

Rafaela de Albuquerque Ribeiro

**QUANTIFICAÇÃO DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA  
LÍQUIDA UTILIZANDO O ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR E  
FLUXO DE CO<sub>2</sub> NO MANGUEZAL DO ITACORUBI,  
FLORIANÓPOLIS (SC)**

Trabalho de Conclusão de curso  
submetido(a) ao Curso de Ciências  
Biológicas da Universidade Federal de  
Santa Catarina para a obtenção do  
Grau de Bacharel em Ciências  
Biológicas

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto  
Pagliosa Alves

Coorientador: Dr. André Scarlate  
Rovai

Florianópolis  
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária  
da UFSC.

Ribeiro, Rafaela de Albuquerque

Quantificação da produtividade primária líquida utilizando o Índice de Área Foliar e o fluxo de CO<sub>2</sub> no manguezal do Itacorubi, Florianópolis (SC) / Rafaela de Albuquerque Ribeiro ; orientador, Paulo Roberto Pagliosa Alves ; coorientador, André Scarlate Rovai. - Florianópolis, SC, 2017.

57 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas. Graduação em Ciências Biológicas.

Inclui referências

1. Ciências Biológicas. 2. Ecologia. 3. Manguezal. 4. Fotossíntese. 5. Índice de Área Foliar. I. Alves, Paulo Roberto Pagliosa . II. Rovai, André Scarlate . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Ciências Biológicas. IV. Título.

Rafaela de Albuquerque Ribeiro

**QUANTIFICAÇÃO DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA  
LÍQUIDA UTILIZANDO O ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR E  
FLUXO DE CO<sub>2</sub> NO MANGUEZAL DO ITACORUBI,  
FLORIANÓPOLIS (SC)**

Este (a) Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado(a) adequado(a) para obtenção do Título de Bacharel em Ciências Biológicas, e aprovado(a) em sua forma final pelo Curso de Ciências Biológicas

Florianópolis, 14 de fevereiro de 2017.

---

Prof. Dr. Carlos Roberto Zanetti  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Paulo Roberto Pagliosa Alves  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Dr. José Bonomi Barufi  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Dr. Paulo Antunes Horta Junior  
Universidade Federal de Santa Catarina



## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer Floripa, por finalmente ter cooperado com o tempo pro andamento dos campos.

Dito isso, é preciso parar e tentar formular um texto de agradecimento digno para os meus pais. No entanto, eu ser péssima com palavras, somado a tudo o que eles já fizeram e continuam fazendo por mim e para mim me daria tantas variáveis diferentes que nem um *for* no R pra dar conta de tudo isso. Sendo assim, acho que uma simples reflexão do quanto sou grata e ciente de que nunca estaria aqui, agora, sentada (com uma cerveja gelada do lado), escrevendo as últimas palavras da minha graduação se não fosse pelo apoio incondicional deles a todas as minhas decisões. Então: obrigada por tudo, o amor que sinto por vocês não cabe nas páginas desse TCC.

Em seguida, gostaria de agradecer a todos do NEMAR por toda ajuda em campo e fora dele: Wilson, Ricardo, Kalina, Ale, Paulo, André, Paulo Manso e, principalmente, Amanda, que mesmo sendo assaltada continuou firme e forte comigo (obrigada e desculpa pela milésima vez). À Bruna e à Mai por caírem na cilada de fazer campo em pleno janeiro também, obrigada!

Agradeço também a todo o pessoal do LAFIC, por terem me aguentado tantas vezes ao longo desse ano. Mas, especialmente ao Dudu, por toda paciência em ter me ajudado nas minhas tantas angústias com relação ao TCC, inclusive, obrigada pela sua engenhosidade com as milhares de “enjambrações”.

Aos quiridus da 11.1 e agregadx um salve mais do que especial. Não poderia deixar de agradecer pela parceria em todos esses anos. De tantas festas de gala, horas felizes, escritórios, containers e engarrafamentos que passamos por essa vida. À Atlética, que sempre terá meu carinho e que me aproximou de tanta gente maravilhosa, mas que me fez enjoar de bolinhas de queijo. Ao interbio (aaah o interbio) com todo seu chorume e tinta roxa. Foram tantos anos, tantas histórias, tantos momentos, que fica difícil de colocar tudo no papel.

Por último, obrigada ao Paulo, por quebrar a cabeça comigo e me ajudar a fazer esse TCC finalmente sair do papel.

E obrigada ao Montanha, por se empenhar no melhor presente de TCC que alguém poderia ganhar.



“No fim tudo dá certo, e se não deu certo é porque  
ainda não chegou ao fim.”

(Fernando Sabino)





## RESUMO

O desenvolvimento e a expansão das florestas de mangue dependem tanto de fatores ambientais locais e regionais quanto das variáveis climáticas às quais estão sujeitas. Precipitação, amplitude térmica, potencial de evapotranspiração e disponibilidade de nutrientes são determinantes para as altas taxas de produtividade primária, capacidade de fixação, decomposição e alocação do carbono atmosférico, as quais são características que classificam os manguezais como o segundo ecossistema mais produtivo. A quantificação da produtividade primária líquida (PPL) dos manguezais, portanto, pode analisar o quanto o ecossistema está contribuindo para o balanço climático e fornecer respaldo para esforços mitigadores. Diferentes metodologias foram descritas, porém, a mais comumente utilizada é a coleta de serapilheira, um processo trabalhoso, demorado e que nem sempre fornece valores representativos. Nesse contexto, o presente trabalho testou uma metodologia alternativa, a qual consiste em quantificar a PPL a partir do fluxo de CO<sub>2</sub>, do índice de área foliar (IAF) e da atenuação de luz pelo dossel. Em paralelo, a PPL foi calculada também a partir de dados gerados por sensoriamento remoto. O presente estudo foi desenvolvido no manguezal do Itacorubi, na ilha de Santa Catarina e comparou os resultados obtidos com as taxas de PPL geradas a partir da serapilheira em outros manguezais do sul do Brasil. A PPL obtida a partir da metodologia testada foi em média  $9,7 \pm 1,5$  ton ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, cerca de três vezes maior do que os outros estudos. Já a PPL gerada a partir de sensoriamento remoto resultou em  $2,2 \pm 0,4$  ton ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A disparidade entre os resultados ocorreu devido à diferença nos valores de IAF calculados em campo e pelo sensoriamento remoto, em média  $19,93 \pm 3,17$  e  $4,65 \pm 0,92$ , respectivamente. O IAF obtido em campo foi expressivamente maior do que o esperado para manguezais, já o proveniente do sensoriamento se enquadra na faixa de valores (mín: 2.5; máx: 8.4). A superestimação do IAF pode ser devido aos baixos índices de coeficiente de extinção de luz encontrados, os quais foram a metade do que o reportado em outros estudos. Entretanto, o fato de terem sido analisadas apenas árvores de borda e, portanto, expostas à intensa incidência solar durante o dia inteiro tem que ser considerado. Isso, somado à susceptibilidade a altos níveis de CO<sub>2</sub> decorrente do trânsito intenso durante as medições em campo também podem ter influenciado nas altas taxas de PPL.

**Palavras-chave:** Manguezal. Fotossíntese. Produção primária. Índice de área foliar.



## ABSTRACT

The structural development and expansion of mangroves are dependent such from local and regional environmental constraints, as from climatic variables to which they are susceptible to. Patterns of rainfall, temperature, evapotranspiration potential and nutrient availability play a key role in the primary productivity and the capacity of acting as a carbon sink, both characteristics that convey to mangroves the second place in ecosystem productivity. The measurement of mangrove net primary productivity (NPP) can provide useful information for both the health of the ecosystem, and for the analysis of how much it is contributing to the climatic balance. Moreover, it can provide additional evidence for mitigation efforts. A number of NPP measurement methods are available, however, the most commonly used is litter fall traps, which is laborious, time consuming and do not always provide accurate data. In this way, we aimed to test an alternative method, that consists in quantifying NPP through CO<sub>2</sub> flux, the leaf area index (LAI) and the incidence of solar radiation through the canopy. Simultaneously, the NPP was also obtained from remote sensing data. The study was conducted at Itacorubi mangrove, on the Island of Santa Catarina, and compared the major findings with the ones from previous studies of southern Brazilian mangroves. The mean value for NPP was  $9.7 \pm 1.5$  ton ha<sup>-1</sup>y<sup>-1</sup> for the alternative method, about three times the NPP obtained from previous studies. While remote sensing generated a mean NPP of  $2.2 \pm 0.4$  ton ha<sup>-1</sup>y<sup>-1</sup>, a much acceptable value. The discrepancy among the results is owed to the difference of obtained LAI, ranging from  $4.65 \pm 0.92$  for remote sensing to  $19.93 \pm 3.17$  for field measurements. The LAI obtained from remote sensing are near the reported range expected for mangroves (min 2.5; max 8.4). The overestimation of LAI for field measurement could be due to the underestimation of light extinction coefficient, which yielded half of the expected value. However, the fact that only trees from the edge of the forest were analysed and, therefore, were exposed to intense sunlight during all day long must be considered. This, associated with the susceptibility to high ratios of CO<sub>2</sub> derived from intense traffic during field measurements could also have influenced the high rates found for NPP.

**Keywords:** Mangrove. Photosynthesis. Primary Productivity. Leaf Area Index.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa de Florianópolis indicando a localização do Manguezal do Itacorubi .....24
- Figura 2.** Ponto de coleta. **A:** Passarela de pedestres utilizada para o acesso à copa do manguezal localizada sobre a rodovia SC-401; **B:** Acesso às copas das árvores .....26
- Figura 3.** Procedimento de medida da produção bruta (assimilação de CO<sub>2</sub>) diretamente na árvore.....29
- Figura 4.** Procedimento de medidas de produção bruta e respiração em folhas durante coleta em campo. **A:** campânula adaptada; **B:** folha aclimatando ao escuro; **C:** tampa escura acoplada à campânula para medidas de respiração .....29
- Figura 5.** Comparação da variabilidade dos valores de IAF a partir do  $k_{area}$  e dos valores de IAF a partir do  $k_{chl}$  em cada dia de coleta e os valores de IAF obtidos a partir do satélite MODIS.....34
- Figura 6.** Comparação da variabilidade dos valores de fluxo de CO<sub>2</sub> de produção bruta (PB) e da respiração (R) em cada dia de coleta.....35



## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Valores de médios de  $k$  e IAF obtidos a partir da área do sensor e da clorofila para cada dia de campo, e as produtividades primárias obtidas em função desses valores. Valores de IAF retirados do MODIS e a produtividade a partir deles. .... 33

**Tabela 2.** Dados de produtividade primária a partir da coleta de serapilheira em diferentes bosques subtropicais do Brasil. **a:** média dos valores anuais quantificados para *A. schaueriana*; **b:** conversão da produção anual de *A. schaueriana*, dado em  $\text{g C m}^2 \text{d}^{-1}$ ; **c:** valor obtido a partir da média dos valores quantificados para *A. schaueriana*, apenas nas parcelas em que estava presente; **d:** valor da produção semestral de *A. schaueriana*; **e:** dados obtidos em campo; **f:** dados obtidos a partir do sensoriamento remoto. .... 38

