



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**  
**Instituto de Biociências**

**IGOR BASILIO SILVA**

**Utilização de fotografias hemisféricas no estudo de luminosidade em ambiente florestal**

**Rio de Janeiro**  
**2017**

Igor Basilio Silva

Utilização de fotografias hemisféricas no estudo de luminosidade em ambiente florestal

Monografia do Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentada ao Instituto de Biociências da  
Universidade Federal do Estado do Rio de  
Janeiro, como parte dos requisitos à obtenção do  
título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Orientador: André Scarambone Zaú  
Coorientador: Bruno Francisco Teixeira Simões

Rio de Janeiro  
2017

Silva, Igor

Utilização de fotografias hemisféricas no estudo de luminosidade em ambiente florestal – 2017, 74f

Monografia do Trabalho de Conclusão de Curso

Orientador: André Scarambone Zaú – Coorientador: Bruno Francisco Teixeira Simões

1 – Fotografias hemisféricas 2 – Transmitância luminosa 3 - Abertura de dossel

I. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

Igor Basilio Silva

Utilização de fotografias hemisféricas no estudo de luminosidade em ambiente florestal

Monografia do Trabalho de Conclusão de  
Curso apresentada ao Instituto de Biociências  
da Universidade Federal do Estado do Rio de  
Janeiro, como parte dos requisitos à obtenção  
do título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Aprovada em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

---

(André Scarambone Zaú, Prof. Dr. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro -  
UNIRIO)

---

(Bruno Francisco Teixeira Simões, Prof. Dr. Universidade Federal do Estado do Rio de  
Janeiro - UNIRIO)

---

(Marcio Luiz Gonçalves D'arrochella, MSc. Universidade Federal Fluminense – UFF)

---

(Ciro José Ribeiro de Moura, MSc. Universidade Estadual do Rio de Janeiro - UERJ)

---

(Marco Aurélio Ferreira da Silva, MSc. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro -  
UFRRJ)

## Dedicatória

*“A minha filha que me fez ter forças para encarar essa jornada e a toda minha família especialmente minha mãe, que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.”*

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus por ter me dado saúde e coragem para superar as imensas dificuldades encontradas ao longo desse caminho.

Agradeço ao meu orientador e grande amigo André Scarambone Zaú pela confiança depositada em mim, pelo conhecimento compartilhado, pelo incentivo e apoio sempre que precisei. Que sem isso, nada seria possível!

Agradeço a esta universidade e todo seu corpo docente, direção e administração que proporcionaram que esse sonho fosse possível. Agradeço a todos os professores do curso de Ciências Ambientais que proporcionaram o conhecimento adquirido e por terem me feito aprender.

Agradeço também ao meu coorientador Bruno Simões pelas suas correções e suporte.

Agradeço a minha mãe Ivanete Dias Basilio, uma heroína que não mediu esforços para que esse sonho fosse possível, me motivando nas horas mais difíceis.

Agradeço a minha filha Lis Belloti Basilio, que mesmo sem muito entendimento da situação sempre foi minha maior inspiração para que eu continuasse seguindo em frente.

Agradeço a minha “Tia Bel” pelas ajudas nos momentos de dificuldades, fazendo com que eu continuasse na universidade.

Agradeço a minha madrinha Luzinete Gomes, por todo apoio e suas orações que de alguma forma contribuíram para que eu continuasse adiante.

Agradeço aos meus amigos do Laboratório de Ecologia Florestal da UNIRIO, Gabriel Chagasteles, Erika Sedlacek, Maria Izabel, Joana Alvarez e Inés Gómez, assim como meu amigo Claudio Calvancanti, que tanto me ajudaram nos trabalhos de campo e nos trabalhos em laboratório.

Agradeço ao meu grande amigo e irmão Lenin Faber Lopes, que sempre me motivou a seguir na área ambiental.

Agradeço a todos os amigos do curso de Ciências Ambientais pelos momentos juntos e pelas experiências compartilhadas.

A todos que diretamente ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

## Resumo

A estrutura vertical da floresta está ligada à composição de espécies, às interações e estágios vegetacionais, sendo fator determinante no microclima. A influência climática das coberturas florestais pode ser explicada por características geométricas, sendo adequado descrever efeitos climáticos de áreas florestais em termos das modificações que causam nas transferências de energia. Essa abordagem é relevante para estudos ecológicos e elaboração de modelos ambientais. A análise de fotografias hemisféricas é uma técnica para caracterizar a estrutura física do dossel em florestas. Essa metodologia é utilizada para obtenção de parâmetros estruturais como abertura de dossel, índice de área foliar e transmitância luminosa. Este trabalho busca contribuir com o desenvolvimento desta técnica indicando potencialidades e limitações, além de utilizar a trilha do Morro da Urca, no Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e Urca, para identificar possíveis impactos causados pelo uso. Foram obtidos atributos estruturais do dossel na trilha e dentro da mata, utilizando uma câmera fotográfica acoplada a uma lente Fisheye, orientada para cima e mantida a 1m acima do chão. Foram analisadas 35 parcelas de 20 m, totalizando 700 m de trilha. Além dos parâmetros do dossel e de luminosidade, foram analisados parâmetros físicos da trilha (largura e profundidade), e parâmetros dendrométricos (DAP e altura) de indivíduos ao longo da trilha. Os resultados indicaram diferenças entre os ambientes “trilha” e “mata”, além de possíveis impactos causados pela trilha na mata. Os atributos biofísicos nas condições de análise influenciam a estrutura florestal. Os dados dendrométricos, por sua vez, apresentaram relação com os índices de luminosidade. Esse conjunto de correlações apontam para um efeito de borda, pois a abertura do dossel na trilha influencia padrões estruturais e de luminosidade dentro da mata. Foi possível identificar padrões e elaborar modelos que podem auxiliar na gestão e manejo da área.

**Palavras-chave:** Fotografias hemisféricas. Transmitância Luminosa. Abertura de dossel.

## **Abstract**

The vertical structure of the forest is linked to the composition of species, interactions and vegetative stages, being a determining factor in the microclimate. The climatic influence of forest cover can be explained by geometric characteristics, and it is appropriate to describe the climatic effects of forest areas in terms of the changes they cause in energy transfers. This approach is relevant for ecological studies and the elaboration of environmental models. The analysis of hemispheric photographs is a technique to characterize the physical structure of the forest canopy. This methodology is used to obtain structural parameters such as canopy opening, leaf area index and light transmittance. This work seeks to contribute to the development of this technique indicating potentialities and limitations, besides using the Morro da Urca Trail, at the Morros do Pão de Açúcar and Urca Natural Monument, to identify possible impacts caused by the use. Structural attributes of the canopy were obtained on the trail and within the forest, using a photographic camera coupled to a Fisheye lens, oriented upwards and kept 1m above the ground. 35 plots of 20 m were analyzed, totaling 700 m of trail. In addition to canopy and luminosity parameters, physical parameters of the trail (width and depth), and dendrometric parameters (DAP and height) of individuals along the trail were analyzed. The results indicated differences between the "trail" and "forest" environments, as well as possible impacts caused by the trail in the forest. The biophysical attributes in the conditions of analysis influence the forest structure. The dendrometric data, in turn, presented a relation with the indices of luminosity. This set of correlations points to an edge effect, as the opening of the canopy on the trail influences structural patterns and luminosity within the forest. It was possible to identify patterns and elaborate models that can aid in the management and management of the area.



## Lista de figuras

FIGURA 1 - ESQUEMA DA ESTRUTURA FLORESTAL .....	4
FIGURA 2- CARACTERÍSTICAS DA PROJEÇÃO DO HEMISFÉRIO SOBRE UM PLANO. ....	10
FIGURA 3- FOTOGRAFIA HEMISFÉRICA ILUSTRATIVA, MOSTRANDO UMA ABERTURA DE DOSSEL, MONUMENTO NATURAL DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA, RIO DE JANEIRO, RJ. 2017 .....	10
FIGURA 4 - LOCALIZAÇÃO DA TRILHA MORRO DA URCA .....	13
FIGURA 5 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO .....	14
FIGURA 6 - LOCALIZAÇÃO DO BAIRRO DA URCA NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, RJ .....	14
FIGURA 7- ESQUEMA DAS ETAPAS DO PROCESSO DO TRABALHO.....	17
FIGURA 8 - CÂMERA CANON EOS 6D ACOPLADA A UMALENTE FISHEYE 8MM, COM SUPORTE DE TRIPÉ.....	18
FIGURA 9 - DEFINIÇÃO DA ÁREA DE OBSERVAÇÃO DAS AMOSTRAS, PARCELA DE 20M SUBDIVIDIDA, COM A MARCAÇÃO DENTRO DA MATA A DIREITA E MEDIÇÕES DENDROMÉTRICAS AO CENTRO. AS MARCAS VERMELHAS REPRESENTAM AS MEDIÇÕES BIOFÍSICAS, A CADA 10M.....	19
FIGURA 10 - FOTOGRAFIA CAPTURADA COM AUXÍLIO DE NÍVEL DE BOLHA E BÚSSOLA.....	20
FIGURA 11 - MARCAÇÃO DOS PONTOS DE CAPTURA DAS FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS .....	21
FIGURA 12 - EXEMPLO DE FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS OBTIDAS COMLENTE HEMISFÉRICA 8 MM, CÂMERA CANON EOS 6D. MONA PÃO DE AÇÚCAR, RIO DE JANEIRO, RJ. 2017 .....	21
FIGURA 13 - SOFTWARE GLA 2.0, ETAPA DE REGISTRO E DEFINIÇÃO DE CONFIGURAÇÕES DA IMAGEM .....	23
FIGURA 14 - DETERMINAÇÃO DO LIMIAR DE COR ATRAVÉS DO RGBFISHEYE .....	24
FIGURA 15 - FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS APÓS A TRANSFORMAÇÃO EM IMAGENS BINÁRIAS .....	24
FIGURA 16 - ÚLTIMA ETAPA DO PROCESSAMENTO DE IMAGENS ATRAVÉS DO GLA 2.0.....	25
FIGURA 17 - RELATÓRIO DE CÁLCULO .....	27
FIGURA 18 - FOTOGRAFIAS REGISTRADAS DURANTE O PROCESSO DE TESTE .....	29
FIGURA 19 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DA ABERTURA DE DOSSEL .....	31
FIGURA 20 - GRÁFICO BOXPLOT DA ABERTURA DE DOSSEL NA TRILHA (%) .....	31
FIGURA 21 - FOTOGRAFIA CAPTURADA NA PARCELA 15, NO PERCURSO DA TRILHA, COM GRANDE ABERTURA DE DOSSEL.....	32
FIGURA 22 - GRÁFICO BOXPLOT LOGARITIMIZADO DA ABERTURA DE DOSSEL.....	33
FIGURA 23 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR.....	34
FIGURA 24 - GRÁFICO BOXPLOT DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF) NOS DOIS AMBIENTES.....	34
FIGURA 25 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA PARA TRANSMITÂNCIA LUMINOSA DIRETA .....	35
FIGURA 26 - GRÁFICO BOXPLOT FREQUÊNCIA PARA TRANSFERÊNCIA LUMINOSA DIRETA .....	36
FIGURA 27 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA PARA TRANSMITÂNCIA LUMINOSA DIFUSA .....	37
FIGURA 28 - GRÁFICO BLOXPOT PARA TRANSMITÂNCIA LUMINOSA DIFUSA .....	38
FIGURA 29 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA PARA TRANSMITÂNCIA	

LUMINOSA TOTAL.....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
FIGURA 30 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA PARA PROFUNDIDADE.....	39
FIGURA 31 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA PARA LARGURA.....	40
FIGURA 32 - MATRIZ DE DISPERSÃO DAS DOS PARÂMETROS DO DOSEL.....	42
FIGURA 33 - GRÁFICO COM PERCENTAGEM DAS EXPLICAÇÕES EM SUAS RESPECTIVAS DIMENSÕES NO AMBIENTE DA TRILHA .....	43
FIGURA 34 - CONTRIBUIÇÃO DAS VARIÁVEIS NA PRIMEIRA DIMENSÃO NA TRILHA .....	44
FIGURA 35 - CONTRIBUIÇÃO DAS VARIÁVEIS NA SEGUNDA DIMENSÃO NO AMBIENTE DA TRILHA .....	44
FIGURA 36 - COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS E DAS RESPECTIVAS PARCELAS.....	45
FIGURA 37 - GRÁFICO COM PERCENTAGEM DAS EXPLICAÇÕES EM SUAS RESPECTIVAS DIMENSÕES NO AMBIENTE DA TRILHA .....	46
FIGURA 38 - CONTRIBUIÇÃO DAS VARIÁVEIS NA PRIMEIRA DIMENSÃO NO AMBIENTE DA MATA.....	47
FIGURA 39 - CONTRIBUIÇÃO DAS VARIÁVEIS NA PRIMEIRA DIMENSÃO NO AMBIENTE DA MATA.....	48
FIGURA 40 - COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS E DAS RESPECTIVAS PARCELAS DENTRO DA MATA.....	49
FIGURA 41 - GRÁFICO COM A PERCENTAGEM DAS EXPLICAÇÕES EM SUAS RESPECTIVAS DIMENSÕES NOS DOIS AMBIENTES .....	50
FIGURA 42 - CONTRIBUIÇÃO DAS VARIÁVEIS NA PRIMEIRA DIMENSÃO NOS DOIS AMBIENTE, TRILHA E MATA.	50
FIGURA 43 - CONTRIBUIÇÃO DAS VARIÁVEIS NA SEGUNDA DIMENSÃO NOS DOIS AMBIENTE, TRILHA E MATA	51
FIGURA 44 - GRÁFICO COM NÚMERO IDEAL DE GRUPOS PARA DIVIDIR AS PARCELAS HIERARQUICAMENTE ....	52
FIGURA 45 - GRÁFICO COM AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO DAS PARCELAS .....	53
FIGURA 46 - ESQUEMA ILUSTRATIVOS DAS INTERAÇÕES DO MONA DOS MORROS DO PÃO DE AÇÚCAR E DA URCA .....	54

## **Lista de tabela**

TABELA 1 - RESULTADO DAS MELHORES CONFIGURAÇÕES, SENDO C2 A CONFIGURAÇÃO UTILIZADA.....	28
TABELA 2 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN .....	41

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 HIPÓTESE, PRESSUPOSTOS E OBJETIVOS.....	3
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
2.1 ESTRUTURA DO DOSSEL .....	3
2.2 LUMINOSIDADE .....	6
2.3 ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR .....	7
2.4 FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS.....	8
2.4.1 <i>Breve histórico</i> .....	8
2.4.2 <i>Aplicações</i> .....	9
2.4.3 <i>Princípios gerais</i> .....	9
2.4.4 <i>Exposição fotográfica</i> .....	11
2.4.5 <i>Função gama</i> .....	12
2.5 TRILHAS EM UNIDADE DE CONSERVAÇÃO.....	12
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>13</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS.....	13
3.2 VEGETAÇÃO .....	15
3.3 MÉTODOS.....	16
3.3.1 <i>Preparação para a coleta de dados</i> .....	17
3.3.2 <i>Coleta de dados em campo</i> .....	19
3.3.3 <i>Processamento de imagens</i> .....	22
3.6.4 <i>Análise estatística</i> .....	27
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>28</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>56</b>

## 1. Introdução

A utilização de fotografias hemisféricas vem sendo utilizada como técnica para analisar a estrutura das copas de florestas, através de uma câmera equipada com uma lente hemisférica (fisheye) apontada para cima, fornecendo um campo de visão de até 180° (ANDERSON, 1964). As fotografias resultantes desse método fornecem um registro permanente que podem ser analisados para determinar quais partes do céu são visíveis e quais partes são obstruídas por características florestais, copas de árvores ou estruturas construídas pelo homem (JONCKHEERE *et al.*, 2004). Com base nessas medidas de geometria e de visibilidade e obstrução do céu, as fotografias hemisféricas podem ser usadas para calcular as características do regime de radiação solar, assim como atributos biofísicos e estruturais do dossel florestal (BEAUDET e MESSIER, 2002).

Procedimentos envolvendo análise de fotografias hemisféricas aplicada à estudos ecológicos tiveram início na década de 60 (CHIANUCCI e CUTINI, 2012), porém, com pouco sucesso devido às limitações tecnológicas daquela época, que impediram uma aplicação mais ampla deste método fotográfico para estudos envolvendo o meio ambiente (ROXBURGH e KELLY, 1995). Nos últimos anos, essa metodologia vem ganhando mais visibilidade devido aos diversos avanços tecnológicos e redução de custos. As constantes inovações na área de tecnologia digital proporcionam uma melhora constante no que diz respeito a técnicas de campo e aspectos de processamento de imagens (GALVANI e LIMA, 2014).

Neste sentido, o uso de fotografias hemisféricas em ambiente florestal vem ganhando espaço. Estudos envolvendo propriedades do dossel florestal são importantes para auxiliar as ações de restauração ecológica, melhorando a sua aplicação (LATIFI e GALOS, 2010). A utilização dos parâmetros estruturais de uma floresta e o conjunto de dados arquitetônicos obtidos através do processamento digital das fotografias hemisféricas são fundamentais para a elaboração de modelos envolvendo o ecossistema (WOODGATE *et al.*, 2015), já que a disponibilidade de luz através do dossel é influenciada pela dinâmica da floresta (NICOTRA *et al.*, 1999). A estrutura florestal tem impacto direto sobre o microclima, é um fator importante para a continuidade dos processos sucessionais e para o restabelecimento do ecossistema (GUARIGUATA e OSTERTAGA, 2001)

A luz é uma variável atmosférica de extrema importância, que pode limitar o crescimento e a sobrevivência de muitas espécies florestais. Além disso, sua distribuição pode afetar a regeneração e padrões de organização estrutural (BECKSCHÄFER *et al.*, 2002). Esse

conjunto de fatores é fundamental para interpretar os processos envolvidos com o ecossistema (ASNER *et al.*, 2003), já que influenciam diretamente a absorção fotossintética ativa do sub-bosque, a qual é o principal motor da produtividade primária dos ecossistemas terrestres (CESCATTI, 2007).

Portanto a aplicabilidade das fotografias hemisféricas é bastante ampla, podendo auxiliar na análise de praticamente qualquer tipo de dossel, desde que seja viável obter fotografias debaixo da copa, dependendo do tipo de vegetação (FRAZER *et al.*, 2001). As fotografias hemisféricas também possuem uma capacidade de ampliar as amostras em campo, comparada com métodos diretos de avaliação, onde as medidas são feitas diretamente na planta (JONCKHEERE *et al.*, 2004). Diante desta realidade, são necessários estudos para ampliar o conhecimento sobre essa ferramenta.

Estudos envolvendo a aplicabilidade de fotografias hemisféricas para avaliar impactos em Unidades de Conservação ainda são incipientes (LOWMAN, 2009). A quantificação de dano no dossel também pode ser realizada por meio de fotos hemisféricas obtidas sob o dossel impactado (SCHLIEMANN e BOCKHEIM, 2011). Mediante o emprego de fotos hemisféricas é possível estimar a fração de abertura de dossel, parâmetro que possui forte correlação com o índice de área foliar (IAF) (RICH, 1990). Sendo assim, através de fotografias hemisféricas é possível quantificar impactos em Unidades de Conservação (UC) e áreas de visitação.

A busca da população por um maior contato com as áreas silvestres, pode causar impactos positivos ou negativos às áreas de visitação (SILVA e CASTRO, 2015). Os impactos negativos são definidos como modificações em propriedades biológicas, químicas e físicas do meio ambiente e que podem ser causadas por agentes naturais, humanos ou pela combinação de ambos (VALLEJO, 2013). Os impactos negativos em Unidades de Conservação (UCs) associados ao uso de trilhas são cada vez mais entendidos no Brasil, pois embora possua uma avançada legislação relacionada às UCs, o país se depara com dificuldades operacionais de fiscalização e de estudos de monitoramento (SILVA e CASTRO, 2015). O uso público também pode trazer benefícios às áreas de visitação, desde que a haja um bom programa de planejamento (SANTOS, 2010).

## 1.1 Hipótese, pressupostos e objetivos

Partimos do pressuposto que características de uma trilha para caminhantes podem afetar a estrutura da vegetação, pelo menos nas imediações da trilha. Desta forma, acreditamos que existem diferenças significativas entre a estrutura do dossel da floresta nos trechos imediatamente sobre o percurso da trilha, quando comparados aos trechos mais para o interior da mata.

A utilização de trilhas é um dos principais indutores de lazer, contemplação, ecoturismo e educação ambiental em unidades de conservação (AZEREDO e ZAU, 2017), e esse uso vem se tornando cada vez mais intenso e constante (BALMFORD *et al.*, 2009). Porém, o aumento dessa procura pode causar diversos impactos a essas áreas protegidas (EISENLOHR *et al.*, 2013). Este trabalho busca contribuir com o desenvolvimento da técnica de análise de dossel através de fotografias hemisféricas.

Como objetivos específicos buscamos:

- 1) Identificar as melhores configurações para tomada de fotografias hemisféricas utilizando máquina profissional digital;
- 2) Avaliar relações entre parâmetros e variáveis usualmente adotadas no âmbito das análises de fotografias hemisféricas;
- 3) Comparar a estrutura física da floresta em duas condições: no percurso da trilha e a 30m para dentro da mata, avaliando parâmetros biofísicos e dendrométricos;
- 4) Avaliar o impacto na principal trilha do Monumento Natural dos Morros da Urca e Pão de Açúcar, um dos pontos turísticos mais visitados do estado do Rio de Janeiro (LIMA, 2016).

