

CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DE UMA BACIA RURAL EM UM MEGA AMBIENTE URBANO

Luciano L. Castilhano¹, Augusto J. Pereira Fo.,¹Oswaldo Massambani¹ e Gré de Araújo²

Resumo - O objetivo deste trabalho é caracterizar uma micro bacia de 0,6 km² do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI) em São Paulo (Fig. 1), na área do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP), denominada de bacia do IAG. Ela está próxima a estação meteorológica do IAG USP que possui uma das mais extensas e completas séries de dados hidrometeorológicos. Recentemente, instalou-se uma rede de medição de transprecipitação e um linígrafo. Desta forma, realizou-se um estudo de fluxos médios mensais de vapor d'água pelos métodos de Linacre (Matos, 1998), Thornthwaite, Blaney-Criddle, Jensen-Haise, Penman e balanço hídrico (Tucci, 1993) para o ano hidrológico de 1999/2000. Os resultados indicam que a transpiração, a evaporação e a vazão perfazem 55%, 23% e 22% do total precipitado, respectivamente. Estimativas de evapotranspiração na Floresta Amazônica são da ordem de 60% (Elcio, 1996). Estes resultados preliminares sugerem que a evapotranspiração mais elevada na bacia do IAG possa refletir o impacto da área urbana.

Abstract – The objective of this manuscript is to analyze a small watershed within the State Park and Ipiranga Springs (PEFI) in São Paulo, at the Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Sciences (IAG) of the University of São Paulo (USP) facility, termed IAG watershed. It is close to a meteorological weather station with long and complete data series of hydrometeorological variables. Recently, a network of trough precipitation and a stage level gage were installed in the IAG watershed. With this new data sets, it was possible to evaluate the monthly water vapor fluxes through several methods for the hydrological year of 1999/2000. Namely, Linacre (Matos, 1998), Thornthwaite, Blaney-Criddle, Jensen-Haise, Penman and the water balance (Tucci, 1993). Results indicate that transpiration, evaporation and discharge account for 55%, 23% and 22% of the total rainfall, respectively. Over the Amazon Forest, the evapotranspiration accounts for 60% of the total rainfall fall. These preliminary results suggest that

¹ IAG USP; DCA; Rua do Matão, 1226; 05508-900; S. Paulo; SP; +11 38184735;; luciano@model.iag.usp.br

² CTH; DAEE; Av. Prof. Lúcio Rodrigues, 120; 05508-900; S. Paulo; SP; +11 30393200;; gre@cth.usp.br

the higher evapotranspiration rates at the IAG watershed might reflect the impact of the surrounding urban environment island.

Palavras-Chave – balanço hídrico, evapotranspiração.

INTRODUÇÃO

O Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI) está localizado na Região Metropolitana de São Paulo (Fig. 1). Cerca de 60% dos 575 hectares é recoberto por um dos últimos remanescentes de Mata Atlântica. A vegetação apresenta exemplares arbóreos com até 30 metros de altura. Esta área florestal secundária é representativa da vegetação primitiva da região, preservada desde fins do século passado pela legislação de proteção dos mananciais. A topografia forma micro compartimentos com vertentes e declividades variadas com altitudes entre 770 e 834 m e uma extensa rede de drenagem que dão origem as nascentes do Riacho Ipiranga. A geomorfologia pertence a província do planalto atlântico, zona do planalto paulistano, na bacia sedimentar de São Paulo, de origem fluvio-lacustre e provavelmente pliocênica. O solo latossolo vermelho-amarelo fase rasa provem da transformação de filitos, xistos e rochas granito-gnaissicas (Silveira, 1998).

Deste modo, a bacia do IAG pode ser classificada como uma bacia rural, com vegetação praticamente intacta, dentro de um dos mais extensos ambientes urbanos do Brasil. A estação meteorológica do IAG USP (Fig. 1) possui uma série de dados contínuos de variáveis hidrometeorológicas com mais de 67 anos. Mais recentemente, instalou-se uma rede de transprecipitação e um linígrafo para medir-se a interceptação de chuva e vazão bacia no seu exultório, respectivamente. Neste trabalho, utilizou-se todos os dados hidrometeorológicos disponíveis para uma avaliação preliminar da hidrologia desse micro sistema, onde se realizam uma série de estudos meteorológicos, ambientais, biológicos, entre outros. Utilizou-se os dados do ano hidrológico de 1999/2000. Foram avaliados vários métodos de estimativa da evapotranspiração que são descritos a seguir.



