máximo transgressivo (aproximadamente +8,0 m), deslocou o nível do mar para o sopé da Serra do Mar, preenchendo as atuais planícies litorâneas com sedimentos marinhos (SOUZA-JUNIOR et al., 2007).

O clima da região a 150 km da Ilha Comprida – e o entorno do Rio Ribeira de Iguape, que deságua no Sistema Costeiro Cananéia-Iguape –, está classificado como Equatorial, Tropical Brasil Central e Temperado. A temperatura, o clima e as chuvas variam entre as regiões costeira e continental, que estão submetidas às variações de umidade e temperatura de acordo com a proximidade com o Oceano Atlântico – além das influências do relevo, da vegetação e da hidrografia – e sua localização (próxima ao Trópico de Capricórnio e o paralelo de 25° S) na transição entre o Clima Tropical Brasil Central e o Clima Temperado. A classificação varia de Subsequente – com médias entre 15°C e 18°C em ao menos um mês – a Mesotérmico Brando – média entre 10°C e 15°C –, de acordo com a proximidade dos corpos d'água de maior expressividade – o mar e o sistema hídrico do Rio Ribeira de Iguape – abrangendo áreas subsecas e úmidas, de 1 a 2 meses secos (IGBE, 1978). Ao norte do município de Cananéia, abrangendo Ilha Comprida e o sudoeste de Iguape e na região costeira, os índices de pluviosidade estão classificados como super-úmido.

O clima da região da área de estudos é classificado, segundo o sistema internacional de Köppen, nas categorias AF e CFA13 – clima tropical úmido, sem estação seca, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 18 °C e clima mesotérmico quente, com

médias de temperatura superiores a 22 °C, apresentando no mês mais seco índices pluviométricos superiores a 30 mm.

A brisa marítima, em escala local, e as massas de ar tropical atlântica e polar, em escalas regional e global, são fatores climáticos característicos da região localizada ao sul da região Sudeste, à base da Serra do Mar e às margens do Oceano Atlântico. Nas escarpas da Serra do Mar e proximidades predominam dois fluxos de ventos: nordeste no período noturno e sudeste no período diurno. As maiores velocidades de ventos ocorrem no inverno, atingindo valores máximos entre 13 e 15 h e decrescendo após as 19 h (OLIVEIRA et al., 2007) – este fenômeno contribui à dispersão de poluentes provenientes das atividades industriais da região próxima, como no município de Cubatão.

No Sistema Costeiro Cananéia-Iguape, o Manguezal desenvolve distintos tipos fisiográficos de vegetação. Os bosques ribeirinhos apresentam alto grau de desenvolvimento estrutural por ocuparem as margens dos rios (SCHAEFFER-NOVELLI, 1985); os bosques de franja e ilhote recebem nutrientes através das marés, se estabelecem às margens de costas onde a vegetação sofre a constante força das ondas, apresentando altos níveis de salinidade; os bosques de bacia se estabelecem no interior dos bosques ribeirinho e de franja, onde a frequência de inundação pelas marés é menor, portanto, apresenta desenvolvimento estrutural variável (LIMA, 2009); a depender de condicionantes como o relevo e os índices de pluviosidade, desenvolvendo-se melhor em regiões onde a precipitação excede a evapotranspiração potencial.

Para Duke, Ball e Ellison (1998), a distribuição dos manguezais pode ser avaliada de acordo com quatro escalas geográficas: com análise de sua ocorrência em todo o mundo, portanto em uma escala global; em uma ou mais regiões biogeográficas, com análise de sua posição na costa de cada setor, o que seria a escala regional; sua localização dentro de um estuário, portanto na escala local; e sua posição ao longo do perfil interdital, abordando questões de microescala (LIMA, 2014).

A brisa marítima (em escala local) e as massas de ar tropical atlântica e polar (em escalas regional e global) são fatores climáticos característicos da região da área de estudos, localizada ao sul da região Sudeste, à base da Serra do Mar e às margens do Oceano Atlântico. Nas escarpas da Serra do Mar e proximidades predominam dois fluxos de ventos: nordeste, no período noturno, e sudeste, no período diurno. As maiores velocidades de ventos ocorrem no inverno, atingindo valores máximos entre 13 e 15 h e decrescendo após as 19 h (OLIVEIRA et al., 2007) – este fenômeno contribui à dispersão de poluentes provenientes das atividades industriais da região próxima, como no município de Cubatão.

Para Monteiro (1973), o Estado de São Paulo, devido à sua posição geográfica e combinações de fatores geográficos, encontra-se no limite de duas zonas climáticas a) Zona Climática Intertropical - dominando grande parte de seu território, grosso modo ao norte do Trópico de Capricórnio, cujos climas são controlados por sistemas

atmosféricos equatoriais e tropicais b) Zona Climática Subtropical - mais ao sul, por sua vez, há o desenvolvimento de climas controlados por sistemas tropicais e polares, A bacia do Rio Ribeira de Iguape, especialmente em seu setor paulista tem sua unidade rítmica caracterizada pelo maior índice de penetração de massas polares e passagens frontais do estado. [...] Monteiro (1973), classifica o clima como sendo meridional permanentemente úmido, onde a atuação de massas polares (50%) sobrepuja a atuação das massas tropicais (LIMA, 2009).

A área de estudos está inserida na região de deslocamento de ventos e umidade ocasionados pela ação de frentes frias – oriundas do polo Sul – e quentes – provenientes da área continental e do norte do país, onde atua a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) – originárias da variação da temperatura superficial do solo e das águas – onde as correntes oceânicas são influentes. A Zona de Convergência do Atlântico Sul atua na região na medida em que condiciona o clima da região através da variação zonal da umidade e da precipitação, dos ventos e da temperatura e é resultante do encontro das massas de ar quentes e úmidas, estendendo-se desde a região sul da Amazônia à região central do Atlântico Sul (FIGUEIRÓ, 2016). A ZCIT é identificável visualmente em imagens de satélite por uma faixa de nebulosidade de orientação NW/SE.

A degradação ambiental ocasionada pela contaminação das águas e solos por esgotos de origem industrial e doméstica, devido à proximidade dos Manguezais da região sul de São Paulo com polos industriais, áreas urbanas e portos, torna a região ambientalmente instável. O lançamento de rejeitos urbanos, industriais e portuários nos corpos d'água resulta no aporte indiscriminado de poluentes nos ambientes estuarinos (ROSS, 2002; CUNHA-LIGNON et al., 2009). Os manguezais do Sistema Costeiro Cananéia-Iguape são considerados os mais preservados do Estado de São Paulo:

No entanto, estudos apontam para ocorrência de clareiras em áreas de mangue na região de Iguape, devido ao aumento de macrófitas aquáticas invasoras nesse setor do sistema costeiro, resultando da abertura do canal do Valo Grande (LIMA, 2014 apud CUNHA-LIGNON et al., 2009; CUNHA-LIGNON et al., 2011).

[...] A abertura desse canal artificial ocorreu entre 1827 e 1852 e causou mudanças significativas tanto na salinidade e nos padrões de sedimentação, quanto no aporte de metais pesados para o Sistema Costeiro Cananéia-Iguape (LIMA, 2014 apud MAHIQUES et al., 2009).

O ecossistema possui papel importante na manutenção da vida de diversas espécies. Entre as espécies ameaçadas de extinção (espécies classificadas segundo o IBGE como criticamente em perigo de extinção, em perigo e vulneráveis) da região de aproximadamente 100 km do entorno da Barra do Ribeira, estão incluídas as aves *Mysmotherula minor* e *Culicivora caudacuta* (IBGE, 2005) os insetos, abrangendo a espécies da Ordem Collembola, família Arrhopalitidae – *Arrhopalites amorimi*, *Arrhopalites gnaspinus*, *Arrhopalites lawrencei*, *Arrhopalites wallacei* – e da Ordem Lepidoptera (borboletas) espécies da família Nymphalidae

– *Actinote quadra*, *Actinote zikani*, *Dasyphthalma geraensis*, *Doxocopa zalmunnna*, *Orobassolis ornamentalis*, *Pampasatyrus gyrtona*, *Polygrapha suprema*, *Pseudocercyonis glaucope boenninghausi* e *Tithorea harmonia caissara* além da libélula (da Ordem Odonata) *Minagrion mecistogastrum* (IBGE, 2008) os invertebrados aquáticos e peixes, *Corydoras macropterus* (da ordem dos Siluriformes), *Campellolebias dorsimaculatus* (da Ordem Cyprinodontiformes), *Mimagoniates lateralis* e *Mimagoniates rheocharis* (da Ordem Characiformes), *Macrobrachium carcinus* (conhecida popularmente como Pitu, da Ordem Decapoda), *Homodiaetus graciosa* e *Listrura campos* (da Ordem Siluriformes) e os mamíferos, morcegos da Ordem Chiroptera, *Lasirus ebenus* e *Myotis ruber* (IGBE, 2009).

A costa paulista, compartimentada em dois setores – sul e norte (p. 33 TESSLER et al., 2006) – apresenta características distintas em sua configuração. O setor Sul se estende de Ilha Comprida à Praia Grande (LIMA, 2009)¹⁸ e possui grandes planícies costeiras com praias extensas, contínuas e retilíneas; o Norte, localizado entre São Sebastião e Ubatuba, é caracterizado por uma costa recortada, formada por pequenas praias desconectadas devido à formação de baías próximas à Serra do Mar.

As formações características das planícies costeiras resultam de regressões e avanços do nível do mar. A costa paulista, composta pela Serra do Mar e banhada pelas águas do Oceano Atlântico, é formada pelo relevo inserido no domínio dos "Mares de Morros" Florestados, caracterizados por apresentarem formações colinosas originárias da mamelonização – processo de aplainamento –, desde as menores metragens de altitude, de 10 m a 20 m, às áreas mais elevadas, de 1100 m a 1300 m (AB'SABER, 2011). O Sistema Costeiro Cananéia-Iguape apresenta três ilhas principais – Ilha do Cardoso, Cananéia e Ilha Comprida que se localizam entre cursos d'água:

A planície costeira de Iguape-Cananeia constitui um dos setores de exceção na longa fachada atlântica litorânea do Brasil. Antes que as restingas estivessem construídas, o mar fez algumas penetrações rasas nos imbricamentos de todo o litoral regional, atingindo na principal transgressão holocênica o sopé da Serra do Mar e seus esporões regionalmente distanciados, bem como as encostas de terras firmes colinosas (SCHAEFFER-NOVELLI, 2018 apud AB'SABER, 2011).

A formação dos canais lagunares do Sistema Costeiro Cananéia-Iguape é originária das variações do nível do mar ao longo do tempo. O modelo evolutivo das áreas alagadas é marcado por cinco estágios (SUGUIO & MARTIN, 1978) – as transgressões Cananéia (há 120 mil anos

¹⁸ A autora destaca, ainda, a contribuição de Ponçano et al. (1999) que classifica cinco compartimentos na costa paulista: a área que abrange Cananéia a Praia Grande, Santos a Bertioga, Bertioga a Toque-Toque, Toque-Toque a Tabatinga e Tabatinga a Picinguaba. Tessler et al. (2006), utilizando-se dessa classificação, subdivide o compartimento Cananéia a Praia Grande em duas partes: Cananeia-Serra do Itains e Peruíbe a Praia Grande. Em sua classificação, o compartimento do Sistema Cananéia-Iguape é denominado Compartimento Ilha do Cardoso - Serra do Itatins, que abrange a região da Juréia e Barra do Uma (LIMA, 2009), localizados na planície costeira do Sistema e incluindo a planície do Guaraú, localizada na Serra do Itatins.

A.C.) e a transgressão Santos (há 5 mil anos) (TESSLER & FURTADO, 1983) são marcos nas regressões que originaram estas formações características.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do presente trabalho foram utilizados dados matriciais fornecidos por entidades do governo brasileiro e americano. O download das imagens dos sensores OLI – compreendendo as bandas de 1 a 9 do satélite Landsat 8 – e VIIRS (NOAA-20) foi realizado do Diretório Geral de Imagens do INPE; os dados do sensor TIRS – que compreendem as bandas do termal do Landsat 8 (B10 e B11) – do site do centro de pesquisa geológica americano U.S. Geological Survey, Earth Explorer.

As bandas selecionadas nas imagens utilizadas para o mapeamento da área de estudos e composições coloridas foram B1, B2, B3, B4, B5, B6 e B7 (sensor OLI). Para a obtenção de dados de temperatura superficial, as bandas 10 e 11 foram utilizadas (sensor VIRS). A Tabela 1 contém as informações das imagens e bandas de cada satélite e sensor.

Tabela 1: Dados das imagens coletadas

Ano	Data	Hora	Satélite	Sensor
2018	20/07/2018	13:10:08	LANDSAT-8	OLI
	29/07/2018	13:04:01	LANDSAT-8	OLI
	29/07/2018	13:04:01	LANDSAT-8	TIRS
	14/06/2019	13:04:34	LANDSAT-8	OLI
2019	30/06/2019	13:04:39	LANDSAT-8	OLI
	23/07/2019	13:10:55	LANDSAT-8	OLI
	23/07/2019	13:10:55	LANDSAT-8	TIRS
	17/08/2019	13:04:54	LANDSAT-8	TIRS
2020	31/05/2020	13:04:15	LANDSAT-8	OLI
	06/07/2020	13:10:30	LANDSAT-8	TIRS
	09/07/2020	13:10:46	LANDSAT-8	OLI
	20/07/2020	13:10:08	LANDSAT-8	TIRS
2021	08/06/2021	15:32:23	NOAA-20	VIIRS
	28/06/2021	17:37:40	NOAA-20	VIIRS
	29/06/2021	17:18:17	NOAA-20	VIIRS

Fonte: Elaboração da autora.

