

Modelagem Hidrológica das interações de uso urbano e cobertura vegetal na bacia do Rio Cachoeira, Maciço da Tijuca - RJ

Araujo, I.S. (UFRJ) ; Barbosa, L.S. (UFRJ) ; Lima, P.H.M. (UFF) ; Avelar, A.S. (UFRJ) ; Rotunno Filho, O.C. (UFRJ)

RESUMO

A bacia do Rio Cachoeira se insere no domínio montanhoso do Maciço da Tijuca (RJ), sendo representativa da relação florestal / urbana. A geomorfologia e a urbanização das encostas facilitam os deslizamentos gerando desastres de grandes proporções (Coelho Netto, 1999). A modelagem da bacia se destaca neste contexto, pois auxilia o entendimento funcional, sendo útil na prevenção de desastres. O trabalho objetiva modelar a bacia em ArcHydro e validar as respostas hidrológicas.

PALAVRAS CHAVES

Modelagem Hidrológica; Precipitação; Vazão

ABSTRACT

The Cachoeira river basin is located in a mountainous domain of Tijuca Massif (Rio de Janeiro, RJ) and it is a catchment where the forest-urban relationship occur. The geomorphology and urban features can generate large numbers of landslides disasters (Coelho Netto, 1999). The modeling of this basin can help to understand its hydrological behavior and it can be applied to prevent disaster. This paper aims to model the basin using ArcHydro Software and the hydrological responses validations.

KEYWORDS

Hydrological Modeling; Precipitation; Flow

INTRODUÇÃO

O comportamento hidrológico das Bacias inseridas nos domínios montanhosos do Rio de Janeiro está relacionado com a dinâmica dos fluxos regulados pela vegetação florestal e pelas suas modificações para expansões urbanas. A transição do comportamento hidrológico entre as áreas florestadas e urbanizadas nas bacias não é simples, depende do entendimento de diversos parâmetros, dentre eles, do mosaico floresta-cidade. Com a expansão urbana a atuação da ação antrópica pode induzir modificações significativas na dinâmica espaço-temporal dos processos hidrológicos nas encostas, aumentando a possibilidade da ação erosiva, que pode acarretar deslizamentos e contribuir para o aumento de descargas líquidas, sólidas e solúveis nos canais fluviais. O desencadeamento destes processos altera as relações biota-solo-água, tendendo a dificultar a fixação de nutrientes que contribuem para a recomposição florestal e a reestruturação do topo do solo, como visto nos estudos de Guariguata (1990), Oliveira et al. (1996), Rocha Leão et al. (1996), Fernandes et al (2006) e Negreiros et al (2008). Os processos de transformação da paisagem montanhosa urbano-florestada podem ocorrer em diferentes direções e magnitudes (Fernandes, 1998), sendo o Maciço da Tijuca uma área de contínua modificação da paisagem, devido aos fatores supracitados. A taxa de retração florestal no maciço tem sido superior à taxa de reposição, com maior crescimento das áreas de gramínea e o adensamento urbano (GEOHECO-SMAC, 2000 e Baca, 2002). A Bacia do Rio Cachoeira, representando o mosaico floresta - ocupação urbana e pretende-se modelar as respostas hidrológicas desta em Arc Hydro 1.4, com base no entendimento dos processos chuva, infiltração, escoamento na encosta e vazão associados com os parâmetros morfométricos e de uso do solo e cobertura vegetal.