## 2. Referencial teórico

### 2.1 Estrutura do dossel

Dossel florestal é o nome atribuído a cobertura superior de uma floresta (Figura 1), sendo formado pelas copas das árvores (LOWMAN, 2009). Em termos gerais essa estrutura pode variar em escalas, que podem ser de fração de segundos/minutos (vento, água etc.), para estações (fenologia, restrições ambientais) a anos (dinâmica do ecossistema) (WEISS *et al.*,

2004). No início da década de 1980, especialistas classificaram o dossel como um "subsistema" da floresta, porém com fortes relações sobre ela (CARROLL e CARROLL, 1980). Seus componentes são criticamente importantes para processos locais, tais como ciclagem de nutrientes, hidrologia, polinização e herbivoria (COXCON e NADKARNI, 1995). A estrutura do dossel é um fator central em qualquer descrição de processos de interação entre planta-ambiente, sendo fortemente ligado à interceptação e dispersão de radiação solar (NADKARNI *et al.*, 2011). A arquitetura do dossel também molda o comportamento do vento enquanto transporta calor, vapor d'água e gases como dióxido de carbono. Nesse sentido é importante definir o conceito de microclima, pois, a estrutura do dossel contribui para definir o espectro de microclimas encontrados dentro de determinado ambiente. O microclima florestal pode ser definido como o espaço entre o topo do solo e a copa das árvores, possuindo características climáticas diferenciadas (D'ARROCHELLA *et al.*, 2009), com áreas reduzidas em termos de escala podendo variar de alguns centímetros até algumas dezenas de m<sup>2</sup> (GEIGER, 1961). Os microclimas são habitados não só pela flora local, mas também por diversos outros organismos, sejam eles insetos, fauna vertebrada ou mesmo seres humanos (WELLES, 1990).

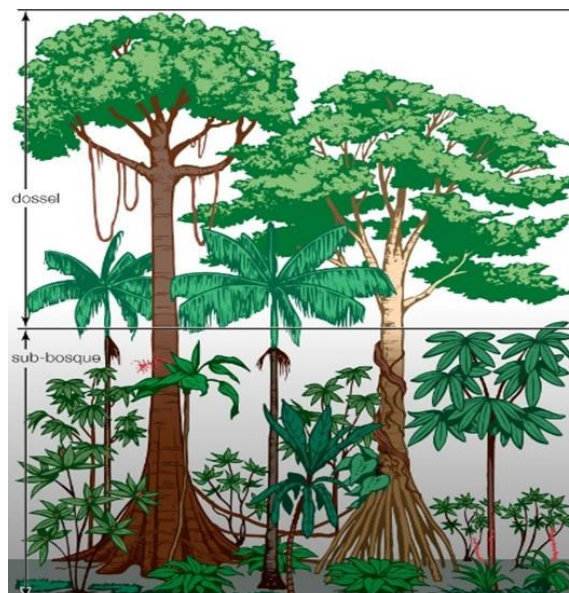


Figura 1 - Esquema da estrutura florestal

Fonte: Enciclopédia Britânica, 2015.

Sendo assim, a estrutura do dossel é um resultado complexo e dinâmico da evolução caracterizada pela posição, orientação, tamanho e forma dos elementos vegetativos (CHASON



*et al.*, 1991), essa estrutura atua como uma barreira física natural, diminuindo a força das chuvas e protegendo o solo contra erosão (MACFARLANE *et al.*, 2007).

Estima-se que a maior biodiversidade do planeta se encontra nesse espaço da floresta, contendo, segundo estimativas, até 70% das formas de vida das florestas tropicais (SCHMINK e GARCÍA, 2016). Além disso, dez por cento de todas as espécies de plantas vasculares habitam a região do dossel (KRESS, 1986). Essa diversidade pode ser atribuída, pelo menos em parte, à estrutura tri-dimensional do dossel, que oferece condições para a diversificação de nichos e estratificação vertical (OZANNE *et al.*, 2003). As espécies do dossel florestal, exercem grande influência sobre o ambiente situado sob suas copas, influenciando o padrão de luz no sub-bosque ou sobre o solo (VÁZQUEZ, 1990), consequentemente, elas afetam a temperatura superficial do solo, a germinação e o estabelecimento de espécies (GUARIGUATA e OSTERTAG, 2001). Os pesquisadores atribuíram ao dossel muitos dos serviços ecossistêmicos: maior taxa de fotossíntese, controle de produção de matéria orgânica; influência sobre a troca de energia e matéria com o atmosfera; efeitos de microclima; habitat para organismos; e contribuição para a estabilidade do clima mundial (OZANNE *et al.*, *op. cit.*). Por sua vez, a área foliar do dossel serve como controle dominante sobre a produção primária, transpiração, troca de energia e outros atributos relevantes para uma série de processos ecossistêmicos (ASNER *et al.*, 2003).

A copa das florestas sofre, ainda, uma deficiência no campo de pesquisas, as quais são dificultadas por questões de logística, devido à altura das árvores e subseqüentes desafios de amostragem e acessibilidade para os pesquisadores (LOWMAN e MOFFETT, 1993; LOWMAN, 2009). Depois de mais de trinta anos de desenvolvimento, a ciência em volta do dossel ainda é uma fronteira, que promete soluções para desafios futuros. Questões ambientais importantes, como mudanças climáticas, conservação da biodiversidade, e as interações da floresta inspiraram a coleta de dados dentro das copas, bem como acima e abaixo do dossel (LOWMAN, 2009). A quantificação do dossel é crucial, tanto para a compreensão e modelagem do funcionamento do ecossistema, como para monitoramento e programas de pesquisa, e ainda para re-calibrar índices de vegetação (CESCATTI, 2007). Os estudos iniciais sobre o tema foram focados em história natural e estrutura florestal (NICOTRA *et al.*, 1999). Os mesmos autores afirmam que, posteriormente, outras áreas foram abordadas, como produção, mortalidade, fenologia, fluxo de genes, herbivoria e diversidade de artrópodes (NICOTRA *et al.*, *op. cit.*). Mais tarde o escopo se ampliou, abrangendo escalas espaciais maiores e uma maior complexidade de interações (NADKARNI *et al.*, 2011). Essas questões dizem respeito a alguns dos mais urgentes temas ambientais hoje: a perda de biodiversidade, o papel funcional das

florestas para fornecer serviços ecossistêmicos, e mitigação das mudanças climáticas globais e regionais devido a atividades humanas. Nessa área, nas últimas décadas, as abordagens de pesquisa se tornaram mais voltadas para a orientação experimental e preditiva (WINKLER *et al.*, 2005).

## 2.2 Luminosidade

O dossel é conceituado como uma série de camadas de folhas que absorvem radiação, onde cada uma delas atenua uma fração da radiação incidente baseada nos princípios da Lei de Beer-Lambert (BECKSCHÄFER *et al.*, 2002). Interações entre a radiação incidente e elementos do dossel são extremamente complexos e descritos por três principais mecanismos físicos: reflexão, absorção e transmissão. A radiação solar refletida no domínio óptico é comumente utilizada em estudos da vegetação, de modo que, a reflectância de dosséis depende de propriedades radiativas das folhas, outros elementos não fotossintéticos do dossel e da sua organização espacial (GENDRON *et al.*, 1998). Mecanismos que influenciam a reflectância da folha são bem compreendidos, porém, em nível de dossel continua sendo um desafio, devido a múltiplas interações entre elementos e sua estrutura. Nesse sentido, a estrutura mais utilizada para caracterizar o dossel é o Índice de Área Foliar (IAF). Porém, tal índice não pode descrever completamente os efeitos da sua estrutura (KABAKOFF e CHAZDON, 1996; MACFARLANE *et al.*, 2007).

De acordo com Jones e Vaughan (2010), a reflexão da radiação eletromagnética de dosséis depende das propriedades radiativas dos componentes individuais da vegetação, da orientação da encosta, latitude, época do ano, condições atmosféricas, fitossanidade, bem como, folhas, galhos, troncos, água e sombra, e ainda, da arquitetura da copa. A interpretação de dados de dosséis florestais exige conhecimento de fatores internos e externos, o qual são considerados o tamanho da área de visão do sensor, ângulos de iluminação, nebulosidade e velocidade do vento, além das propriedades ópticas da superfície do solo e arquitetura do dossel (GUYOT *et al.*, 1989). Além disso, a organização e arranjo espacial das folhas no dossel afeta diretamente a quantidade de luz absorvida pelo sistema (KÜPPERS, 1994; ROXBURGH e KELLY, 1995; WOODGATE *et al.*, 2015).

A distribuição de propriedades ópticas também pode ser considerado como parte integrante da estrutura do dossel (WEISS *et al.*, 2004). Além disso, a distribuição de luz dentro do dossel influencia um grande número de funções fisiológicas, como fotossíntese, transpiração

e abertura estomática (EVANS e COOMBE, *op. cit.*). Essas interações entre luz e vegetação têm sido amplamente estudadas por suas implicações na fisiologia das plantas e sensoriamento remoto (SINOQUET *et al.*, 1998). Dentro das florestas, a variação da vegetação associada à variação da transmissão de luz afeta o crescimento e mortalidade de mudas de árvores e plantas (MONTGOMERY e CHAZDON, 2002). Por outro lado, a composição das espécies da copa pode influenciar significativamente a transmitância de luz, principalmente em áreas de abertura ou ausência de dossel (KABAKOFF e CHAZDON, 1996).

Padrões de luminosidade podem ser avaliados indiretamente, uma técnica que é amplamente aplicada para descrever a radiação solar e o caminho do sol em vários momentos (COURBAUD *et al.*, 2003; HALVERSON *et al.*, 2003). Os resultados dessas avaliações podem ser usados quantitativamente para variados casos, como por exemplo, avaliar as chances de crescimento da vegetação do solo nos ecossistemas florestais (SINOQUET *et al.*, 1998).

### **2.3 Índice de Área Foliar**

O Índice de área foliar (IAF) é definido como a área total de folhagem unilateral por unidade de superfície projetada no solo (BRÉDA, 2003; MARIE e FRE, 2008). É uma das principais características biofísicas do dossel, frequentemente utilizada para modelar processos ecológicos (FASSNACHT *et al.*, 1994). O conhecimento do IAF cumulativo é fundamental, pois serve como controle dominante sobre a produção primária, a troca de energia, fluxo de CO<sub>2</sub>, evapotranspiração, interceptação de queda e deposição seca (SILVA e MAILARD, 2009). Além disso, o IAF atua diretamente em outros atributos fisiológicos relacionados aos processos ecossistêmicos (MEYERS e PAW U, 1987; WALTER *et al.*, 2003). Mapas que descrevem a distribuição espacial do Índice de Área Foliar em determinada paisagem são particularmente de alto valor para uma melhor compreensão da dinâmica e dos processos do ecossistema, especialmente em áreas grandes e remotas (BECKSCHÄFER *et al.*, 2014). O IAF da vegetação depende do tipo de espécie, estágio de desenvolvimento, condições locais, sazonalidade e das práticas de gestão do ambiente (MARIE e FRE, 2008). É um parâmetro dinâmico, que se altera diariamente, principalmente na primavera e no outono – especialmente nas florestas que sofrem a influência mais acentuada da sazonalidade, sendo impulsionado pela dinâmica da estação, ano após ano (WELLES, 1990).

As técnicas de sensoriamento remoto para medição de IAF têm-se mostrado uma ferramenta bastante viável, com resultados rápidos e com nível aceitável de exatidão

(PUESCHEL *et al.*, 2012). Vários trabalhos apresentam diferentes métodos para estimar o IAF da estrutura da vegetação (BRÉDA, 2003). Existem duas categorias principais de procedimentos para estimar IAF: métodos diretos e indiretos, destrutivos ou não (VAN GARDINGEN *et al.*, 1999). As medições diretas do índice de área foliar estão relacionadas às medidas tomadas diretamente na planta, no entanto, são extremamente demoradas e trabalhosas. Além disso, tais medidas envolvem amostragem destrutiva, o que é indesejável em áreas protegidas e em alguns estudos de longo prazo (PROMIS *et al.*, 2011). Com o desenvolvimento de novas técnicas, surgiram os métodos indiretos, nos quais as áreas são calculadas indiretamente a partir de valores de radiância. São mais rápidos e eficientes que os métodos diretos, porém exigem uma aparelhagem especial, fator que aumenta seu custo (FASSNACHT *et al.*, 1994). Estes métodos indiretos incluem a fotografia hemisférica (e.g. LAI-2000 e os produtos orbitais). O princípio é basicamente o mesmo, medidas radiométricas que fornecem dados de aberturas no dossel, que são utilizadas para estimar o IAF (CESCATTI, 2007).

Assim, IAF é uma das principais variáveis biofísicas exigidas por muitos modelos que descrevem o solo, planta e sistema atmosférico (LATIFI e GALOS, 2010), sendo o IAF muitas vezes um parâmetro crítico em modelos baseados em processos de resposta de cobertura de vegetação até mesmo no ambiente global (WEISS *et al.*, 2004).

## **2.4 Fotografias Hemisféricas**

### **2.4.1 Breve histórico**

A primeira lente hemisférica foi desenvolvida por Hill (1924), com o intuito de estudar a formação de nuvens (RICH, 1990). Os mesmos autores afirmam que as primeiras aplicações de fotografias hemisféricas em estudos ecológicos só ocorreram muitos anos depois, na década de 60, em trabalhos sobre silvicultura (EVANS e COOMBE, 1959). Posteriormente as fotografias hemisféricas obtidas através de máquinas fotográficas de filme começaram a ser utilizadas para estimar propriedades do dossel florestal (ANDERSON, 1964; CHAN *et al.*, 1986; BONAN, 2008). No entanto, o processo era bastante complexo e demorado, e isso serviu de impedimento para uma adoção mais ampla da fotografia hemisférica (BRÉDA, 2003; MACFARLANE *et al.*, 2007).

Mais recentemente, avanços na área de fotografias digitais e softwares de processamento de imagens levaram a uma renovação do interesse em fotografias hemisféricas digitais, como forma indireta de quantificar as propriedades do dossel florestal

(MACFARLANE *et al.*, 2007; JARČUŠKA *et al.*, 2010). Câmeras digitais simplificaram bastante o processo de captura e processamento de imagens (MACFARLANE, 2011). Além do mais, nos últimos anos, inúmeros pacotes comerciais de software específico para análise do dossel foram desenvolvidos (FRAZER *et al.*, 1999; JONCKHEERE *et al.*, 2005). Estudos recentes já confirmaram a precisão e a alta potencialidade das fotografias hemisféricas digitais na estimativa das propriedades do dossel florestal (ENGLUND *et al.*, 2000; LEBLANC *et al.*, 2005; MACFARLANE *et al.*, 2007).

#### 2.4.2 Aplicações

A fotografia hemisférica pode ser usada de variadas formas para se estudar a geometria do dossel e a penetração de luz (BECKSCHÄFER *et al.*, 2002). Através desse método, praticamente qualquer dossel vegetal pode ser estudado, variando de sistemas de cultivo até as florestas naturais, desde que, seja viável tirar fotografias debaixo da copa (RICH, 1990). Mapas de luz podem ser elaborados através da aquisição e processamento de fotografias hemisféricas, para avaliação da variabilidade espacial e temporal da luz sob copa das plantas (GENDRON *et al.*, 1998). Ao estudar relações de frequência e o ângulo zenital em fotografias hemisféricas, é possível estimar várias propriedades de copas de plantas, tais como: índice de área foliar, ângulo de folha, e o tamanho e espaçamento das plantas (GALVANI e LIMA, 2014; ORIGO *et al.*, 2017). Para o estudo de dinâmica de comunidades, as fotografias do dossel podem ser usadas como um meio para documentar e quantificar a formação e fechamento de clareiras (NOBIS e HUNZIKER, 2005), e também tem uma importante aplicabilidade para medir mudanças sazonais na densidade de folhagem (CHIANUCCI *et al.*, 2014).

#### 2.4.3 Princípios gerais

Fundamentalmente, as fotografias hemisféricas produzem uma projeção hemisférica num plano (Figura 2), a projeção pode variar de acordo com a lente que é utilizada. (ANDERSON, 1964). Na imagem resultante circular, o zênite é localizado no centro e os horizontes na direção das bordas, o ângulo zenital é proporcional ao longo de um raio ( $r$ ), que

representa o total da projeção resultante da fotografia. Em uma projeção perfeita o campo de visão é de  $180^\circ$ , mostrando uma visão completa de todas as direções do céu (RICH, 1989).

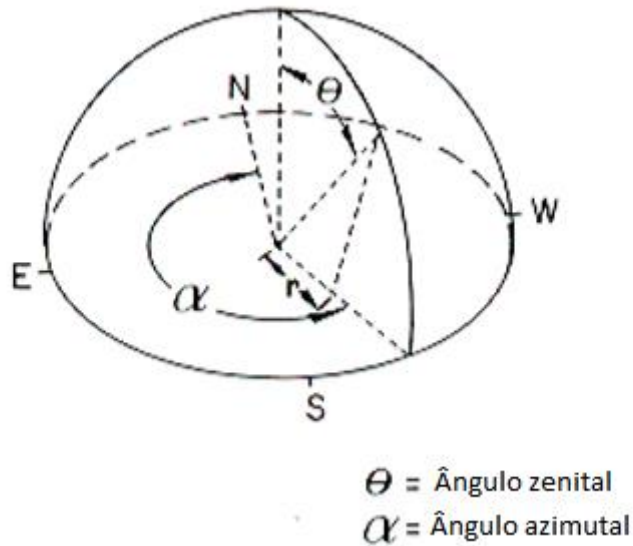


Figura 2- Características da projeção do hemisfério sobre um plano.

Fonte: Carreire (2009)

Fotografias hemisféricas do dossel são tomadas apontando a câmera diretamente para cima, e com a parte superior da mesma voltada para o norte (Figura 3).



Figura 3- Fotografia hemisférica ilustrativa, mostrando uma abertura de dossel, Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, Rio de Janeiro, RJ. 2017

A folhagem bloqueia parte da radiação de entrada e aberturas no dossel permitem que a radiação passe diretamente. Ressaltando que ao longo do dossel existem extratos, logo, a interceptação da luz é dada para cada extrato. A radiação transmitida através da folha não é considerada nesse processo. A análise da penetração de luz através das aberturas do dossel considera em primeiro lugar a transmitância luminosa direta, ou seja, a quantidade de luz solar direta que chega ao solo e, depois, a transmitância difusa, que é a quantidade de luz que chega indiretamente no ambiente (RICH, 1989). A luz solar direta para um determinado local depende da posição relativa do sol, da posição do relevo, orientação do terreno, latitude e condições climáticas (BECKSCHÄFER *et al.*, 2002). Assim, para um determinado período de tempo, a radiação total que atinge um determinado local sob um dossel florestal, é a soma da luz solar direta e a indireta que penetram através das aberturas de dossel (RICH, *op. cit.*).

#### 2.4.4 Exposição fotográfica

A fotografia depende de luz, ou seja, a câmera só consegue captar aquilo que reflete algum tipo de luz, por isso é tão importante compreender o conceito de exposição. Para facilitar o cálculo da quantidade de luz necessária para iluminar determinada cena, foi criada a Escala de Valor de Exposição, que expressa os níveis de exposição de uma cena à luz, através de valores determinados (ZHANG *et al.*, 2005). O controle da exposição é de extrema importância, uma vez que a exposição pode influenciar em estimativas confiáveis da fração de dossel e de luminosidade (CHEN *et al.*, 1991; MACFARLANE *et al.*, 2007). Imagens tiradas com configurações automáticas subestimam a fração de luz em dossel aberto, enquanto superestimam a fração de luminosidade em copas de média e alta densidade (BECKSCHÄFER *et al.*, 2002; ZHANG *et al.*, 2005); como consequência, as configurações precisam ser configuradas manualmente. A configuração ideal para a captura de fotografias hemisféricas seria a que faz o céu aparecer o mais branco possível, fornecendo entretanto, o melhor contraste entre a copa e o céu (CHEN *et al.*, 1997).

### 2.4.5 Função gama

Ao contrário das câmeras de filme, sensores de imagem câmeras digitais têm a vantagem de responder linearmente à luz (BECKSCHÄFER *et al.*, 2002; ZHANG *et al.*, 2005). Contudo, para simular o comportamento não-linear do olho humano, o software nas câmeras digitais aplica uma transformação logarítmica por meio de função gama (CESCATTI, 2007). A função gama descreve a relação entre a intensidade da luz real durante a fotografia e o valor de brilho resultante de um pixel (WAGNER, 1998). Para fotografias hemisféricas, um valor gama de 1.0 denota uma imagem que reproduz com precisão a intensidade da luz real (MACFARLANE *et al.*, 2007). As câmeras digitais geralmente possuem o efeito dessa correção para aliviar os tons médios, resultando em uma alteração da estimativa do dossel e transmitância luminosa (CESCATTI, *op. cit.*). Alguns estudos mostram que uma correção na função gama afeta fortemente as propriedades do dossel florestal em câmeras digitais, evitando o efeito de aberração cromática, onde borrões em azul podem vir a ocorrer (LEBLANC *et al.*, 2005).

## 2.5 Trilhas em Unidade de Conservação

O uso de trilhas em Unidades de Conservação favorece a maior aproximação do homem com a natureza possibilitando a realização de diversas atividades, inclusive na área de Educação Ambiental (SOBRAL e SANTANA, 2007). Porém, devido a pressão que o uso das trilhas pode promover em UCs, a exploração dessas áreas pode causar danos, mesmo promovendo a conscientização da população quanto a conservação dos ambientes naturais (REZENDE e CUNHA, 2014). Existem alguns danos principais de alteração do solo decorrentes da utilização de trilhas: compactação, erosão e pontos de criação de lama, esses podem ser considerados os tipos mais comuns de impactos em trilhas, além da expansão excessiva da sua largura (COLE e LANDRES, 1995; MONZ, 1999). A compactação por pisoteio promove a perda de porosidade e permeabilidade, diminuindo a capacidade de infiltração da água e, quando não há vegetação, aumenta o escoamento superficial, o que causa a erosão (COLE e BAYFIELD, 1993; VASHCHENKO, 2006). Além disso, o pisoteio fora da trilha pode causar a morte de plântulas, herbáceas, e a quebra de partes ou a morte de arbustos e arvoretas (SARAIVA, 2011).



### 3 Materiais e métodos

#### 3.1 Caracterização da área de estudos

O presente trabalho foi realizado na trilha do Morro da Urca, com 700m de comprimento, localizada no Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca ( $22^{\circ}57'05.79''\text{S}$ - $43^{\circ}09'50.62''\text{W}$ ) (Figura 4).