Os dados vetoriais foram obtidos do diretório gratuito de dados do Instituto Florestal. Apenas as áreas de manguezal foram consideradas à análise. As imagens foram geradas através da mesclagem de bandas no Software Quantum GIS 3.6.1. A variação dos índices das amostras de NDVI e NDWI de 2018 a 2020 foi calculada no Excel. O mapeamento da nebulosidade formada pelo avanço de frentes e das formações ciclônicas foi realizado através da importação das imagens do satélite NOAA-20 para o software QGIS 3.6.1.

A mesclagem de bandas foi realizada através da ferramenta “mesclar”. Pertencente ao grupo “miscelânea de raster” da aplicação GDAL, a ferramenta permite a entrada de múltiplas bandas de diferentes sensores. Para as imagens do Landsat 8, o tipo de dado de saída selecionado foi o Unit16 e o resultado da operação consistiu em uma composição em que cada arquivo de entrada foi colocado em uma banda separada.

Os valores foram extraídos com a transformação dos dados matriciais em dados vetoriais. A ferramenta “pixels de raster para pontos” (do grupo “Criação de vetor” do QGIS) foi utilizada para a exportação da camada em formato de tabela. As médias dos dias 20/07/2018, 29/07/2018, 30/06/2019, 23/07/2019, 31/05/2020 e 09/07/2020 foram calculadas no Excel. Os resultados foram comparados abrangendo o período em análise buscando o percentual de variação durante o inverno de 2018 a 2020.

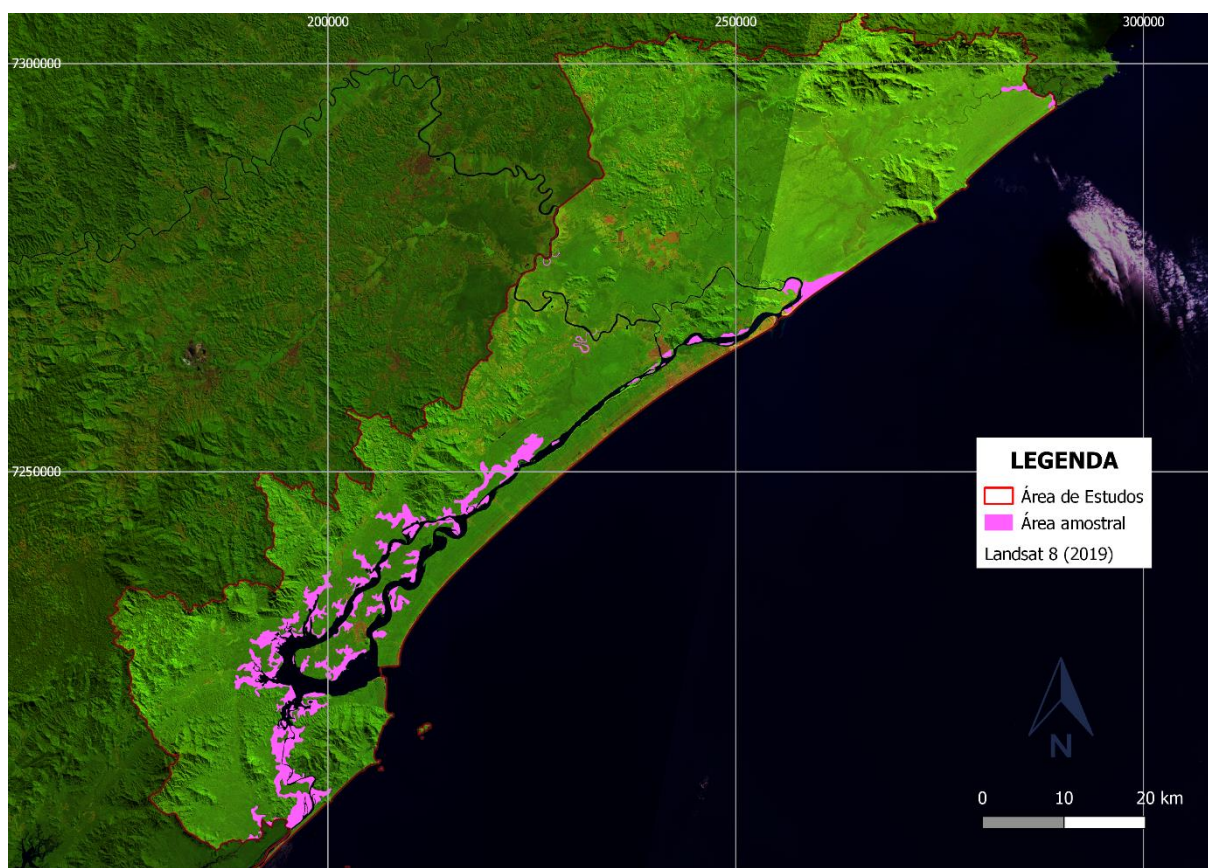
4.1. NDVI

A metodologia aplicada abrange a extração dos índices NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e NDWI (Índice de Água por Diferença Normalizada) para a mensuração de mudanças na vegetação – degradação, regeneração ou estabilidade – e das águas – aumento ou diminuição do volume dos rios, canais lagunares e áreas alagadas do ecossistema. As variáveis ambientais são influentes sobre o microclima do manguezal, como apresentado; contribuem com o balanço de temperatura e umidade na região e são de suma importância para a manutenção de biomas em escala planetária.

O emprego de técnicas de Sensoriamento Remoto, como o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) são facilitadores do acompanhamento de comportamentos da vegetação em grandes áreas, muitas vezes inacessíveis ou de difícil acesso em campo, permitindo acompanhar a dinâmica da vegetação através da geração de mapas que salientam as plantas através da luz infravermelha emitida pela vegetação (TOWNSHEND apud MACHADO, 2014) – sua geração se dá pela diferença entre a reflectância do infravermelho (V) dividida, respectivamente, pela soma das duas reflectâncias.

O NDVI foi calculado para a detecção de mudanças em relação à vegetação. A área amostral abrangeu 22.556,79 km² e considerou apenas a vegetação de mangue mapeada pelo Instituto Florestal, como o mapa da Figura 6 apresenta:

Figura 6: Área amostral inserida na área de estudos



Fonte: Elaborado pela autora

A equação demandou a utilização das bandas 4 e 5 (vermelho e Infravermelho Próximo, respectivamente):

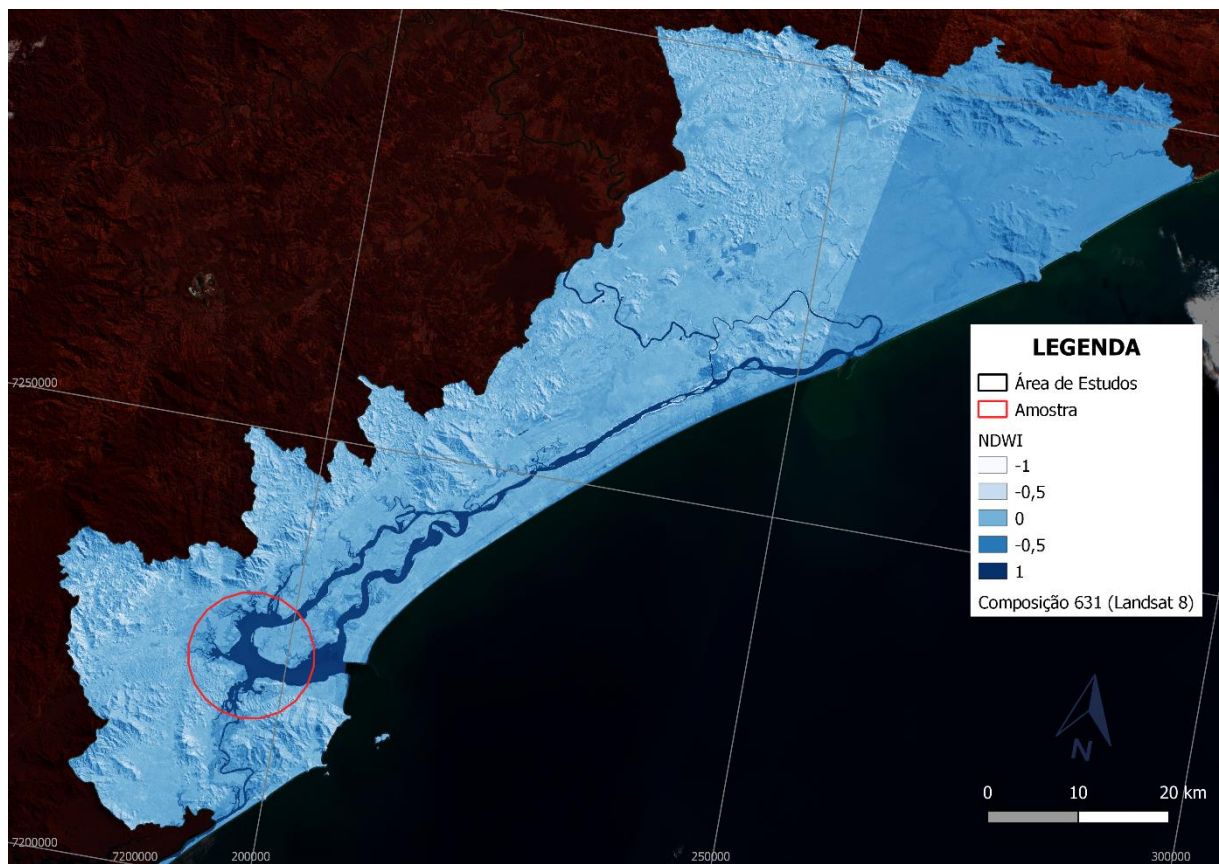
$$NDVI = (B4 - B5) / (B4 + B5)$$

O índice expressa a diferença entre o vermelho (onde não há a cor verde no espectro) e o NIR (infravermelho refletido pela vegetação, que contém clorofila). Onde o índice apresenta valores negativos, há pouca ou nenhuma presença de vegetação no pixel.

4.2. NDWI

A extração de dados e o cálculo das variações do NDWI (Índice da Diferença Normalizada da Água) foi o método aplicado para a mensuração das variações da presença de água. Uma área amostral de 151.194,02 km² foi selecionada para acompanhamento de mudanças. Conforme o mapa da Figura 7, a amostra está localizada ao sul da Ilha de Cananéia, onde desaguam rios e o manguezal recobre as planícies.

Figura 7: Índice NDWI e localização de amostra



Fonte: Elaborado pela autora

As bandas 2 (verde) e 7 (NIR) foram utilizadas para o cálculo do índice:

$$NDWI = (B2 - B7) / (B2 + B7)$$

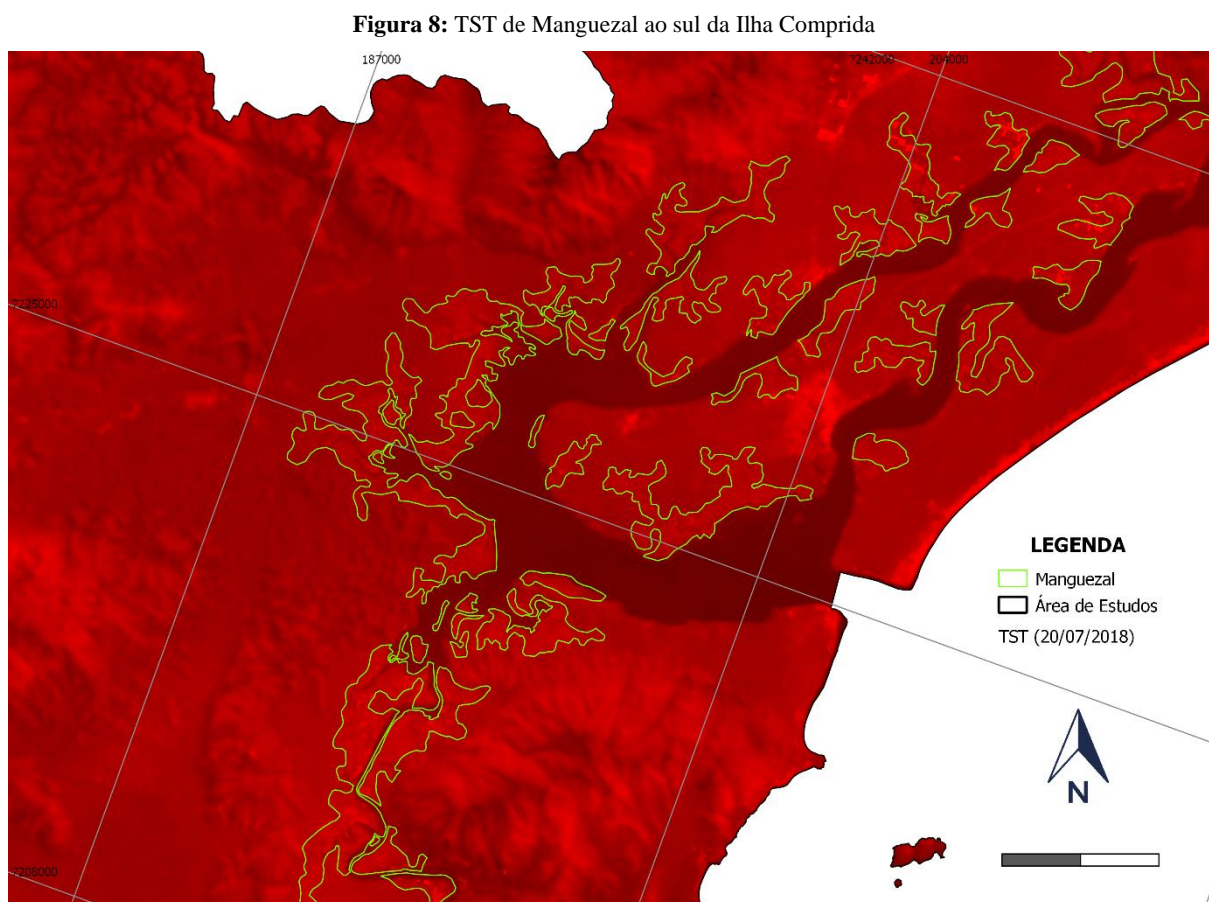
O resultado pode variar entre -1 e 1. McFeeters (1996) definiu zero como o limiar (BRENNER; GUASSELLI, 2015), assim, se o pixel conter um número negativo, não há água; caso o resultado seja positivo, há presença de água.

