

Estudo da diversidade da fauna flebotomínea em relação a estádios sucessionais de floresta baseados em modelo digital de superfície.

Baltazar Casagrande^{1,3}
Adilson Berveglieri^{1,4}
Vanessa Gusmon da Silva²
Nilton Nobuhiro Imai^{1,5}
Raul Borges Guimarães^{1,6}

¹ Universidade Estadual Paulista – UNESP Júlio Mesquita Filho

Presidente Prudente - SP, Brasil

³ flebalta2012@gmail.com

⁴ adilsonberveg@gmail.com

⁵ nilton.imai@gmail.com

⁶ raulguimaraes@uol.com.br

² Instituto Adolfo Lutz - IAL
vanigusmon@hotmail.com

Abstract. This paper presents a preliminary study that investigates the relationship between sand fly species (*Leishmaniasis* vector) and the successional stages of a tropical forest in the West of São Paulo State. The hypothesis is that trees in mature stage may contribute to a greater diversity of *phlebotomine* species. For technical application, successional stages are determined based on analysis of dense digital surface model (DSM), derived from RGB images, in which local variances of tree heights are calculated to generate a classification. The forest canopy is split into three stages to represent the current forest status (pioneer, intermediate and mature). Field surveys were performed with CDC traps to collect insects at four points inside the forest. Twelve different *phlebotomine* species were found in the sampling areas. Coefficients of similarity, diversity and richness were calculated for a statistical analysis of the species, which were also correlated with successional stages. The results showed greater species diversity in mature forest areas and less species diversity in primary regeneration area, which is important for understanding the development of *phlebotomine* species. Furthermore, remote sensing/photogrammetry techniques also showed that can be used as a support for the study of diversity, in which the vertical variation (tree height) can be mapped to determine the successional stage.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, sand fly, digital surface model (DSM) sensoriamento remoto, processamento de imagens, flebotomíneos e modelo digital de superfície (MDS).

1. Introdução:

Os flebotomíneos, pertencentes à ordem Diptera, família Psychodidae, subfamília Phlebotominae são os vetores das leishmanioses, Marzochi, Schubach; Marzochi (1999). As fêmeas de flebotomíneos são hematófagas. Quando realizam a hematofagia em animais silvestres, sinantrópicos ou domésticos infectados, se infectam e transmitem as leishmânias, Neves (2005). Segundo Young e Duncan (1994), estes insetos nas Américas pertencem a apenas um gênero, *Lutzomyia*, enquanto Galati (2003) os inclui em vários gêneros, com destaque para: *Lutzomyia*, *Migonemyia*, *Pintomyia*, *Bichronomyia*, *Psychodopygus*, *Nyssomyia* e *Trichophoromyia*.

As leishmanioses são doenças causadas por protozoários do gênero *Leishmania*, e se apresentam na forma visceral e tegumentar. Mais de 350 milhões de pessoas estão em áreas de riscos, já que estão presentes em 98 países. Segundo a organização Mundial da Saúde a cada ano 500 mil pessoas contraem a forma visceral e 1,5 milhões a forma tegumentar da doença, Desjeux (2004).

Logo, conhecer a diversidade dos vetores das leishmanioses e a relação com seu ambiente florestal pode contribuir para o entendimento da ecologia deste inseto e, assim, desenvolver estratégias de controle ou erradicação das leishmanioses.

Os vetores das leishmanioses vivem preferencialmente no nível do solo, próximos à vegetação em raízes e/ou troncos de árvores, podendo ser encontrados em tocas de animais. Gostam de lugares com pouca luz, úmidos, sem vento e próximos a alimentos Sucen (2016). A vegetação natural em seus diferentes estádios sucessionais apresentam diferentes graus de adequação para o desenvolvimento de insetos. Além disso, grupos de regeneração, estágios de dispersão e períodos de maturação podem indicar mudanças na composição de plantas ao longo da sucessão florestal e têm influência na diversidade das espécies.