Figura 4 - Localização da trilha Morro da Urca

Fonte: Modificado de Google Earth

Situado na cidade do Rio de Janeiro (Figura 5), esse Monumento Natural é um dos principais pontos turísticos da cidade, com visibilidade nacional e internacional (Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, 2017). Além da extraordinária beleza deste sítio geológico, o conjunto conta com atrativos de biodiversidade, atraindo diariamente uma média de 2.500 turistas do mundo todo (CAMINHOS AÉREOS PÃO DE AÇÚCAR, 2017).

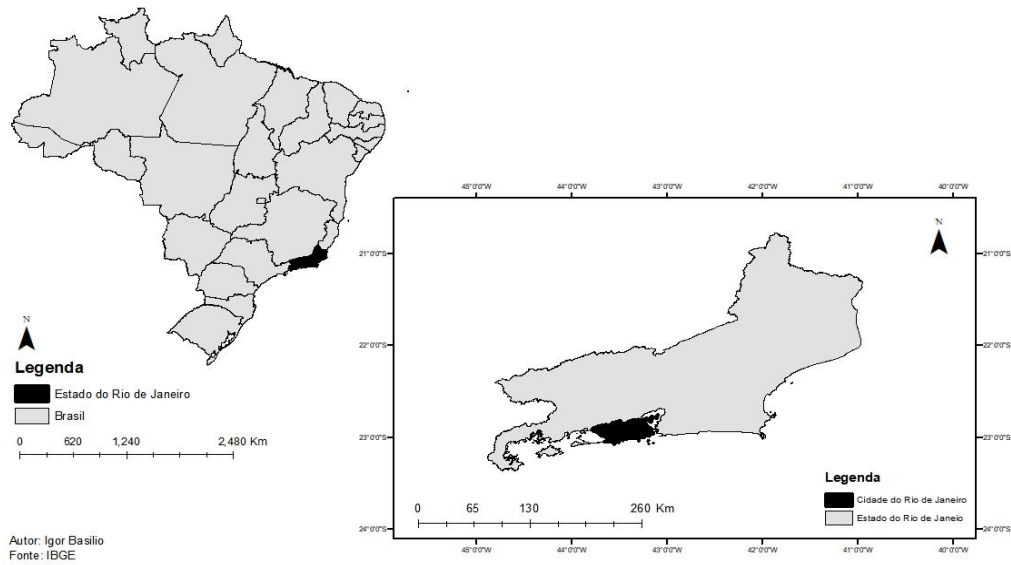


Figura 5 - Mapa de localização da cidade do Rio de Janeiro

O Monumento dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca está inteiramente inserido no bairro da Urca (Figura 6) e apesar da sua importância ecológica e valor cênico e turístico, vem sofrendo historicamente com o impacto antrópico, necessitando de bases científicas que auxiliem trabalhos de monitoramento e manejo.



Figura 6 - Localização do bairro da Urca na cidade do Rio de Janeiro, RJ

O MONA possui 91,5 ha de área e uma altitude máxima de 395m, é reconhecido como um dos principais sítios geológicos mundiais sendo caracterizado como Inselberg (POREMBSKI, 2007). Possui quase totalidade (98,86 %) da sua extensão composta por gnaisses da Unidade Gnaiss Facoidal e uma pequena porção (1,14%) por depósitos recentes da Unidade Sedimentos Quaternários. Segundo Koga (2006), os Morros do Pão de Açúcar e da Urca são constituídos basicamente por rochas cristalinas representadas por paragneisses de fácies goessinclinal, sendo parte com textura facoidal, assim como kingzitos que se interpõem entre a base do Morro do Pão de Açúcar e a parte central do Morro da Urca. Ainda segundo esse mapeamento ocorre pequena área de granitos e um dique de diabásio no topo do Morro do Pão de Açúcar. Há, também, aterros associados às atividades antrópicas (ICMBIO, 2011). Os afloramentos de rocha são predominantes com uma área de 64,65ha ou 70,65% da unidade. Os argissolos, única ocorrência pedológica da unidade de conservação, ocupam 25,71ha ou 28,10% do total da UC. As áreas urbanizadas representam 1,25% da área total da unidade, representando 1,14ha.

### 3.2 Vegetação

O MONA encontra-se inserido no bioma Mata Atlântica, Floresta Ombrófila Densa nas suas formações de terras baixas até a cota de 100 m e submontana acima da cota de 100 m (senso VELOSO *et al.* 1991) caracterizado por refúgios vegetacionais (campos e vegetação rupestre) nos costões rochosos e nas porções mais íngremes do conjunto. Essas características, aliadas à topografia irregular das rochas, proporcionam uma grande diversidade de microhabitats e grande riqueza de vegetação (OLIVEIRA FILHO e FONTES, 2000).

Deste modo, são encontradas na área, plantas herbáceas como *Phyllanthus submarginatus*, arbustos como *Tibouchina corymbosa*, palmeiras como *Syagrus romanzoffiana*, árvores como *Ceiba speciosa*, epífitas *Tillandsia stricta* e trepadeiras como *Smilax rufescens* (ICMBIO, 2013). Embora apresentem espécies com distribuição ampla, algumas plantas são endêmicas das montanhas rochosas dos inselbergs do Rio de Janeiro, entre elas muitas são raras ou em via de extinção.

Os afloramentos rochosos dos morros da Urca e do Pão de Açúcar representam cerca de 31% da superfície da unidade de conservação, sobre os quais ocorre esparsamente vegetação de porte herbáceo-arbustivo e eventualmente arbóreo, representada predominantemente por bromeliáceas (*Vriesea* e *Nidularium* spp.), velloziáceas (*Vellozia candida* e *Barbacenia purpurea*), orquidáceas (*Brassavola tuberculata*, *Epidendrum* spp. e *Cyrtopodium* spp.), melastomatáceas, euforbiáceas, asteráceas (*Baccharise* sp., *Vernonia* spp.), ciperáceas, poáceas e a cactácea *Cephalocereus fluminensis* destacando-se na paisagem (ICMBIO, 2013).

A “cebola-da-mata” (*Clusia fluminensis*) é o representante arbóreo mais expressivo, ocorrendo isolado ou formando aglomerações até mesmo nos paredões mais verticalizados. A ocupação por fases iniciais de sucessão representa 4,95% de sua superfície, sendo que em alguns locais sofrem processo de invasão biológica por capim-colonião (*Panicum maximum*) (ICMBIO, op. cit.).

Entre os morros Pão de Açúcar e Urca, e estendido principalmente na face sul do primeiro, encontra-se o tipo de vegetação mais expressivo da unidade, classificado como Estágio Avançado da sucessão vegetal. Embora se trate de uma floresta secundária, é certamente a formação vegetal mais desenvolvida e diversificada, dominada por árvores com até 15 ou mais metros de altura, formando um dossel heterogêneo e denso, representado por espécies características da formação submontana da floresta atlântica regional (ICMBIO, 2011). Destacam-se as figueiras (*Ficus* spp. e *Coussapoa* spp.), maçaranduba (*Brosimum* sp.), guariúba (*Clarisia racemosa*), guapeva (*Pouteria cf. torta*), pau-d’alho (*Gallesia integrifolia*), quaresmeiras, embaúbas e palmeiras como o gerivá (*Syagrus romanzoffiana*) e o airí (*Astrocarium aculeatissimum*). Seu interior é pouco iluminado, onde habitam um diversificado conjunto de outras plantas, amplamente descritas no trabalho de Carauta e Oliveira (1984), essa floresta ocupa cerca de 24 ha ou 26% da unidade de conservação.

### 3.3 Métodos

O trabalho foi dividido em três etapas (Figura 7) entre os meses de setembro de 2016 a maio de 2017; 1) Preparação, 2) coleta de dados e 3) processamento de imagens e análise estatística.

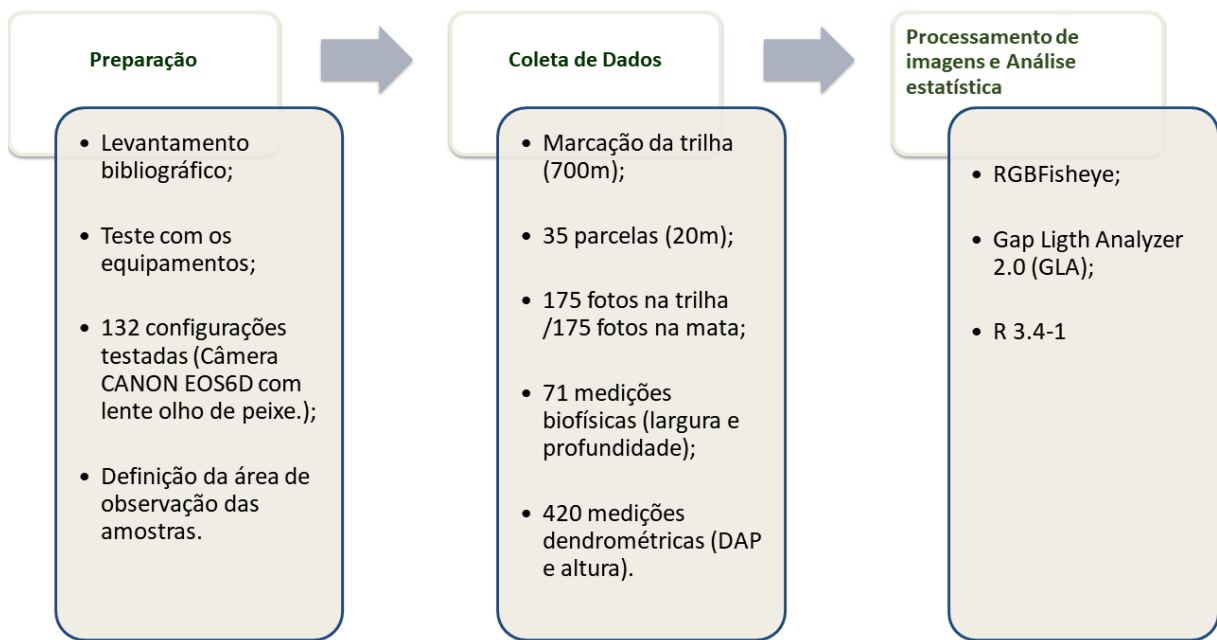


Figura 7- Esquema das etapas do processo do trabalho

### 3.3.1 Preparação para a coleta de dados

Inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico sobre o tema, para que em seguida pudessem ser realizados testes sobre as possíveis configurações da câmera. Foram analisadas qualitativamente 132 configurações distintas. Nos testes com a câmera, diversos valores de diâmetro de abertura da lente (F), valor de exposição (EV), velocidade ISO e nível de exposição foram avaliadas, visando obter a melhor qualidade de imagem possível para o ambiente estudado (Floresta Ombrófila Densa, em encosta).

Para a tomada de imagens, foi utilizada uma câmera digital CANON EOS 6D, acoplada a uma lente Fisheye de 8mm, com auxílio de um suporte de tripé (Figura 8).



Figura 8 – Câmera CANON EOS 6D acoplada a uma lente Fisheye 8mm, com suporte de tripé

Após definir a configuração da câmera a ser utilizada, foi iniciado o processo de testes com os dois softwares utilizados para processar as imagens: RGBFisheye (ISHIDA, 2004) e Gap Light Analyser 2.0 (FRAZER *et al.*, 1999), a fim de explorar suas características e potencialidades. Ambos os softwares são de domínio público e a escolha pela utilização dos mesmos foi visando ampliar e facilitar a aplicabilidade da metodologia de análise de imagens digitais.

A segunda fase da preparação foi relacionada à definição dos pontos de coletas de dados. Foram definidas a distância e a forma das parcelas onde as fotografias hemisféricas foram tomadas, bem como realizados os registros das variáveis biofísicas: largura e profundidade da trilha; e o dados dendrométricos: medidas de DAP (diâmetro a altura do peito: 1,3m) e das alturas das árvores ao longo da trilha e nas proximidades da mesma, até cerca de 30 metros. O comprimento da trilha analisado foi de 700m e esse trajeto foi dividido em 35 trechos de 20 metros cada, buscando compor amostras de tamanho mais prováveis de apresentarem atributos paramétricos. Cada um desses trechos corresponde a uma parcela (unidade amostral), sendo que a mesma foi subdividida a cada dois metros (figura 9). Dentre esses dez subtrechos foram sorteados cinco pontos nos quais foram tomadas as fotografias. Essas cinco fotografias foram utilizadas para a composição de dados do trecho coberto por esses 20 metros, utilizando suas respectivas medianas.

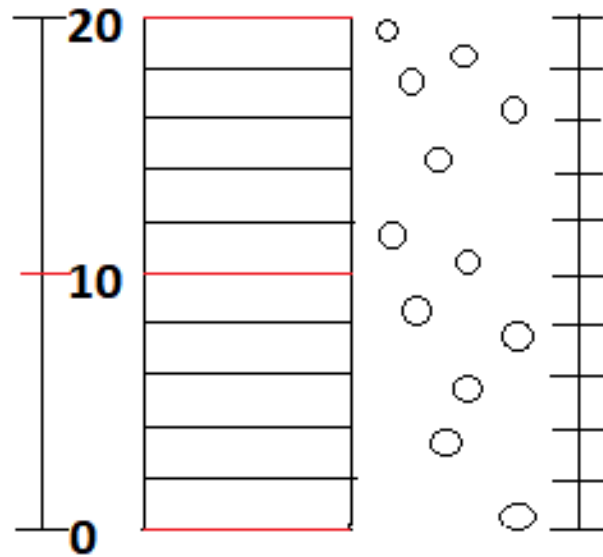


Figura 9 - Definição da área de observação das amostras, parcela de 20m subdividida, com a marcação dentro da mata a direita e medições dendrométricas ao centro. As marcas vermelhas representam as medições biofísicas, a cada 10m

Os dados das medianas correspondem a uma réplica verdadeira, mais consistente em termos de representatividade. A fim de comparar o ambiente da trilha e o ambiente “dentro da mata”, também foram tiradas fotografias nesta distância paralela de 30m das bordas da trilha. Foi estabelecido que as medições biofísicas da trilha (largura e profundidade) seriam medidas a cada 10 metros e os dados dendrométricos (DAP e altura) seriam provenientes da medição de árvores ao longo de cada parcela, sendo que, seria medida a distância entre as 100 primeiras árvores e a média dessa distância seria estabelecida como padrão para o espaçamento entre as árvores que seriam avaliadas.

### 3.3.2 Coleta de dados em campo

Definido o campo de medições e observações, foi iniciado o processo de coleta de dados em campo. Primeiramente todas as marcações na trilha foram executadas, estabelecendo assim, as parcelas já pré-definidas. A trilha foi demarcada a cada dez metros com a utilização de placas de identificação e foram identificados os pontos de tomada de fotografias através de uma trena eletrônica e aparelho GPS.

As fotografias hemisféricas foram capturadas em direção ao zênite, neste processo, o norte geográfico deve estar em direção ao topo da imagem, e o sul em direção à base da fundo da imagem, utilizou-se uma bússola e um nível de bolha (Figura 10). O leste, à esquerda, o oeste à direita, são invertidos usualmente em mapas, porque a vista é de cima para baixo (RICH, 1989). As fotografias foram obtidas a 1m do solo, com o auxílio de uma fita métrica. Esse procedimento de nivelamento em relação ao zênite e orientação para o sul é fundamental para o processo posterior que é de processamento de imagens. A câmera foi posicionada com auxílio de um suporte de tripé, auxiliando quanto ao terreno irregular.



Figura 10 - Fotografia capturada com auxílio de nível de bolha e bússola

As fotografias foram tomadas em dias nublados e com pouco vento, ou ainda em horários na parte da manhã ou, especialmente ao entardecer, evitando assim uma situação de exposição intensa à luminosidade, podendo causar alterações indesejadas nas fotografias, e distorções da folhagem devido à ação dos ventos. Todos os pontos foram georreferenciados através de um aparelho GPS, modelo Garmin Montana, e plotados (Figura 11).



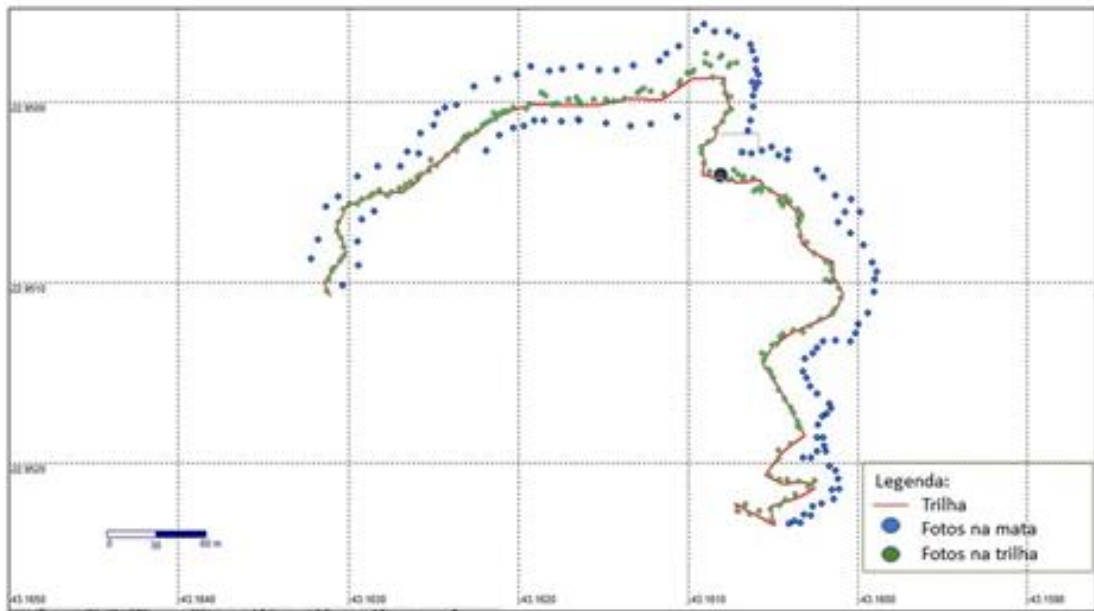


Figura 11 - Marcação dos pontos de captura das fotografias hemisféricas

Posteriormente foram capturadas as fotografias a 30m da trilha (Figura12), totalizando 350 fotografias registradas, sendo 175 na trilha e 175 na mata.

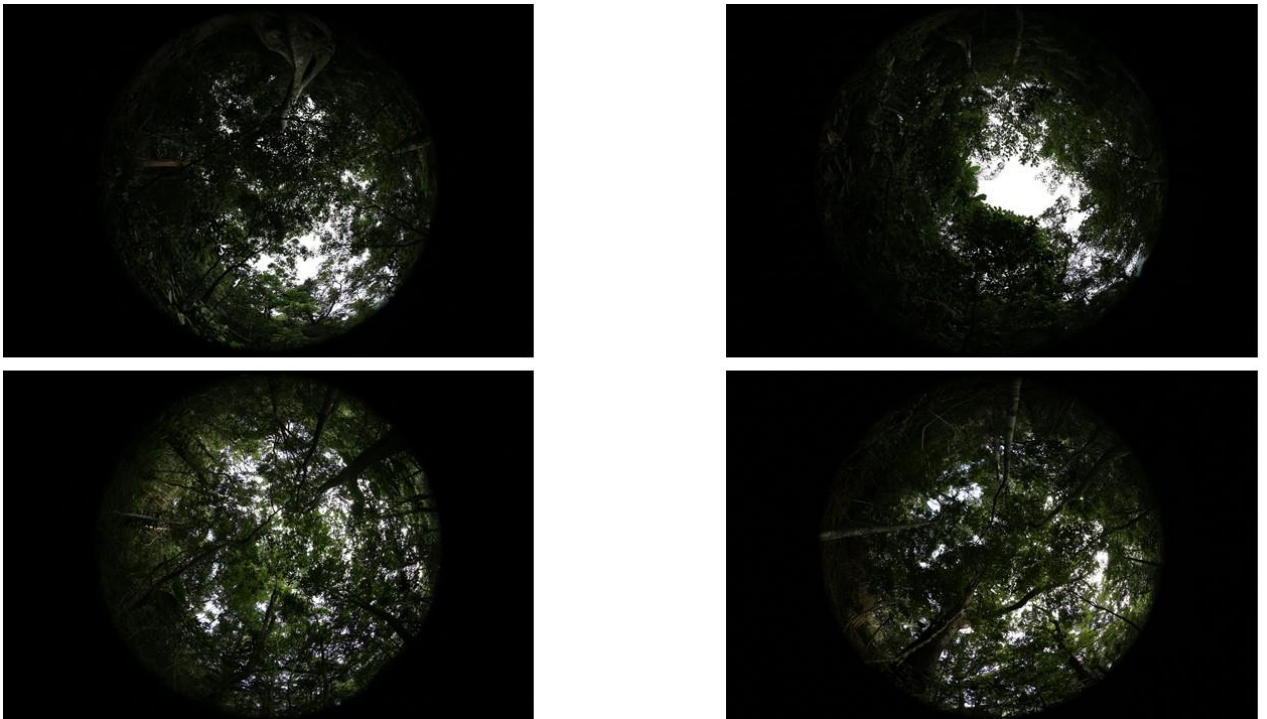


Figura 12 - Exemplo de fotografias hemisféricas obtidas com lente hemisférica 8 mm, Câmera CANON EOS 6D. MONA Pão de Açúcar, Rio de Janeiro, RJ. 2017

Posteriormente foram tomadas medidas de largura e profundidade da trilha a cada 10m, ao longo de todo o percurso, com auxílio de uma trena eletrônica. Para a definição da largura da trilha foi considerada a distância de um lado ao outro da trilha, onde há frequente ação de pisoteio por parte dos visitantes ou delimitações associadas aos degraus dispostos em diversos pontos da trilha. Assim, a trilha foi representada pelo trecho onde são evidentes indicadores físicos de passagem regular de caminhantes. Nesses trechos não constam elementos de regeneração da vegetação ou mesmo a cobertura do solo por serrapilheira, estando o solo exposto. Para a profundidade da trilha, foi calculada a mediana de medidas de cinco pontos equidistantes a partir do centro da trilha (a 10cm uns dos outros). Para as medidas de DAP e altura das árvores ao longo da trilha foram avaliados os indivíduos (árvores) com diâmetro a altura do peito ( $1,3 \text{ m} \leq \text{DAP} < 2,5 \text{ m}$ ), baseado em estudos fitossociológicos (ZAÚ, 2010). Foi calculada a distância média entre os primeiros 100 e esse valor foi definido como distância mínima para o registro dos dados sendo essa distância de 3 m, somando 12 árvores medidas por parcela e totalizando 420 medições ao longo da trilha.