4.3. TST

A Banda 10 da imagem foi utilizada para o cálculo da Temperatura Superficial Terrestre. Esta banda apresenta resolução espectral que abrange corpos que emitem calor na faixa de onda do Infravermelho Termal entre 10.60 µm a 11.19 µm. Através da calculadora raster, a fórmula:

$$(1321.08 / \ln(774.89 / (3.3420E-04 * \text{"banda10.tif"} + 0.10000) + 1)) - 273.15$$

foi aplicada. Para a mensuração da variação entre as médias de temperatura superficial em C°, o resultado em dado matricial foi transformado em pontos de vetor. A Figura 8 é o mapa de uma parcela da área de estudos expressa em TST (multibanda colorida). O processo foi aplicado durante o período de 2018 a 2020.



Fonte: Elaboração da autora

O valor de cada pixel foi exportado em formato de tabela e a média de cada dia foi calculada no Excel. A variação entre os anos foi mensurada. As áreas que aparecem em vermelho escuro são áreas mais frias; onde o vermelho é mais brilhante, há maiores temperaturas.

4.4. FOTOINTERPRETAÇÃO

Foram utilizadas imagens do satélite NOAA-20 dos dias 08, 06, 29 de junho de 2021 para observação de fenômenos climáticos influentes na área de estudos. Foram selecionadas imagens do satélite Landsat 8 do período do inverno nos anos 2018, 2019 e 2020. Esta estação é marcada pelo avanço de frentes frias. A variação e médias baixas de temperatura influem sobre a dinâmica vital do ecossistema Manguezal.

A fotointerpretação consiste em identificar elementos do espaço através de uma imagem. Diferencia-se da fotogrametria, quando o dado não é tratado. O método consiste em analisar as diferenças de cor e textura - elementos visuais da imagem chamados de padrões de interpretação. Este método foi utilizado para o acompanhamento: do avanço de frentes (através da observação da nebulosidade); de formações ciclônicas; do manguezal ao longo do período em análise; dos sedimentos em suspensão nas águas; e das macrófitas flutuantes nos canais lagunares. As imagens do satélite NOAA-20 são captadas em RGB, permitindo a visualização da nebulosidade sobre a área de estudos em cores verdadeiras (vermelho, verde e azul).

Distintas composições de bandas do Landsat-8 foram geradas para a fotointerpretação. A composição 654 foi utilizada para salientar o Infravermelho Próximo (NIR) da vegetação, permitindo a identificação visual da vegetação de mangue, áreas cobertas por lama, sedimentos nas águas e áreas desmatadas (pastos, áreas urbanas, vias de acesso, solo exposto) e areia. A composição permitiu destacar a área de manguezal. A mistura das B6 (Infravermelho Médio), B5 (NIR) e B4 (vermelho) permitiu identificar as áreas alagadas características do ecossistema, na medida em que a distinguiu das áreas secas vegetadas pela Floresta Ombrófila Densa do entorno.

A composição 654 foi utilizada para a geração de imagens que se aproximam das cores verdadeiras (RGB), mas salientam o NIR e o Infravermelho Médio refletidos pela vegetação. O manguezal adquire tons de verde mais escuro que a vegetação do entorno e as águas profundas, azul escuro. Os sedimentos se destacam em azul mais claro. É possível visualizar as macrófitas flutuantes. As áreas vegetadas aparecem em vermelho, contrastando com as áreas alagadas (que misturam o verde com o azul celeste).

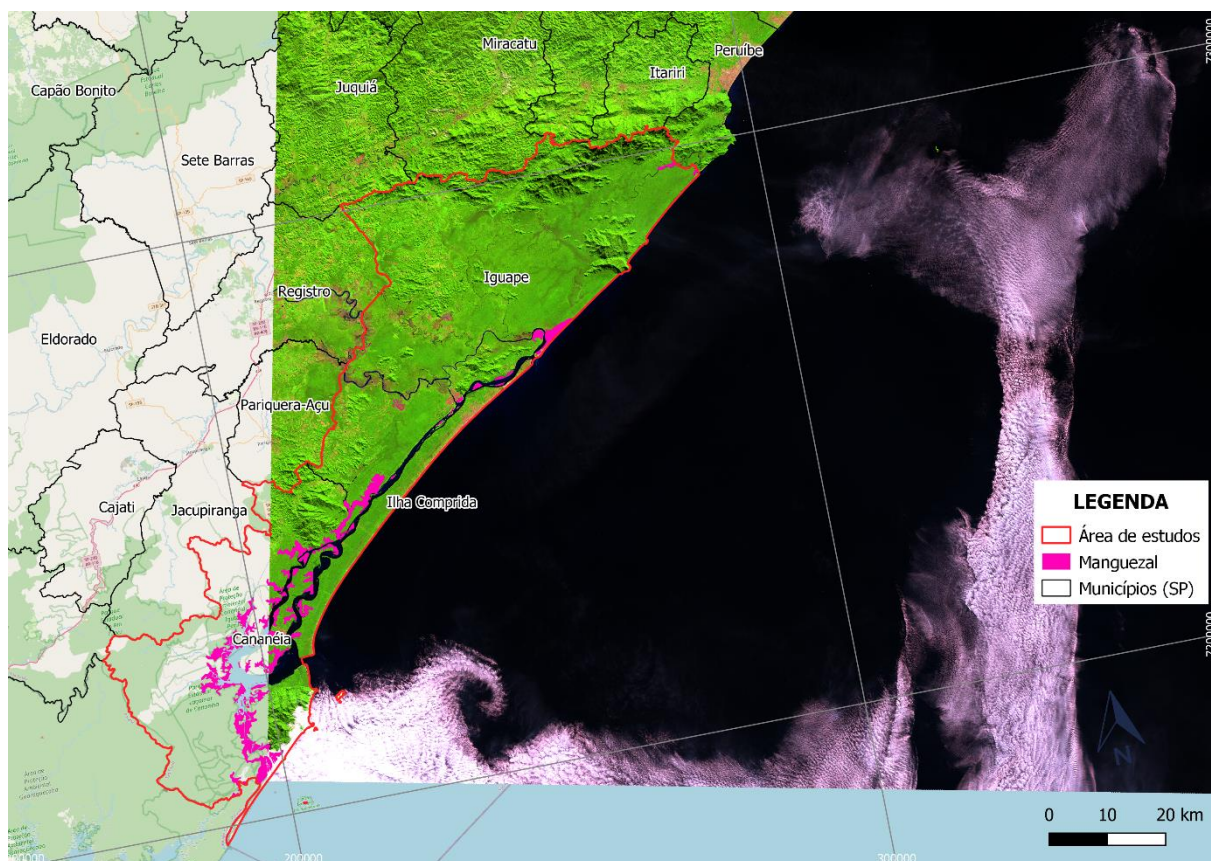
No dia 14/06/2019 o satélite Landsat 8 capturou uma imagem de um anticiclone em formação. A composição RGB (234) permite visualizar a nebulosidade que acompanha o movimento rotativo dos ventos a cerca de 30 km de distância da costa – onde se localiza o Sistema Costeiro Cananéia-Iguape e o manguezal em análise. Durante os dias 27/07/2021 a 30/07/2021 o satélite NOAA - 20 capturou imagens da passagem de uma frente fria severa que atingiu a área de estudos. As fotografias permitiram o acompanhamento da nebulosidade que avançou sobre a área de estudos formando uma faixa.

5 RESULTADOS

Os resultados permitem verificar, durante o período de 2018 a 2020, aspectos influentes dos manguezais do Sistema Costeiro Cananéia-Iguape. Através da fotointerpretação, foi possível: observar a existência dos sedimentos carregados pelas águas doces até o oceano; acompanhar o avanço de frentes frias e o deslocamento de frentes quentes; visualizar formações ciclônicas influentes e nebulosidade sobre a área de estudos (durante o inverno dos anos 2021 e 2022 não foram coletadas imagens devido a cobertura de nuvens sobre a área); verificar a existência de macrófitas flutuantes, indicadoras da presença de poluição, no canal artificial de Valo Grande; a redução da presença de água no manguezal entre os anos 2018 e 2020; temperaturas superficiais médias acima de 30 °C; o crescimento da vegetação.

No dia 14/06/2019 o satélite Landsat 8 capturou uma imagem de um anticiclone em formação. O mapa da Figura 9 contém a imagem em composição RGB e permite visualizar a nebulosidade que acompanha o movimento rotativo dos ventos a cerca de 30 km de distância da costa – onde se localiza o Sistema Costeiro Cananéia-Iguape e o manguezal em análise.

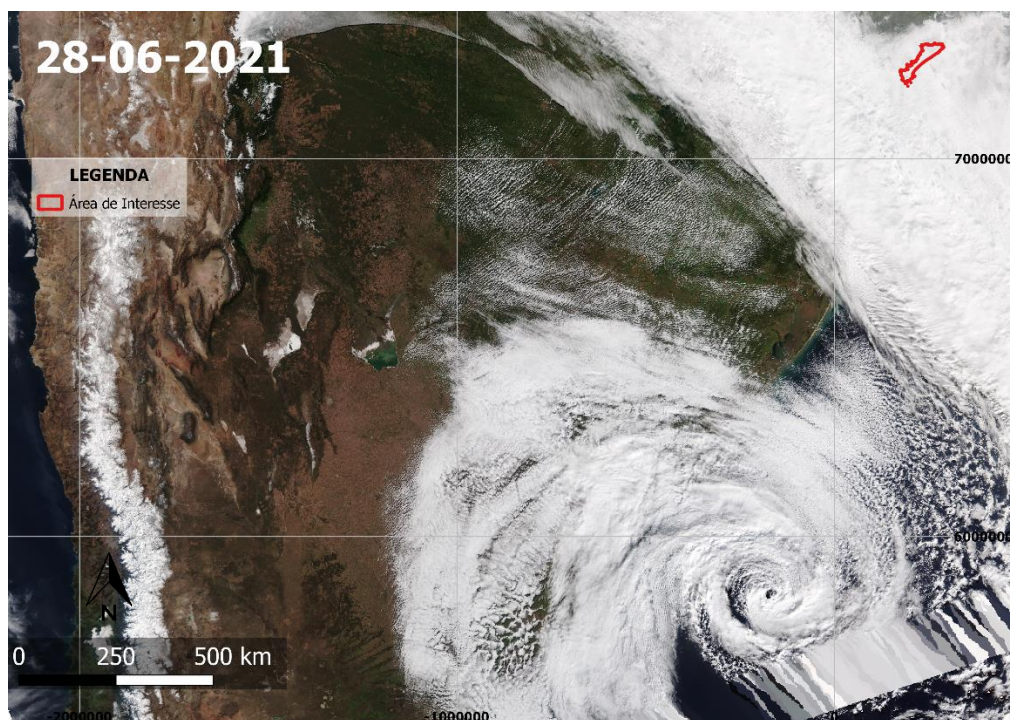
Figura 9: Formação ciclônica próxima à área de estudos