Como apresentado por Berveglieri et al. (2016), estádios sucessionais em florestas têm relação com a estrutura vertical das árvores (altura), ou seja, ao longo dos anos, as espécies arbóreas de crescimento tardio atingem a idade madura quando formam o dossel no nível mais alto da floresta, o qual se destaca em relação ao sub-bosque (espécies pioneiras). Assim, a variação de altura de árvore pode ser correlacionada, por exemplo, com estádios pioneiros e maduros.

As tecnologias de sensoriamento remoto e fotogrametria podem ser usadas para essa finalidade de identificar o estado de maturação, uma vez que geralmente regiões de florestas constituem áreas com significativa extensão. A partir de imagens estereoscópicas, modelos digitais de superfície (MDS) podem ser gerados e, então, a variância das alturas das árvores pode ser calculada para mapear os estádios sucessionais. Aliar o estudo da diversidade de insetos às tecnologias de sensoriamento remoto, segundo Corrêa (2007; Aparício (2001), pode contribuir no mapeamento do habitat dos vetores, estabelecer relações com as variáveis ambientais e, ainda, possibilitar a análise da diversidade. Mais especificamente, com o uso de sensoriamento remoto pode-se identificar tipos de vegetação e monitorar a variabilidade temporal e espacial das características da vegetação e, com o geoprocessamento, pode-se analisar a distribuição espacial das espécies de insetos.

Desse modo, este estudo preliminar investiga a relação entre espécies de flebotomíneos e os estágios de sucessão da floresta, os quais são baseados em uma análise de MDS. A hipótese é que áreas maduras podem contribuir para uma maior diversidade de espécies deste inseto. Isto foi verificado neste trabalho e será apresentado nas próximas seções.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Área de estudo

O PEMD está situado no município de Teodoro Sampaio, pertencente a Região Administrativa de Presidente Prudente, no oeste do estado de São Paulo, Teodoro Sampaio está localizado geograficamente entre as coordenadas 22° 27' a 22° 40' de latitude Sul e 52° 10' a 52° 22' de longitude Oeste (Figura 1).

A princípio, o parque foi criado como Reserva Estadual e, posteriormente, foi transformado em parque por meio do Decreto Estadual nº 25.342 São Paulo (1986) e contava com 37.156,68 ha. Quando foi construído o reservatório da usina hidrelétrica de Rosana (UHE de Rosana) foram desapropriados 3.000 ha da área original às margens do rio Paranapanema, de acordo com o Decreto Estadual nº 28.169 de 21 de janeiro de 1988. Atualmente, o PEMD contém 34.156,68 há São Paulo (1988).

O relevo do parque possui topografia levemente ondulada, tendo como vegetação característica Floresta Estacional Semidecidual. Os solos são predominantemente profundos, do tipo Latossolo Vermelho, derivados de rochas sedimentares da unidade geológica Arenito Caiuá e os Podzólicos, que interagem com outras formações em menores proporções. Os solos são, na sua maioria, muito arenosos, pouco ácidos, pobres em argila e de grande profundidade (1 a 3m), conseqüentemente de alta drenagem Meneguette (2001).