### 3.3.3 Processamento de imagens

O processamento das fotografias hemisféricas consiste em abrir uma imagem com o software GLA versão 2.0; registrá-la de modo que a orientação (norte) e o horizonte da fotografia sejam reconhecidos; ajustar as configurações de altitude e localização geográfica, estação do ano, condições atmosféricas do local de estudo e padrão de distribuição de luz.

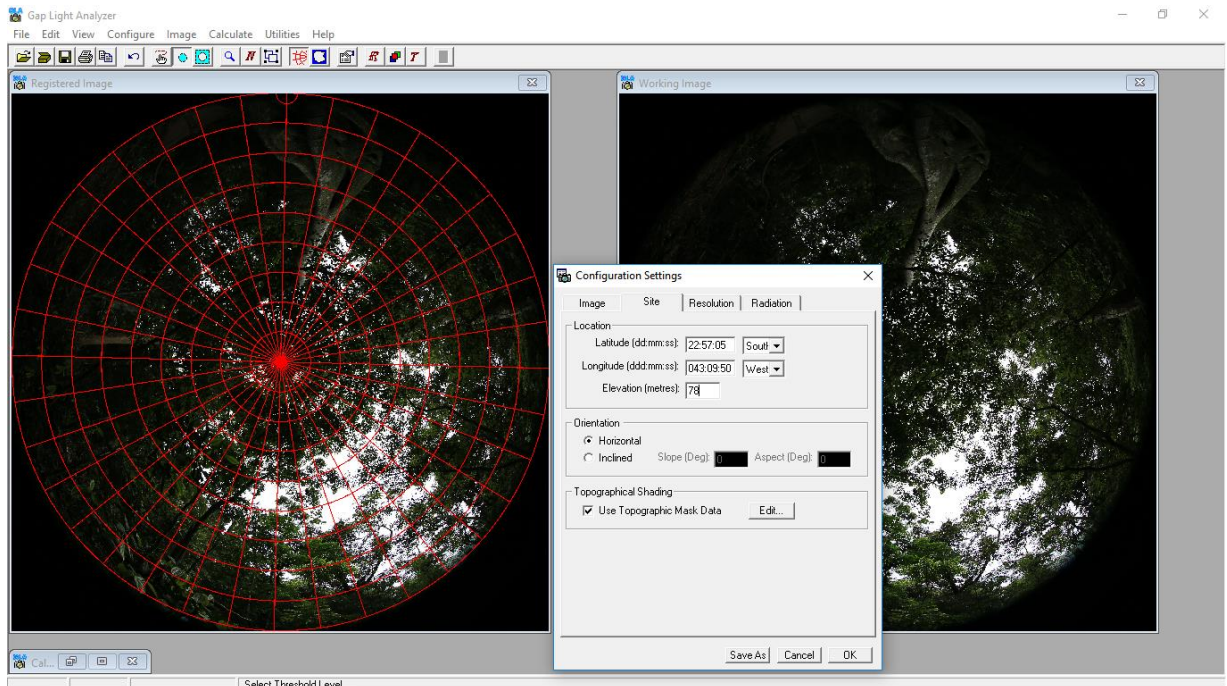


Figura 13 - Software GLA 2.0, etapa de registro e definição de configurações da imagem

Em seguida foi aplicado um canal de cor azul para corrigir possíveis efeitos de aberração cromática e uma correção gama de +2% (Figura13) (FRAZER *et al.*, 1999). Estabelecida as configurações iniciais, posteriormente foi definido o valor do limite (nível de corte para definição de área de céu aberto e área de copa das árvores) em escala de cinza, através do software RGBFisheye (Figura 14), que fornece um algoritmo para a obtenção automática desse valor de limite, evitando assim, uma escolha manual e arbitrária (ISHIDA, 2005).

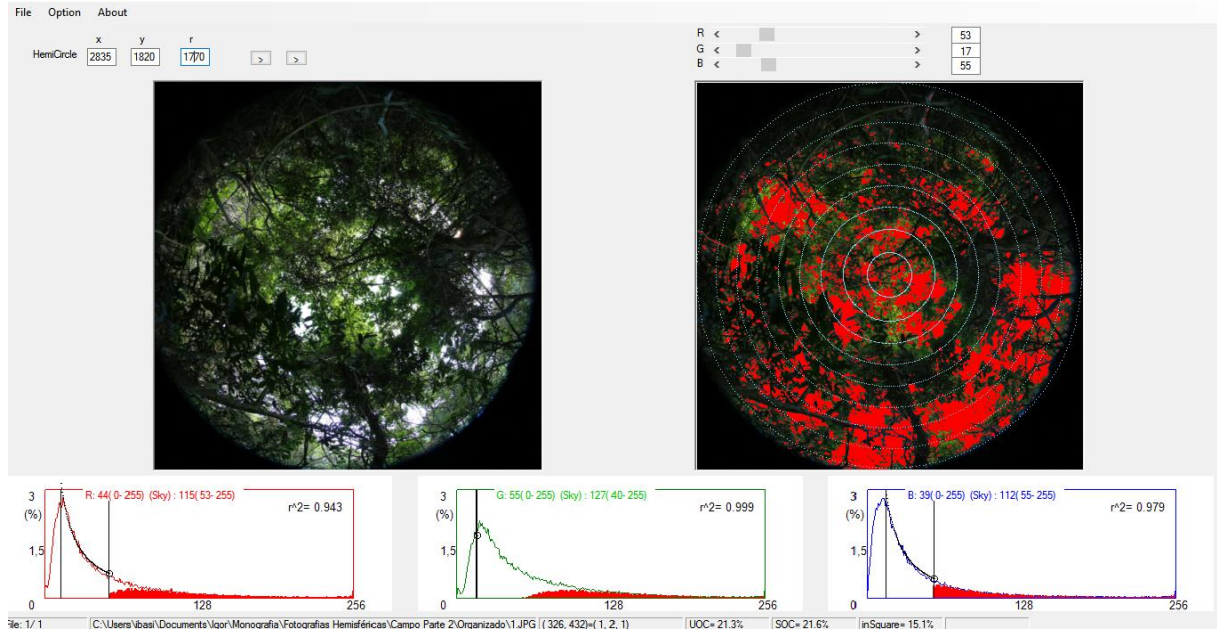


Figura 14 - Determinação do limiar de cor através do RGBfisye

Esse nível de corte é necessário para que, nas imagens com valores binários (preto e branco), possam ser efetivados no GLA aqueles cálculos relacionados à estrutura do dossel (área aberta e área coberta), índice de área foliar e transmitância luminosa (Figura15).

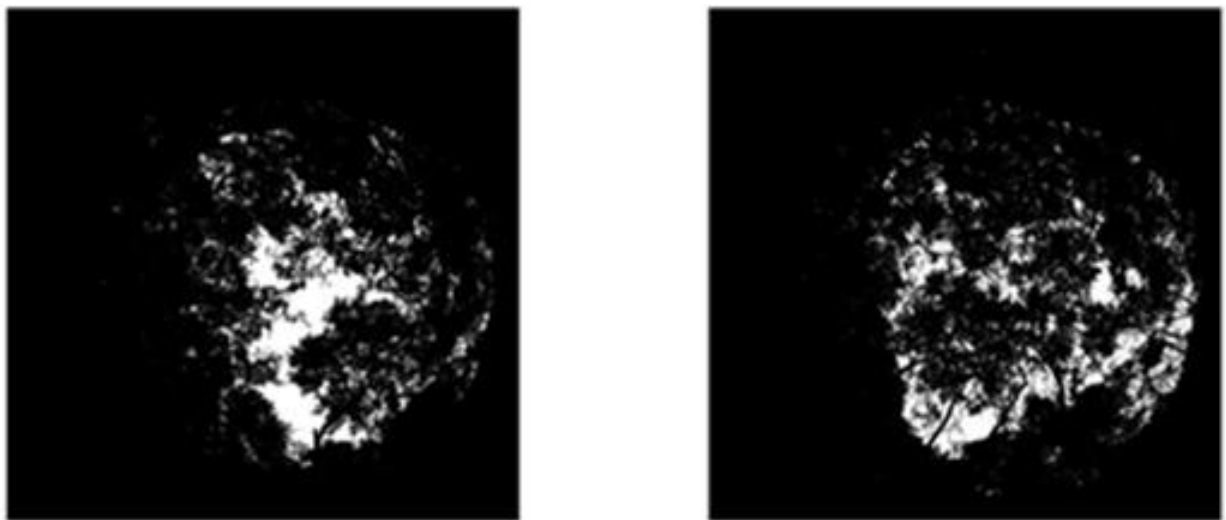


Figura 15 - Fotografias hemisféricas após a transformação em imagens binárias

Finalmente é encerrada a etapa de processamento de imagens (Figura 16) e com o relatório de cálculo (resumo), são exibidos vinte e dois atributos (Figura 17). O relatório é dividido em três seções: abertura, IAF efetiva (integrações de 4 e 5 anéis) e transmitâncias luminosas acima e abaixo do dossel.

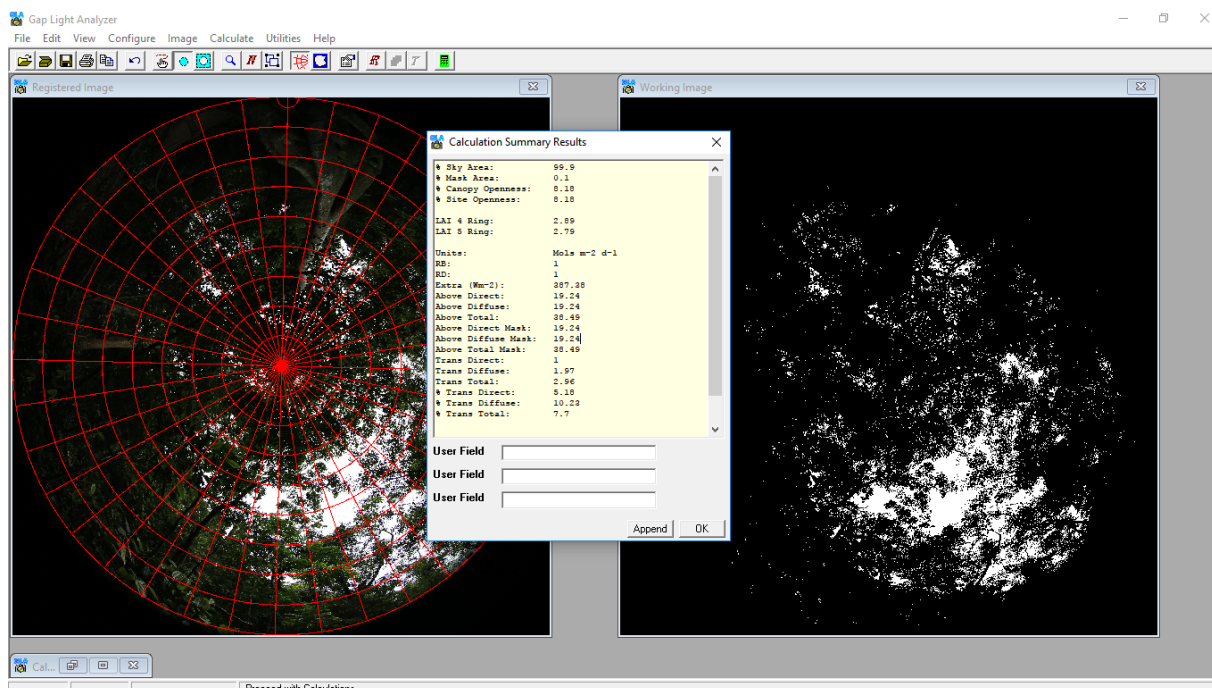


Figura 16 - Última etapa do processamento de imagens através do GLA 2.0

Para os cálculos dos parâmetros foram geradas as seguintes definições através do GLA 2.0 (FRAZER *et al.*, 1999) :

- % Sky Area é a área de porcentagem do hemisfério do céu encontrado a cima do horizonte efetivo. Se o horizonte efetivo estiver em  $90^\circ$  (ou seja, sem máscara topográfica), então a % Sky Area será igual a 100%. No entanto, se o horizonte efetivo for inferior a  $90^\circ$ , a área do céu visível será inferior a 100 %.
- % Mask Area é a área percentual do hemisfério do céu que está obstruída pela topografia circundante.
- % Canopy Openness é a porcentagem de céu aberto visto abaixo de um dossel de floresta. Esta medida é calculada somente a partir da fotografia hemisférica e não leva em consideração a influência da topografia circundante.
- % Site Openness é a porcentagem de céu aberto vista abaixo de um dossel da floresta dada a influência adicional de um horizonte efetivo que é inferior a  $90^\circ$  (sombreamento topográfico).
- LAI 4 Ring é o índice de área foliar efetivo integrado nos ângulos zenital de 0 a  $60^\circ$ .
- LAI 5 Ring é o índice de área foliar efetivo integrado sobre o ângulo zenital de 0 a  $75^\circ$ .
- As unidades são a unidade de medida usada para representar as estimativas da irradiância solar acima e abaixo do dossel da floresta.

- RB é o fator de inclinação do feixe calculado para uma superfície arbitrariamente inclinada.
- RD é o fator de inclinação difusa calculado para uma superfície arbitrariamente inclinada.
- Above Direct é a quantidade de radiação direta incidente sobre uma superfície horizontal ou inclinada localizada na superfície terrestre sem qualquer efeito de topografia ou dossel da floresta.
- Above Diffuse é a quantidade de radiação difusa incidente sobre uma superfície horizontal ou inclinada localizada na superfície terrestre sem qualquer efeito de topografia ou dossel da floresta.
- Above Total é a soma do Above Direct e Above Diffuse.
- Above Direct Mask é a quantidade de radiação direta incidente sobre uma superfície horizontal ou inclinada levando em consideração o efeito de uma máscara topográfica.
- Above Diffuse Mask é a quantidade de radiação difusa incidente sobre uma superfície horizontal ou inclinada levando em consideração o efeito de uma máscara topográfica.
- Above Total Mask é a soma de Above Direct Mask e Above Diffuse Mask.
- Trans Direct é a quantidade de radiação solar direta transmitida pelo dossel.
- Trans Diffuse é a quantidade de radiação solar difusa transmitida pelo dossel.
- Trans Total é a soma de Trans Direct e Trans Diffuse.
- % Trans Direct é a proporção de Trans Direct para Above Direct Mask multiplicada por 100%.
- % Trans Diffuse é a proporção de Trans Diffuse para Above Diffuse Mask multiplicada por 100%.
- % Trans Total é a proporção de Trans Total para Above Total Mask multiplicada por 100%.

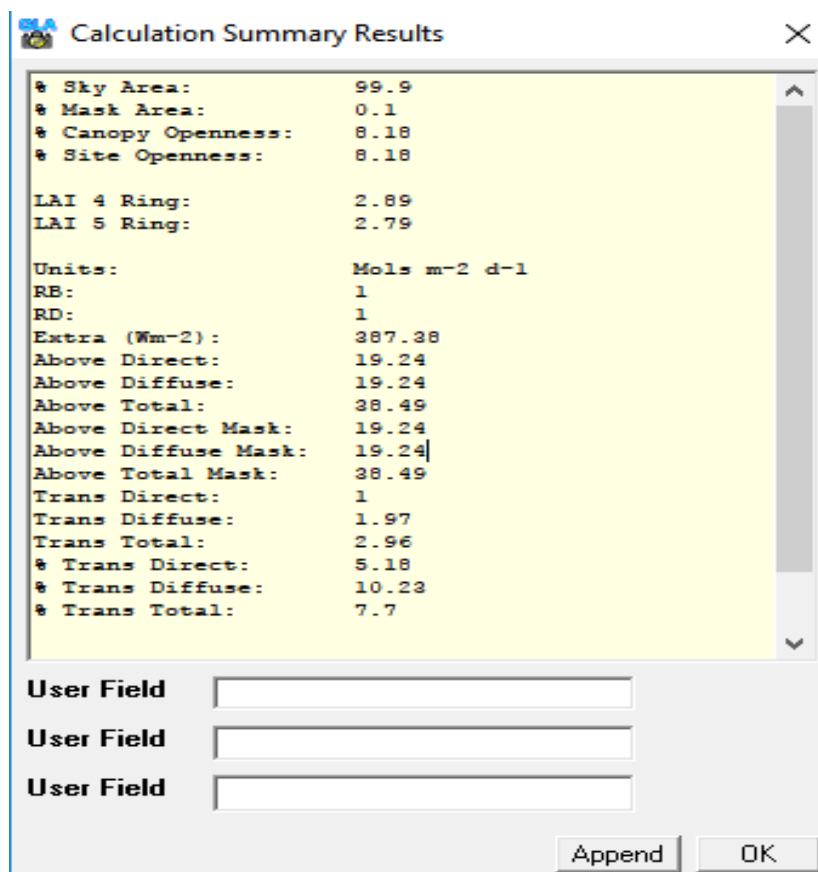


Figura 17 - Relatório de cálculo

Dentre esses atributos fornecidos pelo relatório final, foram analisados a porcentagem de abertura do dossel, o índice de área foliar “4 anéis” (60° em relação ao zênite), a transmitância luminosa direta, difusa e total de radiação fotossintética ativa.

#### 3.6.4 Análise estatística

Na última etapa foram realizadas análises estatísticas utilizando o pacote r 3.4-1 (R CORE TEAM, 2017), iniciando com a verificação da hipótese das variáveis analisadas poderem ser caracterizadas pela distribuição normal, para a escolha adequada dos métodos de inferência estatística. Desta forma, podemos definir os testes mais adequados (paramétricos ou não paramétricos) para cada variável analisada. Para aplicação de técnicas estatísticas multivariadas foram verificadas as dependências lineares, pelo coeficiente de correlação, entre as variáveis analisadas. Foram excluídas as variáveis que possuem a mesma informação.

Por último foi elaborada uma ACP (análise de componentes principais) que é uma técnica estatística de redução de dimensionalidade no conjunto de dados e criação de indicadores a partir de combinações lineares das variáveis originais (MARQUES, 1994; SILVA *et al.*, 2015).

## 4 Resultados e discussão

Após a primeira etapa do trabalho, onde foram analisados os resultados dos testes das 132 fotografias hemisféricas, com distintas configurações de diâmetro de abertura da lente (F), valor de exposição (EV), velocidade ISO, grau de exposição (GE) e velocidade do obturador (S), foi possível identificar os parâmetros ideais para o tipo de vegetação da área de estudo (Floresta Ombrófila Densa, em encosta), onde a melhor configuração foi a C2 (Tabela 1).

### CONFIGURAÇÕES TESTADAS (CANON EOS 6D)

Conf.	F	EV	ISO	GE	S
C1	4	1	800	-	-
<b>C2</b>	<b>5,6</b>	<b>1</b>	<b>AUTO</b>	-	-
C3	5,6	0	100	-	-
C4	5,6	0	400	-	-
C5	9	1	200	-	-
C6	5,6	1	100	-	-
C7	5,6	-1	AUTO	-	-
C8	5,6	-1	100	-	-
C9	5,6	-1	400	-	-
C10	5,6	0	AUTO	-	-
C11	5,6	1	400	-	-

GE
OFF
BAIXA
MÉDIA
<b>ALTA</b>

S
AUTO
<b>1/200</b>
<b>1/500</b>

Tabela 1 - Resultado das melhores configurações, sendo C2 a configuração utilizada diâmetro de abertura da lente (F), valor de exposição (EV), velocidade ISO, grau de exposição (GE) e velocidade do obturador (S),

As imagens com diâmetro de abertura da lente definida em 5,6 mostraram os melhores resultados e imagens mais nítidas. Já para a o valor de exposição (EV), os melhores resultados



foram encontrados na configuração +1, como as fotografias foram tiradas em situações de pouca luz, essa configuração resultou em imagens com melhor contraste entre o céu aberto e a estrutura florestal. A configuração ideal para o valor de ISO foi estabelecida como AUTO, já que os resultados variaram bastante em função da hora e condição da captura das imagens. Assim o valor definido em AUTO resultou em imagens mais padronizadas. Para a função grau de exposição (GE), os melhores resultados foram obtidos na configuração definida em ALTA, evitando que as imagens fiquem subexpostas à luz. Para o valor da velocidade do obturador, a melhor configuração foi definida no automático, porém, com um valor mínimo de 1/125. Valores abaixo desse padrão apresentaram imagens borradas em função do vento, fazendo com que a estrutura das folhas do dossel não ficasse nítida (figura 18). Como a variação do vento muda constantemente, foi constatado que definir um valor mínimo para evitar borrões era o essencial.