Fonte: Elaboração da autora

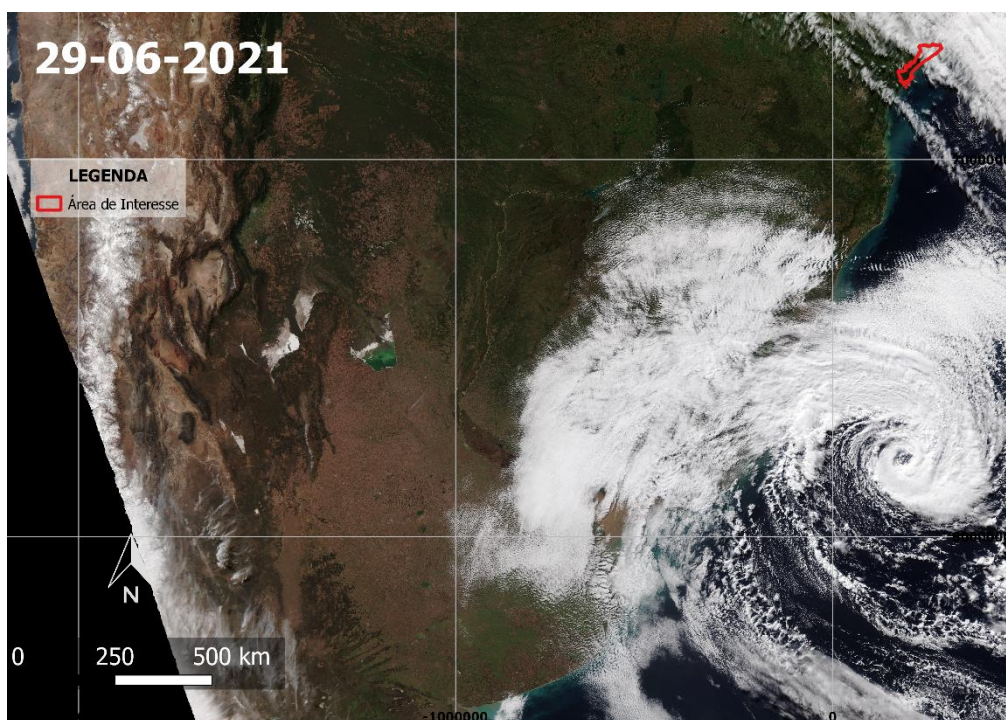
Durante os dias 28/06/2021 a 29/06/2021 o satélite NOAA - 20 capturou imagens da passagem de um anticiclone sobre a área de estudos. As fotografias contidas nos mapas das Figuras 10 e 11 permitiram o acompanhamento da nebulosidade que avançou em espiral sobre o manguezal.

Figura 10: Anticiclone e nebulosidade sobre a área de estudos



Fonte: Elaboração da autora

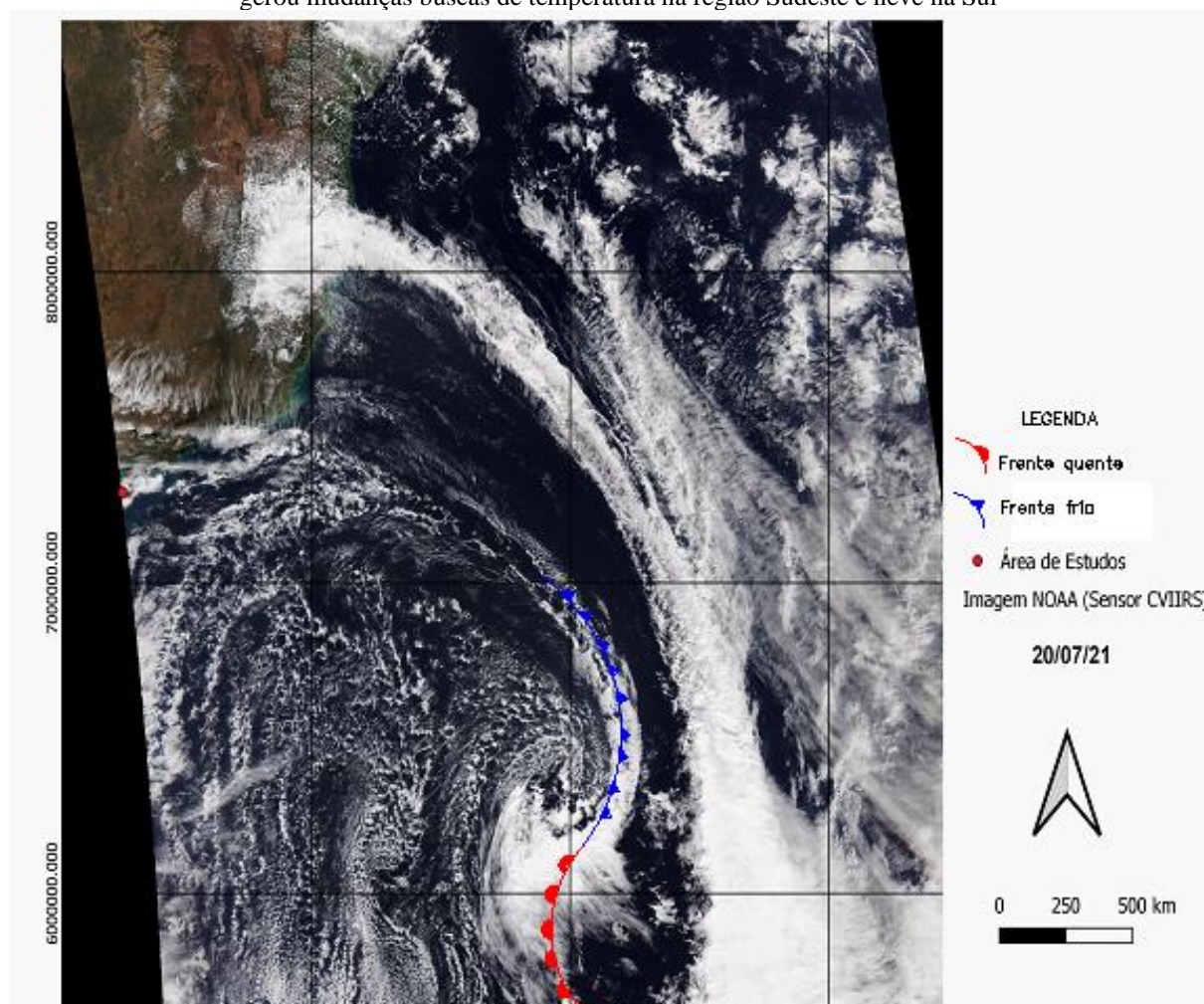
Figura 11: Deslocamento de anticiclone e nebulosidade sobre a área de estudos



Fonte: Elaboração da autora

A ocorrência de neve na região Sul do país e as baixas temperaturas na região Sudeste são decorrentes do avanço de frentes frias. O mapa da Figura 12 contém uma imagem do dia 20/07/2021 capturada pelo satélite NOAA-20. Na semana seguinte, houve a ocorrência de neve no sul do país, fenômeno decorrente do avanço de uma forte frente fria¹⁹ que se deslocou rapidamente, gerando fortes chuvas e mudanças bruscas de temperatura na área de estudos.

Figura 12: Imagem do satélite NOAA-20 coletada no dia 20/07/2021, período de passagem da frente fria que gerou mudanças bruscas de temperatura na região Sudeste e neve na Sul



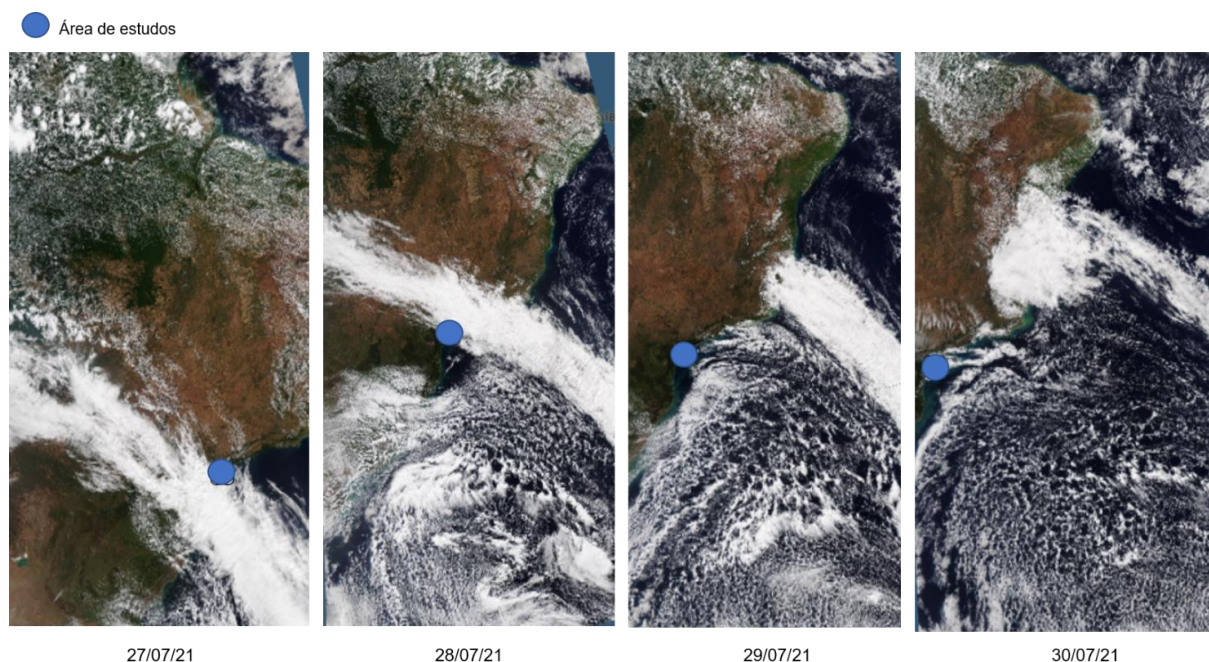
Fonte: Satélite NOAA-20, sensor VIIRS; elaboração: autoria

As imagens permitem observar o deslocamento da nebulosidade formada pelo avanço da forte frente fria que atingiu a Região Sul. Deslocando-se até a Região Sudeste do Brasil no inverno de 2021, atingindo a área de estudos, a frente avançou sobre o continente e seguiu para a costa. Na Figura 13 é possível visualizar o deslocamento das nuvens – formadas pelo encontro

¹⁹ Em uma semana, a temperatura variou de máximas de 24°C e mínimas de 7°C. A nebulosidade captada pela imagem de satélite ocasionou fortes chuvas e a frente fria que a originou quedas bruscas de temperatura (neste dia, as máximas de temperatura atingiram 19°C e houve o mínimo de temperatura, 7°C).

entre as massas de ar fria e quente (por exemplo, Cumulonimbus) e nuvens formadas por gelo (Altostratus), que causaram a neve na região Sul – durante os dias 27 a 30 de julho de 2021.

Figura 13: Deslocamento da nebulosidade causada por frente fria que atingiu a área de estudos em julho de 2021



Fonte: Imagem do satélite NOAA-20, sensor VIIRS; Elaboração da autora

As imagens geradas através do cálculo da temperatura superficial no inverno permitiram a extração dos valores dos pixels (em °C). Houve um aumento de 1°C na média de TST de 2018 a 2020. A Tabela 2 apresenta o resultado encontrado. Os dados obtidos variam pouco, apresentando médias acima de 50°C.

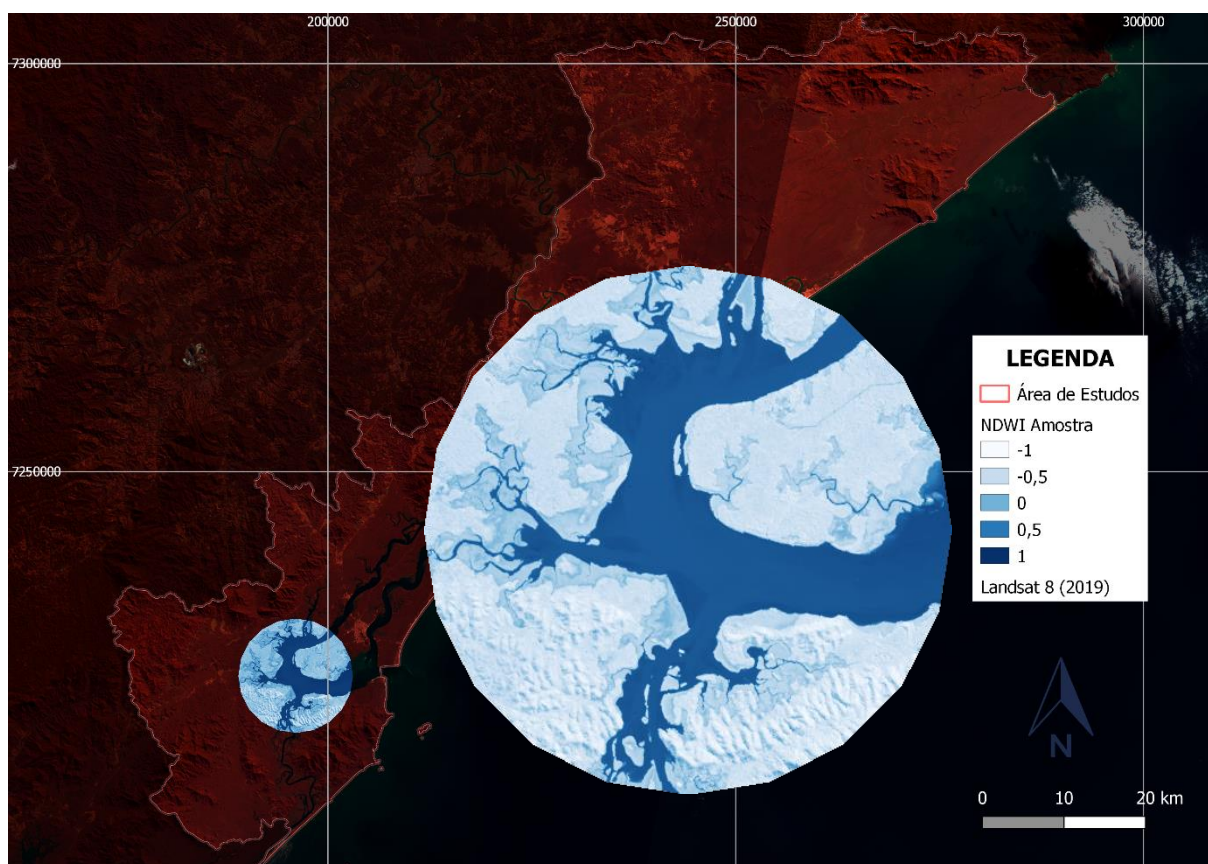
Tabela 2: Médias de temperatura superficial

Média (°C)	Data
55,54809	20/07/2018
56,51998	23/07/2019
56,50652	09/07/2020

Fonte: Landsat 8 (B10); Elaboração da autora.