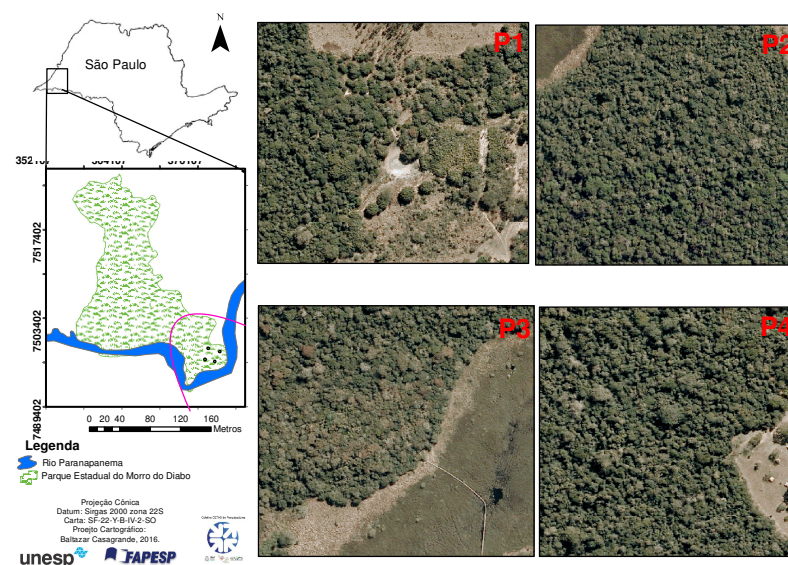


Figura 1 – Localização dos pontos de coleta de insetos.

2.2. Coletas de flebotomíneos

Este trabalho foi realizado com coletas noturnas de flebotomíneos (18h às 21h) utilizando armadilhas tipo CDC, em quatro pontos situados no estreito de baixo do Parque Estadual do Morro do Diabo Sudia e Chamberlain (1962). A armadilha CDC é automática que atrai o inseto por meio de uma lâmpada led e suga o inseto por meio de um exaustor, alimentados por uma bateria de 12 volts e 7,5 amperes.

2.3. Análise estatística

Os dados amostrais foram analisados pelo software PAST 2.17 e DivEs 3.0. No software PAST 2.17 foi calculado o coeficiente de similaridade de Jaccard, conforme equação 1:

$$J = \frac{2c}{a+b-c} \quad (1)$$

Onde,

a = número total de espécies no local A

b = número total de espécies no local B

c = somatório do número de espécies nos dois locais.

Esse índice expressa o grau no qual duas amostras são semelhantes para as espécies presentes nos ambientes, que se refere à alteração de espécies entre as duas amostras Magurran (1988); Baev e Penev (1995); Pielou (1975).

No Software DivEs calculou-se a diversidade pelo índice de Margalef, conforme equação 2 e Riqueza de Jackknife de 1ª ordem (equação 3).

O índice foi proposto por Margalef (1951) e citado por Margalef (1958) e Brower *et al.* (1997). Considera somente o número de espécies ($s-1$) e o logaritmo (base 10 ou natural) do número total de indivíduos.

O índice de diversidade de Margalef ($D\alpha$ ou α) é estimado através da equação 2:

$$D\alpha = \frac{s - 1}{\log_b N} \quad (2)$$

Onde:

s é o número de espécies amostradas;

N é o número total de indivíduos em todas as espécies; $\text{Log}_b = \log$ na base b (2 ou 10).

A riqueza de Jackknife de 1ª ordem estima a riqueza de espécies de uma comunidade. É dado pela equação 3:

$$E_D = S_{obs} + s_1 \left(\frac{f-1}{f} \right) \quad (3)$$

Onde:

Sobs= número de espécies observadas;

s1 = o número de espécie que está presente em somente um agrupamento.

f = o número de agrupamento que contém *iésima* espécie de um agrupamento.

2.4. Dados imagens

Um conjunto de imagens áreas RGB, coletado pela empresa Topocart em 2010, foi usado como base para uma classificação dos estádios sucessionais do dossel florestal. Esse conjunto foi provido com parâmetros de orientação interior calibrados, bem como os dados de georreferenciamento direto, os quais foram posteriormente refinados usando fototriangulação com pontos de controle. Tais imagens foram coletadas com uma câmara digital UltraCam em uma altura de voo de 7500 m, gerando imagens com *Ground Sample Distance* (GSD) de 45 cm. A Tabela 1 apresenta as principais características do levantamento aéreo e da câmara utilizada.

Tabela 1. Informações sobre a câmara fotogramétrica e o levantamento aéreo.