**Tabela 3.** Valores de Índice de Área Foliar (IAF) calculados a partir de medidas diretas e indiretas. **a:** bosque anão; **b:** valor médio calculado a partir da atenuação de luz; **c:** valor gerado a partir do sensoriamento remoto. .... 40





## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>21</b>
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	21
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
3.1	ÁREA DE ESTUDO .....	23
3.2	DELINEAMENTO AMOSTRAL E PROCESSAMENTO DE AMOSTRAS .....	25
3.3	PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DE DADOS .....	30
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>43</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>45</b>
	ANEXO 1 - Dados obtidos em campo - Dia 1 .....	51
	ANEXO 2 - Dados obtidos em campo - Dia 1 (continuação) ..	52
	ANEXO 3 - Dados obtidos em campo - Dia 2 .....	53
	ANEXO 4 - Dados obtidos em campo - Dia 2 (continuação) ..	54
	ANEXO 5 - Base de dados IAF - Asner et al., (2003) .....	52



## 1. INTRODUÇÃO

A estabilização da linha de costa, redução de impactos naturais e sua atuação como berçário para diferentes espécies conferem aos manguezais alta importância biológica (ODUM; MCIVOR; SMITH, 1982; TWILLEY; CHEN; HARGIS, 1992). Esses ecossistemas desempenham papel chave no balanço climático pela capacidade de captação, decomposição, exportação e fixação de carbono atmosférico. Uma vez que as rápidas taxas de produção primária associadas a lenta decomposição da matéria orgânica aprisionam grandes quantidades de carbono (C) orgânico no solo (ALONGI, 2014; DONATO et al., 2011; ODUM; MCIVOR; SMITH, 1982; SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016; TWILLEY; CHEN; HARGIS, 1992). Em termos de produtividade primária, definida como o incremento líquido de biomassa das plantas por unidade de tempo (FOLEY, 1994), os manguezais são considerados o segundo ecossistema mais produtivo. A exportação e fixação de C representam aproximadamente 40% da sua produtividade (DUARTE; CEBRIÁN, 1996). A produtividade primária do ecossistema inclui não apenas a produção obtida a partir das plantas adultas, como também a obtida a partir de outros componentes do bosque, como plântulas, algas e invertebrados associados (CLOUGH, 1992), embora a fração mais significativa provenha das plantas adultas (ALONGI, 2014). Produtividade primária líquida envolve tanto a matéria orgânica que é mantida pelas plantas vivas ao fim de um intervalo de tempo especificado, quanto a que foi produzida e perdida por elas durante o mesmo intervalo. Pode ser quantificada, de maneira simplificada, a partir da diferença entre a produção bruta (fotossíntese) e a respiração (RIVERA-MONROY, V. H.; CASTAÑEDA-MOYA, E.; BARR, J. G.; ENGEL, V.; FUENTES, J. D.; TROXLER, T. G.; TWILLEY, R. R.; BOUILLON, S.; SMITH, T. J.; O'HALLORAN, 2013).

Para mensurar a produtividade primária líquida aérea em manguezais são utilizados métodos indiretos, como: (i) medição e soma do incremento da biomassa de troncos, (ii) coleta de serapilheira (iii), medição de trocas gasosas e (iv) uma combinação de medições de trocas gasosas e de absorção de luz através do dossel (RIVERA-MONROY, V. H.; CASTAÑEDA-MOYA, E.; BARR, J. G.; ENGEL, V.; FUENTES, J. D.; TROXLER, T. G.; TWILLEY, R. R.; BOUILLON, S.; SMITH, T. J.; O'HALLORAN, 2013). A metodologia mais comumente utilizada para a análise da produtividade em manguezais decorre das medições de acúmulo de matéria orgânica (serapilheira) ao longo de um período de

tempo, geralmente um ano ou mais (CLOUGH; ONG; GONG, 1997). Porém, é um processo demorado, que necessita de coletas mensais, e nem sempre fornece valores representativos (SAENGER; SNEDAKER, 1993). Logo, é premente a busca por métodos alternativos que possam resultar na redução do esforço amostral e no aumento da precisão dos dados. Uma técnica que tem o potencial para otimização dos estudos de produtividade primária de manguezais tem como base a atenuação de luz pelo dossel atribuída à produtividade fotossintética padronizada pelo pigmento foliar (BUNT; BOTO; BOTO, 1979). Esta técnica pode ser utilizada conjuntamente com mensurações do fluxo de CO<sub>2</sub> e do Índice de Área Foliar (IAF) do dossel (CLOUGH; ONG; GONG, 1997). A produtividade primária líquida e a quantidade de luz absorvida pelo dossel estão geralmente correlacionados e tem relação direta com o IAF (CLOUGH; ONG; GONG, 1997; MONTEITH, 1972). Dessa maneira, o IAF combinado com as medições da produção primária bruta e de respiração do dossel pode fornecer uma estimativa da produtividade fotossintética líquida para o ecossistema. A vantagem do método que utiliza medidas de assimilação fotossintética e o fluxo de CO<sub>2</sub> da planta em relação à medição da matéria seca é a de fornecer a quantificação do ganho total de carbono e do ganho fotossintético a partir das perdas respiratórias (LONG; FARAGE; GARCIA, 1996). A metodologia em questão, apesar de ter sido proposta a mais de 35 anos, foi empregada poucas vezes na literatura e majoritariamente na região do Indo-Pacífico (ALONGI; TIRENDI; CLOUGH, 2000; CLOUGH, 1998; CLOUGH; ONG; GONG, 1997). Nos manguezais encontrados no Atlântico-Sul e, mais especificamente no Brasil, não há registro de utilização dessa metodologia. Nesse contexto, o presente trabalho quantifica a produtividade primária líquida aérea de um manguezal subtropical da costa brasileira a partir do fluxo de CO<sub>2</sub>, da incidência solar e do IAF do dossel, este calculado de duas maneiras diferentes (i) a partir de medidas em campo e (ii) a partir de dados gerados por sensoriamento remoto. Os resultados adquiridos, então, comparados com dados gerados a partir da coleta de serapilheira em outros manguezais do sul do Brasil.

## 2. OBJETIVO GERAL

Quantificar a produtividade primária líquida aérea (PPL) a partir de medidas do fluxo de  $\text{CO}_2$  das folhas, da quantificação do IAF e da transmissão de luz solar através do dossel no período de verão no manguezal do Itacorubi, em Florianópolis – Santa Catarina.

### 2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar o IAF do dossel a partir de medidas realizadas em campo, com base na incidência de luz solar e coeficiente de extinção de luz;
- Quantificar o IAF do dossel a partir de dados gerados por sensoriamento remoto;
- Quantificar o fluxo de  $\text{CO}_2$  a partir de medidas de produção bruta (fotossíntese) e respiração para obtenção da taxa fotossintética líquida;
- Quantificar a PPL do bosque a partir dos valores de IAF combinados com a duração do fotoperíodo e a taxa fotossintética líquida;
- Comparar os valores de PPL calculados a partir de dados existentes de biomassa de serapilheira com os valores estimados a partir do fluxo de  $\text{CO}_2$ .



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no manguezal do Itacorubi, na Ilha de Santa Catarina, em Florianópolis, SC (27°34'46.05"S e 48°31'18.07"O) (Figura 1). A região é caracterizada pela presença da Serra do Mar e por uma intensa sedimentação que acarreta na formação de uma costa mais regular e com formação da vegetação de restinga (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1981). A presença dessa formação geomorfológica contribui para o padrão de precipitação encontrado na região sul-sudeste (ADAIME, 1987). O clima é subtropical úmido sem uma época seca delimitada, porém com redução no volume de chuvas entre os meses de Abril a Setembro (CRUZ, 1998). Nos últimos dez anos houve uma média de precipitação anual de 1.833,24 mm em Florianópolis (BDMEP/INMET, 2017). O tipo de maré local é de micromarés, com amplitudes médias menores do que dois metros e com regime semidiurno (CRUZ, 1998). O nível médio de maré para o mês de Janeiro de 2017 foi de 0,64 m (min: 0,1 m; máx: 1,2 m) (DHN, 2017).

As árvores de mangue presentes na ilha estão próximas do seu limite sul de distribuição. Devido a isso, apresentam estaturas menores, quando comparadas àquelas de bosques do norte brasileiro. No Pará, por exemplo, as árvores podem chegar a mais de 20 m de altura (CARVALHO, 2002). Há a tendência de serem, também, estruturalmente menos desenvolvidas e menos produtivas. No Sergipe, os bosques podem chegar a uma área basal viva de 163.64 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> com produtividade primária anual de 46,66 ton ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (MENEZES, 2010). Já para um bosque maduro em Florianópolis foi mensurado área basal de apenas 4,12 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> (ROVAI et al., 2012). Uma vez que as condições térmicas da região agem como fator estressante, e o regime de marés também não favorece maior desenvolvimento e expansão (SIERRA DE LEDO; SORIANO-SIERRA, 1998), apenas três espécies de mangue são encontradas na ilha, *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*. O manguezal do Itacorubi é caracterizado pela dominância de *A. schaueriana* (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1981; ROVAI et al., 2012) e apresenta altura média de 7,27m ± 3m (HIRSCHLER, 2015).



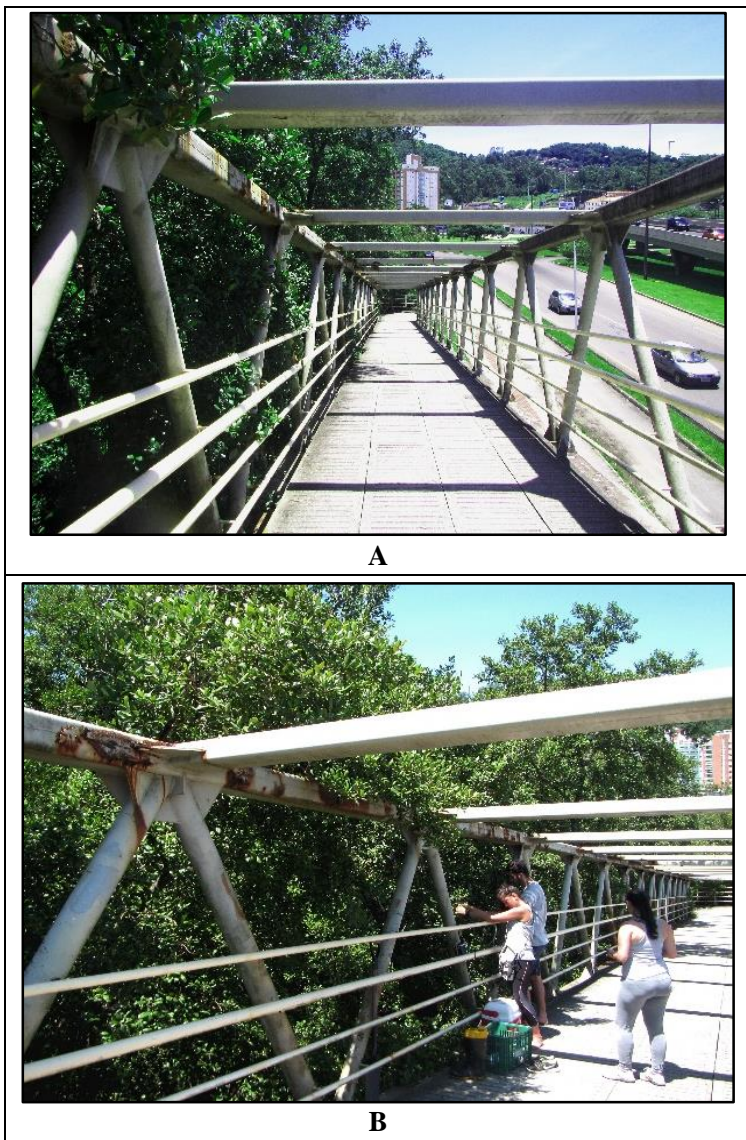
**Figura 1.** Mapa de Florianópolis indicando a localização do Manguezal do Itacorubi.