Os manguezais apresentam temperatura superficial distinta do entorno. No ano de 2018, a média de TST de 55,54°C diferiu da área vegetada por mangue, que apresentou a média de 58,59°C.

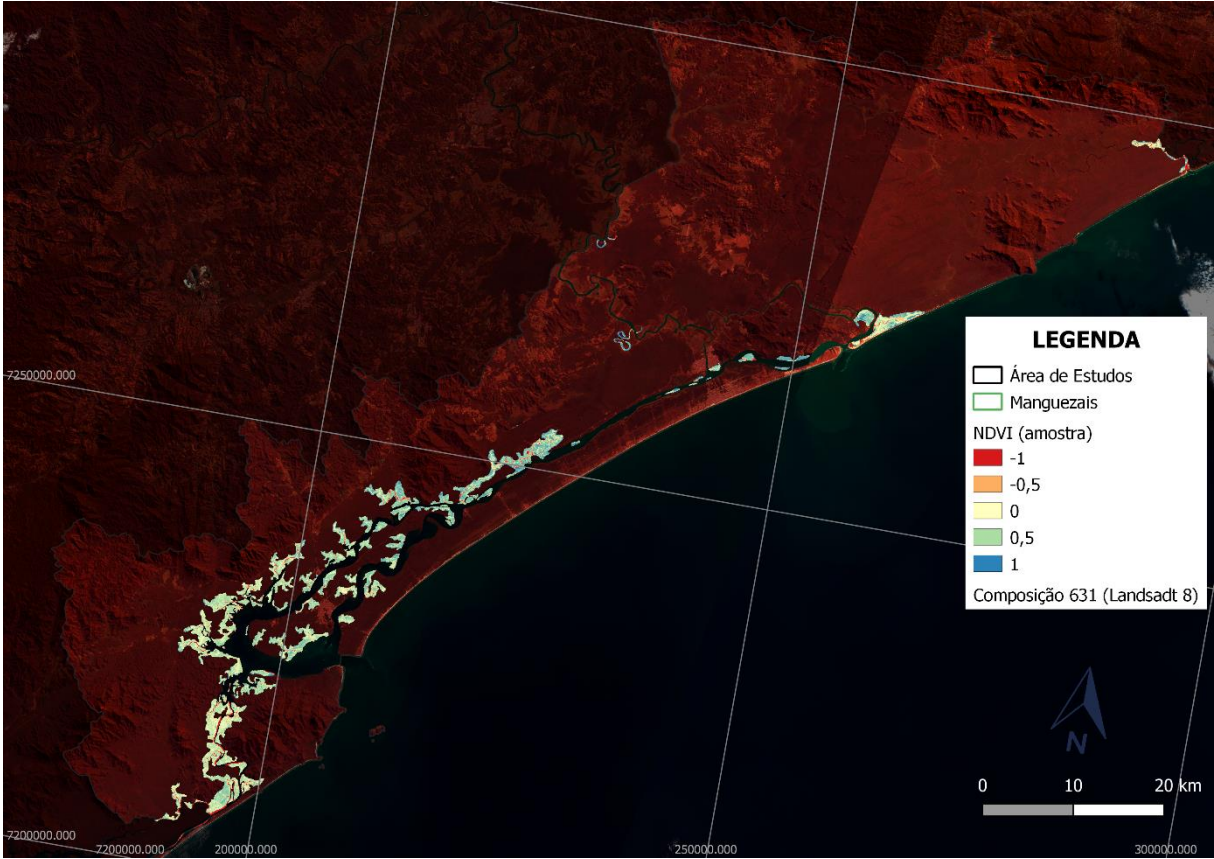
O NDWI permite acompanhar uma pequena variação da presença de água. De 2018 a 2019, o índice variou 0,34%; de 2019 a 2020, 0,05% apresentando uma redução da área de cobertura alagada. A Figura 14 é o mapa com a área amostral e os resultados obtidos.

Figura 14: Área amostral de extração do índice NDWI

Fonte: Elaboração da autora

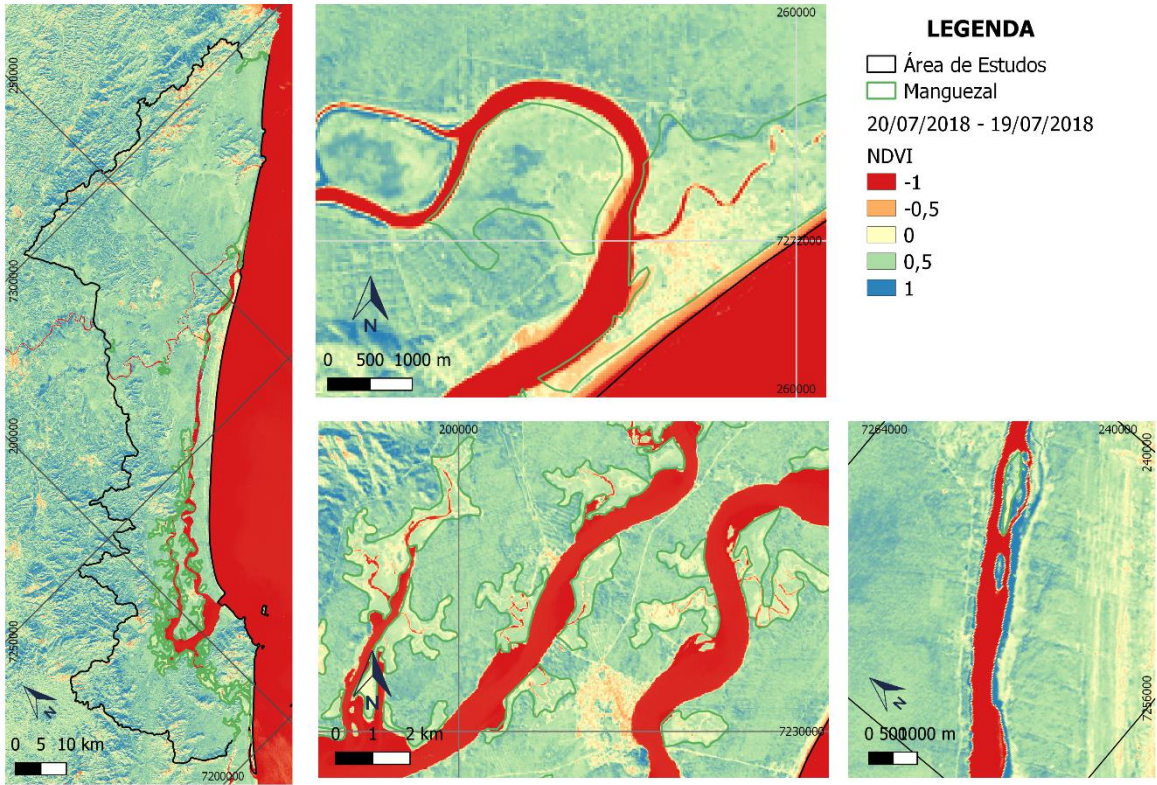
Os resultados do índice NDVI apresentam pouca variação durante o período, considerando apenas a área coberta pela vegetação de mangue. A Figura 15 contém o mapa da área do Manguezal considerada para a análise do NDVI. As Figuras 16 e 17 contém os mapas com os valores de 2018 e 2020. No manguezal ao norte da Ilha Comprida (próximo a 72.72000, 26.0000 UTM 23S) é possível visualizar um aumento de área de solo exposto; no ano de 2020 há mais sedimentos nas águas (na região das coordenadas 72.30000, 20.0000 UTM 23S); e há presença de macrófitas flutuantes no canal Valo Grande (mapa que abrange a área entre 726.4000 e 725.6000 UTM 23S).

Figura 2: Índice NDVI da área de Manguezal



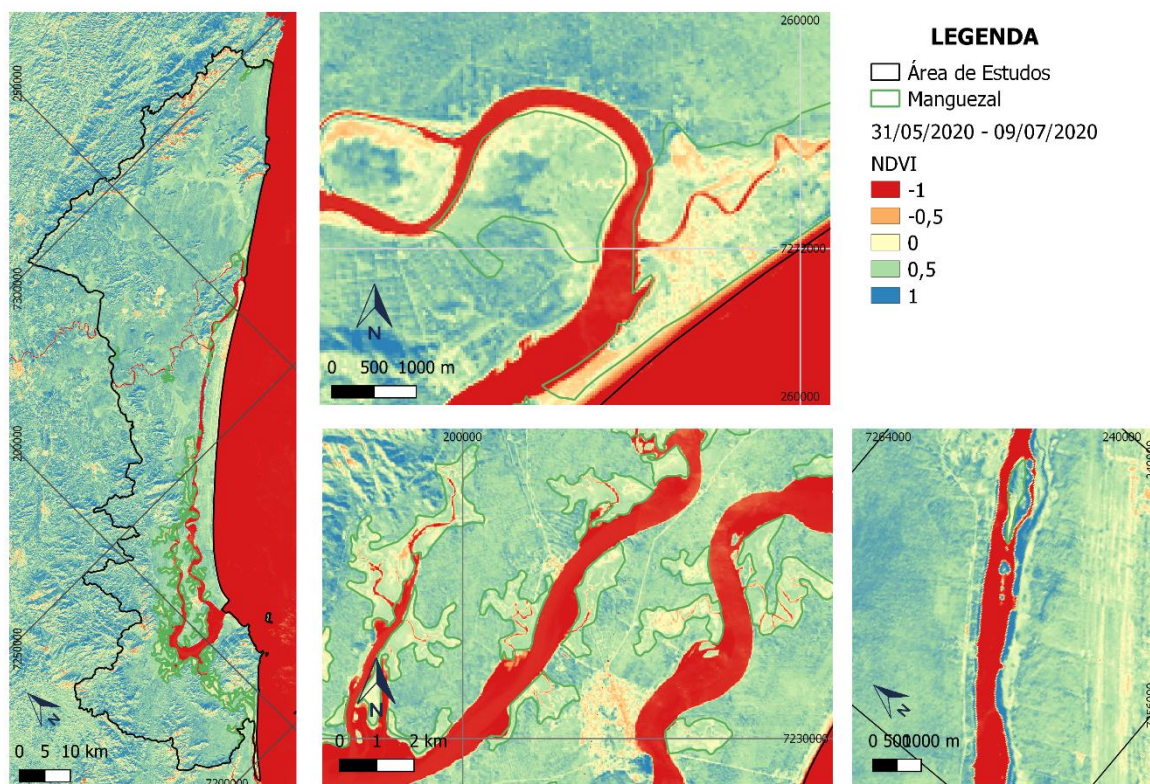
Fonte: Elaboração da autora

Figura 36: Índice de Vegetação Normalizada no ano de 2018



Fonte: Elaboração da autora

Figura 17: Índice de Vegetação Normalizada no ano de 2020



Fonte: Elaboração da autora

Macrófitas flutuantes são visíveis na composição 654. Conforme ilustra a Figura 18 a vegetação que afeta a entrada de oxigênio nas águas e indica a presença de poluentes apresenta coloração “verde limão” que contrasta com a vegetação de mangue (em “verde mais escuro”).