Bacia do IAG

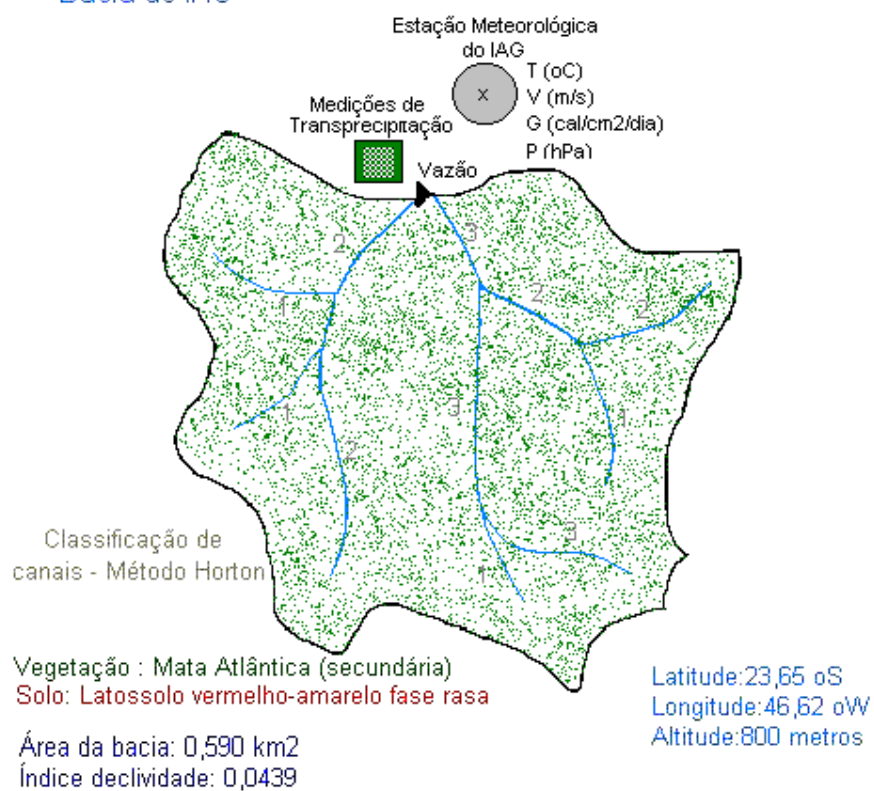


Figura 1 – Mapa da Região Metropolitana de São Paulo obtida com o satélite LANDSAT. Tons de roxo e verde indicam áreas urbanas e rurais respectivamente. Está indicado no mapa a área do PEFI.

O detalhe indica a bacia do IAG e localização dos instrumentos de medição.

METODOLOGIA

Estimativa De Vazão

O posto fluviométrico 3E-072 (Fig. 1) possui uma estrutura composta de um vertedor triangular de parede delgada de 90° e um vertedor Crump 1:2 / 1:5. Ambos operam em regime livre com possibilidade de afogamento em casos excepcionais. As cotas d'água no vertedor são medidas e registradas num datalogger de alta capacidade de armazenamento. A resolução dos dados pode ser ajustada de mm a cm. Utilizam-se duas equações de conversão cota-vazão para alturas relativas de até 0,6 m ou vazões até $2,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Estação Meteorológica Do IAG

A estação meteorológica do IAG mede variáveis meteorológicas desde novembro de 1932 a intervalos horários. A estação está no centro geométrico do PEFI (Fig. 1) em local elevado com boa exposição à atmosfera. A sua latitude, longitude e altitude são $23,65^\circ \text{ S}$, $46,62^\circ \text{ W}$ e 800 m, respectivamente. Neste trabalho foram utilizadas médias diárias de temperatura do ar ($^\circ\text{C}$), intensidade do vento (m s^{-1}), pressão de vapor (mm Hg), pressão de vapor de saturação (mm Hg), temperatura do ponto de orvalho ($^\circ\text{C}$), insolação (h) e radiação de onda curta ($\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