### 3.2. DELINEAMENTO AMOSTRAL E PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS

A fim de quantificar a PPL aérea do manguezal do Itacorubi, obteve-se medidas de IAF a partir da atenuação da incidência solar pelo dossel, e o fluxo de CO<sub>2</sub>.

Foram realizados dois dias de trabalho em campo, no mês de Janeiro de 2017. Em ambos os dias de coleta as mensurações foram realizadas em momentos de céu ensolarado, sem nuvens, com temperatura em torno dos 27°C, ventos de 1 m/s e umidade relativa do ar entre 80 e 63% (BDMEP/INMET, 2017). A maré, para os dois dias, estava entre 0,7 – 0,9 m porém, durante o horário de coleta no primeiro dia estava baixando e, no segundo dia estava subindo (DHN, 2017). Os trabalhos em campo foram realizados durante o pico da incidência solar, entre 10h30 e 14h30 a fim de evitar uma grande variação no ângulo zenital do sol (CLOUGH; ONG; GONG, 1997). A copa das árvores foi acessada utilizando-se a passarela de pedestres sobre a rodovia SC-401 (Figuras 2A e 2B), que se estende por cerca de 50 m. Desta forma, todas as mensurações foram realizadas no bosque exposto para a posição Nordeste e todas as árvores analisadas, portanto, estavam em uma área de borda. Em cada dia foram selecionados aleatoriamente três indivíduos de *A. schaueriana*. De cada indivíduo foram analisadas seis folhas, para fins de padronização foram escolhidas as folhas localizadas no terceiro nó a partir da ponta de cada galho, para evitar a utilização de folhas muito jovens ou muito antigas. Três folhas foram mantidas expostas ao sol e outras três foram aclimatadas no escuro por pelo menos 1 hora antes das mensurações, anexadas à planta.



**Figura 2.** Ponto de coleta. **A.** Passarela de pedestres utilizada para o acesso à copa do manguezal localizada sobre a rodovia SC-401; **2B.** Acesso às copas das árvores.

Para quantificar o IAF do dossel foi necessário calcular o coeficiente de extinção de luz ( $k$ ) para cada folha, obtido a partir da medição de luz acima e abaixo de cada folha com o uso de um Luxímetro (Digital Light Meter 401025, EXTECH Instruments), da concentração de clorofila ( $\text{mg}/\text{dm}^2$ ) e da área do sensor de luz ( $\text{cm}^2$ ). As medidas de luz, além das realizadas para cada folha, foram obtidas também acima e abaixo do dossel, para o cálculo do IAF. Em cada dia de campo foram realizados três conjuntos de medidas, cada um deles teve início com a medida de luz fora do dossel, seguida de 100 medidas realizadas aleatoriamente abaixo do dossel e finalizando com uma fora.

As folhas analisadas durante o campo, foram coletadas e mantidas em um recipiente escuro e sob refrigeração, para evitar a degradação dos pigmentos. Em laboratório, as folhas foram armazenadas em freezer  $-20^\circ\text{C}$  até o momento da análise de clorofila. A extração dos pigmentos foi realizada utilizando-se 5 ml de acetona 80% como solvente em uma amostra de folha de 11 mm de diâmetro. Cada amostra foi macerada manualmente e guardada em geladeira de um dia para o outro para extração completa dos pigmentos. As amostras foram centrifugadas durante 10 minutos a uma velocidade de 1000 rpm, e uma amostra de aproximadamente 2 a 3 ml do sobrenadante foi analisada em um Espectrofotômetro (Biospectro, Modelo SP-220) a uma absorvância de 646, 663 e 750 nm. Para a obtenção das concentrações de clorofila a e b utilizou-se as seguintes equações (HEENKENDA et al., 2015; WELLBURN, 1994):

$$\text{Clorofila a: } 12.25 \cdot A_{663} - 2.79 \cdot A_{646} \quad (1)$$

$$\text{Clorofila b: } 21.5 \cdot A_{646} - 5.1 \cdot A_{663} \quad (2)$$

Onde, “A” é a absorvância lida em cada amostra de folha. A clorofila total de cada folha foi obtida somando as concentrações de clorofila a e clorofila b. A leitura a 750 nm foi realizada com o intuito de remover o material particulado indesejado da amostra. Os valores lidos foram subtraídos dos valores de cada absorvância anteriormente ao cálculo das Equações (1) e (2). As equações fornecem os dados de clorofila na unidade ‘ $\mu\text{g}/\text{ml}$ ’, a qual foi convertida para ‘ $\text{mg}/\text{dm}^2$ ’, com o intuito de manter o padrão com a metodologia original utilizada para o cálculo do  $k$  (BOTO; BUNT; WELLINGTON, 1984).

A variável área do sensor foi levada em consideração como sendo a área atenuada pela folha durante a medida de luz. O sensor do

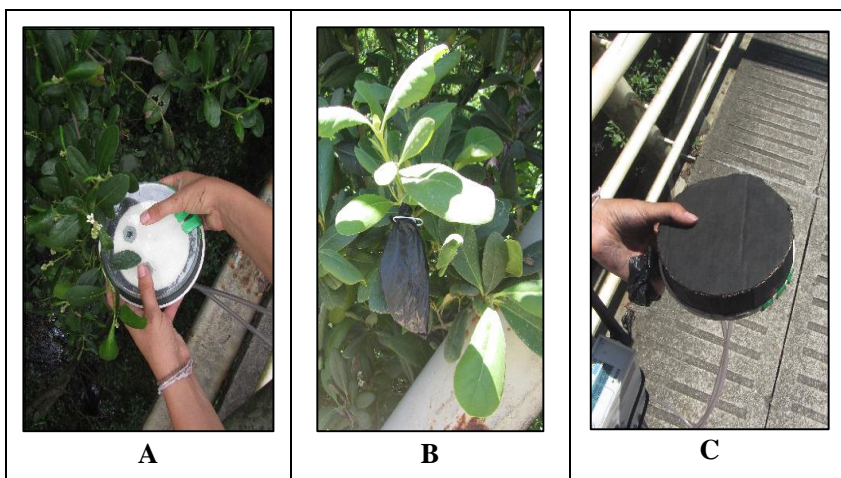
Luxímetro foi medido e obteve-se uma área de 13,854 cm<sup>2</sup>, a qual foi utilizada para o cálculo do  $k$  de todas as folhas.

Além das medidas realizadas em campo, o IAF foi obtido a partir de dados gerados por sensoriamento remoto MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), a bordo dos satélites Aqua e Terra, lançados pela NASA. O algoritmo MODIS LAI conecta fatores de refletância bidirecional espectral de superfície a parâmetros estruturais e espectrais do dossel da vegetação e do solo (YAN et al., 2016). Os dados de LAI são gerados para o período de 4 dias e, em resolução espacial de 500 m (KNYAZIKHIN et al., 1999). Para possibilitar a comparação do IAF entre os dados gerados em campo e os dados de satélite, foram selecionados os dados do período coincidente com as mensurações em campo. Os dados foram extraídos utilizando-se o pacote *raster* sob plataforma R (HIJMANS, 2016).

As taxas de troca de CO<sub>2</sub> foram obtidas com a utilização de um *Infrared Gas Analyser* (EGM-4, PPSsystems), nas mesmas folhas em que o  $k$  e a clorofila foram mensurados, porém com elas ainda anexadas à árvore (Figura 3). As medidas foram realizadas com a utilização de uma campânula portátil adaptada (Figura 4A), feita de vidro e com uma tampa de PVC, de volume 330 ml e área 165 cm<sup>2</sup>. A adaptação visou a redução do volume da campânula e, conseqüentemente, do tempo necessário para mensuração do fluxo (DOSSA et al., 2015). A alteração do volume da campânula visou a otimização da leitura dos fluxos de CO<sub>2</sub> de acordo com os tamanhos das folhas de *Avicennia*. Cuidados foram tomados durante a coleta das medidas, a fim de diminuir a probabilidade de erro ocasionado pela adaptação da campânula. Cada medida durou 124 segundos, tempo padrão do equipamento, na função *Probe 12* para sistemas fechados. A assimilação de CO<sub>2</sub> (fotossíntese) foi medida em três folhas expostas ao sol, a liberação de CO<sub>2</sub> (respiração) a partir de três folhas aclimatadas ao escuro (Figura 4B). A leitura nas folhas aclimatadas no escuro foi realizada imediatamente após terem sido destacadas das árvores, devido à dificuldade em medi-las diretamente na planta sem entrarem em contato com a luz. Para as medidas no escuro a campânula foi envolta em uma capa preta opaca (Figura 4C).



**Figura 3.** Procedimento de medida da produção bruta (assimilação de  $\text{CO}_2$ ) diretamente na árvore.



**Figura 4.** Procedimento de medidas de produção bruta e respiração em folhas durante coleta em campo. **A:** campânula adaptada; **B:** folha aclimatando ao escuro; **C:** tampa escura acoplada à campânula para medidas de respiração.

### 3.3. PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DOS DADOS

Para o cálculo do IAF do dossel foi necessário calcular o coeficiente de extinção de luz ( $k$ ) para cada folha (CLOUGH; ONG; GONG, 1997), o qual foi calculado de duas maneiras diferentes, uma a partir da concentração de clorofila (Equação 3) e outra considerando a área do sensor atenuada pela presença da folha (Equação 4).

$$k_{chl} = \ln(I_b/I_o)/-[chl] \quad (3)$$

$$k_{area} = \ln(I_b/I_o)/-A_s \quad (4)$$

Onde,  $\ln(I_b/I_o)$ : logaritmo natural da proporção entre a incidência de luz acima e abaixo de cada folha;  $[chl]$ : concentração de clorofila ( $\mu\text{g/ml}$ ) e  $A_s$ : área do sensor do equipamento ( $\text{cm}^2$ ).