Figura 18: Macrófitas flutuantes no canal Valo Grande em composição 564

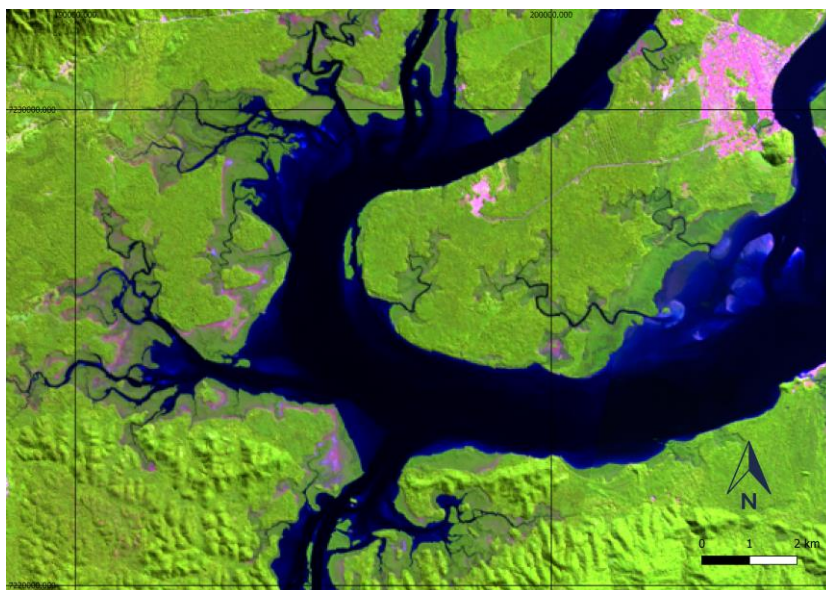


Fonte: Landsat 8 (OLI); Elaboração da autora

A composição 654 destaca o Manguezal por suas planícies alagadas e lamosas. A Figura 20 contém o mapa que evidencia o Manguezal (em verde escuro) ao sul da Ilha Comprida. A

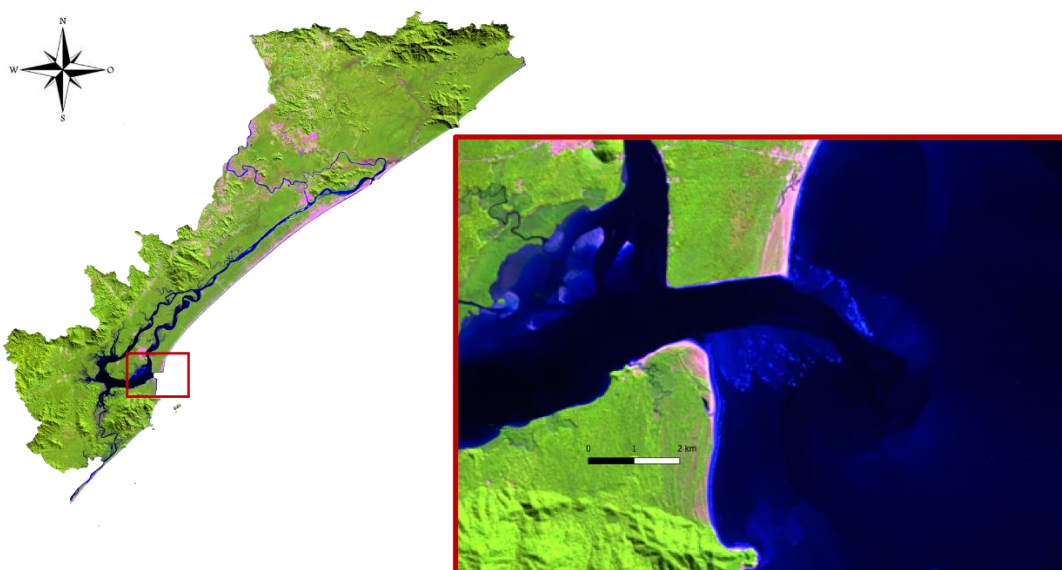
vegetação de Floresta Ombrófila apresenta um verde claro e textura rugosa. Os sedimentos em suspensão (azul claro) são destacados nas águas profundas. As áreas urbanas, vias de acesso e o solo exposto aparecem em rosa. A Figura 21 apresenta o mapa da área de estudos nesta composição, resultado da combinação entre as cores do Infravermelho Médio (B6), NIR (B5) e vermelho (B4).

Figura 20: Recorte da área de estudos em composição 654



Fonte: Elaboração da autora

Figura 21: Composição 654 resulta na visualização dos sedimentos em suspensão nas águas que deságuam no oceano ao sul do canal Valo Grande



Fonte: Elaboração da autora

É possível visualizar o processo de sedimentação que ocorre na área de estudos. A composição 654 destaca os sedimentos que são transportados pela água do canal Valo Grande ao oceano.

6 DISCUSSÃO

Os Sistemas de Informação Geográfica e suas Tecnologias de Informação Geográfica são possibilidades que contribuem à análise científica do espaço e do clima. As Tecnologias de Informação Geográfica – que contribuíram à análise espacial através do posterior desenvolvimento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) – surgiram como produtos da tradição geométrica ou espacial da geografia anglo-saxônica dos meados do século XX (FERREIRA, 2006). A análise espacial foi aprimorada pelo desenvolvimento das técnicas e tecnologias de processamento de dados geoespaciais e ampliada através da obtenção de informações por imagens de satélite (FERREIRA, 2006). A espacialização de informações geográficas por Sistemas de Informação Geográfica permite representar aspectos da realidade através de representações, como o mapa. O crescente avanço das geotecnologias tem possibilitado e estimulado a evolução do método convencional de se estudar e aprender Geografia (ALBUQUERQUE et al., 2012), utilizando para tal feito técnicas de geoprocessamento para manipular e sistematizar um conjunto de informações georreferenciadas, levando em consideração a atual facilidade em se conseguir mapas digitais interativos (SIG-WEB), imagens de satélites e outros dados via internet que abarcam os conteúdos do ambiente físico – como clima, biorregiões, vegetação, biodiversidade, espécies, solos, geologia, relevo e recursos hídricos, dentre outros (RIBEIRO, et al., 2021). O desenvolvimento das Geotecnologias trouxe uma série de avanços nas análises do espaço geográfico, pois a partir destas coletas de dados, a edição de mapas complexos e a matriz de informações espaciais tornaram-se possíveis.

O Sensoriamento Remoto permite a coleta de dados atmosféricos e da terra que são utilizados na geração de modelos atmosféricos – que contribuem com a previsão de eventos extremos e desastres ambientais; à meteorologia e à climatologia com a detecção de frentes frias e quentes, dados de temperatura superficial, precipitação, direção e sentido dos ventos, umidade, dentre outros fatores e fenômenos mensuráveis. Através da representação matricial ou Raster, cada camada de informação representa uma variável espacial, descrevendo aspectos da realidade de maneira conectada. A técnica de Map Overlay, com a sobreposição de dados, possibilita, também, uma visão analítica abrangente e correlata, porque gera uma síntese correlativa de situações e fenômenos do espaço.

As espécies de mangue não sobrevivem em baixas temperaturas médias. Atingindo seu sistema radicular e seu ciclo de reprodução, a temperatura afeta a dinâmica vital do ecossistema Manguezal. Assim, o monitoramento de frentes frias contribui à análise dos impactos das

mudanças climáticas sobre a reprodução da vida nos manguezais – ecossistema que depende de fatores específicos para ocorrer e se reproduzir.

A área de estudos é afetada por movimentos atmosféricos de larga escala, como a formação de anticiclones no Oceano Atlântico e frentes frias, que geram sistemas frontais. Como na dinâmica de formação do Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul, os anticiclones são formados a partir de movimentos circulares do ar em torno de um centro de baixa pressão, gerando fortes ventos e chuvas torrenciais. São originados nos oceanos e pertencem à família das perturbações tropicais que acompanham os ventos rotacionais e ascendentes (FIGUEIRÓ, 2016). A classificação das perturbações tropicais é realizada a partir do parâmetro da velocidade média de deslocamento do ar por minuto no centro da perturbação. Assim, o Sensoriamento Remoto permite o uso de imagens de satélite e dados para mensurar e acompanhar esses fenômenos de forma segura (FIGUEIRÓ, 2016). O ciclone é formado a partir das variações de pressão e temperatura superficial, onde o gradiente adiabático gera movimentações de parcelas de ar ascendentes e descendentes, em dinâmica circular. As chuvas torrenciais são provenientes da condensação da umidade, que, em condições de convecção, podem gerar nuvens de quilômetros de extensão – processo de expressiva intensidade nas regiões tropicais – processo que se intensifica através da variação da temperatura superficial – fluxos de calor sensível e latente. O ciclone é caracterizado pela transformação da energia calorífica em movimento circular ao redor de um centro de baixa pressão, em associação com a força de Coriolis e a força centrífuga da perturbação (fluxos sazonais):

Movimentos de ascendência e subsidência (fluxos verticais) fornecem a energia necessária ao ciclone, bem como facilitam e acentuam a transformação do calor em movimento. Quanto mais aquecidas as águas superficiais dos oceanos, maior será a potência dos ciclones. Essa condição leva a crer que eles sejam mais numerosos e mais fortes por ocasião da ocorrência do fenômeno El Niño. Eles são se formam, todavia, sob quaisquer condições térmicas, mas somente em condições de temperatura superiores a 27°C, a uma profundidade de vários metros (FIGUEIRÓ, 2016).

Um ciclone normalmente se desloca de leste a oeste, no fluxo dos ventos Alíseos, a uma velocidade média sobre o mar de aproximadamente 30 km/h. Quando um ciclone passa por uma superfície rugosa como a área continental ou sobre superfícies do mar mais frio, sua trajetória média toma uma aparência parabólica, dobrando-se para o sul, no hemisfério sul (FIGUEIRÓ, 2016). Durante seu deslocamento sobre o oceano, o nível do mar pode se elevar de 3 a 8 metros, o que ocasiona impactos consideráveis para as costas baixas – alterando os níveis de salinidade das águas dos manguezais e afetando a vegetação.

A dinâmica das chuvas e a variação da temperatura são consideravelmente influentes em relação à manutenção da vida do ecossistema manguezal. Fortes ventos, variações bruscas de temperatura, neve e o frio podem ferir a vegetação, aumentar a salinidade das águas, afetar

o desenvolvimento de espécies. Os fatores climáticos e ambientais são responsáveis pela ocorrência de manguezais – e por sua extinção.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, Aziz. **Os Domínios de Natureza do Brasil: Potencialidades Paisagísticas**. 7. ed. Brasil: Ateliê Editorial, 2012. 160 p.
- AGUIAR NETO, Antônio Borges de; GOMES, Diolande Ferreira; FREIRE, George Santander Sá. **Origem da Deposição da Matéria Orgânica em Sedimentos de Manguezal na Porção Nordeste da Baía de Todos os Santos, Bahia**. p. 7-17. Revista de Geologia, v. 25, n. 1, ago. 2012.
- ALBUQUERQUE, Antônia; FREITAS, Eduardo; FÉ, Marcelo Martins Moura; BARBOSA, Wesley. **A Proteção dos Ecossistemas de Manguezal e a Legislação Ambiental Brasileira**. p. 126-153. Geographia, Niterói, v. 33, n. 17, 2015.
- ALBUQUERQUE, Eder Mileno Silva de Paula Emanuel Lindemberg Silva. **Geografia física e geotecnologias: propostas de ensino-aprendizagem**. Porto Alegre: Fi, 2021. 171 p. ICMBIO (org.). Atlas dos Manguezais do Brasil. Brasília, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724: Informação e documentação - Trabalhos acadêmicos - Apresentação**. Rio de Janeiro, 2011.
- BANDEIRA, Ana Galdino; Silva Nascimento, Márcia. **Estudo Fitoquímico e Atividade Biológica de Conocarpus erectus L. (Mangue botão)**. 2003. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia de Produtos Bioativos, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.
- CARDOSO, Renata dos Santos; AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. **Características do Clima Urbano em Presidente Prudente/SP a Partir de Dados de Temperatura e Umidade Relativa do Ar e Técnicas de Sensoriamento Remoto**. p. 39-64. Revista do Departamento de Geografia. Presidente Prudente: USP, 2014.
- CARVALHO JUNIOR, Osmar Abílio de et al. **Mapeamento da Vegetação na Floresta Atlântica Usando o Classificador de Árvore de Decisão Para Integrar Dados de Sensoriamento Remoto e Modelagem Digital de Terreno**. p. 331-345. Revista Brasileira de Geofísica, v. 26, n. 3, 7 maio 2008.
- CARVALHO-NETA, Raimunda Nonata Fortes et al. **Impactos Causados por Tensores de Origem Antrópica no Manguezal do Araçagy - Ilha de São Luís- MA: impactos causados por tensores de origem antrópica no manguezal do araçagy - ilha de são luís- MA**. p. 1-3. Caxambu, VIII CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8., 2007.
- COLTRI, Priscila Pereira. **Influência do Uso e Cobertura do Solo no Clima de Piracicaba, São Paulo: análise de séries históricas, ilhas de calor e técnicas de sensoriamento remoto**. 2006. 167 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- CORREIA, Monica Dorigo; SOVIERZOSKI, Hilda Helena. **Ecossistemas Marinhos: recifes, praias e manguezais**. Maceió: Ufal, 2005. 55 p. Disponível em: <http://www.usinaciencia.ufal.br/multimedia/livros-digitais-cadernos->

tematicos/Ecossistemas_Marinhos_recifes_praias_e_manguezais.pdf. Acesso em: 10 jan. 2021.

CUNHA-LIGNON, Marília; PALAMAR MENGHINI, Ricardo; MAIA SANTOS, Luciana Cavalcanti; NIEMEYER-DINÓLA, Camila; SCHAEFFER-NOVELLI, Yara. **Estudos de Caso nos Manguezais do Estado de São Paulo (Brasil):** Aplicação de Ferramentas com Diferentes Escalas Espaço-Temporais. p. 79-91. Revista de Gestão Costeira Integrada - Journal of Integrated Coastal Zone Management, vol. 9, núm. 1, 2009.