Rede De Transprecipitação

Instalou-se 36 suportes de madeira a 1,5 m da superfície num arranjo retangular a cada cinco metros de distância numa área de 25 m x 25 m (Fig. 1). Os suportes são numerados e escolhidos aleatoriamente. Sobre estes são dispostos coletores totalizadores durante 7 dias (Forti, 2000). O coletor de chuva compreende uma vasilha de polietileno de 5 litros, um funil de área livre de 167.4 cm^2 e um tela de nylon de 5 mm para evitar o bloqueio por insetos, galhos, folhas, etc. Durante períodos sem chuva superiores a 15 dias, todos os coletores são substituídos para se evitar possíveis obstruções.

Balanço Hídrico

A equação da continuidade de massa é utilizada para estimar-se o balanço d'água na bacia do IAG. A equação do balanço hídrico é dado por (Tucci, 1993):

$$\frac{dV}{dt} = I - Q - E_o.A + P.A \quad (1)$$

onde,

V = volume d'água (m³);

t = tempo(s);

I = vazão de entrada (m³ s⁻¹);

Q = vazão de saída (m³ s⁻¹);

E_o = evapotranspiração (m s⁻¹);

P = precipitação (m s⁻¹);

A = área da bacia (m²).

Os componentes do balanço hídrico da equação 1 podem ser razoavelmente estimados para longos períodos de tempo. Por exemplo, para períodos de tempo superiores a um ano, a variação do armazenamento é pequena. Na bacia do IAG não há vazões de entrada. Portanto, pode-se obter a evapotranspiração a partir das medidas de vazão e precipitação. Desse modo, a equação 1 pode ser simplificada:

$$ET_o = P - \frac{Q}{A} \quad (2)$$

onde,

ET_o = evapotranspiração de referência (mm ano⁻¹);

P = precipitação acumulada (mm ano⁻¹);

Q = vazão total (l ano⁻¹);

A = área da bacia (m²);

Com as medidas de transprecipitação, pode-se estimar a evaporação direta em primeira aproximação. Estudos realizados por Cicco e Arcova (1998) que o escoamento pelo tronco de árvores é da ordem de 1% da precipitação total. Assim, pode-se negligenciar o escoamento pelo tronco, ou seja:

$$I = P_t - P_i \quad (3)$$

onde,

P_t : precipitação total (mm);

P_i : precipitação interna ou transprecipitação (mm).

Evapotranspiração

A evapotranspiração também pode ser estimada por vários métodos teóricos e empíricos com os dados da estação meteorológica do IAG. Utilizou-se neste estudo os métodos de Thornthwaite, Blaney – Criddle, Penman (Tucci), Jensen e Haise (Kijne, 1978), e Linacre (Matos, 1998). Foram realizadas estimativas mensais com os respectivos médias mensais.

RESULTADOS PRELIMINARES

Evapotranspiração

Inicialmente, comparou-se os métodos de estimativa de evapotranspiração potencial de referência em relação a estimativa feita pelo Método Combinado de Penman. Os diferentes métodos apresentaram basicamente a mesma tendência de ETP com máximos nos meses de transição entre estações do ano (Fig. 2), exceto o de Thornthwaite com apenas um máximo no inverno. O método de Linacre superestimou os valores de evapotranspiração potencial de referência ao longo de todo o período. Por outro lado, os métodos fundamentados na temperatura subestimaram a evapotranspiração potencial. O método de Blaney-Criddle subestimou a ETP na primavera e verão, e o de Thornthwaite em todo o período. As estimativas de ETP de Jensen-Haise produziu resultados similares ao método combinado de Penman.