O IAF foi então calculado utilizando a Lei de Beer-Lambert, corrigida (CLOUGH; ONG; GONG, 1997):

$$IAF = [\ln(I_d/I_f)/-k] \cdot \cos(\alpha\pi/180) \quad (5)$$

Onde,  $IAF$ : índice de área foliar do dossel,  $k$ : valor médio do  $k$  obtido para cada folha, a partir da concentração de clorofila e da área atenuada;  $\ln(I_d/I_f)$ : média do logaritmo natural da proporção entre a incidência de luz abaixo do dossel ( $I_d$ ) e acima ( $I_f$ );  $\alpha$ : ângulo zenital do sol, calculado utilizando a plataforma R, a partir da função *astrocalc4r* do pacote *fishmethods* (JACOBSON; SEAVER; TANG, 2011). Para obter o  $\ln(I_d/I_f)$  primeiramente ordenou-se os 300 valores de  $I_d$  em ordem crescente, calculou-se a média e todos os valores maiores que três vezes ( $>3x$ ) a média foram excluídos, por serem considerados clareiras no dossel. Após esse procedimento, a média foi recalculada e, novamente excluiu-se os valores  $>3x$  a média. Esse processo foi repetido até que todos os valores fossem três vezes menores do que a média (BUNT; BOTO; BOTO, 1979). Cada valor remanescente de  $I_d$  foi dividido pela média de  $I_f$ . Calculou-se o logaritmo natural para cada valor de  $I_d/I_f$  e a partir disso obteve-se a média dos valores (LANG; XIANG, 1986).

O cálculo para o fluxo de  $\text{CO}_2$ , tanto para as medidas de produção bruta ( $\text{CO}_{2(\text{PB})}$ ), quanto para as medidas de respiração ( $\text{CO}_{2(\text{R})}$ ) foi realizado a partir da equação:

$$\text{Fluxo CO}_{2(\text{PB})} = \text{Fluxo CO}_{2(\text{R})} = \Delta C \cdot (V / A) \cdot 7.436 \cdot 10^{-3} \quad (6)$$

Onde,  $\Delta C$ : módulo da diferença entre  $\text{CO}_2$  final e  $\text{CO}_2$  inicial,  $(V/A)$ : proporção obtida entre volume e área da campânula utilizada;  $7.436 \cdot 10^{-3}$ : constante dada para conversão das unidades para  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

A taxa de fotossíntese líquida foi calculada a partir da diferença entre o fluxo de assimilação  $\text{CO}_2$  e o fluxo de liberação do  $\text{CO}_2$ .

$$F_L = \text{Fluxo CO}_{2(\text{PB})} - \text{Fluxo CO}_{2(\text{R})} \quad (7)$$

As taxas de PPL do dossel foram obtidas utilizando a equação:

$$P_L = 0.0432 \cdot d \cdot IAF \cdot F_L \quad (8)$$

Onde,  $P_L$ : taxa de fixação de carbono líquido durante o dia ( $\text{g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ),  $d$ : duração do fotoperíodo, considerado 8 horas, devido à duração do período fotossintético diário (CLOUGH; ONG; GONG, 1997),  $IAF$ : índice de área foliar do dossel,  $F_L$ : média da taxa de fotossíntese líquida do dossel, 0.0432: converte a unidade de  $F_L$  para ' $\text{g C m}^2 \text{h}^{-1}$ '. A  $P_L$  calculada, então, foi extrapolada para  $\text{ton ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$  a partir da conversão das unidades. A produção diária foi multiplicada por 365 pra que fosse possível adquirir a taxa anual de C, em seguida ' $\text{m}^2$ ' foi convertido em ' $\text{ha}$ ' ao multiplicar o resultado por  $10^4$  e, por último, gramas em toneladas, a partir da divisão do resultado por  $10^6$ .

#### 4. RESULTADOS

Todos os parâmetros mensurados a partir das medidas em campo,  $k$ , IAF, Fluxo de  $\text{CO}_{2(\text{PB})}$ , Fluxo de  $\text{CO}_{2(\text{R})}$  e  $P_L$  obtiveram valores similares, tanto entre os indivíduos, quanto entre os dias analisados (Tabela 1).

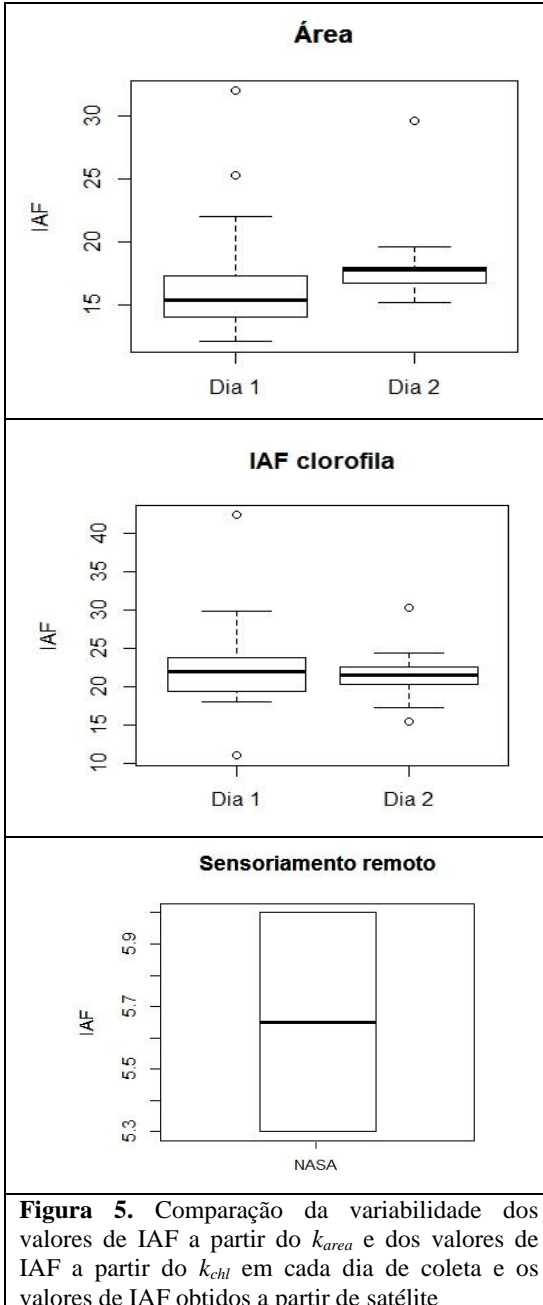
Os  $k_s$  de cada folha calculados a partir da clorofila e da área atenuada do sensor foram muito similares, sendo em média  $0,156 \pm 0,019$  e  $0,194 \pm 0,010$ , respectivamente. Os valores de IAF, calculados a partir do  $k_{\text{area}}$  e do  $k_{\text{chl}}$ , entre os dias de coleta, não apresentaram grande variabilidade entre si (Figura 5). Dessa maneira, médias semelhantes entre si foram obtidas,  $17,693 \pm 0,568$  para o IAF calculado partir do valor médio do  $k_{\text{area}}$  e  $22,181 \pm 0,962$  para o IAF calculado a partir da média do  $k_{\text{chl}}$ . Seguindo o mesmo padrão, os valores quantificados para o Fluxo de  $\text{CO}_{2(\text{PB})}$  e do Fluxo de  $\text{CO}_{2(\text{R})}$  também não apresentaram grande variabilidade entre si (Figura 6). A  $F_L$  resultante foi similar entre os dias de campo, com valor médio  $0,387 \pm 0,002 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

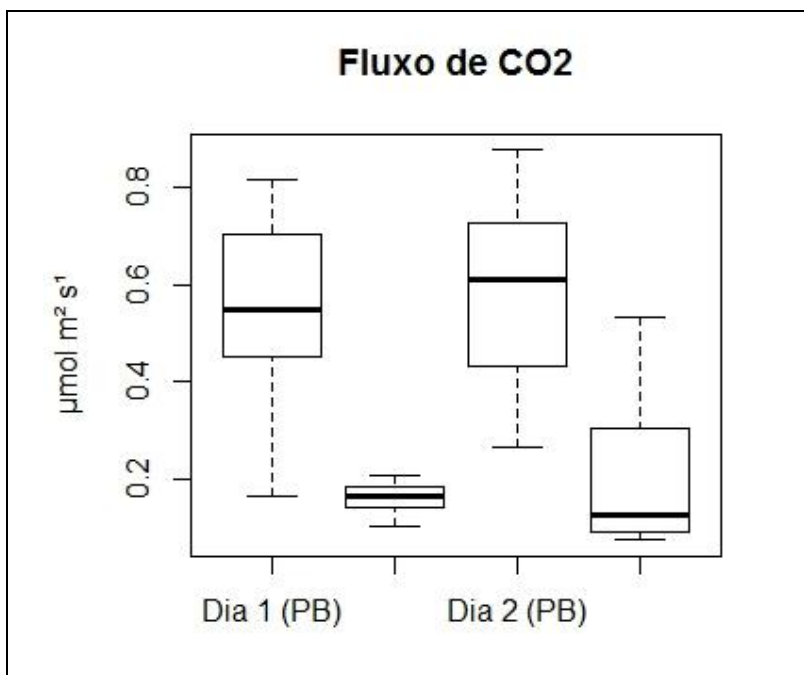
A PPL resultou em um valor médio de  $10,826 \pm 0,534 \text{ ton ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  quando calculada a partir do  $k$  e IAF quantificados a partir da clorofila. Enquanto que, quando quantificada a partir do  $k$  e do IAF da área atenuada do sensor, apresentou uma média de  $8,634 \pm 0,225 \text{ ton ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , o que resultou em uma PPL média de  $9,730 \pm 1,550 \text{ ton ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para o bosque. Os dados obtidos através do sensoriamento remoto foram os que apresentaram maior discrepância quando analisados com o conjunto de dados obtidos pelas medidas em campo. A PPL apresentou uma média de  $2,267 \pm 0,435 \text{ ton ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , a partir de uma média de IAF de  $4,65 \pm 0,920$ .



**Tabela 1** Valores médios de k e IAF obtidos a partir da área do sensor e da clorofila para cada dia de campo, e as produtividades primárias obtidas em função desses valores. Valores de IAF retirados do MODIS e a produtividade a partir deles.