CUNHA-LIGNON, Marília. **Dinâmica do Manguezal no Sistema de Cananéia-Iguape, Estado de São Paulo - Brasil.** 2001. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

DANELICHEN, Victor Hugo de Moraes et al. **Estimativas de índice de área foliar de uma pastagem por sensoriamento remoto no Pantanal Mato-grossense.** 373-384 p. Ciência e Natura, v. 36, n. 3. Universidade Federal de Santa Maria, 3 dez. 2014.

Determinação da Temperatura da Superfície Terrestre, Usando Imagens Landsat 8. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=ZgN4wjFNVq0&t=98s>>. Acesso em: 19 ago. 2022.

Divisão de Geração de Imagem: Catálogo de Imagens. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>>.

FERREIRA, Tiago Osório. **Solos de Mangue do Rio Crumahú (Guarujá-SP): pedologia e contaminação por esgoto doméstico.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 113 p., Universidade de São Paulo, 2002.

FREITAS, A.C.; CARDOSO, I.S.; JOÃO, M.C.A.; KRIEGLER, N. & PINHEIRO, M.A.A. 2018. **Lendas, misticismo e crendices populares sobre manguezais.** p. 144-165. Pinheiro, M.A.A. & Talamoni, A.C.B. (Org.). Educação Ambiental sobre Manguezais. São Vicente: UNESP, Instituto de Biociências, Câmpus do Litoral Paulista, 2018.

FROIDEFOND, J. M.; SORIANO-SIERRA E. J. **Sensoriamento Remoto Sobre Ecossistemas de Manguezal da Ilha da Santa Catatina, Brasil.** VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Salvador, p. 157-163, abr. 1996.

FRUEHAUF, Sandra Pavan. **Rhizophora mangle (Mangue vermelho): em áreas contaminadas de manguezal na baixada santista.** 2005. 223 p. Tese (Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

GELEDÉS INSTITUTO DA MULHER NEGRA (Brasil) (org.). **Candomblé Ketu.** Portal Geledés. p. 1-3. out. 2009. Disponível em: <https://www.geledes.org.br/candomble-ketu/>. Acesso em: 05 mar. 2021.

INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS. Inventário Florestal (1:50000), 1 jan. 2001.

JÚNIOR, Valdomiro Severino de Souza. **Mineralogia de Solos e Ambientes de Sedimentação em Manguezais do Estado de São Paulo.** 1982. 128 p. Tese, Meteorologia

Agrícola. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". São Paulo, 1982.

KAMPEL, Milton; AMARAL, Silvana; SOARES, Mario Luiz Gomes. **Imagens CCD/CBERS e TM/Landsat para análise multi-temporal de manguezais no Nordeste brasileiro**: Um estudo no litoral do Estado do Ceará. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. p. 979-986. Goiânia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005.

LCRH, Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos. **Boletim de Monitoramento Climático Mensal Para Uberlândia**. Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, v. 3, n. 12. Uberlândia: dez. 2020. Disponível em: <https://lcrhufu.wixsite.com/lcrh>.

LIMA, Nádia Gilma Beserra de. **Análise Microclimática dos Manguezais da Barra do Ribeira-Iguape/SP**. 203 p. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

LIMA, Nádia Gilma Beserra de. **Interação dos Atributos Climáticos nos Manguezais do Litoral Sul de São Paulo e Sua Relação com os Controles Climáticos**. 314 p. Tese (Doutorado em Geografia). Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

LUTGENS, Frederick; TARBUCK, Edward. Os Senhores do Clima: Como o homem está alterando as condições climáticas e o que isso significa para o futuro do planeta. p. 166-167. Record, 2005.

MACHADO, I. C., et al. **Estudo da Ocorrência dos Metais Pesados Pb, Cd, Hg, Cu e Zn na Ostra de Mangue Crassostrea brasiliana do Estuário de Cananéia-SP**. Brasil Rev. Inst. Adolfo Lutz, v.61, n. 1, p. 126-153, 2002.

MARENGO et al., **Revista Brasileira de Geografia Física** v.13, n.3 (2020) 983-993 p.

MENEZES, Rodrigo da Silva. **Uso de Geoprocessamento Para Identificação de Manguezais na Planície Costeira do Município de Acaraju/SE**. 2005. p. 1-7. II SEMINÁRIO TEMÁTICO LEVANTAMENTO QUANTITATIVO DO MANGUEZAL DE SERGIPE UTILIZAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO NA GESTÃO AMBIENTAL, 2., Piracicaba, Prodepa/UFS, 2007.

MORAES, Iranilda Silva. **Quantificação e Avaliação de Abertura no Dossel em Áreas de Concessões Florestais**: Mamuru-Arapiuns-PA. 2014. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

OLIVEIRA, Mara Lucia Jacinto; VIDAL-TORRADO, Pablo; OTERO, Xosé Luis; FERREIRA, José Roberto. **Mercúrio Total em Solos de Manguezais da Baixada Santista e Ilha do Cardoso, Estado de São Paulo**. p. 519-524. Quim. Nova, Piracicaba, v. 30, n. 3, jan. 2007.

PIRES, Érika Gonçalves; FERREIRA JUNIOR, Laerte Guimarães. **Mapeamento da Temperatura de Superfície a Partir de Imagens Termais dos Satélites**. p. 7421-7428. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. João Pessoa: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2015.

SOARES, Mário Luiz Gomes; CHAVES, Filipe de Oliveira; CORRÊA, Fábio Moreira; SILVA JÚNIOR, Carlos Milton Gonçalves da. **Diversidade Estrutural de Bosques de Mangue e sua Relação com Distúrbios de Origem Antrópica: o caso da Baía de Guanabara.** p. 101-116. Anuário do Instituto de Geociências, Cidade Universitária, v. 26, 2003.

SOUZA-JÚNIOR, Valdomiro Severino de; VIDAL-TORRADO, Pablo; TESSLER, Moysés Gonzalez; PESSENDA, Luiz Carlos Ruiz; FERREIRA, Tiago Osório; OTERO, Xose Luiz; MACÍAS, Felipe. **Evolução Quaternária, Distribuição de Partículas nos Solos e Ambientes de Sedimentação em Manguezais do Estado de São Paulo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo: Gênese, Morfologia e Classificação do Solo. p. 753-769. v. 31, n. 5, 2007.

TESSLER, Moysés Gonzalez; FURTADO, Valdenir Veronese. **Dinâmica de Sedimentação das Feições de Assoreamento da Região Lagunar Cananéia-Iguape - Estado de São Paulo.** Bolm Instituto Oceanográfico, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 117-124, 1983.

TESSLER, Moysés Gonzalez. **Sedimentação Atual na Região Lagunar de Cananéia - Iguape, Volume I.** 1982. 121 p. Tese (Mestrado). Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.

TESSLER, Moysés Gonzalez. **Sedimentação Atual na Região Lagunar de Cananéia - Iguape, Volume II.** 1982. 60 p. Tese (Mestrado). Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.

USGS - U.S. GEOLOGICAL SURVEY. EarthExplorer - Home. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>.

YANAGI, Sílvia de Nazaré Monteiro. **Albedo de Uma Floresta Tropical Amazônica: Medições de Campo, Sensoriamento Remoto, Modelagem e Sua Influência no Clima Regional.** 1982. 128 p. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1982.

APÊNDICE A – A cultura popular ligada ao Manguezal

No Pará, na região conhecida como Salgado, as entidades protetoras dos pescadores são conhecidas por Matinta-Pereira, Boiúna e Mãe-do-Caranguejo, comparadas à figura do Curupira. Quando essas entidades se fazem presentes, geram nas pessoas uma sensação de mal-estar físico e fazem com que aqueles que “mexerem” com o mangue percam o caminho de volta para casa.

Existe uma divindade, a orixá Nanã, personificada por uma mulher idosa, uma avó e poderosa feiticeira. Vinculada à fertilidade das espécies animais que vivem associadas ao manguezal, é a senhora da lama e das terras úmidas. É ela quem protege os caranguejos no período da reprodução – estação conhecida popularmente como sauatá, andada ou carnaval –, época em que as fêmeas, chamadas popularmente de candurua, se acasalam com os machos, deslocando-se lentamente pelo substrato, em grandes grupos, ficando assim mais vulneráveis à captura pelo ser humano (SCHAEFFER-NOVELLI, 2018). Existe ainda Oxumaré, divindade protetora dos ambientes onde ocorre mistura das águas doce – cachoeiras ou cascatas – e salgada, que chega com as marés (SCHAEFFER-NOVELLI, 2018). Divindade presente no Candomblé²⁰ e sincretizado com o santo católico São Bartolomeu (que possui o Parque de São Bartolomeu em sua homenagem, junto a uma área de manguezal na Enseada dos Tainheiros, em Salvador).

20 No início do século XIX, os povos africanos eram separados por confrarias da Igreja Católica na região de Salvador, Bahia. O povo Yorubá – nomeados como Nagôs –, com sua fé semelhante às outras nações do Candomblé, fundou a religião que teve início em Salvador, Bahia. De acordo com as lendas contadas pelos mais velhos, algumas princesas vindas de Oyó e Ketu na condição de escravas, fundaram um terreiro num engenho de cana. Posteriormente, passaram a reunir-se num local denominado Barroquinha, onde fundaram uma comunidade de Jeje-Nagô pretextando a construção e manutenção da primitiva Capela da Confraria de Nossa Senhora da Barroquinha, atual Igreja de Nossa Senhora da Barroquinha (GELEDÉS INSTITUTO DA MULHER NEGRA, 2009).

APÊNDICE B – Tipos de Manguezais

O Manguezal possui distintas variações, de ocorrência determinada por fatores bióticos e abióticos apresentados anteriormente, que determinam o surgimento de diversas espécies – denominadas como mangue. Dentre os tipos de manguezais destacam-se o Mangue Vermelho, Preto, Branco, Botão e os Apicuns – vegetação característica das planícies hipersalinas, ambiente de transição entre o ecossistema e os biomas terrestres.

Mangue Vermelho

As espécies típicas deste tipo de Manguezal são *Rhizophora mangle*, *Rhizophora racemosa* e *Rhizophora harrisonii* (MUSEU DO UNA, 2021). Identificável por sua vegetação característica, formada por árvores e arbustos com projetadas em forma de arco sobre o solo em busca de estabilidade e nutrientes – raízes-escora ou rizóforos e adventícias. Os troncos apresentam coloração avermelhada em seu interior. Somente a espécie *Rhizophora mangle* é encontrada do Oiapoque à Santa Catarina, sendo as demais restritas à região norte (SCHAEFFER-NOVELLI, 1999). Geralmente ocorre em áreas em contato com o mar, ao longo de canais, na foz de alguns rios e em bacias interiores onde a salinidade não é muito alta, em áreas permanentemente alagadas.

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 *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 (LIMA, 2014 apud SCHAEFFER-NOVELLI, 1991).

Mangue Preto

O Mangue Preto – conhecido, também, como Siriúba ou Sereíba – é caracterizado pela presença do gênero *Avicennia* e é composto pelas espécies *Avicennia germinans* e *Avicennia shaueriana*, identificáveis por suas raízes de crescimento horizontal que possuem pneumatóforos – estruturas que crescem verticalmente, buscando o ar – componentes do sistema de respiração destas espécies. Os troncos apresentam tonalidade castanho-clara externamente e internamente, são amarelados. As folhas, com faces esbranquiçadas, guardam frutos assimétricos (MUSEU DO UNA, 2021). A *Avicennia* é o gênero mais tolerante ao sal, conseguindo sobreviver em locais onde as águas intersticiais chegam a conter a 65 a 90 partes de sal por 1000 partes de água (LIMA, 2009).

Mangue Branco

O Mangue Branco, conhecido popularmente como tinteira ou manso, caracteriza as áreas de ocorrência espécie *Laguncularia racemosa*. Possui glândulas chamadas de nectárias junto à base de cada folha e tem raízes horizontais e radiais com pneumatóforos – (LIMA, 2009). Se adaptam bem a águas de salinidade intermediária e tem área de dispersão de 5%. As árvores frutificam com abundância e os frutos realçam mais que a folhagem (MUSEU DO UNA, 2021). É encontrado em canais com penetração de águas salinas, em praias arenosas em áreas de baixa declividade, em costas de baixa energia (LIMA, 2014).

O sistema radicular desenvolve-se a partir das raízes radiais subterrâneas, de onde partem ramificações com geotropismo negativo - os pneumatóforos, que possuem extremidade bifurcada e arredondada. Esse sistema é semelhante ao do gênero *Avicennia*, porém menos desenvolvido. É uma árvore cujas folhas têm pecíolo vermelho, com duas glândulas em sua parte superior, junto à lâmina foliar. O porte é arbustivo ou arbóreo, com copa arredondada, variando de 2 a 8 metros de altura. A reprodução se dá por viviparidade. O gênero *Laguncularia* apresenta tolerância intermediária à salinidade, quando comparado aos dois gêneros descritos anteriormente (LIMA, 2014 apud SCHAEFFER-NOVELLI, 1991).