Modelo	Tamanho do pixel	Dimensões da imagem	Altura de voo	GSD	Superposição longitudinal
UltraCam Vexcel	6 µm	11310 × 17310 pixels	7500 m	45 cm	60 %

2.5. Processamento de imagem para classificação de estágio sucessional

Um conjunto com 20 imagens foi usado para processamento fotogramétrico no software ERDAS Imagine-LPS 2015 (Hexagon Geospatial), considerando os dados do georreferenciamento direto. A partir desse processamento, um Modelo Digital de Superfície (MDS) denso foi produzido automaticamente considerando um espaçamento de grade de 1 GSD. A Figura 2 apresenta o MDS resultante, em que a superfície indicou variação entre 84 m e 170 m na componente de elevação (Z).

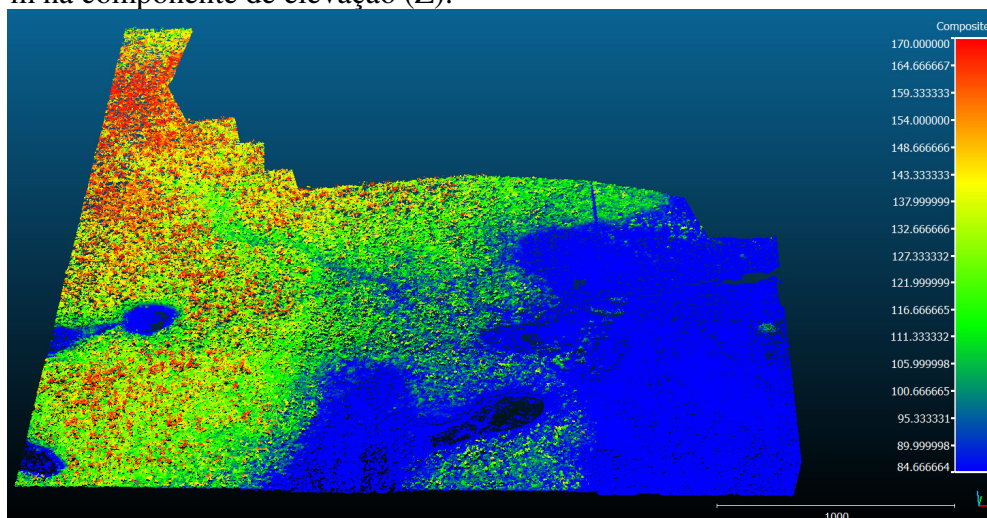


Figura 2. MDS da floresta gerado com resolução de 1 GSD e superfície variando entre 84 e 170 m em altura.

A partir desse MDS, uma classificação do estágio sucessional do dossel da floresta foi produzida por meio de uma adaptação da técnica desenvolvida por Berveglieri et al. (2016). A abordagem original faz a correlação das alturas do dossel das árvores com os estágios de sucessão da floresta (primário, secundário ou clímax). Essa correlação é baseada nas variâncias das alturas do dossel considerando janelas locais no cálculo. Ao contrário de vários métodos que aplicam o cálculo da variância diretamente nas imagens, essa abordagem computa os valores diretamente sobre o MDS, usando janelas quadradas equivalentes a 40 × 40 m (no caso deste trabalho), o que é uma dimensão equivalente aos tamanhos normalmente adotados em áreas de amostragem.

A filtragem pela variância produz vantagens de eliminar pontos discrepantes no MDS, devido à suavização, e amplifica as variações na componente altura, a qual caracteriza o estágio de maturação do dossel. Na abordagem original, Berveglieri et al. (2016) também utilizaram a intensidade do pixel como um atributo adicional para a classificação do dossel. Entretanto, para este trabalho, somente a variância do MDS foi usada. Devido à pequena dimensão da área, apenas variância local foi suficiente para produzir uma classificação.

3. Resultados e Discussões

3.1. flebotomíneos encontrados e análises estatísticas

Foram encontrados no estreito de baixo da floresta do PEMD 12 espécies diferentes de flebotomíneos, *Brumptomyia cunhai*, *Expapillata firmatoi*, *Psathyromyia lanei*, *Brumptomyia mesai*, *Psathyromyia aragaoi*, *Pintomyia pessoai*, *Brumptomyia sp.*, *Brumptomyia brumpti*, *Nyssomyia neivai* e *Nyssomyia whitmani*, conforme a tabela 2.