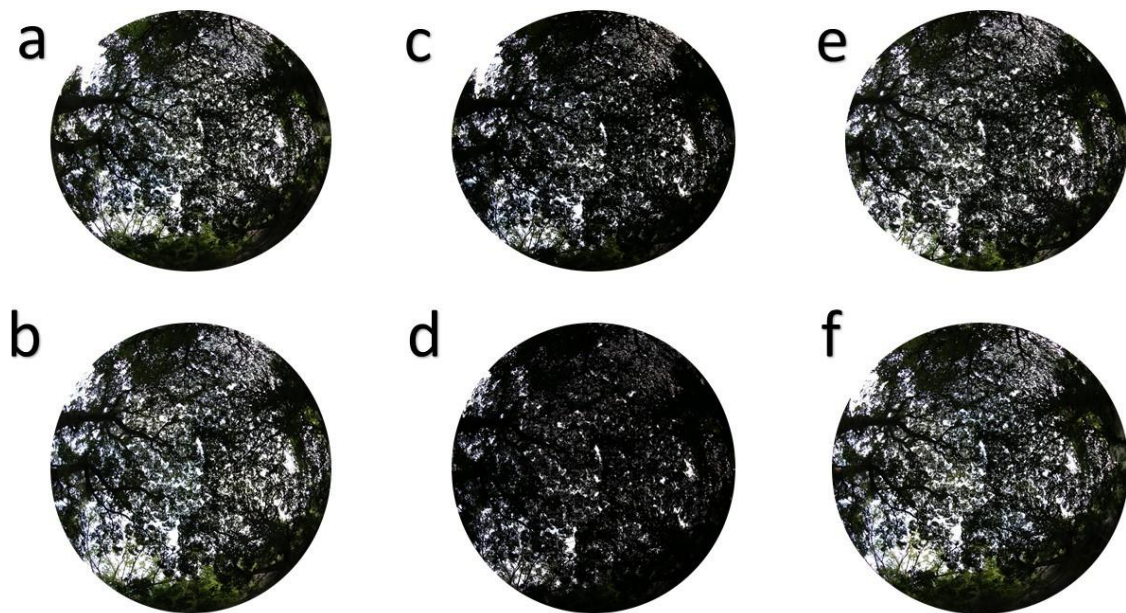


Figura 18 - Fotografias registradas durante o processo de teste

Configurações:

(a) F:5,6 / EV: 1, (b) F:5,6/EV:0, (c) F:5,6 EV:-1, (d) F: 4/EV:-1, (e) F:4/EV:0, (f) F:4/EV:1

Através da análise das imagens no processo de teste foi possível verificar como as configurações alteram em muito o resultado final das fotografias hemisféricas (Figura 18). Após a captura e o processamento das imagens, foram avaliadas 350 fotografias, 175 na trilha e 175 na mata. Como cada fotografia fornece 22 atributos relativo ao dossel, chegamos num resultado com 7.700 informações proveniente das fotografias. Porém, como as informações dos atributos

de cada uma das 35 parcelas é derivada da mediana do resultado de cinco fotografias capturadas dentro da parcela, o resultado final foi um diagnóstico com 1.740 informações divididas em 22 variáveis.

O processamento de fotografias hemisféricas fornece um diagnóstico muito amplo, e em muitas vezes algumas informações são bastante específicas para determinado tipo de estudo (BALMFORD et al., 2009; REID et al., 2014). No presente trabalho, obtivemos cinco variáveis de maior interesse para o objetivo em questão, sendo elas: Abertura de dossel (AD), Índice de área foliar (IAF), Transferência direta (TD), Transferência difusa (TF) e Transferência total (TT).

Além dos resultados obtidos através do processamento das fotografias, obtivemos também 71 medições biofísicas - largura (L) e profundidade (P); 420 medições dendrométricas - diâmetro a altura do peito (DAP) e altura (A). Fornecendo assim, uma base de dados com diversas características dos 700m de trilha, as quais foram analisados.

A diferença de abertura do dossel entre a trilha e a distância de 30m dentro na mata é evidente, através do histograma de frequência (Figura 19) podemos perceber que a abertura dentro da mata varia entre pouco mais de zero e dez pontos percentuais, enquanto a variação no percurso da trilha é bem superior. A linha vermelha representa a média dos dois ambientes, enquanto na trilha essa medida 11,45% com desvio padrão 6,54%, na mata essa medida cai para 5,42% com desvio padrão 1,79%.

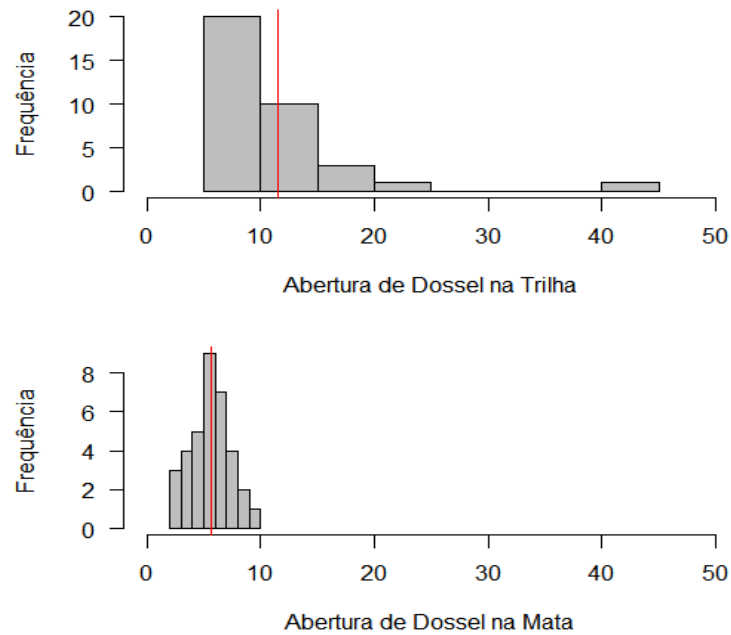


Figura 19 - Histograma de frequência da abertura de dossel

Podemos observar que o valor máximo de abertura do dossel na trilha é fora do padrão, 43,7%, indicando a presença de um *outlier* (Figura 20).

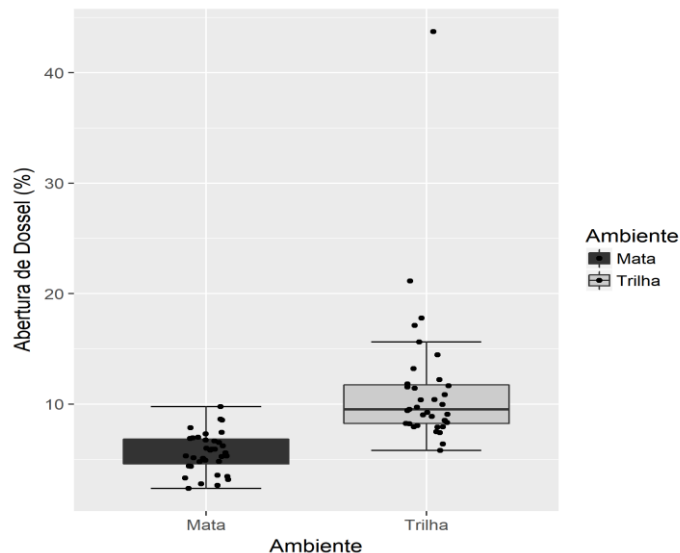


Figura 20 - Gráfico boxplot da abertura de dossel na trilha (%)

Esse ponto é notadamente um contraste quando comparado aos outros resultados de abertura de dossel na trilha. Através do processo de coleta de dados e obtenção das fotografias foi possível observar que esse *outlier* é correspondente a parcela de número 15, área que

recentemente havia sido aberta para alteração do traçado da trilha e, nesse contexto, também havia sofrido impactos decorrentes de fortes chuvas (Figura 21). A abertura de dossel na trilha mostra um comportamento de maiores índices comparados com o ambiente dentro da mata, a mediana da abertura de dossel da trilha é quase o dobro da mediana do ambiente dentro da mata, 5,60% contra 9,53%.

A variável de abertura de dossel não segue uma distribuição normal, segundo teste de Shapiro Wilk ( $W = 0,67157$ ,  $p \leq 0,005$ ). O teste de Wilcoxon comprova a hipótese que a mediana da abertura de dossel na trilha é superior a abertura de dossel na mata ( $W = 69$ ,  $p \leq 0,005$ ). O valor máximo de abertura de dossel no ambiente da mata é de 9,77%, esse valor é quase o valor da mediana da abertura de dossel na trilha, mostrando a grande diferença que existe no dossel desses dois ambientes.



Figura 21 - Fotografia capturada na parcela 15, no percurso da trilha, com grande abertura de dossel

Através do gráfico construído com distribuição logarítmica da abertura de dossel (Figura 22) é possível a diferença das distribuições.

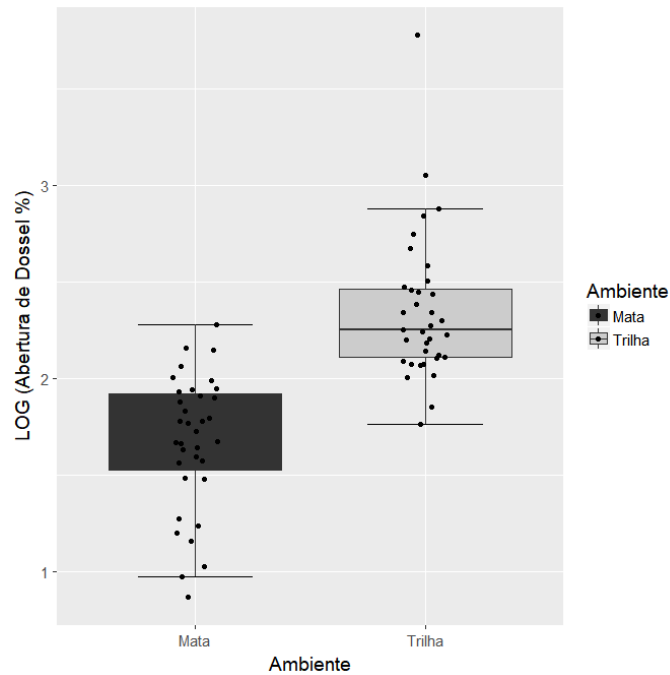


Figura 22 - Gráfico boxplot logaritimizado da abertura de dossel

A distribuição logaritimizada por sua vez, segue uma distribuição normal, segundo o teste de Shapiro Wilk ( $W = 0,97283$ ,  $p \leq 0,1318$ ). O teste t comprova a hipótese que a mediana da abertura de dossel na trilha é maior que na mata ( $t = -7,7903$ ,  $df = 67,53$ ,  $p \leq 0,005$ ).

O índice de área foliar (IAF) nos dois ambientes também apresenta distribuição de frequência bem distinta. O percurso da trilha apresentou um IAF inferior, em consequência de uma maior abertura de dossel (Figura 23). A média do IAF na trilha é de  $2,73 \text{ (m}^2/\text{m}^2)$  com desvio padrão de  $0,53 \text{ (m}^2/\text{m}^2)$ , e a média na mata é  $2,59 \text{ (m}^2/\text{m}^2)$  com desvio padrão de  $0,47\% \text{ (m}^2/\text{m}^2)$

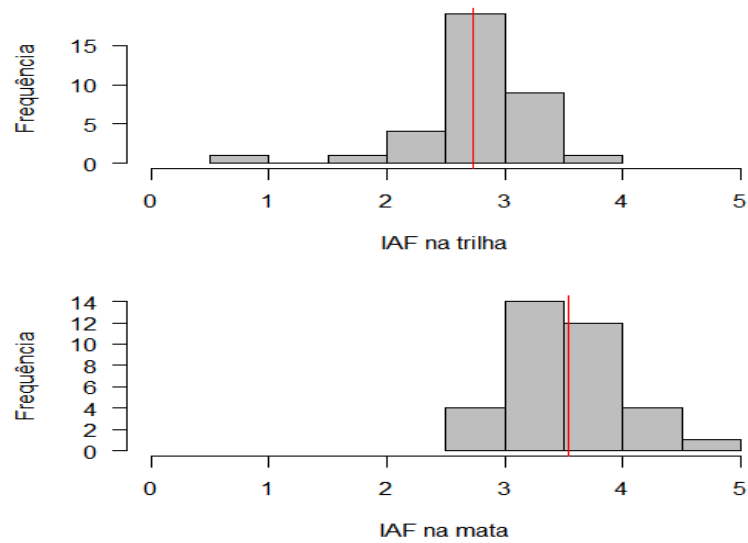


Figura 23 - Histograma de frequência do Índice de Área Foliar

Novamente podemos observar que a parcela 15 apresenta um comportamento bem distinto das demais (Figura 24). Esse era um comportamento esperado já que esse é um local com uma abertura de dossel bastante acentuada, portanto, com um baixo IAF. Porém, analisando a trilha como um todo, podemos perceber que a diferença entre os dois ambientes não é tão evidente (Figura 24), com a maior parte da distribuição nos dois ambientes entre 2 ( $\text{m}^2/\text{m}^2$ ) e 4 ( $\text{m}^2/\text{m}^2$ ). O ambiente da trilha apresentou uma mediana de 2,84 ( $\text{m}^2/\text{m}^2$ ) e o ambiente da mata uma mediana de 3,48 ( $\text{m}^2/\text{m}^2$ ).

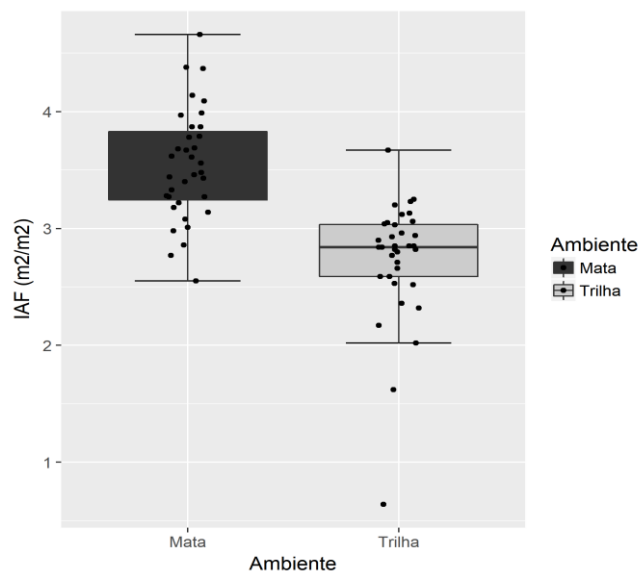


Figura 24 - Gráfico boxplot do Índice de Área Foliar (IAF) nos dois ambientes

O teste de Shapiro Wilk para o Índice de Área Foliar indica que essa variável não segue uma distribuição normal ( $W = 0,95727$ ,  $p \leq 0,05$ ). Com isso aplicou-se o teste de Wilcoxon ( $W = 1112$ ,  $p \leq 0,005$ ) para comprovar que a mediana do índice de área foliar no ambiente dentro da mata é realmente maior que no ambiente sob a trilha. O valor máximo do IAF na trilha foi de  $3,67 \text{ (m}^2/\text{m}^2)$  e na mata foi de  $4,66 \text{ (m}^2/\text{m}^2)$ , já os valores mínimos foram de  $0,64 \text{ (m}^2/\text{m}^2)$  na trilha e  $2,55 \text{ (m}^2/\text{m}^2)$  na mata.

Em relação a transmitância luminosa direta, observamos um comportamento não muito diferente entre os ambientes, a distribuição de frequência de ambos os ambientes se concentra entre 0 (mols  $\text{m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) e 5 (mols  $\text{m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ), mostrando uma certa homogeneidade na área de estudo, no que diz respeito a transmitância luminosa direta (Figura 25). No percurso da trilha o valor médio dessa variável foi de  $3,79 \text{ (mols m}^{-2} \text{ d}^{-1})$  com desvio padrão de  $3,23 \text{ (mols m}^{-2} \text{ d}^{-1})$ , já na mata a média cai para  $1,83 \text{ (mols m}^{-2} \text{ d}^{-1})$  com desvio padrão (mols  $\text{m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ).

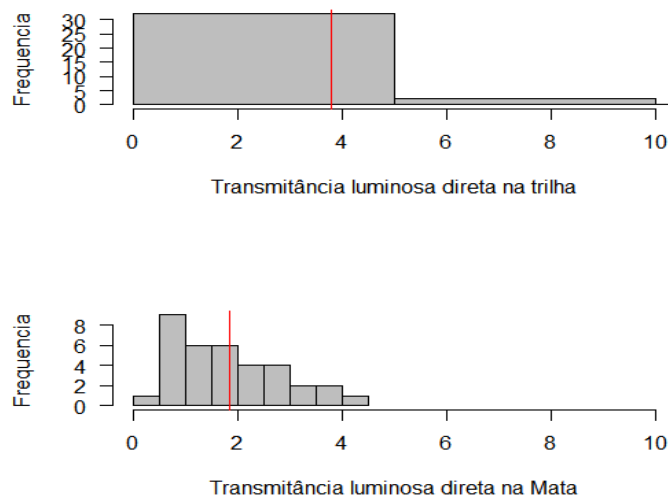


Figura 25 - Histograma de frequência para transmitância luminosa direta

Apesar disso, o ambiente da trilha apresentou uma amplitude bastante elevada,  $19,86 \text{ (mols m}^{-2} \text{ d}^{-1})$ , novamente devido a parcela de número 15 (Figura 26). Curiosamente,

observamos em determinados pontos valores bem próximos de 0 (mols m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) para transmitância direta, indicando um sombreamento praticam ente total.

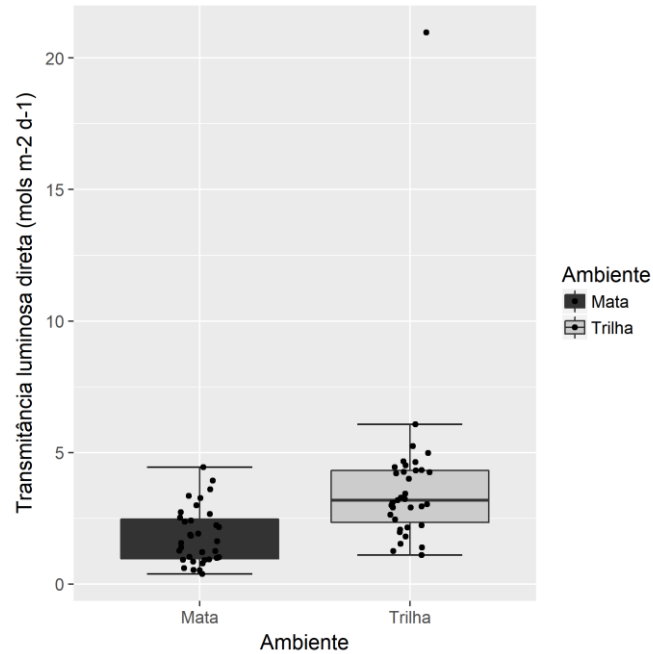


Figura 26 - Gráfico boxplot frequência para transferência luminosa direta

A transmitância luminosa direta não segue uma distribuição normal, pelo teste de Shapiro Wilk ( $W = 0,56561$ ,  $p \leq 0,005$ ). Para comprovar a hipótese de que a mediana da transmitância luminosa direta na trilha realmente maior que no ambiente da mata, temos novamente o teste de Wilcoxon ( $W = 224$ ,  $p \leq 0,005$ ), comprovando que a mediana da transmitância luminosa direta é maior no ambiente da trilha comparado ao ambiente dentro da mata. Para transmitância luminosa difusa o comportamento é semelhante ao da transmitância direta. Grande parte dos valores observados no ambiente de trilha se encontram entre 2 (mols m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) e 4 (mols m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), novamente temos a média influenciada pelo *outlier* (Figura 27).



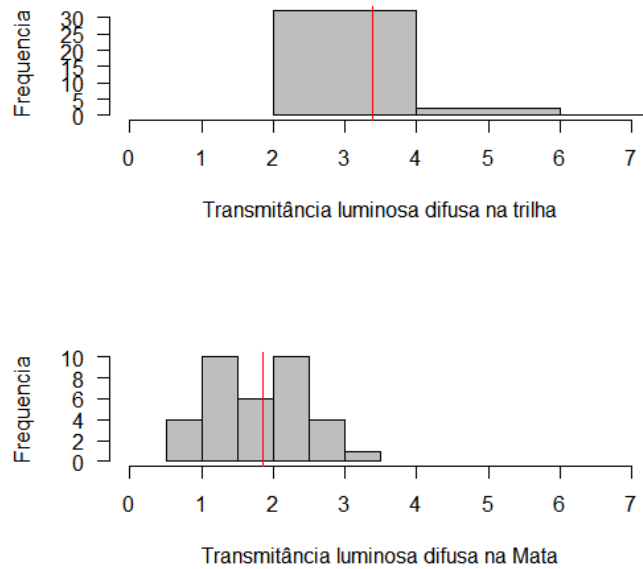


Figura 27 - Histograma de frequência para transmitância luminosa difusa

Para o ambiente de mata a distribuição foi mais homogênea, com a média bem centralizada no valor de 1,85 (mols m-2 d-1), valor mínimo de 0,83 (mols m-2 d-1) e máximo de 3,87 (mols m-2 d-1). Para o percurso da trilha a média foi de 3,39 (mols m-2 d-1), com valor mínimo de 2,06 (mols m-2 d-1) e máximo de 15,19 (mols m-2 d-1). Observamos então, um desvio padrão bastante diferente entre as duas áreas, 2,15 (mols m-2 d-1) para a trilha contra 0,69 (mols m-2 d-1) para o ambiente na mata (Figura 28).

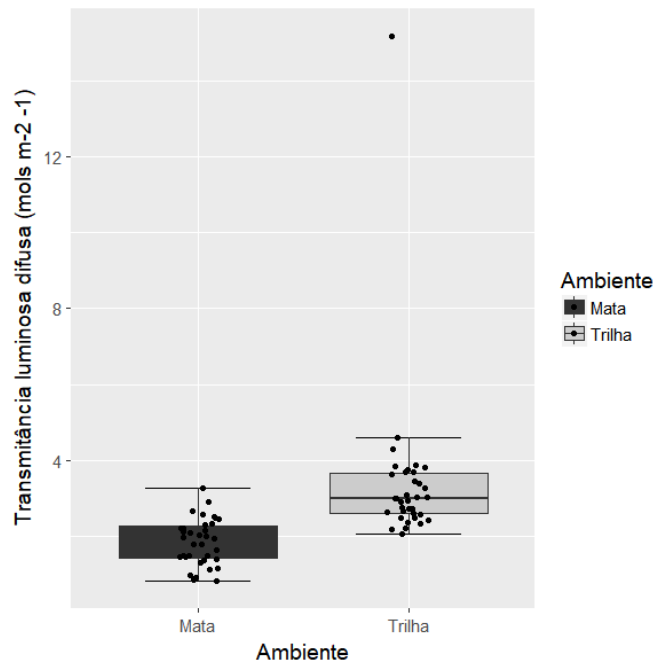
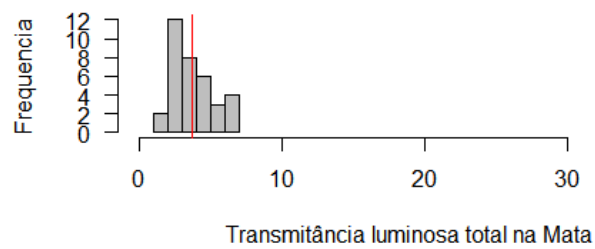
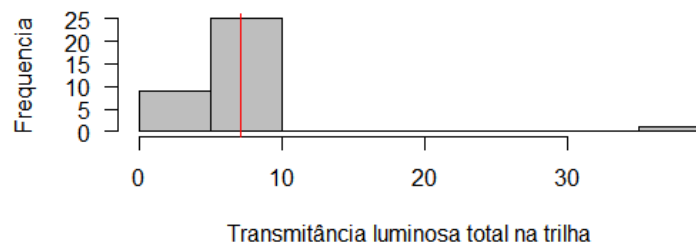


Figura 28 - Gráfico bloxpot para transmitância luminosa difusa

Pelo teste de Shapiro Wilk ( $W = 0,53814$ ,  $p \leq 0,005$ ), foi observado que a transmitância luminosa difusa também não segue uma distribuição normal ou paramétrica. E através do teste de Wilcoxon ( $W = 96,5$ ,  $p \leq 0,005$ ), a hipótese de que a mediana da transmitância luminosa difusa na trilha é maior que a mediana no ambiente da mata.