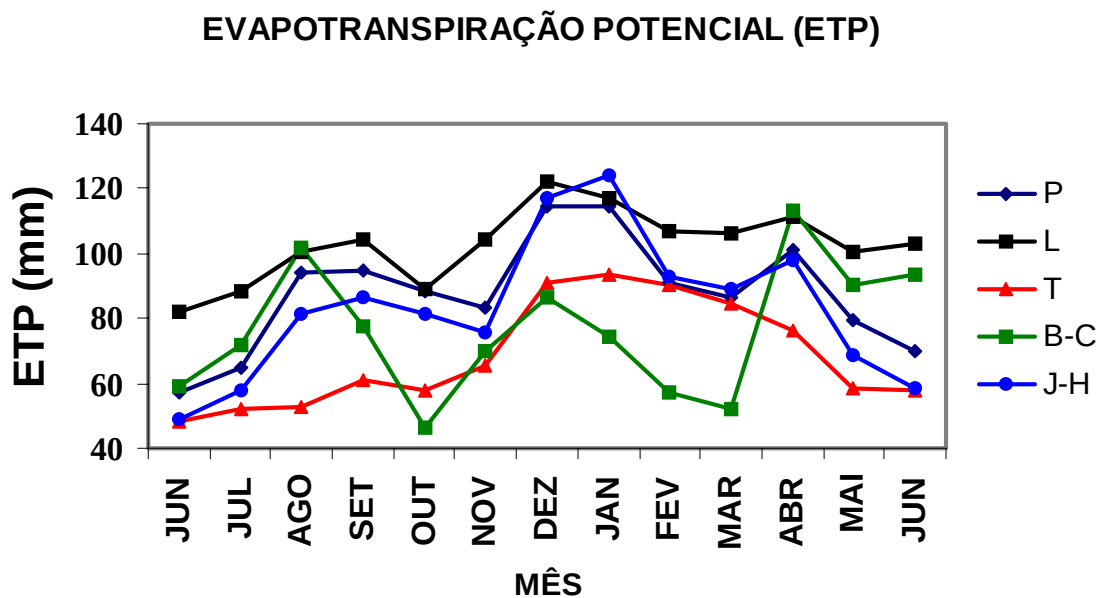


Figura 2 – Estimativas de Evapotranspiração Potencial de Referência pelos métodos de Penman (P); Linacre (L); Thornthwaite (T); Blaney-Criddle (B-C) e Jensen-Haise (J-H) de junho de 1999 ao junho de 2000.

Precipitação E Vazão

Os totais mensais de vazão e precipitação estão mostrados na Fig. 3. A diminuição da precipitação mensal ocorreu nos meses de junho a agosto de 1999, que corresponde à estação seca devido a diminuição da temperatura e da umidade do ar. Os padrões sinóticos e transientes atmosféricos foram típicos de inverno (INFOCLIMA, 1999 e 2000), porém não choveu na maior parte das Regiões Sudeste e Centro-Oeste no mês de agosto de 1999. A intensificação e ampliação da Alta do Atlântico resultou em trajetórias de sistemas frontais pelo Oceano Atlântico, o que contribui para a diminuição da nebulosidade e chuvas naquelas regiões.

PRECIPITAÇÃO E VAZÃO

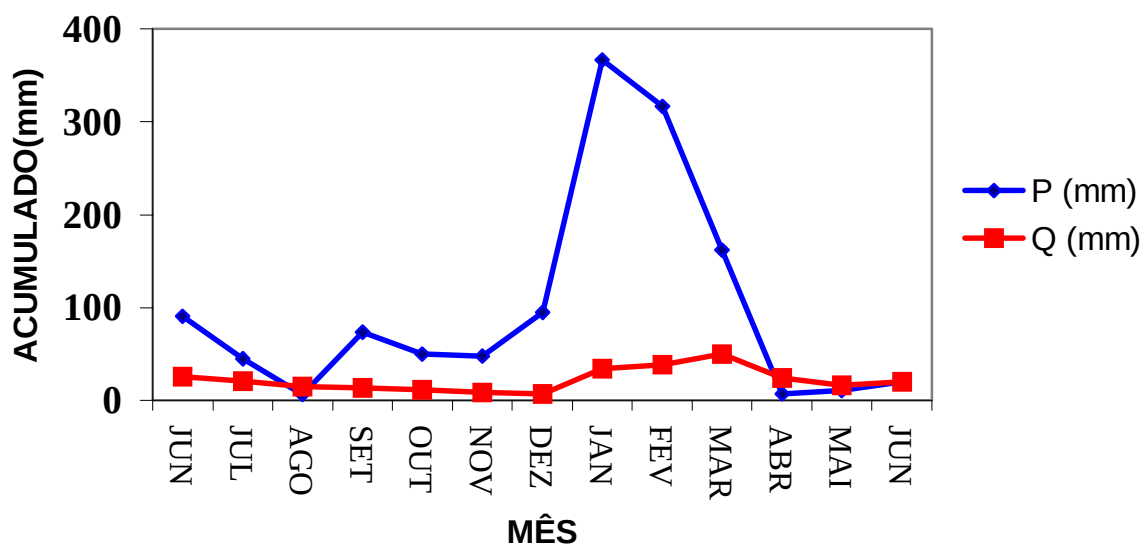


Figura 3 – Precipitação mensal (mm) e vazão (mm) medida na estação meteorológica do IAG e posto fluviométrico da micro bacia do IAG (Fig. 1) de junho de 1999 ao junho de 2000.