Tabela 2. Flebotomíneos coletados e o índice de diversidade de Margalef por ponto de coleta

Espécies	P1	P2	P3	P4
Coordenadas X	379645	379409	379178	379097
Coordenadas Y	7498385	7497264	7497452	7498142
<i>Brumptomyia cunhai</i>	-	-	1	-
<i>Expapillata firmatoi</i>	-	-	-	1
<i>Psathyromyia lanei</i>	1	-	-	-
<i>Brumptomyia mesai</i>	-	2	-	5
<i>Psathyromyia aragaoi</i>	1	1	-	1
<i>Pintomyia pessoai</i>	-	1	-	1
<i>Pintomyia chistenseni</i>	-	1	-	-
<i>Migonemyia migonei</i>	-	-	1	1
<i>Brumptomyia sp.</i>	3	3	-	2
<i>Brumptomyia brumpti</i>	1	4	1	1
<i>Nyssomyia neivai</i>	12	6	10	5
<i>Nyssomyia whitmani</i>	-	2	3	20
Margalef:	3.1866	5.3804	3.3219	5.1014

Obs: Dados do próprio autor. A montagem e identificação dos insetos foi realizada por: Vanessa Gusmon da Silva e Baltazar Casagrande, 2016.

Sendo cinco espécies diferentes de flebotomíneos nos pontos 1 e 3 e oito nos pontos dois e quatro conforme expresso no gráfico de riqueza de espécie (Figura 3).

O índice de diversidade de Margalef aponta para uma maior diversidade nos pontos 2 e 4, sendo respectivamente 5,3804 e 5,1014. Já os pontos 1 e 3 estes índices foram mais baixos apontando 3,1866 e 3,3219 respectivamente.

O agrupamento a partir da similaridade demonstra uma novamente que os pontos 2 e 4 são

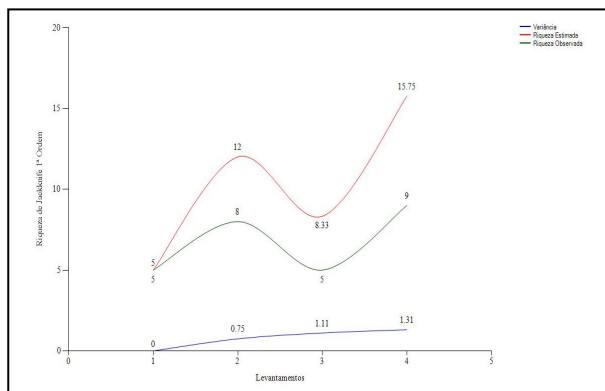


Figura 3 – Riqueza de espécie (Jackknife 1ª ordem) mais similares que os pontos 1 e 3 (Figura 4).

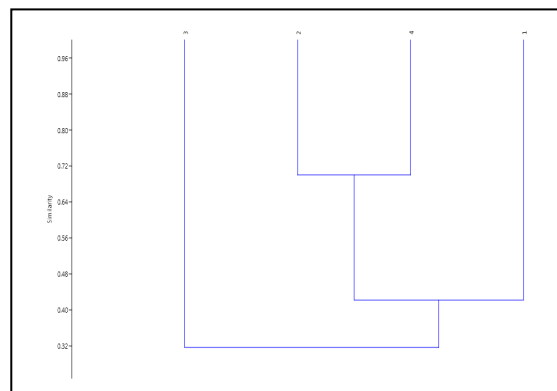





Figura 4 – Cluster entre os pontos de acordo com a fauna flebotomínea (Jaccard)

3.2. Classificação de floresta

O produto do cálculo de variância aplicado ao MDS é uma matriz normalizada para valores 0-255 e que devem ser agrupados conforme sua distribuição de frequência. Isto pode ser realizado automaticamente por uma limiarização multinível de histograma, como proposto por Liao et al. (2001). Neste caso, três classes referentes ao dossel foram geradas, agrupando a variância das alturas em baixa, média e alta. A Tabela 3 apresenta uma legenda e uma breve descrição sobre a estrutura vertical observada na floresta em relação a essa variância de alturas locais, ou seja, em janelas de 40x40m.