Por último, temos a análise da transmitância luminosa total. A partir do somatório das transmitâncias luminosas (direta e difusa). Podemos observar que o ambiente de trilha recebe uma quantidade muito maior de radiação solar, quando comparado ao ambiente a 30 m adentro da mata (Figura 29), esses valores têm uma grande influência no microclima desses ambientes. Um comportamento já esperado, devido a maior abertura de dossel na área da trilha, fazendo com que tenha uma barreira natural menor em relação ao ambiente de mata. A média da transmitância luminosa total da trilha foi de 7,04 (mols m-2 d-1) com desvio padrão de 5,27, já no ambiente de mata a média foi de 3,65 com desvio padrão de 1,52 (mols m-2 d-1).



Avaliando a profundidade da trilha observamos que ela apresenta um comportamento bastante homogêneo (Figura 30). A maior profundidade registrada foi de 10 cm, demonstrando que a trilha não apresenta impacto evidente em relação a profundidade.

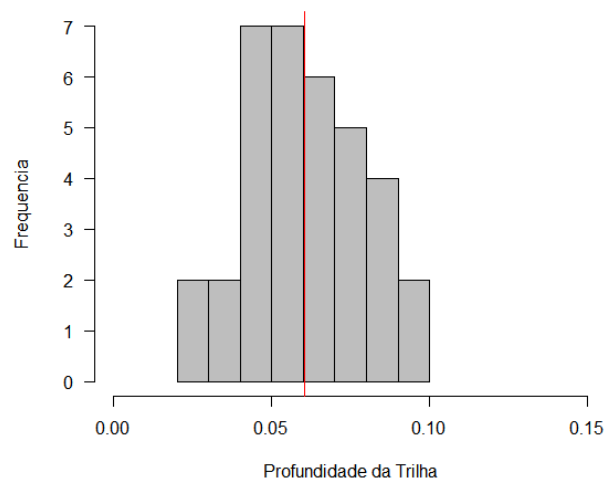


Figura 29 - Histograma de frequência para profundidade

A largura da trilha apresentou um comportamento variado (Figura 31), com trechos relativamente estreitos e outros com uma largura elevada, a partir da comparação interna dos valores. O valor máximo encontrado foi de 2,91m e a média da largura da trilha foi de 1,73 m com um desvio padrão de 0,49 m.

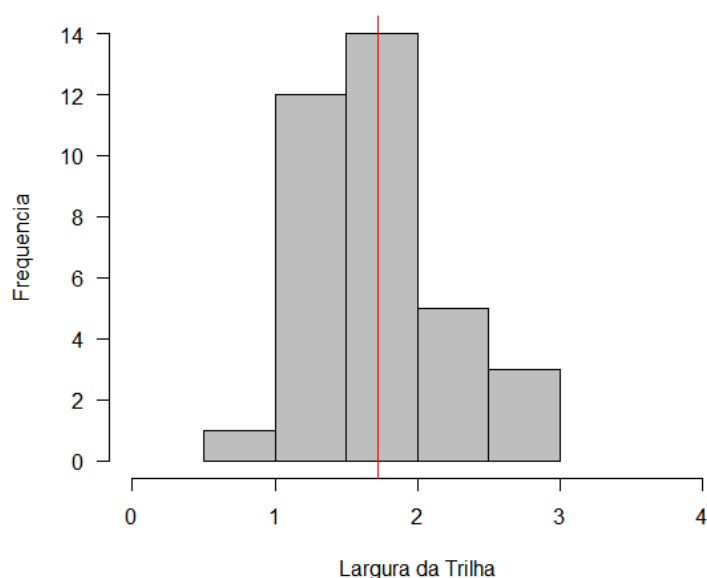


Figura 30 - Histograma de frequência para largura

Comparando os atributos físicos da trilha do Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca com outros trabalhos de análise da trilha no Parque Nacional da Tijuca (ALMEIDA, 2017) podemos identificar diferenças significativas em relação as duas trilhas. No Parque Nacional da Tijuca a trilha apresentou uma largura média de 1,28m, com um valor mínimo de 0,79m e um máximo de 2,21m. Assim, podemos identificar que a trilha no Monumento Natural apresenta uma largura superior ao da trilha no Parque Nacional da Tijuca, além de apresentar uma amplitude bem maior, 1,96m contra 1,42m.

Considerando a análise descritiva das variáveis de interesse e a partir da matriz de correlação de Spearman (Tabela 2), podemos observar a correlação das variáveis, onde os valores de r de Spearman, variam de -1 (correlação perfeita negativa) até 1 (correlação perfeita positiva). Um valor entre 0 a 0,3 (positivo ou negativo) representa uma correlação muito fraca, um valor entre 0,3 a 0,5 (positivo ou negativo) representa uma correlação fraca, um valor entre 0,5 e 0,7 (positivo ou negativo) representa uma correlação moderada, um valor entre 0,7 e 0,9

(positivo ou negativo) representa uma correlação forte e um valor entre 0,9 a 1 (positivo ou negativo) representa uma correlação muito forte (KOZAK, 2009). Segundo essa matriz a profundidade da trilha analisada apresenta correlação muito fraca com as outras variáveis. A largura por sua vez, tem uma correlação positiva muito forte com a abertura do dossel na trilha ( $r=0,94$ ), a qual também tem uma correlação negativa forte com o índice de área foliar na trilha ( $r=-0,85$ ), porém essa apresenta uma correlação positiva forte com a transmitância difusa na trilha ( $r=0,70$ ).

	A	ADM	ADT	DAP	IAFM	IAFT	L	P	TDM	TDT	TFM	TFT
A	1	-0.19834	-0.34233	0.435141	0.13434	0.325904	-0.38704	0.137581	-0.12635	-0.19744	0.037551	-0.26978
ADM	-0.19834	1	0.708964	-0.05297	-0.47794	-0.64696	0.687023	0.143438	0.201401	0.306884	0.334734	0.659148
ADT	-0.34233	0.708964	1	-0.08381	-0.24723	-0.93309	0.948386	-0.00168	0.192717	0.035717	0.217367	0.806388
DAP	0.435141	-0.05297	-0.08381	1	-0.11781	0.088755	-0.16202	0.157839	0.109873	-0.11752	-0.02102	-0.10444
IAFM	0.13434	-0.47794	-0.24723	-0.11781	1	0.22318	-0.31043	0.017529	-0.45272	-0.13532	-0.60317	-0.20625
IAFT	0.325904	-0.64696	-0.93309	0.088755	0.22318	1	-0.85931	0.043768	-0.3604	-0.14392	-0.29959	-0.78471
L	-0.38704	0.687023	0.948386	-0.16202	-0.31043	-0.85931	1	0.001472	0.182926	-0.04735	0.25492	0.707461
P	0.137581	0.143438	-0.00168	0.157839	0.017529	0.043768	0.001472	1	-0.05286	-0.15011	0.113993	-0.15421
TDM	-0.12635	0.201401	0.192717	0.109873	-0.45272	-0.3604	0.182926	-0.05286	1	0.183066	0.671989	0.213505
TDT	-0.19744	0.306884	0.035717	-0.11752	-0.13532	-0.14392	-0.04735	-0.15011	0.183066	1	0.175643	0.380175
TFM	0.037551	0.334734	0.217367	-0.02102	-0.60317	-0.29959	0.25492	0.113993	0.671989	0.175643	1	0.20594
TFT	-0.26978	0.659148	0.806388	-0.10444	-0.20625	-0.78471	0.707461	-0.15421	0.213505	0.380175	0.20594	1

Tabela 2 - Matriz de correlação de Spearman

A=altura, ADM=abertura de dossel na mata, ADT=abertura de dossel na trilha, DAP=diâmetro a altura do peito, IAFM=índice de área foliar na mata, IAFT= índice de área foliar na trilha, L=largura, P= profundidade, TDM= Transmitância luminosa direta na mata, TDT=transmitância luminosa direta na trilha, TFM= transmitância luminosa direta na mata, TFT= transmitância luminosa difusa na trilha.

Os dados dendrométricos da trilha não apresentaram correlação significativa com os atributos do dossel. Porém, a altura dos indivíduos apresentou uma correlação positiva fraca ( $r=0,32$ ) com o índice de área foliar na trilha.

A abertura do dossel parece ser a variável que apresenta maior correlação com os outros atributos. Ela possui uma correlação negativa fraca ( $r=-0,34$ ) com a altura dos indivíduos analisados, ou seja, quanto maior a abertura do dossel maior a tendência de ocorrer árvores de menor tamanho. A abertura do dossel possui uma correlação negativa extremamente forte ( $r=-0,93$ ) com o IAF na trilha, assim como tem uma correlação forte positiva ( $r=0,80$ ) com a transmitância difusa na trilha. A abertura do dossel na trilha também apresenta uma correlação positiva forte ( $r=0,70$ ) com a abertura do dossel na mata, consequentemente quando maior a

abertura do dossel na trilha maior a tendência de ter uma abertura do dossel na mata na mesma região, indicando que efeitos de borda (TABANEZ *et al.* 1997; BIERREGAARD *et al.* 2001) em condições de trilhas podem ser propagados para distâncias de, pelo menos 30m, para o interior da mata.

A abertura do dossel na mata, por sua vez, apresentou menor correlação com os parâmetros estruturais obtidos a 30m, dentro da mata, indicando que esses indicadores nesse ambiente (mata) não são tão fortemente influenciados pela abertura de dossel. Uma das razões pode ser o fato de que a abertura do dossel na mata não é tão elevada quanto na trilha, fazendo com que a mesma não chegue a ter consequências sob outros parâmetros estruturais. O índice de área foliar na mata, por exemplo, tem uma correlação negativa fraca, com a transmitância luminosa direta ( $r = -0,45$ ), e com a abertura do dossel ( $r = -0,47$ ).

A abertura do dossel na mata tende a aumentar na medida que a abertura do dossel na trilha aumenta. A matriz de dispersão também mostra o comportamento dos IAFs em função das aberturas de dossel (figura 32), sendo possível verificar q o IAFM diminuem conforme a abertura de dossel aumenta.

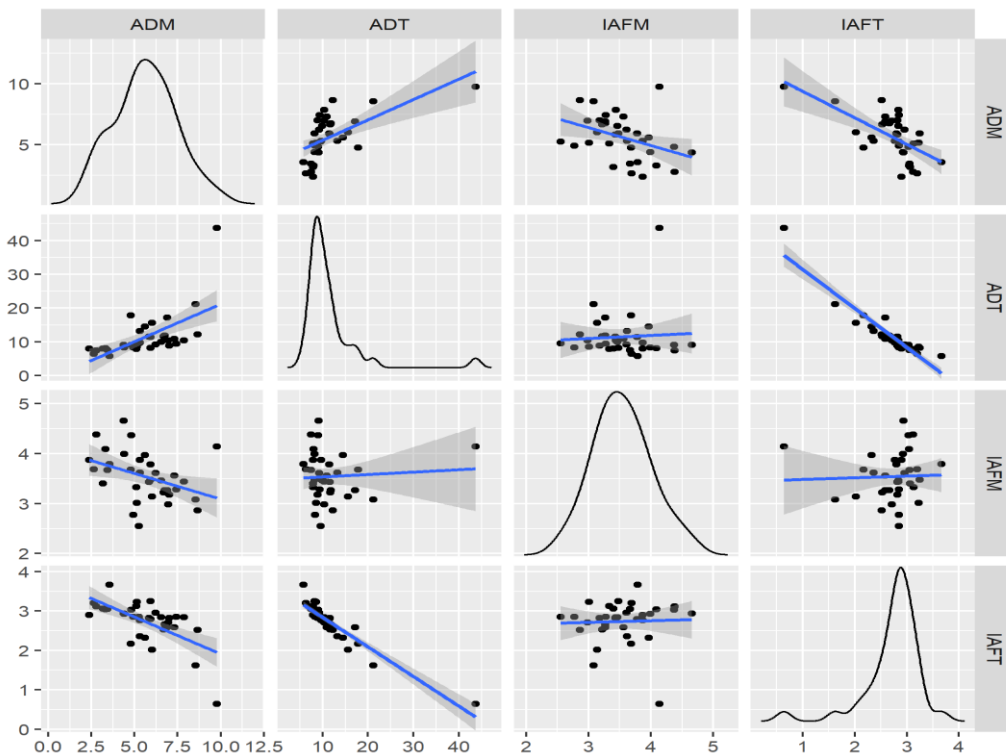


Figura 31 - Matriz de dispersão das dos parâmetros do dossel

Através do Método Multivariado conhecido como Análise de Componentes Principais (ACP) identificou-se padrões de comportamento das variáveis. Esse método não requer que as variáveis tenham distribuição específica, e assim buscou-se padrões sobre o processo (SILVA *et al.*,2015). Utilizou-se o método em duas dimensões que explica 72,9% das variações (Figura 33).

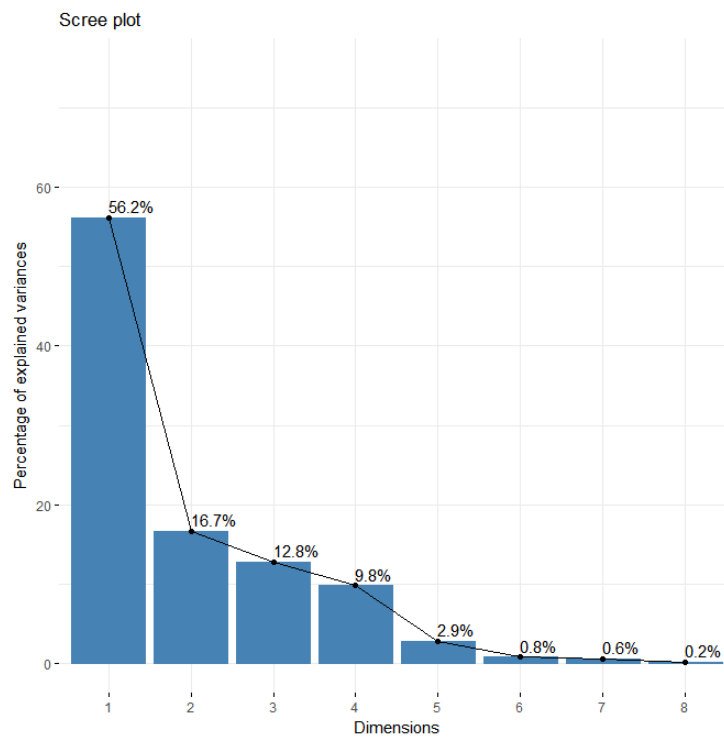


Figura 32 - Gráfico com percentagem das explicações em suas respectivas dimensões no ambiente da trilha

Na primeira dimensão podemos identificar a contribuição de cada variável para o ambiente na trilha (Figura 34). Assim, nessa primeira dimensão a abertura de dossel (AD), transferência difusa (TF) e índice de área foliar (IAF) são as variáveis com maior contribuição.

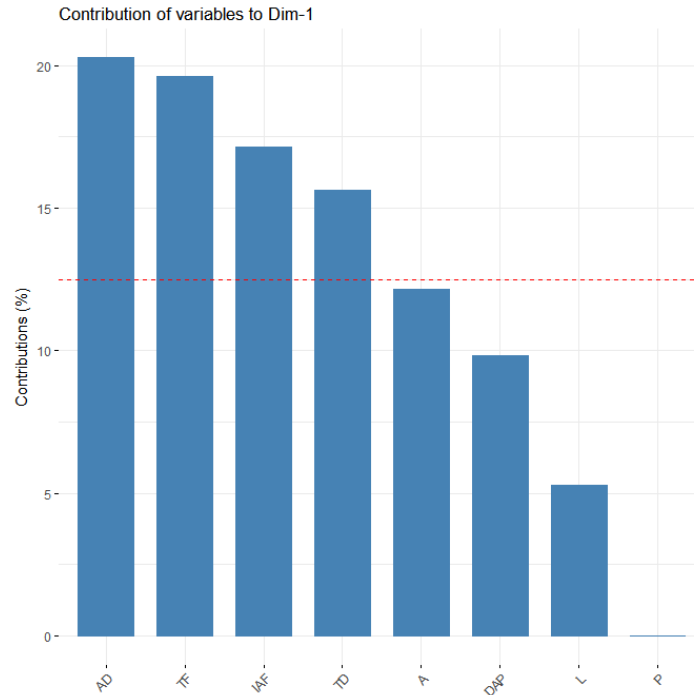


Figura 33 - Contribuição das variáveis na primeira dimensão na trilha

Para a segunda dimensão a largura (L) e o diâmetro a altura do peito (DAP) foram as variáveis com maior contribuição (Figura 35).

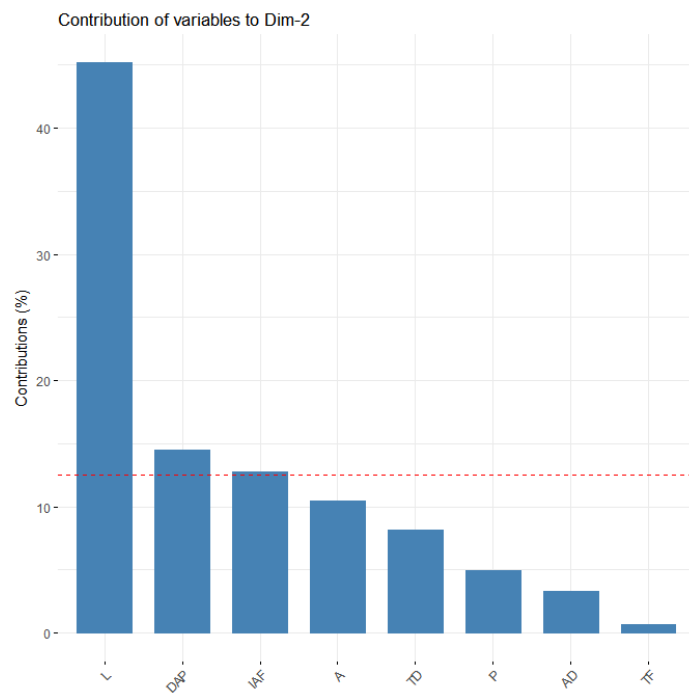


Figura 34 - Contribuição das variáveis na segunda dimensão no ambiente da trilha



Com o apoio da figura 36 identificamos que na trilha, a largura da trilha (L) é inversamente proporcional ao índice de área foliar na trilha (IAF) na trilha, assim como a abertura de dossel na trilha (ADT) apresenta seu eixo na mesma direção da largura (L).

Identificamos ainda que as parcelas com maiores IAF são as parcelas 9 e 10. Assim como as parcelas que possuem maior porcentagem de transmitância luminosa na mata (PTDM, PTFM e PTTM) são as parcelas entre 14 e 15. Nesse trecho da trilha representado pelas duas parcelas é observado uma grande abertura no dossel e conseqüentemente esse alto nível de transmitância luminosa. O trecho da trilha com maior largura é representado pelas parcelas 19, 20 e 21, contribuindo com uma maior abertura de dossel nessa área.

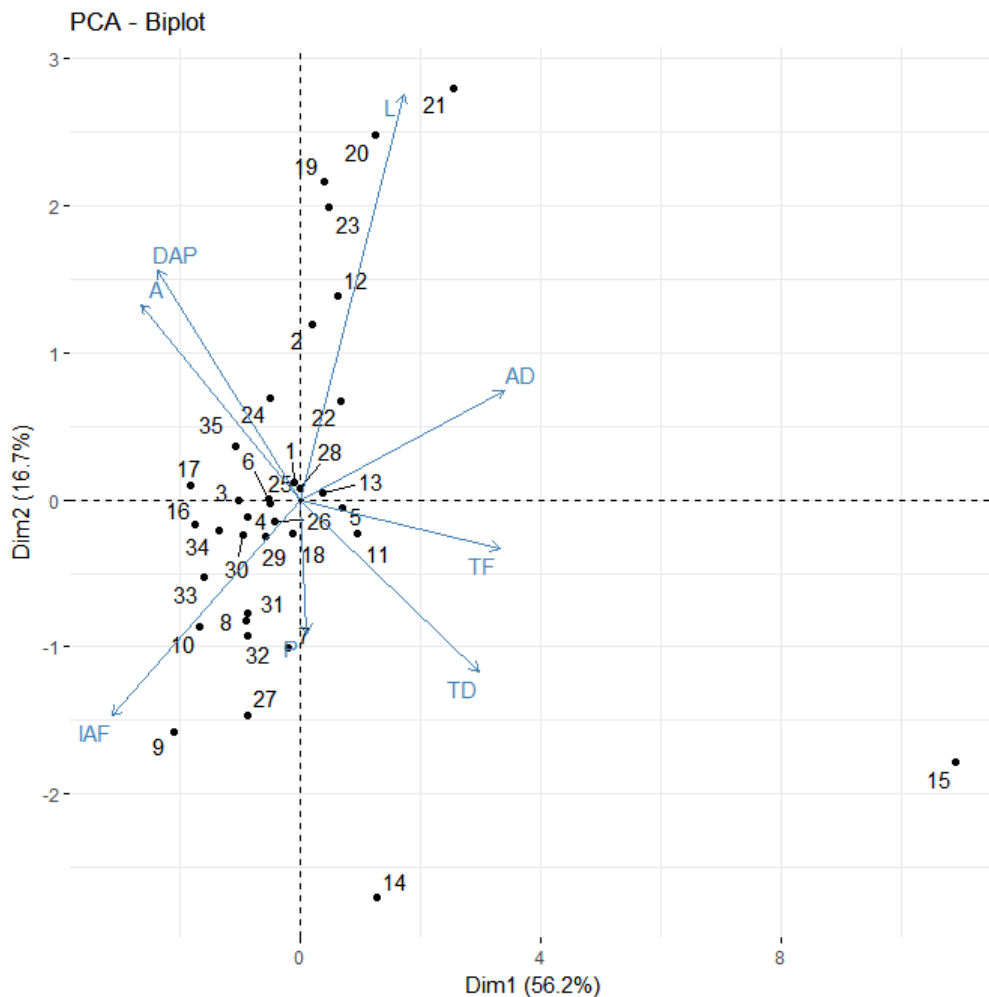


Figura 35 - Comportamento das variáveis e das respectivas parcelas

Para o ambiente na mata, as duas dimensões têm uma representatividade de 72% (Figura 37).