Mangue Botão

O Mangue-de-Botão apresenta características distintas das demais espécies. De ocorrência em áreas de transição entre a terra firme, apresentam troncos de cor avermelhada. Dois gêneros desta família possuem espécies que ocorrem nos manguezais brasileiros, *Laguncularia racemosa* e *Conocarpus erectus* L. – de menor ocorrência, esta espécie é utilizada para usos medicinais, segundo a etnofarmacologia (divisão da Etnobiologia, disciplina do estudo de usos medicinais populares de plantas e animais). A madeira é explorada para produção de móveis, lenha e carvão, além de usos curativos (BANDEIRA, 2003).

O gênero *Conocarpus*, conhecido popularmente por mangue botão, é representado pela espécie *Conocarpus erectus* L. [...] Corresponde a uma árvore de pequena estatura, atingindo no máximo 4 m de altura. As folhas são alternadas, possuindo pecíolos curtos e alados. O sistema radicular não é adaptado à vida em terrenos alagados e salgados. Geralmente, as plantas crescem em locais somente atingidos por preamares excepcionais - zonas de transição entre a terra firme (LIMA, 2014 apud SCHAEFFER-NOVELLI, 1991).

Apicum

As planícies hipersalinas, conhecidas como apicuns, são componentes do ecossistema Manguezal. Se localizam em áreas contíguas aos Mangues (vegetação) e são classificadas como zonas de transição entre o Manguezal e seu entorno (CORREIA; SOVIERZOSKI, 2005).

Caracterizados pelo solo arenoso – possuem maior volume de areia nas camadas inferiores - e esparsa vegetação herbácea. Os apicuns são originários do processo de assoreamento do solo dos manguezais – que superficialmente são majoritariamente compostos por substratos provenientes da deposição de matéria orgânica.

APÊNDICE C – Ameaças aos Manguezais

Um furacão é uma máquina de calor abastecida pelo calor latente liberado quando imensas quantidades de vapor de água se condensam. Para botar essa máquina em funcionamento é preciso uma grande quantidade de ar úmido e quente e um suprimento contínuo é necessário para mantê-la em atividade (LUTGENS & TARBUCK, 2005).

As ameaças ao desenvolvimento e à regeneração dos incluem atividades exploratórias não-sustentáveis dos recursos do ecossistema, poluição dos solos, ar e águas, dentre outras práticas degradantes. A aquicultura²¹, principalmente a carcinicultura²², são práticas presentes no Sistema Costeiro Cananéia-Iguape, e são dois fatores de alterações nas dinâmicas tróficas do ecossistema (LIMA, 2014). A carcinicultura provoca o deslocamento e a exclusão de comunidades de seus territórios tradicionais de pesca e vida (PRATES; FUMI, 2018) afeta os Manguezais com a construção de tanques, alterando o fluxo hídrico e perturbando o equilíbrio hidrológico das áreas (PRATES; FUMI, 2018). Os danos aos manguezais decorrem, ainda, da poluição da água por derramamentos químicos, pela introdução de agentes patogênicos e parasitas, pelo aumento da concorrência entre espécies e por alterações genéticas – responsáveis pelo empobrecimento genético das espécies nativas, fato tão ou mais preocupante do que a extinção total dessa espécie no ecossistema (FIGUEIRÓ, 2015, p. 127), pois a erosão genética vulnerabiliza a espécie e a coloca mais próxima de sua extinção:

De todos os impactos ambientais antrópicos que ameaçam a preservação da biodiversidade no mundo atual, a introdução de espécies exóticas é considerada o segundo mais grave, atrás apenas da perda de habitat. Estima-se que, desde que se intensificaram as grandes navegações, no século XVII, a introdução de espécies exóticas tenha sido responsável por 40% das extinções de espécies conhecidas (FIGUEIRÓ, 2015, p. 127).

As práticas exploratórias dos recursos naturais dos manguezais podem ocasionar em diversas anomalias na dinâmica do ecossistema. Dentre as formas de degradação mais expressivas, presentes no Sistema Costeiro Cananéia-Iguape, a aquicultura e a carcinicultura destacam-se por seu potencial de poluição, alteração do equilíbrio hídrico do ecossistema, aumento da sedimentação, erosão e assoreamento dos solos e da linha de costa (PRATES; FUMI, 2018), além de leitos e margens de cursos d'água. A exploração da madeira para a produção de móveis também é um fator antrópico significativo em relação à degradação da vegetação, pois a supressão vegetal e o transporte deste recurso ocasionam danos graves à

21 Aquacultura ou aquicultura é o ramo da Zootecnia que estuda a produção de organismos aquáticos, como peixes, moluscos, crustáceos, anfíbios, répteis e plantas aquáticas para consumo.

22 Cultivo de camarões.

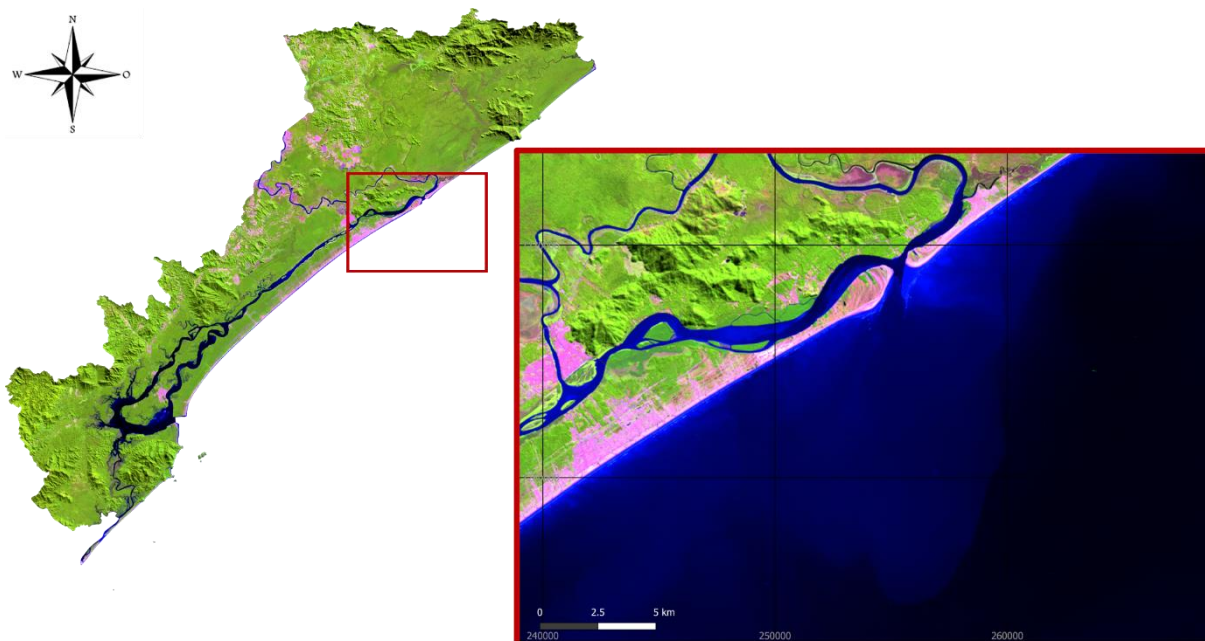
regeneração do ecossistema, impedindo ou dificultando a reprodução de espécies arbóreas e herbáceas e afetando a fauna com a perda de habitat. Apesar da legislação existente, a extração de madeira não observa os níveis ou técnicas sustentáveis de extração e raramente conta com planos de manejo florestal (PRATES; FUMI, 2018).

A fauna é diretamente afetada por mudanças no ambiente e os fatores antrópicos podem causar impactos significativos na dinâmica de sua dinâmica vital. A pesca exploratória ameaça espécie típica do manguezal, o caranguejo-uçá, incluído na lista de espécies sobre-exploradas e o guaiamum, espécie considerada criticamente ameaçada pela Lista de Espécies Ameaçadas do Brasil (Portaria MMA 445/2014). Esses crustáceos cumprem papel fundamental nas funções dos manguezais; seu esgotamento afeta o equilíbrio de nutrientes e, consequentemente, o número e os tipos de espécies capazes de prosperar nesse ecossistema (PRATES; FUMI, 2018).

As instalações industriais no entorno do ecossistema são responsáveis, em nível local e regional, pelo aumento da poluição do ar – como o spray marinho²³ – e das águas nas áreas costeiras – fato observado na região da área de estudos. As instalações urbanas industriais e turísticas também geram desmatamento, aterramento de áreas de manguezal, erosão, sedimentação, eutrofização e mudanças imprevisíveis nos regimes hidrológicos dos ambientes de manguezal (PRATES; FUMI, 2018). Estima-se que os manguezais estão sendo destruídos a taxas entre três e cinco vezes maiores que as médias estimadas para outras florestas, de modo que mais de 1/4 da cobertura de mangue nativa já foi suprimida e degradada (ALMEIDA; JUNIOR, 2018 apud BOCHOVE et al., 2014). Alterações no entorno causam, por exemplo, o chamado "Efeito de Borda", situação em que a vegetação possui dificuldades de regeneração por estar submetida à influência de fatores externos, causando o aparecimento de espécies competitivas – como cipós – e afetando a dinâmica regenerativa no interior do ecossistema.

²³ Pesquisas apontam a capacidade de interceptação das copas de árvores de mangue sobre a ação de fortes ventos e à absorção de gases poluentes como o Spray Marinho (LIMA, 2014 apud Takle et al., 2006, Wolanki, 2006), formado por poluentes atmosféricos provenientes de resíduos industriais que geram alterações na salinidade das águas, afetando principalmente regiões costeiras.

Sedimentos carregados pelo canal artificial de Valo Grande deságuam no oceano ao norte da Ilha Comprida, SP



Fonte: Landsat 8 (OLI); elaboração da autora

Nas escalas regional e global, as mudanças climáticas são responsáveis por alterar fatores essenciais à ocorrência e desenvolvimento dos manguezais. através da disponibilidade hídrica e de radiação solar, por exemplo, e determinante em relação à sua área de abrangência e sobrevivência.

Para Duke et al. (2007), as áreas de Manguezais são cada vez menores e/ou fragmentadas, contribuindo para a perda de seus serviços e benefícios ao longo do tempo. Essas modificações alteram a cobertura vegetal, que por sua vez, influenciam todo o ecossistema ali instalado, inclusive as interações microclimáticas (GALVANI; LIMA, 2010; MEDELLU et al., 2012, LIMA et al., 2013). Diante disso, o microclima pode ser um indicador de que alterações estão ocorrendo na estrutura do Manguezal, em sua borda e no interior de seu ecossistema (LIMA, 2014).

Técnicas de restauração do ecossistema incluem o plantio de espécies nativas, a recuperação de cursos e corpos d'água e a fiscalização ambiental (ALMEIDA; JUNIOR, 2018 apud SMA, 2014). Ao contrário do simples plantio, técnicas de restauração ecológica incluem intervenções humanas que podem desencadear, facilitar ou acelerar o processo natural de sucessão ecológica.

O ecossistema possui papel importante na manutenção da vida de diversas espécies. Entre as espécies ameaçadas de extinção (espécies classificadas segundo o IBGE como criticamente em perigo de extinção, em perigo e vulneráveis) da região de aproximadamente 100 km do entorno da Barra do Ribeira, estão incluídas as aves *Mysmotherula minor* e *Culicivora caudacuta* (IGBE, 2005) os insetos, abrangendo a espécies da Ordem Collembola, família Arrhopalitidae - *Arrhopalites amorimi*, *Arrhopalites gnaspinus*, *Arrhopalites lawrencei*,

Arrhopalites wallacei - e da Ordem Lepidoptera (borboletas) espécies da família Nymphalidae - *Actinote quadra*, *Actinote zikani*, *Dasyphthalma geraensis*, *Doxocopa zalmunna*, *Orobassolis ornamentalis*, *Pampasatyrus gyrtone*, *Polygrapha suprema*, *Pseudocercyonis glaucope boenninghausi* e *Tithorea harmonia caissara* além da libélula (da Ordem Odonata) *Minagrion mecistogastrum* (IBGE, 2008) os invertebrados aquáticos e peixes, *Corydoras macropterus* (da ordem dos Siluriformes), *Campellolebias dorsimaculatus* (da Ordem Cyprinodontiformes), *Mimagoniates lateralis* e *Mimagoniates rheocharis* (da Ordem Characiformes), *Macrobrachium carcinus* (conhecida popularmente como Pitu, da Ordem Decapoda), *Homodiaetus graciosa* e *Listrura campos* (da Ordem Siluriformes) e os mamíferos, morcegos da Ordem Chiroptera, *Lasirus ebenus* e *Myotis ruber* (IGBE, 2009). As previsões indicam a possibilidade de que a mudança do clima produza efeitos sobre as espécies dos manguezais no futuro.

O aumento na frequência das tempestades e as mudanças nas correntes, somadas ao aumento no nível do mar, podem levar a um recuo dos manguezais à medida que as espécies migrem terra adentro em busca de condições ambientais ideais. Diante da impossibilidade de ocupar esses espaços, devido à existência de obstáculos físicos construídos, prevê-se uma extensa perda de habitat e de serviços de proteção e regulação fornecidos pelos manguezais aos ecossistemas de terra firme e à infraestrutura costeira, reduzindo, assim, sua resiliência a impactos adicionais induzidos pela mudança do clima (PRATES; FUMI, 2018). Técnicas de conservação adotadas atualmente são essenciais à preservação dos Manguezais.