Tabela 3. Legenda para a classificação gerada a partir da variância local das alturas das árvores.

Classes	Variância de altura	Descrição
	Alta	Indica a presença de árvores altas, as quais se destacam em relação ao sub-bosque
	Média	Indica a presença de árvores com alturas média, mas que se destacam em relação ao sub-bosque
	Baixa	Baixa relação de altura entre as árvores do local

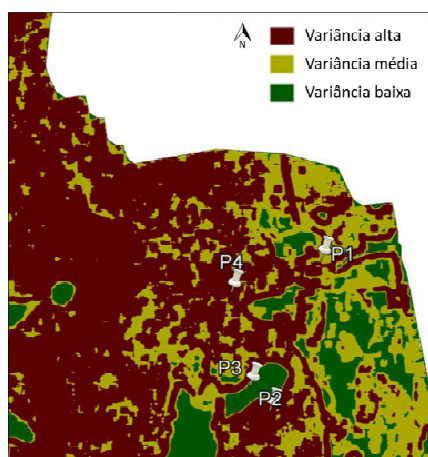


Figura 5. Classificação da variância de altura no MDS.

A representação gráfica dessa classificação é apresentada na Figura 5, a qual indica as áreas de acordo com o desenvolvimento das alturas das árvores. A relação da classificação com os estádios de sucessão pode ser entendida da seguinte maneira. Uma variância baixa indica a ocorrência de árvores em estágio inicial, em que as espécies pioneiras são predominantes.

Na variância média, as espécies pioneiras estão em uma fase em que perdem espaço para que as espécies secundárias tardias ou clímax possam se desenvolver, ou seja, é uma fase de transição. Por último, a variância alta indica árvores altas que estão atingindo a idade madura. As espécies tardias ou clímax são as responsáveis por esta característica do dossel.

3.3. Relação entre diversidade da fauna flebotomínea em diferentes estádios sucessionais de florestais.

Diante dos resultados de coleta de flebotomíneos, da análise estatística e da classificação de floresta deste trabalho, identificamos que existe correlação entre os estádios sucessionais de floresta e a diversidade de flebotomíneos, assim como a riqueza, ou seja, em locais de floresta densa como nos pontos 2 e 4 temos maiores diversidade e riqueza de espécie e nos pontos 1 e 3, como a floresta está em estágio sucessional recente, temos menor diversidade e riqueza de espécie. Na literatura pesquisada não encontramos trabalhos que façam a relação direta entre de estádios sucessionais de floresta com diversidade de flebotomíneos, mas encontramos trabalhos que apresentam resultados entre diferentes tipos de floresta como de Rebelo e Oliveira-Pereira (2001) e Nardi (2010).

4. Conclusões

Os resultados apresentados demonstram forte relação entre estádios florestais e fauna flebotomínea. Locais onde a floresta é madura apontam para maior diversidade de espécies de flebotomíneos e floresta jovem aponta para menor diversidade de espécies. Isso pode ajudar entender melhor a biologia deste vetor.

Nesse sentido, avaliar a diversidade da fauna flebotomínea, identificando as características das espécies em estádios florestais diferentes, pode auxiliar no entendimento do vetor que possibilita o controle e minimização dos casos das leishmanioses.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro da FAPESP, nos processos 2012/23959-9, 2013/50426-4 e 2013/25920-5, ao software DivES – Diversidade de espécies, ao Software Past, ao CETAS: Centro de Estudos do Trabalho, Ambiente e Saúde e à direção do Parque Estadual do Morro do Diabo e aos integrantes do BIOGEOS/UNESP.