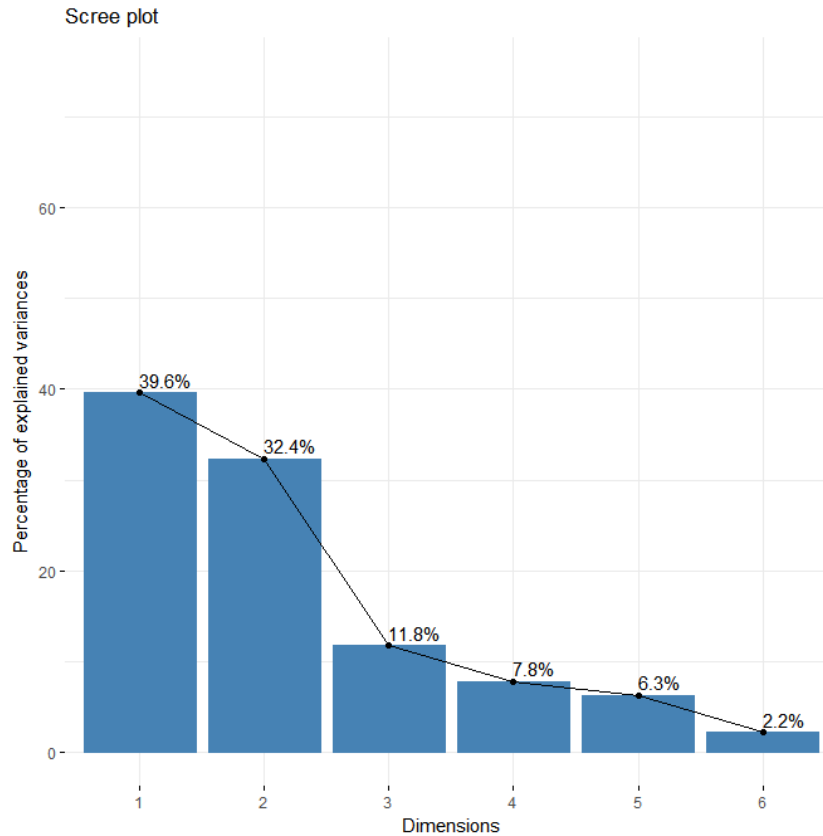


Figura 36 - Gráfico com percentagem das explicações em suas respectivas dimensões no ambiente da trilha

Analisando o gráfico com as contribuições de cada variável para a primeira dimensão no ambiente da mata (Figura 38), podemos observar, que a transmitância difusa (TF), índice de área foliar (IAF) e transmitância direta são as variáveis com maior contribuição. Já abertura do dossel (AD), diâmetro a altura do peito (DAP) e altura dos indivíduos (A) quase não exercem influência nessa dimensão.

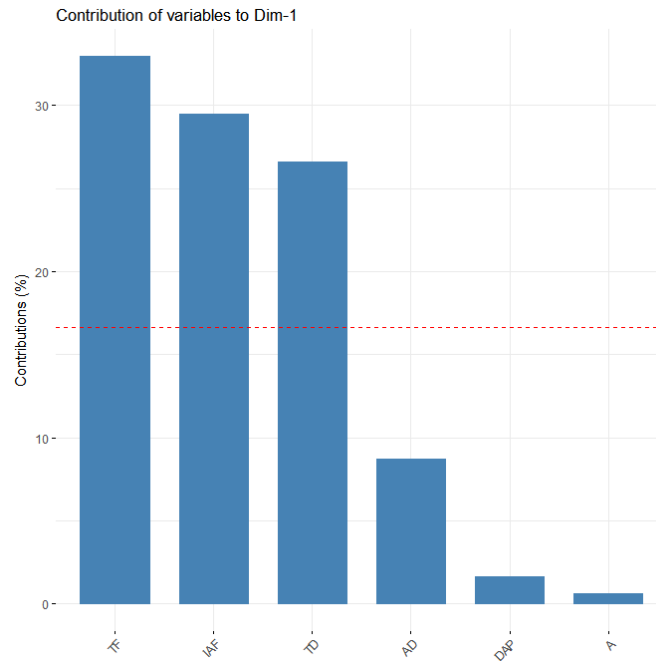


Figura 37 - Contribuição das variáveis na primeira dimensão no ambiente da mata

Em relação a segunda dimensão (Figura 39), podemos observar que a altura (A) e o diâmetro a altura do peito (DAP), são as variáveis que exercem uma maior contribuição no ambiente da mata.

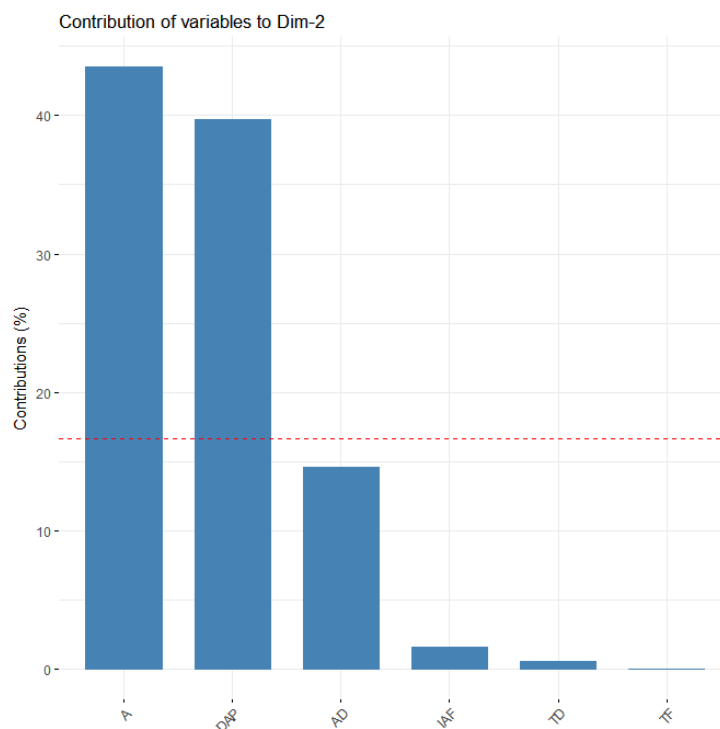


Figura 38 - Contribuição das variáveis na primeira dimensão no ambiente da mata

Para o ambiente da mata, a análise foi feita de forma que a parcela número 36 representa a parcela de número um na trilha (Figura 40), ambas distantes 30m paralelamente, da mesma forma, a parcela de número 70 na mata representa a parcela de número 35 dentro da trilha. Observamos que a área com maior índice de área foliar é representada pelas parcelas 68, 69 e 70, indicando que no final da trilha existe indivíduos com maior IAF. A área com maior transmitância difusa e transmitância direta dentro da mata é representada pelas parcelas 36, 37 e 38, indicando que no início da trilha existe um grande índice de transmitância luminosa dentro da mata.

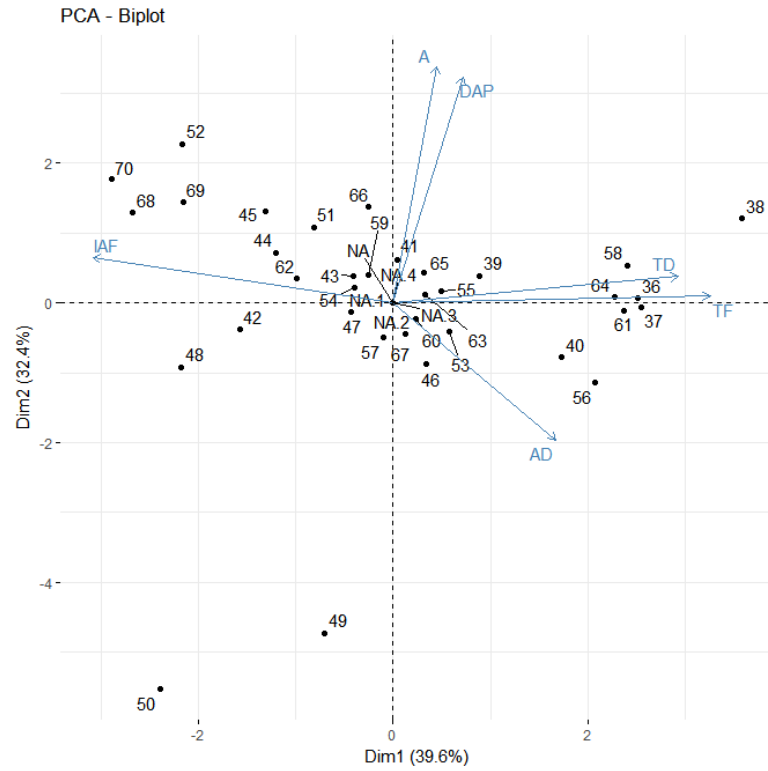


Figura 39 - Comportamento das variáveis e das respectivas parcelas dentro da mata

Avaliando os dois ambientes em conjunto, a percentagem de representatividade das duas dimensões é de 86,5% (Figura 41).

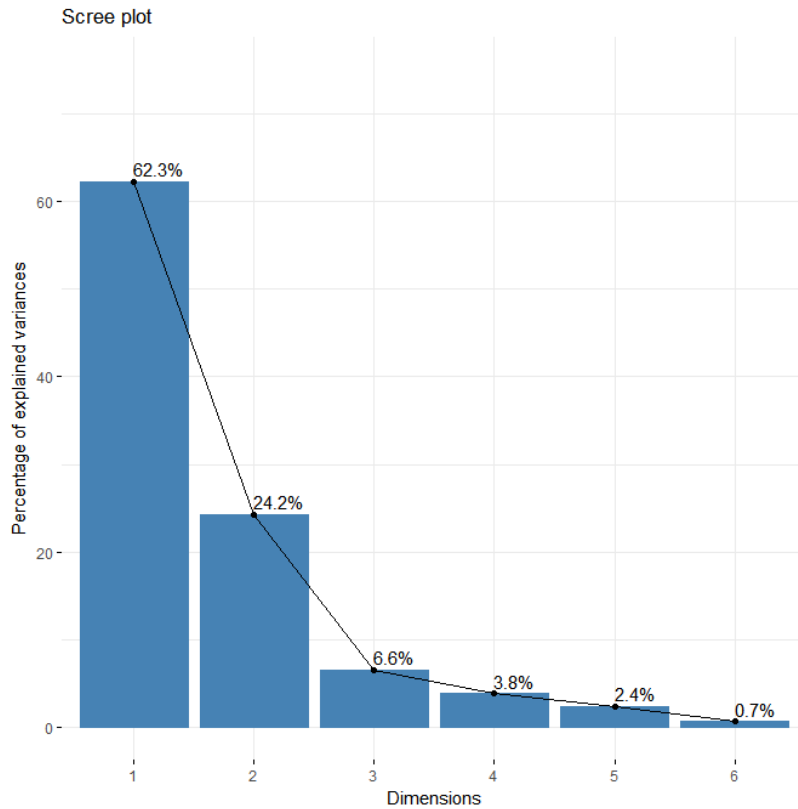


Figura 40 - Gráfico com a percentagem das explicações em suas respectivas dimensões nos dois ambientes

Nos dois ambientes analisados em conjunto a transmitância luminosa difusa (TF), abertura de dossel (AD) e transmitância direta (TD) são as variáveis que mais contribuem na primeira dimensão (Figura 42).

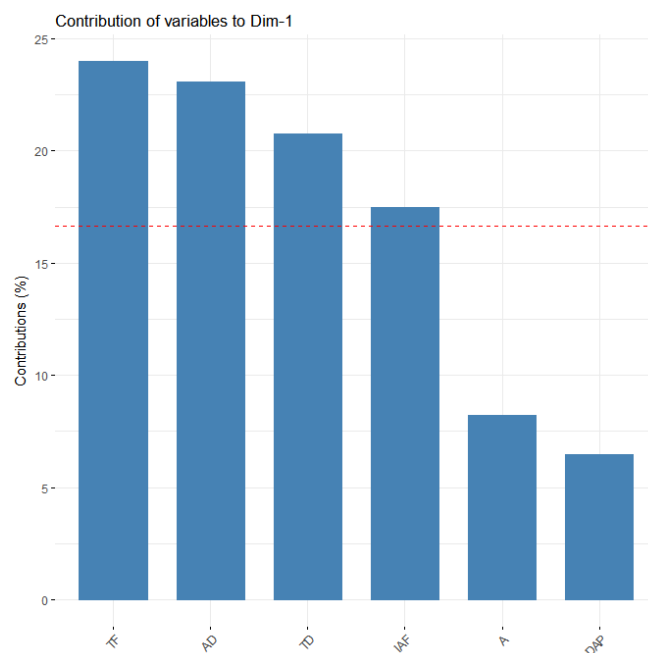


Figura 41 - Contribuição das variáveis na primeira dimensão nos dois ambiente, trilha e mata

Para a segunda dimensão, as variáveis que mais contribuem são diâmetro a altura do peito (DAP) e altura (A) (Figura 43).

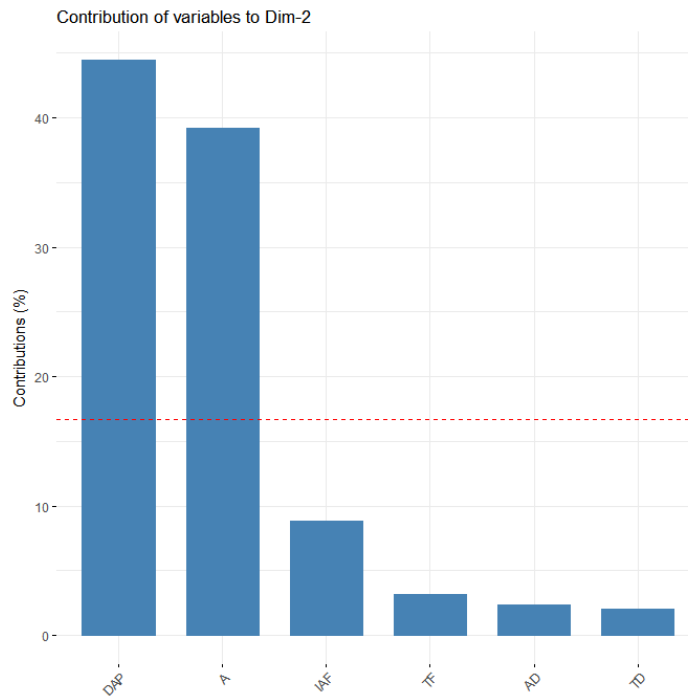


Figura 42 - Contribuição das variáveis na segunda dimensão nos dois ambiente, trilha e mata

Para dividir as parcelas em grupos homogêneos segundo os indicadores obtidos pela ACP, primeiro calculou-se o número ideal de grupos, sendo assim, as parcelas foram agrupadas em cinco grupos diferentes. Podemos observar no gráfico abaixo (Figura 44) que a partir desse valor os grupos começam a perder representatividade

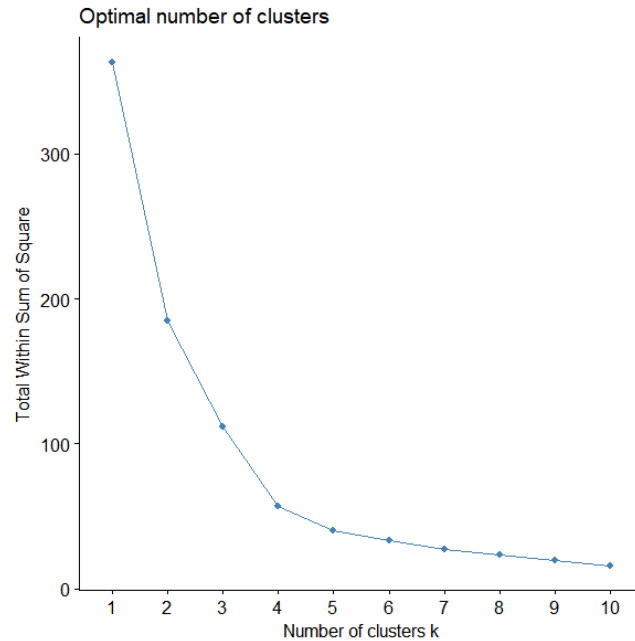


Figura 43 - Gráfico com número ideal de grupos para dividir as parcelas hierarquicamente

Agrupando as parcelas hierarquicamente (Figura 45), podemos observar o comportamento das mesmas, e identificar as possíveis semelhanças entre essas parcelas. A parcela de número 15 em vermelho na direita, apresenta um comportamento distinto de todas as outras parcelas, identificada como uma área de alta abertura de dossel e transmitância luminosa. Em seguida temos três parcelas com um comportamento semelhante sendo a parcela de número 14 na trilha e as parcelas 8, 14 e 20 dentro da mata. Essas parcelas também apresentam um alto grau de abertura de dossel e transmitância luminosa. O grupo mais à esquerda, representado de amarelo, indicam as parcelas com valores intermediários de IAF, abertura de dossel e transmitância luminosa. Em seguida, de azul temos as parcelas com valores aceitáveis de variações dos parâmetros do dossel e de luminosidade e por último, de verde, temos as parcelas com índices ideais da variação desses parâmetros.



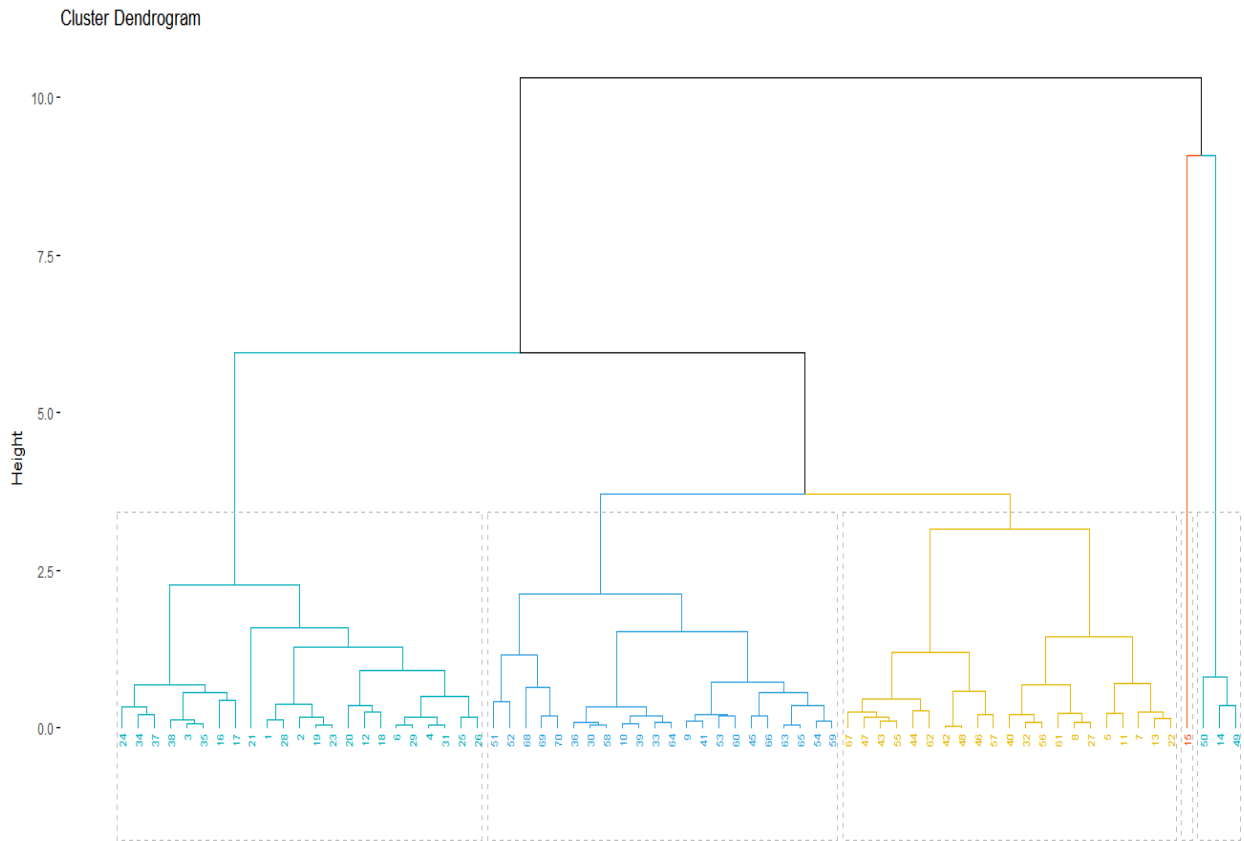


Figura 44 - Gráfico com agrupamento hierárquico das parcelas

Essa separação é de extrema utilidade em tomadas de decisões (LINDEN, 2009). No estudo feito, as parcelas 14 e 15 seriam as primeiras na tomada de ações corretivas, por apresentar padrões de alto índice de abertura do dossel, taxa de luminosidade acima do padrão local e baixo índice de IAF. Em segundo lugar uma ação corretiva deveria ser tomada nas as parcelas que se encontram no grupo de risco (amarelo). As parcelas que se encontram no grupo padrão (verde), são consideradas dentro dos parâmetros normais do ambiente local.