	$k_{\text{area}}$	$\text{IAF}_{\text{area}}$	$d$	$\text{CO}_{2(\text{PB})}$	$\text{CO}_{2(\text{R})}$	$\text{P}_{\text{area}} (\text{ton ha}^{-1} \text{ ano}^{-1})$	
	<b>1</b>	$0,187 \pm 0,042$	$17,292 \pm 5,300$	8	$0,5503 \pm 0,230$	$0,162 \pm 0,033$	8,475
	<b>2</b>	$0,202 \pm 0,024$	$18,095 \pm 3,150$	8	$0,591 \pm 0,221$	$0,206 \pm 0,164$	8,793
<b>Campo</b>	$k_{\text{chl}}$	$\text{IAF}_{\text{chl}}$				$\text{P}_{\text{chl}} (\text{ton ha}^{-1} \text{ ano}^{-1})$	
	<b>1</b>	$0,143 \pm 0,044$	$22,861 \pm 6,841$	8	$0,5503 \pm 0,230$	$0,162 \pm 0,033$	11,204
	<b>2</b>	$0,170 \pm 0,025$	$21,501 \pm 3,270$	8	$0,591 \pm 0,221$	$0,206 \pm 0,164$	10,448
		$\text{IAF}$				$\text{P} (\text{ton ha}^{-1} \text{ ano}^{-1})$	
<b>Satélite</b>	<b>1</b>	-	4	8	$0,5503 \pm 0,230$	$0,162 \pm 0,033$	1,960
	<b>2</b>	-	5,3	8	$0,591 \pm 0,221$	$0,206 \pm 0,164$	2,575





**Figura 6.** Comparação da variabilidade dos valores de fluxo de CO<sub>2</sub> de produção bruta (PB) e da respiração (R) em cada dia de coleta.



## 5. DISCUSSÃO

Os resultados encontrados para a PPL gerados a partir das medidas de IAF em campo, foram de 2 a 3 vezes maiores do que a maior produtividade anual com base na serapilheira para *A. schaueriana* em outros bosques subtropicais do Brasil (Tabela 3). Já a PPL resultante do IAF gerado por sensoriamento remoto apresentou valores próximos aos de serapilheira (Tabela 3). Estudos que quantificaram a produtividade a partir do fluxo de CO<sub>2</sub>, IAF e incidência solar também apresentaram valores superiores quando comparados a dados de serapilheira em locais próximos (BUNT; BOTO; BOTO, 1979; CLOUGH; ONG; GONG, 1997). As maiores taxas de PPL geradas pela quantificação do fluxo de CO<sub>2</sub> podem estar associadas à capacidade de resposta rápida das plantas quanto à mudanças de luz, temperatura e umidade (ODUM; MCIVOR; SMITH, 1982). As menores taxas obtidas a partir da coleta de serapilheira, por sua vez, podem decorrer do fato de que a parte da produção que é alocada no incremento de biomassa do bosque não é quantificada (SAENGER; SNEDAKER, 1993). Da mesma forma, as estimativas de serapilheira tendem a ser imprecisas devido às grandes diferenças quantitativas do material coletado entre cestas. Isto pode ocorrer pelo uso de menores números de cestas do que seria necessário para lidar com a variabilidade entre cestas (CLARK et al., 2001) e, também, pela não quantificação da herbivoria no material coletado. Uma vez que o grau de herbivoria desempenha papel importante na estrutura e no funcionamento dos manguezais, podendo, inclusive alterar a produtividade primária do ecossistema (FELLER, 1995; KRAUSS et al., 2008)

Além disso, valores de serapilheira de *A. schaueriana* demonstram ser mais baixos quando comparados, proporcionalmente a outras espécies de mangue (CUNHA, 2001). Com uma área basal de 41,24 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, por exemplo, o gênero *Avicennia* obteve uma produção média de 13,10 ± 11,60 ton ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, enquanto que *Rhizophora* com 1/3 da área basal no mesmo bosque produziu em média 15,54 ± 10,36 ton ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (BERNINI, 2008). Utilizando a biomassa aérea como comparação, em bosques onde *Avicennia* predomina (10,8 ton ha<sup>-1</sup>) quando comparado a *Rhizophora* (5,9 ton ha<sup>-1</sup>) a produção média anual da primeira é 0,17 ton ha<sup>-1</sup> enquanto que para a segunda 0,82 ton ha<sup>-1</sup> (CUNHA, 2001). Isso corrobora com os valores baixos apresentados pelos estudos (Tabela 2), uma vez que apenas os resultados gerados a partir de *Avicennia* foram utilizados como comparativo e, não, o representativo do bosque inteiro.

A extrapolação das medidas do fluxo de CO<sub>2</sub> de poucos indivíduos em escalas pequenas de tempo para estimativas de largas escalas de área e longo prazo aumentam a probabilidade de erros (BUNT; BOTO; BOTO, 1979). Isso pode ter contribuído para a discrepância entre os valores obtidos pelo presente estudo com estudos anteriores. Essa margem de erro, no entanto, pode ser minimizada com maior número amostral de plantas por dias de campo e maior representatividade de coletas em diferentes estações do ano (OKIMOTO, YOSUKE; NOSE, AKIHIRO; IKEDA, KEIZO; AGARIE, SAKAE; OSHIMA, KENZO; TATEDA; YUTAKA; ISHII, TAKASHI; NHAN, 2008).

**Tabela 2.** Dados de produtividade primária a partir da coleta de serapilheira em diferentes bosques subtropicais do Brasil. **a:** média dos valores anuais quantificados para *A. schaueriana*; **b:** conversão da produção anual de *A. schaueriana*, dado em gCm<sup>2</sup>d<sup>-1</sup>; **c:** valor obtido a partir da média dos valores quantificados para *A. schaueriana*, apenas nas parcelas em que estava presente; **d:** valor da produção semestral de *A. schaueriana*; **e:** dados obtidos em campo; **f:** dados obtidos a partir do sensoriamento remoto

Local	Latitude	P <sub>L</sub> (ton ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Referência
Baía da Babitonga - SC	26°12'S	0.29 <sup>a</sup>	Cunha (2001)
Rio Itacorubi - SC	27°35'S	3.54 <sup>b</sup>	Panitz (1986)
Rio Bagaçu - PR	25°33'S	2.22 <sup>c</sup>	Sessegolo (1997)
Enseada do Saco dos Limões - SC	27°37'S	2.66 <sup>d</sup>	Weller (2010)
Rio Itacorubi - SC	27°34'S	9.73 <sup>e</sup>	Este estudo
Rio Itacorubi - SC	27°34'S	2.26 <sup>f</sup>	Este estudo

A superestimação da produtividade do manguezal do Itacorubi pode estar associada à superestimação do IAF. Os valores obtidos a partir das medidas em campo são similares ao maior valor de IAF já registrado em 15 biomas diferentes (ASNER; SCURLOCK; HICKE, 2003). Os valores mínimos e máximos encontrados nessa base de dados para o grupo “*wetlands*” são 2,5 e 8,4, respectivamente ( $4,8 \pm 1,7$ ). Isso é condizente com os dados reportados por estudos realizados em manguezais (Tabela 3). Os valores obtidos a partir do sensoriamento remoto se enquadram na faixa de valores observada na base de dados, embora apresente valores moderados a altos, quando as características do bosque analisado são levadas em consideração. Por exemplo, em bosque dominado pelo gênero *Avicennia*, no México ( $22^{\circ}09' N$ ), com altura média de  $5,7 \pm 3,1$  m foi registrado IAF médio de  $3,98 \pm 0,58$  (KOVACS et al., 2009). Em Rookery Bay, na Florida ( $26^{\circ} N$ ), também em bosque dominado por *Avicennia*, com altura média de  $10,1 \pm 2,0$  m (KRAUSS et al., 2005) o IAF obtido foi de 3,2 (RAMSEY III; JENSEN, 1996), enquanto que em Sea Horse Key, também na Florida ( $29^{\circ}08' N$ ), em bosque com alturas médias de  $1,98 \pm 0,41$  foi encontrado IAF médio de  $2,56 \pm 0,19$  (LUGO; ZUCCA, 1977). Com base na localização geográfica, no gênero dominante e do desenvolvimento estrutural dos bosques referenciados, se esperaria que o IAF do manguezal do Itacorubi se assemelhasse a essa faixa de valores.

**Tabela 3.** Valores de Índice de Área Foliar (IAF) calculados a partir de medidas diretas e indiretas. **a:** bosque anão; **b:** valor calculado a partir da atenuação de luz; **c:** valor gerado a partir do sensoriamento remoto.

<b>Espécie</b>	<b>Local</b>	<b>IAF</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Referência</b>
<i>R. mangle</i> <sup>a</sup>	Florida	3	25°40'N	80°16'O	Araujo et al., (1997)
<i>R. mangle</i>	Florida	5.7	25°37'N	80°17'O	Araujo et al., (1997)
<i>R. mangle</i>	Belize	2.3	16°49'N	88°06'O	Cheeseman & Lovelock (2004)
<i>R. mangle</i> <sup>a</sup>	Belize	0.7	16°49'N	88°06'O	Cheeseman & Lovelock (2004)
<i>R. apiculata</i>	Malásia	5.1	04°50'N	100°36'L	Clough et al., (1997)
<i>R. apiculata</i>	Vietnam	3.3 - 4.9	08°59'N	105°04'L	Clough et al., (2000)
<i>Rhizophora</i> sp.	Porto Rico	4.4	18°13'N	66°35'O	Golley et al., (1962)
<i>Avicennia</i> sp.	México	3.98	22°09'N	105°28'O	Kovacs et al., (2009)
<i>A. germinans</i>	Florida	2.5	29°05'N	83°03'O	Lugo & Zucca (1977)
<i>A. germinans</i>	Florida	3.2	26°03'N	81°42'O	Ramsey III & Jensen (1996)
<i>R. mangle</i>	Florida	2.2	26°03'N	81°42'O	Ramsey III & Jensen (1996)
<i>A. schaueriana</i> <sup>b</sup>	Brasil	19.93	27°34' S	48°31' O	Este estudo
<i>A. schaueriana</i> <sup>c</sup>	Brasil	4.65	27°34' S	48°31' O	Este estudo



A PPL obtida a partir do IAF gerado por sensoriamento remoto foi expressivamente menor do que a quantificada a partir dos dias de trabalho em campo. Esse valor resultou da diferença entre os valores de IAF, em média quatro vezes menor para os dados remotos.

Um parâmetro que pode ter contribuído para o aumento substancial do IAF foi o  $k$ , uma vez que os dois são variáveis inversamente proporcionais. O  $k$  é a eficiência na interceptação de luz, caracterizado como o grau e a velocidade com que ocorre a penetração no dossel (CAMPBELL, 1986; ZHANG et al., 2014). A velocidade de extinção aumenta com o aumento das superfícies foliares, por exemplo,  $k$  baixos (0,3 a 0,5) são atribuídos à gramíneas e, próximos de 0,6 – 0,7 à plantas de folhas largas (MONSI; SAEKI, 2005; ZHANG et al., 2014). Para manguezais, especificamente, sugere-se 0,525 (GREEN et al., 1997). Esses valores corroboram com a especulação de que o  $k$  adquirido neste estudo deveria ser em média duas vezes maior.