Referências Bibliográficas

Aparício, C. **Utilização de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Orbital para análise espacial de paisagem com incidência de Leishmaniose Tegumentar Americana.** 2001. 104p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

Berveglieri, A.; Tommaselli, A.M.G.; Imai, N.N.; Ribeiro, E.A.W.; Guimarães, R.B.; Honkavaara, E. Identification of successional stages and cover changes of tropical forest based on digital surface model analysis. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 9, n. 12, p. 1-13, 2016.

Baev, P. V. Penev. Y L. D. **Biodiv: program for calculating biological diversity parameters, similarity, niche overlap, and cluster analysis.** Versión 5.1. Pensoft, Sofia-Moscow, 1995. 57 pp.

- Corrêa, M.P. Epidemiologia e Saúde Pública. In: Rudorff, B.F.T.; Shimabukuro, Y.E.; Ceballos, J.C. **O Sensor Modis e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos, SP: Editora Parêntese, 2007. Capítulo 24. p.353-362.
- Desjeux, P. Leishmaniasis: current situation and new perspectives. **Comp Immunol Microbiol Infect Dis** v.27, p. 305-318. 2004.
- Galati, E.A.B. 2003. Classificação de Phlebotominae. In **Flebotomíneos do Brasil** (E.F. Rangel & R. Lainson, eds.). Editora Fiocruz, Rio de Janeiro, p.23-52.
- Liao, P.S.; Chen, T.S.; Chung, P. A fast algorithm for multilevel thresholding. **Journal of Information Science and Engineering**, v. 17, p. 713–727, 2001.
- Magurran, A. E. **Ecological diversity and its measurement**. Princeton University Press, New Jersey, 1988. 179 pp.
- Margalef, R. Caractères biogéographiques intéressants des biotes des eaux continentales de l'Espagne. Sonderabdruck aus "Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und Angewandte Limnologie". **Verhandlungen**. v.10: p. 280-283. 1949.
- Marzochi, M. C. De A., Schubach, A. De O., Marzochi, K. B. F. Leishmaniose tegumentar americana. In: Cimerman, B., Cimerman, S. **Parasitologia humana e seus fundamentos gerais**. São Paulo: Atheneu, 1999. 375p. p. 39-64.
- Meneguet, A. A. C. **Atlas interativo do Pontal do Paranapanema: uma contribuição à educação ambiental**. P. Prudente, 2001. Tese (Livre-docência em Cartografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista. 2001.
- Nardi, M. S. **Pesquisa de Leishmania sp. em flebotomos e mamíferos silvestres de fragmentos florestais na região do Pontal do Paranapanema, SP**. 2010. . 64f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária e Zootecnia) – Faculdade de Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo – USP. 2010.
- Neves, D.P. **Parasitologia Humana**. São Paulo: Ed. Atheneu, 2005.
- Pielou, E. C. **Ecological diversity**. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1975.165 pp.
- Rebêlo, J.M.M. E Oliveira-Pereira, Y.N. flebotomíneos (Diptera, Psychodidae) de matas de terra firme e de várzea, do município de Paragominas, Estado do Pará, Brasil. Revista: **Acta Amazônia** v. 31 n.1, p.145-154. 2001
- Sao Paulo. Decreto nº 25.342 de 4 de junho de 1986. **Diário Oficial**, São Paulo, 4 de jun. 1986.
- Sao Paulo. Decreto nº 25.342 de 21 de janeiro de 1988. **Diário Oficial**, São Paulo, 21 de jan. 1988.
- Sudia, W. D.; Chamberlain R. W. Battery operated light trap, an improved model. **Mosquito News** v.22: p.126-129, 1962.
- Sucen - Superintendência de Controle de Endemias do Estado de São Paulo –. **Relatório Leishmaniose Visceral**. Disponível em <<http://www.sucen.sp.gov.br/atuac/viscer.html>>. Acesso em 16 de abril de 2016.
- Young, D. G.; Duncan, M. A. Guide to the identification and geographic distribution of Lutzmyia sand flies in México, the West Indies, Central and South America (Diptera: Psychodidae). **Memoirs of the American Entomological Institute**, 1994. 669 p.