A nebulosidade voltou a aumentar no Brasil Central a partir de setembro de 1999, com chuvas marcando o início da estação chuvosa. A passagem de três sistemas frontais provocaram chuvas nas regiões sul e sudeste no mês de setembro, porém as chuvas foram menos significativas no Sudeste com períodos de vários dias sem chuva. Em novembro, houve déficit e excesso de chuvas no Sul e Norte do Sudeste, respectivamente. Este padrão foi determinado pela ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul (CLIMANÁLISE, 1996). Voltou a chover mais significativamente no Sudeste e Centro-Oeste nos meses de verão de 2000, com chuvas intensas e localizadas. Ressalta-se que na primeira semana de janeiro de 2000, ocorreram chuvas fortes e contínuas na região do Vale do Paraíba, São Paulo, Sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro devido a ocorrência de uma ZCAS. Houve ainda outro evento de ZCAS mais intenso em Minas Gerais e Rio de Janeiro. O mês de março de 2000 foi caracterizado por chuvas acima da média associadas a complexos convectivos e frentes frias Durante em boa parte da do Sudeste. O último período da série de chuvas de abril a junho de 2000 foi marcado por fraca atividade frontal e acumulações de chuva abaixo da média de longo período devido a um sistema de alta pressão sobre Sudeste e Centro-Oeste do Brasil.

O déficit de precipitação no leste de São Paulo ficou entre 150 mm e 200 mm desde a última semana de março de 2000. Desta forma, a situação houve queda dos níveis de água dos reservatórios que abastecem Região Metropolitana de São Paulo. Ainda, o mês de junho marcou o

fim de um episódio de La Niña que havia começado na primavera de 1998 (INFOCLIMA, 1999 e 2000).

Nota-se na Fig. 3 que as vazões efluentes da bacia do IAG representam uma pequena parcela da precipitação total exceto no mês de setembro de 1999 e outono de 2000. Portanto, uma parte significativa da chuva é evapotranspirada ou armazenada na bacia. A tabela 1 mostra o balanço hídrico anual da bacia estimado a partir da equação 2 que pressupõe-se uma variação do armazenamento pequena. Assim, esses resultados preliminares indicam que a transpiração, a evaporação e a vazão perfazem 55%, 23% e 22% do total precipitado, respectivamente. Ou seja, a evapotranspiração pode ter sido de até 78% da precipitação anual.

Tabela 1 - Balanço hídrico para a bacia do IAG (Fig. 1)
no período de junho de 1999 a junho de 2000.

Balanço Hídrico	(mm)
Precipitação (P)	1290,5
Transprecipitação (T)	1002,1
Interceptação (I)	288,4
Vazão (Q)	285,6
Evapotranspiração (ET_o)	1004,9

A evapotranspiração estimada a partir da equação do balanço hídrico corresponde a -23%, +17%, +10%, -6%, - 2% dos métodos de Linacre, Thornthwaite, Blaney-Criddle, Penman e Jensen-Haise, respectivamente. Esses resultados sugerem que a evapotranspiração potencial é próxima da real na bacia do IAG para os métodos fundamentados no balanço de energia e conservação de massa. Por outro lado, os métodos fundamentados apenas na temperatura tendem a subestimar a evapotranspiração.

CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi caracterizar a hidrologia da Bacia do IAG, rural, num ambiente urbano. A estimativa de evapotranspiração pelo método do balanço hídrico no período de junho de 1999 a junho de 2000) são muito próximas das obtidas pelo método combinado de Penman. O método de Thornthwaite subestimou a ETP, o que corrobora os resultados de Silva e Costa (2000) para uma área de manguezal. O método de Linacre superestimou as estimativas de ETP, o que também foi verificado por Palmeira e Paiva (2000) para uma série mais extensa de dados de 10 estações meteorológicas do Rio de Janeiro. O método de Jensen-Haise fundamentado na radiação

incidente de onda-curta apresentou os melhores resultados, o que esta de acordo com o verificado por Silva e Costa (2000) e por Santos et al (2000) para a região de Alagoas.

A precipitação medida na Estação Meteorológica do IAG foi representativa do que ocorreu em boa parte da Região Sudeste. A precipitação total acumulada no período foi de 1290,5 mm, onde 288,4 mm deste montante foram interceptados (cerca de 22%). A ETP estimada pelo Balanço Hídrico foi de 1004,0 mm.

Estimativas de evapotranspiração na Floresta Amazônica são da ordem de 60% (Silva,1996). Sugere-se que a evapotranspiração mais elevada na bacia do IAG possa estar relacionada aos impactos da região urbana em esta se insere (Fig. 1), por exemplo a ilha de calor urbano e circulações locais (Pereira Filho, 1999).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos técnicos da IAG USP pelo fornecimento dos dados medidos com a Estação Meteorológica e ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) pela instalação e manutenção do posto fluviométrico da bacia do IAG. O primeiro autor agradece ainda o suporte recebido da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) para o desenvolvimento desse projeto, da mesma forma, o segundo autor ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo # 300076/98-3.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cicco, V. e F. C. S. Arcova, 1998: Pesquisas em Microbacias Hidrográficas do Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, Cunha-SP. Ver Revista do Instituto Florestal, São Paulo, vol (10) no.1, 30-38
- CLIMANÁLISE, 1996: Boletim de Monitoramento e Análise Climática – Edição Especial Comemorativa de 10 anos. site do CPTEC (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos) www.cptec.inpe.br
- INFOCLIMA, 1999 e 2000: Boletim de Informações Climáticas. (Junho/1999 à Junho/2000) site do CPTEC (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos) www.cptec.inpe.br
- Silva, E. D, 1996: Analysis of rainfall distribution in the Amazon Basin using Kriging, nonparametric statistics, and GIS techniques. Department of Agronomy, PSU. Ph. D. Thesis.
- Forti, M. C., 2000: Ciclos Biogeoquímicos e Transferências de espécies químicas nas interfaces de ecossistemas terrestres de Mata Atlântica: Estudo de Duas Áreas Contrastantes. – Relatório Parcial Processo FAPESP 99/05204-4 – São Paulo.

- Mattos, K. M. C. e A. Mattos, 1998: Determinação da evapotranspiração média real e espacial para utilização em estudos hidrológicos. 1º Seminário Brasileiro de Hidrometeorologia, X CBMET, Brasília, DF. CDROM.
- Palmeira, F. L. B. e C. M. Paiva, 2000: Estimativa de Evapotranspiração Potencial de Referência com dados das Normais Climatológicas, para 10 estações meteorológicas do Estado do Rio de Janeiro. XI CBMET, Rio de Janeiro, RJ. CDROM.
- Pereira Filho, A. J., 1999: Radar measurements of tropical summer convection: urban feedback on flash floods. 29th radar conference, AMS, Montreal, Canada. Paper 17.4.
- Santos, E. A., J. L. Souza, G. M. Filho, E. J. S. Barreto, R. F. F. Lyra, 2000: Evapotranspiração para a Região de Rio Largo – AL utilizando seis métodos de estimativa. XI CBMET, Rio de Janeiro, RJ. CDROM.
- Silva, M. M. e A. C. L. Costa, 2000: Estudo Comparativo da evapotranspiração em área florestada de manguezal na região de Bragantina-PA. XI CBMET, Rio de Janeiro, RJ. CDROM.
- Silveira, V. A., 1998, Projeto de Revitalização do Jardim Botânico de São Paulo – Projeto de Iniciação Científica – Faculdade Mckenzie, São Paulo.
- Tucci, C. E., 1993: Hidrologia. Editora da UFRGS/ABRH, 945 pp.
- Vuono, Y. S., 1985: Fitossociologia do estrato arboreo da floresta da Reserva Biológica do Instituto de Botânica. – Tese de Doutorado USP – São Paulo.