Há uma diversidade de metodologias descrita para o cálculo de  $k$ , a partir do ângulo foliar (CAMPBELL, 1986; LANG; XIANG, 1986), ou da lei de Beer-Lambert associada a outro parâmetro, como concentração de clorofila (BOTO; BUNT; WELLINGTON, 1984; BUNT; BOTO; BOTO, 1979), área foliar (SHEEHY; COOPER, 1973) ou utilizando o próprio IAF, quando calculado a partir de outros métodos (BEHLING et al., 2016; CUTINI, 1996; ZHANG et al., 2014). Devido a isso, optou-se por calcular o  $k$  levando-se em consideração também a área de atenuação da luz no sensor, além da concentração de clorofila, conforme metodologia original (BOTO; BUNT; WELLINGTON, 1984; BUNT; BOTO; BOTO, 1979). Com isso foi possível obter um segundo parâmetro de comparação para o cálculo do IAF do dossel e, consequente, da produtividade do ecossistema. A similaridade entre os resultados obtidos levanta dúvidas sobre quais seriam os possíveis motivos da discrepância entre os dados obtidos e os esperados.

Uma hipótese que pode ser levantada acerca dos valores incomuns observados neste estudo é que os efeitos de borda da área de estudo podem ter acarretado respostas fisiológicas diferentes das plantas e, portanto, a divergência entre os resultados encontrados aqui com outros estudos do sul do Brasil. As plantas analisadas, por estarem na borda do manguezal e orientadas para Nordeste, estão sujeitas à incidência solar durante toda duração do fotoperíodo, essa alta disponibilidade de luz pode acarretar um pico na densidade foliar e induzir o crescimento da planta (MURCIA, 1995). Esse aumento de folhas por área de chão, portanto, pode ser a causa dos IAFs altos. A alta incidência solar pode acarretar, também, diminuição nas áreas foliares, como mecanismo de

defesa contra a foto inibição (TEVINI; TERAMURA, 1989), o que torna plausível os valores de  $k$  terem sido baixos. As altas taxas de PPL, além do efeito de borda pode decorrer da localização do manguezal, em meio a uma rodovia, associada aos horários de mensuração do fluxo de  $\text{CO}_2$ . Dado que as medidas foram todas realizadas durante o pico da incidência solar, que é coincidente com o horário de pico no trânsito, o aumento de veículos transitando no momento das medidas pode ter influenciado na resposta das árvores, devido ao aumento de  $\text{CO}_2$  disponível para assimilação (REEF et al., 2015).

A influência que o IAF possui sobre a PPL do ecossistema denota a importância da quantificação precisa dessa variável. Devido a isso, necessita-se de cuidado ao escolher a metodologia empregada para quantificá-lo, levando em consideração o local a ser estudado e as particularidades do ecossistema em questão. Há uma ampla gama de metodologias desenvolvidas para tanto, as quais são divididas em dois grupos: “métodos diretos” e “métodos indiretos”. Os métodos diretos envolvem a medida da área foliar propriamente dita, incluem o desfolhamento das plantas, equações alométricas desenvolvidas especificamente para o local analisado e coleta de serapilheira. Métodos indiretos inferem o IAF a partir de medidas da transmissão de luz através do dossel (BRÉDA, 2003). Somando-se aos métodos indiretos está a quantificação do IAF por sensoriamento remoto, a partir de dados gerados por satélite. A vantagem dos métodos diretos sobre os indiretos está associada à precisão dos dados gerados, sendo que os resultados obtidos a partir deles são utilizados para a validação dos métodos indiretos. Os métodos indiretos, por sua vez, são não-destrutivos, menos trabalhosos e podem ser aplicados em áreas maiores de estudo (BRÉDA, 2003).

Visto que a diminuição do esforço amostral, do tempo necessário em campo e, conseqüentemente, do investimento direcionado a estudos nessa esfera são variáveis a serem consideradas, o desenvolvimento de metodologias indiretas é importante. Dados gerados a partir de satélite e disponibilizados gratuitamente são ferramentas que possibilitam o desenvolvimento e o aperfeiçoamento de metodologias alternativas, com enfoque mais refinado. A utilização de medidas de IAF geradas pelo *MODIS*, por exemplo, poderia diminuir o tempo direcionado às medidas de luz acima e abaixo de cada folha e dentro e fora do dossel durante as coletas. Ou ainda, não demandaria campos mensais, como no caso da coleta de serapilheira. Esse esforço amostral, entretanto, poderia ser direcionado às medidas de fluxo de  $\text{CO}_2$ , aumentando a variabilidade, a representatividade dos indivíduos analisados e o refinamento das

medidas. Isso, por sua vez, diminuiria a margem de erro na extrapolação de dados de escalas pequenas e pontuais para largas escalas e a longo prazo.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A PPL obtida para o manguezal do Itacorubi, a partir do fluxo de CO<sub>2</sub>, do IAF e da transmissão de luz através do dossel apresentou valores altos quando comparados à PPL obtida a partir da serapilheira em bosques subtropicais brasileiros;
- Os altos valores quantificados para IAF podem ter acarretado as altas taxas de PPL;
- Altos valores de IAF parecem estar relacionados com a subestimação do coeficiente de extinção de luz ( $k$ ).
- A PPL obtida a partir dos dados gerados por sensoriamento remoto obtiveram valores médios mais próximos aos registrados em outros bosques subtropicais brasileiros.
- Isso ocorreu devido aos valores de IAF obtidos, mais próximos a faixa esperada para ecossistemas manguezais.



## REFERÊNCIAS

- ADAIME, R. R. **Estrutura, produção e transporte em um manguezal**. SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA: SÍNTESE DOS CONHECIMENTOS., **Anais...**Cananéia, São Paulo: Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1987
- ALONGI, D. M. Carbon Cycling and Storage in Mangrove Forests. **Annual Review of Marine Science**, v. 6, p. 195–219, 2014.
- ALONGI, D. M.; TIRENDI, F.; CLOUGH, B. F. Below-ground decomposition of organic matter in forests of the mangroves *Rhizophora stylosa* and *Avicennia marina* along the arid coast of Western Australia. **Aquatic Botany**, v. 68, p. 97–122, 2000.
- ARAUJO, R. J.; JARAMILLO, J. C.; SNEDAKER, S. C. LAI AND LEAF SIZE DIFFERENCES IN TWO RED MANGROVE FOREST TYPES IN SOUTH FLORIDA. **Bulletin of Marine Science**, v. 60, n. 3, p. 643–647, 1997.
- ASNER, G. P.; SCURLOCK, J. M. O.; HICKE, J. A. Global synthesis of leaf area index observations: implications for ecological and remote sensing studies. **Global Ecology and Biogeography**, v. 12, p. 191–205, 2003.
- BANCOS DE DADOS METEOROLÓGICOS PARA ENSINO E PESQUISA. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (BDMEP/INMET). Precipitação total mensal 2006/2016 - Florianópolis, SC. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2017.
- BEHLING, A. et al. Tracking leaf area index and coefficient of light extinction over the harvesting cycle of black wattle. v. 27, n. 6, p. 1211–1217, 2016.
- BERNINI, E. **Estrutura da cobertura vegetal e produção de serapilheira da floresta de mangue do estuário do rio Paraíba do Sul, estado do Rio de Janeiro, Brasil**. [s.l.] Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2008.
- BOTO, K. G.; BUNT, J. S.; WELLINGTON, J. T. Variation in in Mangrove Forest Productivity in Northern Australia and Papua New Guinea in. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 19, p. 321–329, 1984.
- BRÉDA, N. J. J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. **Journal of Experimental Botany**, v. 54, n. 392, p. 2403–2417, 2003.
- BUNT, J. S.; BOTO, K. G.; BOTO, G. A survey method of estimating potential levels of mangrove forest primary production. **Marine Biology**, v. 52, p. 123–128, 1979.
- CAMPBELL, G. S. Extinction coefficients for radiation in plant canopies calculated using an ellipsoidal inclination angle distribution. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 36, p. 317–321, 1986.
- CARVALHO, M. L. **Aspectos da produtividade primária dos bosques de**

**mangue do Furo Grande, Bragança - Pará.** [s.l.] Universidade Federal do Pará, 2002.

CHEESEMAN, J. M.; LOVELOCK, C. E. Photosynthetic characteristics of dwarf and fringe *Rhizophora mangle* L. in a Belizean mangrove. **Plant, Cell and Environment**, v. 27, p. 769–780, 2004.

CINTRÓN, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **I Los manglares de la costa brasileña : revision preliminar de la literatura y II. Los manglares de Santa Catarina.** Informe Técnico preparado para la Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe de UNESCO y la Universidad Federal de Santa Catarina: [s.n.].

CLARK, D. A. et al. MEASURING NET PRIMARY PRODUCTION IN FORESTS : CONCEPTS AND FIELD METHODS. **Ecological Applications**, v. 11, n. 2, p. 356–370, 2001.

CLOUGH, B. F. Primary Productivity and Growth of Mangrove Forests. In: ROBERTS, A. I.; ALONGI, D. M. (Eds.). **Tropical Mangrove Ecosystems.** Washington D.C.: American Geophysical Union, 1992. v. 41p. 225–249.

CLOUGH, B. F. Mangrove forest productivity and biomass accumulation in Hinchinbrook Channel, Australia. **Mangroves and Salt Marshes**, v. 2, p. 191–198, 1998.

CLOUGH, B. F. et al. Canopy leaf area index and litter fall in stands of the mangrove *Rhizophora apiculata* of different age in the Mekong Delta, Vietnam. **Aquatic Botany**, v. 66, p. 311–320, 2000.

CLOUGH, B. F.; ONG, J. E.; GONG, G. W. Estimating leaf area index and photosynthetic production in canopies of the mangrove *Rhizophora apiculata*. **Marine Ecology Progress Series**, v. 159, p. 285–292, 1997.

CRUZ, O. **A Ilha de Santa Catarina e o continente próximo: Um estudo de geomorfologia costeira.** Florianópolis, SC: Editora da UFSC, 1998.

CUNHA, S. R. **Estrutura e produção das comunidades de macroprodutores dos manguezais da Baía da Babitonga, Santa Catarina.** [s.l.] Fundação Universidade Federal do Rio Grande, 2001.

CUTINI, A. The influence of drought and thinning on leaf area index estimates from canopy transmittance method. **Annals of Science Forest**, v. 53, p. 595–603, 1996.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN). Previsão de marés, Porto de Florianópolis (Estado de Santa Catarina), Janeiro de 2017. Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/60245Jan2017.htm>>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2017.

DONATO, D. C. et al. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. **Nature Geoscience**, v. 4, n. 5, p. 293–297, 2011.

DOSSA, G. G. O. et al. Correct calculation of CO<sub>2</sub> efflux using a closed-chamber linked to a non-dispersive infrared gas analyzer. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 6, p. 1435–1442, 2015.