O modelo de interações entre os parâmetros (Figura 46), aponta que a largura da trilha tem uma influência direta na abertura do dossel acima da trilha e no Índice de Área Foliar. Podemos afirmar ainda que parâmetros dendrométricos influenciam nos padrões de luminosidade, que por sua vez influenciam nos Índices de Área Foliar (BECKSCHÄFER *et al.*, 2002).

Assim, concluímos ainda que a abertura do dossel na trilha é um parâmetro-chave dentro de áreas de visitação, pois têm influência nos Índices de Área Foliar, Incidência Luminosa. Esse conjunto de correlações em cadeia, que se inicia na largura da trilha e termina na abertura do

dossel dentro da mata, aponta para um possível efeito de borda, pois a abertura do dossel na trilha causada pelo aumento da largura na mesma está influenciando padrões estruturais e de luminosidade dentro da mata, parâmetros que afetam diretamente o microclima dentro do ambiente florestal, uma vez que a luminosidade está diretamente ligada com temperatura e humidade.

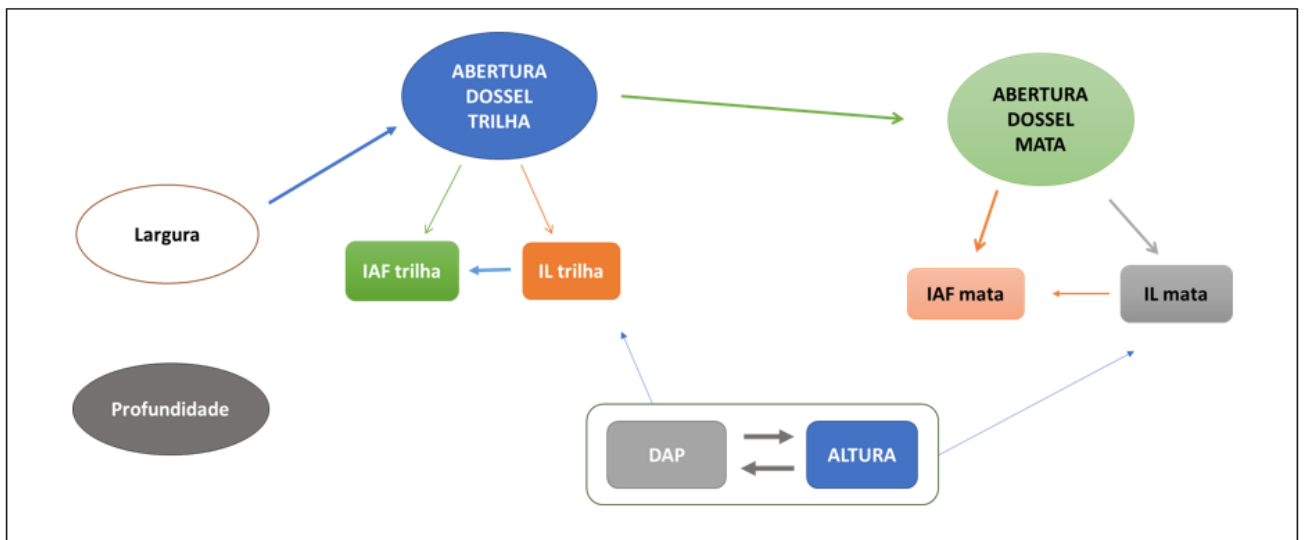


Figura 45 - Esquema ilustrativos das interações do MoNa dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca

## 5 Conclusão

Através dos diferentes testes com a câmera foi possível identificar a melhor configuração para os valores de diâmetro de abertura da lente (F), valor de exposição (EV), velocidade ISO e nível de exposição para se obter a melhor qualidade de imagem de fotografias hemisféricas para o tipo de ambiente estudado (Floresta Ombrófila Densa, em encosta).

Através da utilização de fotografias hemisféricas foi possível avaliar os parâmetros estruturais do dossel assim como os índices de luminosidade e comparar os resultados entre os dois ambientes avaliados (trilha e mata), além de averiguar possíveis relações de mudanças na estrutura vegetal em decorrência de parâmetros físicos da trilha (largura e profundidade). Os valores desses parâmetros apresentaram diferenças significativas dentro dos dois ambientes, indicando que o uso de trilhas para caminhantes em Unidades de Conservação pode promover alterações nas condições naturais da área. Os valores de abertura de dossel na trilha foram superiores aos valores de abertura de dossel dentro da mata em todas as parcelas, assim como os valores de índice de área foliar (IAF) e transmitância luminosa.

A profundidade da trilha analisada não causou alterações nos parâmetros estruturais da vegetação. Em contrapartida, a largura da trilha causa efeitos significativos na abertura de dossel, a qual, conseqüentemente altera o nível de transmitância luminosa influenciando o índice de área foliar (IAF).

Apesar das alterações identificadas em consequência do uso da trilha para caminhantes no Monumento Natural dos Morros do Pão de Açúcar e da Urca, não podemos afirmar que a área apresenta grande impacto em termos comparativos ao trecho próximo de mata, pois apesar de algumas porções apresentarem “valores críticos”, a maioria das parcelas analisadas apresentaram valores dentro do padrão geral do ambiente local.

A técnica de avaliação de impactos através da utilização de fotografias hemisféricas apresentou resultados bastante satisfatórios, pois foi possível comprovar os resultados e produzir um diagnóstico detalhado da área de estudo, identificando padrões e elaborando modelos que podem auxiliar na tomada de decisões.

Além de eficiente, a metodologia apresenta um tempo de coleta e análise de dados relativamente curto e preciso, em relação a outras técnicas de avaliação de abertura de dossel, índice de área foliar e transmitância luminosa. Além disso, a análise foi feita com softwares livres. Essa técnica pode ainda ser considerada uma boa alternativa também por ser um método não destrutivo e de custo razoável. Além disso, a técnica permite a avaliação e o monitoramento

regular de parâmetros ambientais, com indicadores consistentes. Esses parâmetros podem ser medidos periodicamente de forma a auxiliar a tomada de decisões, na gestão e manejo da área. Desta forma, acreditamos que a análise de fotografias hemisféricas é uma ferramenta eficiente para auxiliar no manejo de áreas preservadas.

## Referências Bibliográficas

ANDERSON, M. C. Studies of the Woodland Light Climate. **Journal of Ecology**, v. 52, n. 1, p. 27–41, 1964.

ASNER, G. P.; SCURLOCK, J. M. O.; HICKE, J. A. Global synthesis of leaf area index observations : **Global Ecology & Biogeography**, v. 12, n. 2003, p. 191–205, 2003.

AZEREDO, T.; ZAÚ, A. S. Ecotourism and Environmental Education : connecting different concepts. **Revista Brasileira de Ecoturismo**, p. 670–684, 2017.

BALMFORD, A. et al. A global perspective on trends in nature-based tourism. **PLoS Biology**, v. 7, n. 6, p. 1–6, 2009.

BARROS, M.I.A; **Caracterização da visitação, dos visitantes e avaliação dos impactos ecológicos e recreativos do Planalto do Parque Nacional do Itatiaia**. 2003. Dissertação (Mestrado Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2003

BEAUDET, M.; MESSIER, C. Variation in canopy openness and light transmission following selection cutting in northern hardwood stands: An assessment based on hemispherical photographs. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 110, n. 3, p. 217–228, 2002.

BECKSCHÄFER, P. et al. Variation in canopy openness and light transmission following selection cutting in northern hardwood stands: An assessment based on hemispherical photographs. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 121, n. 3, p. 129–143, 2002.

BECKSCHÄFER, P. et al. Mapping leaf area index in subtropical upland ecosystems using rapideye imagery and the randomforest algorithm. **IForest**, v. 7, n. 1, p. 1–11, 2014.

BONAN, G. B. Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. **Science**, v. 320, n. 5882, p. 1444–1449, 2008.

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.

CARROLL, G. C.; CARROLL, G. C. **Forest canopies: complex and independent subsystems. Forests: Fresh Perspectives from Ecosystem Analysis**. Corvallis, Oregon State Univ. Press. p. 87–107, 1980.

CESCATTI, A. Indirect estimates of canopy gap fraction based on the linear conversion of hemispherical photographs. Methodology and comparison with standard thresholding techniques. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 143, n. 1–2, p. 1–12, 2007.

CHAN, S. S. Evaluating forest vegetative cover with computerized analysis of fisheye photographs. **Forest Science**, v. 32, n. 4, p. 1085–1091, 1986.

CHASON, J. W.; BALDOCCHI, D. D.; HUSTON, M. A. A comparison of direct and indirect methods for estimating forest canopy leaf area. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 57, n. 1–3, p. 107–128, 1991.

CHEN, J. M. **Leaf area index of boreal forests- Theory , techniques , and measurements.** L • - 2. v. 102, p. 429–443, 1997.

CHEN, J. M.; BLACK, T. A.; ADAMS, R. S. Evaluation of hemispherical photography for determining plant area index and geometry of a forest stand. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 56, n. 1–2, p. 129–143, 1991.

CHIANUCCI, F.; CHIAVETTA, U.; CUTINI, A. The estimation of canopy attributes from digital cover photography by two different image analysis methods. **IForest**, v. 7, n. 4, p. 255–259, 2014.

CHIANUCCI, F.; CUTINI, A. Digital hemispherical photography for estimating forest canopy properties: Current controversies and opportunities. **IForest**, v. 5, n. 6, p. 290–295, 2012.

COLE, D. N.; LANDRES, P. B. **Indirect effects of recreation on wildlife. Wildlife and Recreationists: Coexistence Through Management and Research**, p. 183–202, 1995.

COURBAUD, B.; DE COLIGNY, F.; CORDONNIER, T. Simulating radiation distribution in a heterogeneous Norway spruce forest on a slope. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 116, n. 1–2, p. 1–18, 2003.

COXCON, D.; NADKARNI, M. Ecological Roles of Epiphytes in Nutrient Cycles of Forest Ecosystems. **Academic Press, New York**, p. 495–593, 1995.

D'ARROCHELLA, M. L. G.; ARAÚJO, R. S.; MIRANDA, F. S. M.; SILVA, W. M. Análise microclimática inter e intra fragmentos florestais de Mata Atlântica na Área de Proteção Ambiental de Petrópolis. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 12., 2009, Montevideu, **Anais...**, Montevideu, 2009.

DOS SANTOS, A. M. O Ecoturismo, Uso Publico E O Parque Nacional Do Iguacu. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 6, n. 3, p. 229–242, 2010.

ENGLUND, S. R.; O'BRIEN, J. J.; CLARK, D. B. Evaluation of digital and film hemispherical photography and spherical densiometry for measuring forest light environments. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 30, n. 12, p. 1999–2005, 2000.

EVANS, B. Y. G. C.; COOMBE, D. E. Photography and Woodland Canopy. **Journal of Ecology**, v. 47, n. 1, p. 103–113, 1959.

FASSNACHT, K. et al. A comparison of optical and direct methods for estimating foliage surface area index in forests. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 71, n. 94, p. 183–207, 1994.

FRAZER, G.; CANHAM, C.; LERTZMAN, K. Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. **Program**, p. 36, 1999.

FRAZER, G. W. et al. A comparison of digital and film fisheye photography for analysis of forest canopy structure and gap light transmission. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 109, n. 4, p. 249–263, 2001.

GALVANI, E.; LIMA, N. G. B. DE. Fotografias Hemisféricas Em Estudos Microclimáticos: Referencial Teórico-Conceitual E Aplicações. **Ciência e Natura**, v. 36, n. 3, p. 215–221, 2014.

GEIGER, R. **Manual de microclimatologia.**: o clima da camada de ar junto ao solo. Trad. de Ivone Nogueira e Francisco Caldeira Cabral. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1961.

GENDRON, F.; MESSIER, C.; COMEAU, P. G. Comparison of various methods for estimating the mean growing season percent photosynthetic photon flux density in forests. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 92, n. 1, p. 55–70, 1998.

GUARIGUATA, M. R.; OSTERTAG, R. Neotropical secondary forest succession: Changes in structural and functional characteristics. **Forest Ecology and Management**, v. 148, n. 1–3, p. 185–206, 2001.

GUYOT, G.; GUYON, D.; RIOM, J. Factors affecting the spectral response of forest canopies. **Geocarto International**, v. 3, n. March 2013, p. 3–17, 1989.

HALVERSON, M. A. et al. Forest mediated light regime linked to amphibian distribution and performance. **Oecologia**, v. 134, n. 3, p. 360–364, 2003.

ISHIDA, M. Automatic thresholding for digital hemispherical photography. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 34, n. 11, p. 2208–2216, 2004.

ISHIDA, M. A application software for automatic calculation of diffuse transmittance. **Journal of Forest Research**, v. 34, n. 11, p. 2208–2216, 2005.

JARČUŠKA, B.; KUCBEL, S.; JALOVÍAR, P. Comparison of output results from two programmes for hemispherical image analysis: Gap light analyser and winscanopy. **Journal of Forest Science**, v. 56, n. 4, p. 147–153, 2010.

JONCKHEERE, I. et al. Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 121, n. 1–2, p. 19–35, 2004.

JONCKHEERE, I. et al. Assessment of automatic gap fraction estimation of forests from digital hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 132, n. 1–2, p. 96–114, 2005.

KABAKOFF, R. P.; CHAZDON, R. L. Effects of Canopy Species Dominance on Understorey Light Availability in Low-Elevation Secondary Forest Stands in Costa Rica . **Journal of Tropical Ecology** , Vol . 12 , No . 6 , 1996 .

KRESS, W. W. J. J. The systematic distribution of vascular epiphytes: an update. **Selbyana**, v. 9, n. 1, p. 2–22, 1986.

KOZAK, M. “What is strong correlation?”. **Teaching Statistics**, v. 31, p. 85-86, 2009.

KÜPPERS, M. Canopy gaps: competitive light interception and economic space filling - a matter of whole-plant allocation. **Exploitation of environmental heterogeneity by plants**, n. ; 4, p. 111–144, 1994.

LATIFI, H.; GALOS, B. Remote sensing-supported vegetation parameters for regional climate models: A brief review. **IForest**, v. 3, n. JULY, p. 98–101, 2010.

LEBLANC, S. G. et al. Methodology comparison for canopy structure parameters extraction from digital hemispherical photography in boreal forests. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 129, n. 3–4, p. 187–207, 2005.

LIMA, E. B. DE M. **Pão de Açúcar: do cartão postal à Educação Ambiental**. [s.l: s.n.].

LINDEN, R. Técnicas de Agrupamento. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, v. 4, p. 18–36, 2009.

LOWMAN, M. D. **Canopy research in the twenty-first century : a review of Arboreal Ecology**. v. 50, n. 1, p. 125–136, 2009.

LOWMAN, M. D.; MOFFETT, M. **The Ecology of Tropical Rain Forest Canopies**. p. 6–9, 1993.

MACFARLANE, C. et al. Estimation of leaf area index in eucalypt forest using digital photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 143, n. 3–4, p. 176–188, 2007.

MACFARLANE, C. Classification method of mixed pixels does not affect canopy metrics from digital images of forest overstorey. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 151, n. 7, p. 833–840, 2011.

MARIE, W.; FRE, B. **Slope correction for LAI estimation from gap fraction measurements**. v. 148, p. 1553–1562, 2008.

MARQUES, J. M. **0 Método Da Análise De Componentes Principais Na Detecção E Identificação De Outliers**. [s.l: s.n.].

MEYERS, T. P.; PAW U, K. T. Modelling the plant canopy micrometeorology with higher-order closure principles. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 41, n. 1–2, p. 143–163, 1987.

MONTGOMERY, R. A.; CHAZDON, R. L. Light gradient partitioning by tropical tree seedlings in the absence of canopy gaps. **Oecologia**, v. 131, n. 2, p. 165–174, 2002.

MONZ, C. **Recreation resource assessment and monitoring techniques: examples from the Rocky Mountains, USA.** Lander: NOLS:, 1999. 26p. (Reserch Program Anual Report)

NADKARNI, N. M.; PARKER, G. G.; LOWMAN, M. D. **Forest canopy studies as an emerging field of science.** p. 217–224, 2011.

NICOTRA, A. B.; CHAZDON, R. L.; IRIARTE, S. V. B. Spatial heterogeneity of light and woody seedling regeneration in tropical wet forests ( statistical data included ). **Ecology**, v. 80, n. 6, p. 1–17, 1999.

NOBIS, M.; HUNZIKER, U. Automatic thresholding for hemispherical canopy-photographs based on edge detection. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 128, n. 3–4, p. 243–250, 2005.

ORIGO, N. et al. Influence of levelling technique on the retrieval of canopy structural parameters from digital hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 237–238, n. February, p. 143–149, 2017.

OZANNE, C. M. P. et al. Biodiversity Meets the Atmosphere: A Global View of Forest Canopies. **Science**, v. 301, n. July, p. 183–186, 2003.

PAUL M. RICH. **Characterizing Plant Canopies with Hemispherical Photographs.** n. November 2012, p. 37–41, 1990.

PORENSKI, S. **Tropical inselbergs: habitats types, adaptative strategies and diversity patterns.** p. 779–788, 1996.. Bot. V.30, n.4, p.579-586, out.dez. 2007.

PROMIS, A. et al. Comparison of four different programs for the analysis of hemispherical photographs using parameters of canopy structure and solar radiation transmittance. **Waldokologie Online**, v. 11, p. 19–33, 2011.

PUESCHEL, P.; BUDDENBAUM, H.; HILL, J. An efficient approach to standardizing the processing of hemispherical images for the estimation of forest structural attributes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 160, p. 1–13, 2012.

SARAIVA, A. C. R. Impactos Aos Atributos Físicos Do Solo Em Trilhas Opcionados Pelo Ecoturismo Em Ubatuba-Sp. **Revista Univap**, v. 17, p. 32-40, 2011.

REID, T. D. et al. Spatial quantification of leafless canopy structure in a boreal birch forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 188, p. 1–12, 2014.

REZENDE, V. L.; CUNHA, F. L. Os Desafios Do Uso De Trilhas Em Unidades De Conservação. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 3, p. 29–41, 2014.

RICH, P. M. A Manual for Analysis of Hemispherical Canopy Photography. **Science**, n. April, p. 81, 1989.

ROXBURGH, J.; KELLY, D. Uses and limitations of hemispherical photography for estimating forest light environments. **New Zealand Journal of Ecology**, v. 19, n. 2, p. 213–217, 1995.



SCHMINK, M.; GARCÍA, M. A. G. **Embaixo do dossel Gênero e florestas na Amazônia.** p.50, 2016.

SILVA, J. R.; MAILARD, P. **Métodos para obtenção do IAF no dossel.** p. 3059–3064, 2009.  
SILVA, A. O. DA; CASTRO, A. O. C. De. Avaliação dos impactos de uso público na trilha ecológica da praia do perigoso – parque natural de grumari, RJ. **Anais do II Encontro Fluminense de Uso Público em Unidades de Conservação. Turismo, recreação e educação: caminhos que se cruzam nos parques,** p. 264–271, 2015.

SILVA, M. C. DA; SILVA, J. D. G. DA; BORGES, E. F. Análises de componentes principais para elaborar índices de desempenho no setor público. **Rev. Bras. Biom,** v. 33, n. 3, p. 291–309, 2015.

SINOQUET, H. et al. Characterization of the Light Environment in Canopies Using 3D Digitising and Image Processing. **Annals of Botany,** v. 82, p. 203–212, 1998.

SOBRAL, I.; SANTANA, R. DE O. Avaliação dos impactos ambientais no Parque Nacional Serra de Itabaiana–SE. **Caminhos de ...,** p. 102–110, 2007.

VALLEJO, L. R. Uso Público Em Áreas Protegidas: Atores, Impactos, Diretrizes De Planejamento E Gestão. **Uso Público em Unidades de Conservação,** v. 1, n. 1, p. 13–26, 2013.

VAN GARDINGEN, P. R. et al. Leaf area index estimates obtained for clumped canopies using hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology,** v. 94, n. 3–4, p. 243–257, 1999.

VASCONCELLOS EISENLOHR, P. et al. Trilhas e seu papel ecológico: o que temos aprendido e quais as perspectivas para a restauração de ecossistemas? **Hoehnea,** v. 40, n. 3, p. 407–418, 2013.

VASHCHENKO, Y. **CARACTERIZAÇÃO DA TRILHA E O IMPACTO DO MONTANHISMO NOS PICOS CAMAPUÁ E TUCUM – CAMPINA GRANDE DO SUL** – PR Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo , Curso de Pós- Graduação em Ciência do Solo , Setor. 2006.

VÁZQUEZ, Y. Oecologia **Ecological significance of light controlled seed germination in two contrasting tropical habitats.** p. 171–175, 1990.

WAGNER, S. Calibration of grey values of hemispherical photographs for image analysis. **Agricultural and Forest Meteorology,** v. 90, n. 1–2, p. 103–117, 1998.

WALTER, J. M. N. et al. Integrating clumping effects in forest canopy structure: An assessment through hemispherical photographs. **Canadian Journal of Remote Sensing,** v. 29, n. 3, p. 388–410, 2003.

WEISS, M. et al. Review of methods for in situ leaf area index (LAI) determination Part II. Estimation of LAI, errors and sampling. **Agricultural and Forest Meteorology,** v. 121, n. 1–2, p. 37–53, 2004.

WELLES, J. M. Some indirect methods of estimating canopy structure. **Remote Sensing Reviews**, n. November 2012, p. 31–43., 1990.

WINKLER, M.; HULBER, K.; HIETZ, P. **Effect of Canopy Position on Germination and Seedling Survival of Epiphytic Bromeliads in a Mexican Humid Montane Forest**. n. 1997, p. 1039–1047, 2005.

WOODGATE, W. et al. Understanding the variability in ground-based methods for retrieving canopy openness, gap fraction, and leaf area index in diverse forest systems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 205, n. June, p. 83–95, 2015.

ZAÚ, S.; FEDERAL, U. **Composição , estrutura e efeitos de bordas lineares na comunidade arbustiva-arbórea de um remanescente urbano de ...** n. October 2010, 2010.

ZHANG, Y.; CHEN, J. M.; MILLER, J. R. Determining digital hemispherical photograph exposure for leaf area index estimation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 133, n. 1–4, p. 166–181, 2005.

ZHAO, K. et al. Characterizing forest canopy structure with lidar composite metrics and machine learning. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 8, p. 1978–1996, 2011.