- DUARTE, C. M.; CEBRIÁN, J. The fate of marine autotrophic production. **Limnology and Oceanography**, v. 41, n. 8, p. 1758–1766, 1996.
- FELLER, I. C. EFFECTS OF NUTRIENT ENRICHMENT ON GROWTH AND HERBIVORY OF DWARF RED MANGROVE (*Rizophora mangle*). **Ecological Monographs**, v. 65, n. 4, p. 477–505, 1995.
- FOLEY, J. A. The application of a global model. **Journal of Geophysical Research**, v. 99, p. 20,773–20,783, 1994.
- GOLLEY, F.; ODUM, H. T.; WILSON, R. F. The Structure and Metabolism of a Puerto Rican Red Mangrove Forest in May. **Ecology**, v. 43, n. 1, p. 9–19, 1962.
- GREEN, E. P. et al. Estimating leaf area index of mangroves from satellite data. **Aquatic Botany**, v. 58, p. 11–19, 1997.
- HEENKENDA, M. K. et al. Quantifying mangrove chlorophyll from high spatial resolution imagery. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 108, p. 234–244, 2015.
- HIJMANS, R. J. **raster: Geographic Data Analysis and Modeling. R package version 2.5-8**, 2016. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/package=raster>>
- HIRSCHLER, J. K. **Development of secondary mangrove stands under anthropogenic stress**. [s.l.] Brandenburg Technical University Cottbus, 2015.
- JACOBSON, L.; SEAVER, A.; TANG, J. **AstroCalc4R: Software to Calculate Solar Zenith Angle; Time at sunrise, Local Noon, and Sunset; and Photosynthetically Available Radiation Based on Date, Time, and Location**. 2011. Disponível em: <<http://nefsc.noaa.gov/publications/>>.
- KNYAZIKHIN, Y. et al. **MODIS Leaf Area Index (LAI) and Fraction of Photosynthetically Active Radiation Absorbed by Vegetation (FPAR) Product (MOD15) Algorithm Theoretical Basis Document**. 1999. Disponível em: <<http://eosps.gsf.nasa.gov/atbd/modistables.html>>.
- KOVACS, J. M. et al. Evaluating the condition of a mangrove forest of the Mexican Pacific based on an estimated leaf area index mapping approach. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 157, p. 137–149, 2009.
- KRAUSS, K. W. et al. Woody Debris in the Mangrove Forests of South Florida<sup>1</sup>. **Biotropica**, v. 37, n. 1, p. 9–15, 2005.
- KRAUSS, K. W. et al. Environmental drivers in mangrove establishment and early development: A review. **Aquatic Botany**, v. 89, p. 105–127, 2008.
- LANG, A. R. G.; XIANG, Y. Estimation of leaf area index from transmission of direct sunlight in discontinuous canopies. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 37, p. 229–243, 1986.
- LONG, S. P.; FARAGE, P. K.; GARCIA, R. L. Measurement of leaf and canopy photosynthetic CO<sub>2</sub> exchange in the field<sup>1</sup>. **Journal of Experimental Botany**, v. 47, n. 304, p. 1629–1642, 1996.

- LUGO, A. E.; ZUCCA, P. The impact of low temperatures stress on mangrove structure and growth. **Tropical Ecology**, v. 18, p. 149–161, 1977.
- MENEZES, L. C. S. **Estrutura e produção de serapilheira de floresta de mangue na região estuarina do baixo São Francisco Sergipano**. [s.l.] Universidade Federal do Sergipe, 2010.
- MONSI, M.; SAEKI, T. On the Factor Light in Plant Communities and its Importance for Matter Production. **Annals of Botany**, v. 95, p. 549–567, 2005.
- MONTEITH, J. L. Solar Radiation and Productivity in Tropical Ecosystems. **Journal of Applied Ecology**, v. 9, n. 3, p. 747–766, 1972.
- MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Tree**, v. 10, n. 2, p. 58–62, 1995.
- ODUM, W. E.; MCIVOR, C. C.; SMITH, T. J. **The ecology of the mangroves of South Florida: A community profile**. Washington D.C.: U.S. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services, 1982.
- OKIMOTO, YOSUKE; NOSE, AKIHIRO; IKEDA, KEIZO; AGARIE, SAKAE; OSHIMA, KENZO; TATEDA; YUTAKA; ISHII, TAKASHI; NHAN, D. D. An estimation of CO<sub>2</sub> fixation capacity in mangrove forest using two methods of CO<sub>2</sub> gas exchange and growth curve analysis. **Wetlands Ecology and Management**, v. 16, p. 155–171, 2008.
- PANITZ, C. M. N. **Produção e decomposição de serapilheira no mangue do rio Itacorubi, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil (27°35'S - 48°31'W)**. [s.l.] Universidade Federal de São Carlos, 1986.
- RAMSEY III, E. W.; JENSEN, J. Remote Sensing of Mangrove Wetlands: Relating Canopy Spectra to Site-Specific Data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 62, n. 8, p. 939–948, 1996.
- REEF, R. et al. The effect of atmospheric carbon dioxide concentrations on the performance of the mangrove *Avicennia germinans* over a range of salinities. **Physiologia Plantarum**, v. 154, p. 358–368, 2015.
- RIVERA-MONROY, V. H.; CASTAÑEDA-MOYA, E.; BARR, J. G.; ENGEL, V.; FUENTES, J. D.; TROXLER, T. G.; TWILLEY, R. R.; BOUILLON, S.; SMITH, T. J.; O'HALLORAN, T. L. Current methods to evaluate net primary production and carbon budgets in mangrove forests. In: R. DELAUNE, K. REDDY, C. RICHARDSON, J. M. (Ed.). **Methods in Biogeochemistry of Wetlands**. First ed. [s.l.] Soil Science Society of America, 2013. p. 243–288.
- ROVAI, A. S. et al. Secondary succession impairment in restored mangroves. **Wetlands Ecology and Management**, v. 20, n. 5, p. 447–459, 2012.
- SAENGER, P.; SNEDAKER, S. C. Pantropical Trends in Mangrove Above-Ground Biomass and Annual Litterfall. **Oecologia**, v. 96, p. 293–299, 1993.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. et al. Climate changes in mangrove forests



- and salt marshes. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, p. 37–52, 2016.
- SESSEGOLO, G. C. Estrutura E Produção De Serapilheira Do Manguezal Do Rio Bagaçu , Baía De Paranaguá - Pr. p. 110, 1997.
- SHEEHY, J. E.; COOPER, J. P. LIGHT INTERCEPTION , PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY , AND CROP GROWTH RATE IN CANOPIES OF SIX TEMPERATE FORAGE GRASSES. **Journal of Applied Ecology**, v. 10, n. 1, p. 239–250, 1973.
- SIERRA DE LEDO, B.; SORIANO-SIERRA, E. J. Fontes de energia auxiliar no ecossistema do manguezal de Itacorubi, Ilha de Santa Catarina, Brasil. In: SORIANO-SIERRA, E. J.; SIERRA DE LEDO, B. (Eds.). . **Ecologia e gerenciamento do manguezal do Itacorubi**. Florianópolis, SC: NEMAR, CCB, UFSC, 1998. p. 13–30.
- TEVINI, M.; TERAMURA, A. H. UV-B EFFECTS O N TERRESTRIAL PLANTS. **Photochemistry and Photobiology**, v. 50, n. 4, p. 479–487, 1989.
- TWILLEY, R. R.; CHEN, R. H.; HARGIS, T. Carbon sinks in mangroves and their implications to carbon budget of tropical coastal ecosystems. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 64, p. 265–288, 1992.
- WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solventss with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, v. 144, p. 307, 1994.
- WELLER, L. **Estrutura e produtividade de manguezais de colonização recente em Florianópolis , SC**. [s.l.] Universidade do Vale do Itajaí, 2010.
- YAN, K. et al. Evaluation of MODIS LAI/FPAR Product Collection 6 . Part 1: Consistency and Improvements. **Remote Sensing**, v. 359, n. 8, p. 1–16, 2016.
- ZHANG, L. et al. A meta-analysis of the canopy light extinction coefficient in terrestrial ecosystems. **Frontiers of Earth Science**, v. 8, n. 4, p. 599–609, 2014.



## ANEXO 1 – Dados obtidos em campo - Dia 1

<b>indivíduo</b>	<b>folha</b>	<b>CO<sub>2(i)</sub></b>	<b>CO<sub>2(f)</sub></b>	<b>ΔCO<sub>2</sub></b>	<b>CO<sub>2(fluxo)</sub></b>	<b>I<sub>o</sub></b>	<b>I<sub>b</sub></b>	<b>k<sub>area</sub></b>	<b>hora</b>
<b>as01</b>	<b>1</b>	416	382	-34	0.506	13550	2570	0.120	10:50
	<b>2</b>	409	369	-40	0.595	15430	962	0.200	11:01
	<b>3</b>	380	377	-3	0.045	13170	850	0.198	11:09
	<b>4</b>	353	365	12	0.178	77400	3660	0.220	13:30
	<b>5</b>	359	363	4	0.059	72600	2400	0.246	13:37
	<b>6</b>	364	378	14	0.208	74000	2280	0.251	13:43
<b>as02</b>	<b>1</b>	423	368	-55	0.818	80500	7880	0.168	11:26
	<b>2</b>	333	278	-55	0.818	82700	6160	0.187	11:34
	<b>3</b>	337	300	-37	0.550	82000	4150	0.215	11:40
	<b>4</b>	322	335	13	0.193	72000	4040	0.208	13:49
	<b>5</b>	352	359	7	0.104	80800	5250	0.197	14:05
	<b>6</b>	345	356	11	0.164	79500	3750	0.220	14:09
<b>as03</b>	<b>1</b>	352	325	-27	0.402	71700	5450	0.186	12:00
	<b>2</b>	328	317	-11	0.164	86400	2320	0.095	12:10
	<b>3*</b>	249	322	73	1.086	93700	5380	0.206	12:16
	<b>4</b>	361	370	9	0.134	60300	3040	0.216	14:15
	<b>5</b>	353	364	11	0.164	59100	8770	0.138	14:25
	<b>6</b>	354	364	10	0.149	46600	3700	0.183	14:36

CO<sub>2(i)</sub>: CO<sub>2</sub> inicial; CO<sub>2(f)</sub>: CO<sub>2</sub> final; ΔCO<sub>2</sub>: diferença entre CO<sub>2</sub> final e inicial; CO<sub>2(fluxo)</sub>: módulo do fluxo calculado; I<sub>o</sub>: luz acima da folha (lúmens); I<sub>b</sub>: luz abaixo (lúmens); k<sub>area</sub>: coeficiente de extinção de luz; **hora**: horário das medidas em campo; \*outlier não considerado nos cálculos

## ANEXO 2 – Dados obtidos em campo – Dia 1 (continuação)

indivíduo	folha	A <sub>646</sub>	A <sub>663</sub>	A <sub>750</sub>	A <sub>646-750</sub>	A <sub>663-750</sub>	chl <sub>a</sub>	chl <sub>b</sub>	chl <sub>t</sub> (µg/ml)	chl <sub>t</sub> (mg/dm <sup>2</sup> )	chl <sub>a</sub> /chl <sub>b</sub>	k <sub>chl</sub>
as01	1	0.454	0.875	0.003	0.451	0.872	9.424	5.249	14.673	23.160	1.795	0.072
	2	0.5591	0.96	0.002	0.5571	0.958	10.181	7.092	17.273	27.264	1.436	0.102
	3	0.485	0.918	0.018	0.467	0.9	9.722	5.451	15.173	23.948	1.784	0.114
	4	0.507	1.051	0.001	0.506	1.05	11.451	5.524	16.975	26.793	2.073	0.114
	5	0.459	0.828	0	0.459	0.828	8.862	5.646	14.508	22.900	1.570	0.149
	6	0.513	0.9	0.001	0.512	0.899	9.584	6.423	16.007	25.266	1.492	0.138
as02	1	0.365	0.701	0.001	0.364	0.7	7.559	4.256	11.815	18.649	1.776	0.125
	2	0.361	0.698	0	0.361	0.698	7.543	4.202	11.745	18.538	1.795	0.140
	3	0.456	0.858	0.006	0.45	0.852	9.182	5.330	14.511	22.905	1.723	0.130
	4	0.387	0.735	0	0.387	0.735	7.924	4.572	12.496	19.724	1.733	0.146
	5	0.331	0.736	0.002	0.329	0.734	8.074	3.330	11.404	18.000	2.424	0.152
	6	0.338	0.765	0.002	0.336	0.763	8.409	3.333	11.742	18.534	2.523	0.165
as03	1	0.28	0.633	0.002	0.278	0.631	6.954	2.759	9.713	15.331	2.521	0.168
	2	0.242	0.542	0.002	0.24	0.54	5.945	2.406	8.351	13.182	2.471	0.274
	3*	0.319	0.706	0	0.319	0.706	7.758	3.258	11.016	17.388	2.381	0.164
	4	0.347	0.743	0.003	0.344	0.74	8.105	3.622	11.727	18.510	2.238	0.161
	5	0.266	0.591	0.002	0.264	0.589	6.479	2.672	9.151	14.444	2.425	0.132
	6	0.356	0.762	0.002	0.354	0.76	8.322	3.735	12.057	19.031	2.228	0.133

**A<sub>646</sub>**: absorvância 646nm; **A<sub>663</sub>**: absorvância 663nm; **A<sub>750</sub>**: absorvância 750nm; **A<sub>646-750</sub>**: diferença entre 646nm e 750nm; **A<sub>663-750</sub>**: diferença entre 663nm e 750nm; **chl<sub>a</sub>**: clorofila a (µg/ml); **chl<sub>b</sub>**: clorofila b (µg/ml); **chl<sub>t</sub>(µg/ml)**: clorofila total em (µg/ml); **chl<sub>t</sub>(mg/dm<sup>2</sup>)**: clorofila total em (mg/dm<sup>2</sup>); **chl<sub>a</sub>/chl<sub>b</sub>**: proporção entre clorofila a e b; **k<sub>chl</sub>**: coeficiente de extinção a partir da clorofila

### ANEXO 3 – Dados obtidos em campo – Dia 2

individuo	folha	CO <sub>2(i)</sub>	CO <sub>2(f)</sub>	$\Delta$	fluxo	I <sub>o</sub>	I <sub>b</sub>	k <sub>area</sub>	hora
as01	1	401	380	-21	0.312	80600	5120	0.199	11:08
	2	355	314	-41	0.610	84100	4320	0.214	11:18
	3	346	328	-18	0.268	84400	5250	0.200	11:22
	4*	442	444	2	0.030	74400	6200	0.179	12:45
	5	323	341	18	0.268	84500	6750	0.182	12:48
	6	358	365	7	0.104	80300	3550	0.225	12:52
as02	1	351	322	-29	0.431	84700	5280	0.200	11:40
	2	298	260	-38	0.565	80200	3080	0.235	11:47
	3	364	315	-49	0.729	84800	4030	0.220	11:51
	4	341	347	6	0.089	76800	4650	0.202	12:58
	5	321	344	23	0.342	76600	4690	0.202	13:02
	6	333	339	6	0.089	82000	5050	0.201	13:08
as03	1	342	297	-45	0.669	84300	4290	0.215	12:02
	2	342	283	-59	0.877	84000	4500	0.211	12:07
	3	345	287	-58	0.863	80500	5660	0.192	12:13
	4	333	343	10	0.149	77400	4040	0.213	13:16
	5	340	345	5	0.074	82500	15440	0.121	13:20
	6	364	400	36	0.535	79300	5300	0.195	13:25

CO<sub>2(i)</sub>: CO<sub>2</sub> inicial; CO<sub>2(f)</sub>: CO<sub>2</sub> final;  $\Delta$ CO<sub>2</sub>: diferença entre CO<sub>2</sub> final e inicial; CO<sub>2(flujo)</sub>: módulo do fluxo calculado; I<sub>o</sub>: luz acima da folha (lúmens); I<sub>b</sub>: luz abaixo (lúmens); k<sub>area</sub>: coeficiente de extinção de luz; hora: horário das medidas em campo; \*outlier não considerado nos cálculos

## ANEXO 4 – Dados obtidos em campo – Dia 2 (continuação)

indivíduo	folha	A <sub>646</sub>	A <sub>663</sub>	A <sub>750</sub>	A <sub>646-750</sub>	A <sub>663-750</sub>	chl <sub>a</sub>	chl <sub>b</sub>	chl <sub>t</sub> (µg/ml)	chl <sub>t</sub> (mg/dm <sup>2</sup> )	chl <sub>a</sub> /chl <sub>b</sub>	k <sub>chl</sub>
as01	1	0.322	0.691	0.003	0.319	0.688	7.538	3.350	10.888	17.185	2.250	0.160
	2	0.253	0.496	0.007	0.246	0.489	5.304	2.795	8.099	12.783	1.898	0.232
	3	0.28	0.559	0.002	0.278	0.557	6.048	3.136	9.184	14.496	1.928	0.192
	4*	0.311	0.605	0.004	0.307	0.601	6.506	3.535	10.041	15.849	1.840	0.157
	5	0.306	0.618	0.003	0.303	0.615	6.688	3.378	10.066	15.889	1.980	0.159
	6	0.345	0.696	0.003	0.342	0.693	7.535	3.819	11.354	17.921	1.973	0.174
as02	1	0.367	0.733	0.004	0.363	0.729	7.917	4.087	12.004	18.947	1.937	0.146
	2	0.336	0.656	0.003	0.333	0.653	7.070	3.829	10.899	17.204	1.846	0.189
	3	0.365	0.716	0.004	0.361	0.712	7.715	4.130	11.845	18.696	1.868	0.163
	4	0.314	0.628	0.002	0.312	0.626	6.798	3.515	10.313	16.279	1.934	0.172
	5	0.333	0.671	0.003	0.33	0.668	7.262	3.688	10.951	17.284	1.969	0.162
	6	0.305	0.683	0.003	0.302	0.68	7.487	3.025	10.512	16.593	2.475	0.168
as03	1	0.326	0.736	0.002	0.324	0.734	8.088	3.223	11.310	17.852	2.510	0.167
	2	0.251	0.604	0.003	0.248	0.601	6.670	2.267	8.937	14.106	2.942	0.207
	3	0.284	0.602	0.003	0.281	0.599	6.554	2.987	9.540	15.058	2.194	0.176
	4	0.358	0.76	0.002	0.356	0.758	8.292	3.788	12.080	19.068	2.189	0.155
	5	0.275	0.55	0.003	0.272	0.547	5.942	3.058	9.000	14.206	1.943	0.118
	6	0.355	0.695	0.003	0.352	0.692	7.495	4.039	11.534	18.205	1.856	0.149

A<sub>646</sub>: absorvância 646nm; A<sub>663</sub>: absorvância 663nm; A<sub>750</sub>: absorvância 750nm; A<sub>646-750</sub>: diferença entre 646nm e 750nm; A<sub>663-750</sub>: diferença entre 663nm e 750nm; chl<sub>a</sub>: clorofila a (µg/ml); chl<sub>b</sub>: clorofila b (µg/ml); chl<sub>t</sub>(µg/ml): clorofila total em (µg/ml); chl<sub>t</sub>(mg/dm<sup>2</sup>): clorofila total em (mg/dm<sup>2</sup>); chl<sub>a</sub>/chl<sub>b</sub>: proporção entre clorofila a e b; k<sub>chl</sub>: coeficiente de extinção a partir da clorofila

### ANEXO 5 - Base de dados IAF – Asner et al., (2003)

Biome	Original data					Data after IQR analysis				
	Observations	Mean	Standard deviation	Min	Max	Outliers Removed	Mean	Standard deviation	Min	Max
All	931	5.2	4.1	0.01	47.0	53	4.5	2.5	0.01	18.0
Crops	88	4.2	3.3	0.2	20.3	5	3.6	2.1	0.2	8.7
Desert	6	1.3	0.9	0.6	2.8	0	1.3	0.9	0.6	2.8
Forest/BoDBL	58	2.6	1.0	0.3	6.0	5	2.6	0.7	0.6	4.0
Forest/BoENL	94	3.5	3.3	0.5	21.6	8	2.7	1.3	0.5	6.2
Forest/BoTeDNL	17	4.6	2.4	0.5	8.5	0	4.6	2.4	0.5	8.5
Forest/TeDBL	187	5.1	1.8	0.4	16.0	3	5.1	1.6	1.1	8.8
Forest/TeEBL	58	5.8	2.6	0.8	12.5	1	5.7	2.4	0.8	11.6
Forest/TeENL	215	6.7	6.0	0.01	47.0	16	5.5	3.4	0.01	15.0
Forest/TrDBL	18	3.9	2.5	0.6	8.9	0	3.9	2.5	0.6	8.9
Forest/TrEBL	61	4.9	2.0	1.5	12.3	1	4.8	1.7	1.5	8.0
Grasslands	28	2.5	3.0	0.3	15.4	3	1.7	1.2	0.3	5.0
Plantations	77	8.7	4.3	1.6	18.0	0	8.7	4.3	1.6	18.0
Shrublands	5	2.1	1.6	0.4	4.5	0	2.1	1.6	0.4	4.5
Tundra	13	2.7	2.4	0.2	7.2	2	1.9	1.5	0.2	5.3
Wetlands	6	6.3	2.3	2.5	8.4	0	6.3	2.3	2.5	8.4

**BoDBL:** Forest, boreal deciduous broadleaf; **BoENL:** Forest, boreal evergreen needleleaf; **BoTeDNL:** Forest, boreal/temperate deciduous needleleaf; **TeDBL:** Forest, temperate deciduous broadleaf; **TeENL:** Forest, temperate evergreen needleleaf; **TeEBL:** Forest, temperate evergreen broadleaf; **TrDBL:** Forest, tropical deciduous broadleaf; **TrEBL:** Forest, tropical evergreen broadleaf