MATERIAL E MÉTODOS

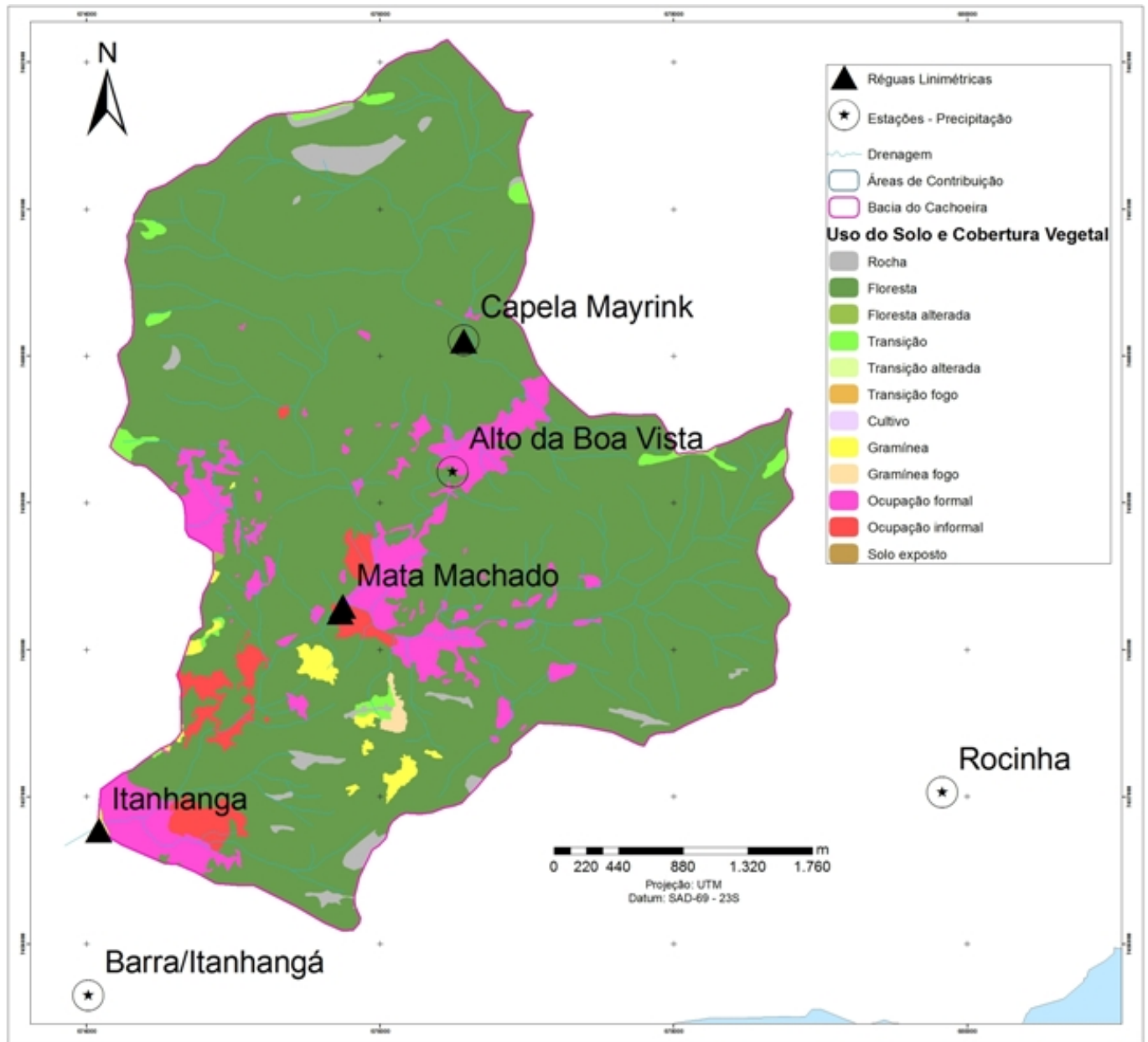
Os registros pluviométricos de 15 em 15 minutos foram obtidos para as estações Alto da Boa Vista, Rocinha e Itanhangá (Alerta Rio). Foram obtidos ainda os dados da Estação Capela Mayrink (INEA), disponibilizados em chuvas diárias. As alturas linimétricas foram mensuradas em 3 pontos da bacia

(Figura 1): Capela Mayrink, 2 réguas linimétricas instaladas para esta pesquisa na comunidade Mata Machado (no Rio Cachoeira e no Rio da Gávea Pequena), e 1 régua no exutório da bacia (Itanhangá). As leituras foram feitas às 7h e às 17h. Ao lado de cada régua foram instalados DataLoggers HOB0 para medição automática do nível do rio. Foram realizadas mensurações de vazão para determinação da curva-chave nos 3 pontos, com uso de micromolinete Global Water, FP201. Os demais dados necessários para elaboração da modelagem, como interceptação, escoamento superficial, evapotranspiração, infiltração e uso do solo e cobertura vegetal foram extraídos de trabalhos realizados anteriormente pelo GEOHECO (Dias - 2011, Figueró - 2005; Oswaldo Cruz - 2004, Chirol-2003; Rocha Leão-1996; Miranda-1992, etc.). Estes trabalhos abordam diferentes comportamentos hidrológicos em condições de uso e cobertura distintos. A modelagem usou como base o MDT e foi realizada no programa Arc Hydro 1.4, que é um modelo determinístico com dados que representam características hidrológicas em SIG, gerando um resultado topologicamente ajustado. Seu desenvolvimento teve como objetivo apoiar uma representação de base cartográfica de recursos hídricos de superfície permitindo simultaneamente a integração desses recursos com hidrológicos e modelos de simulação hidráulica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

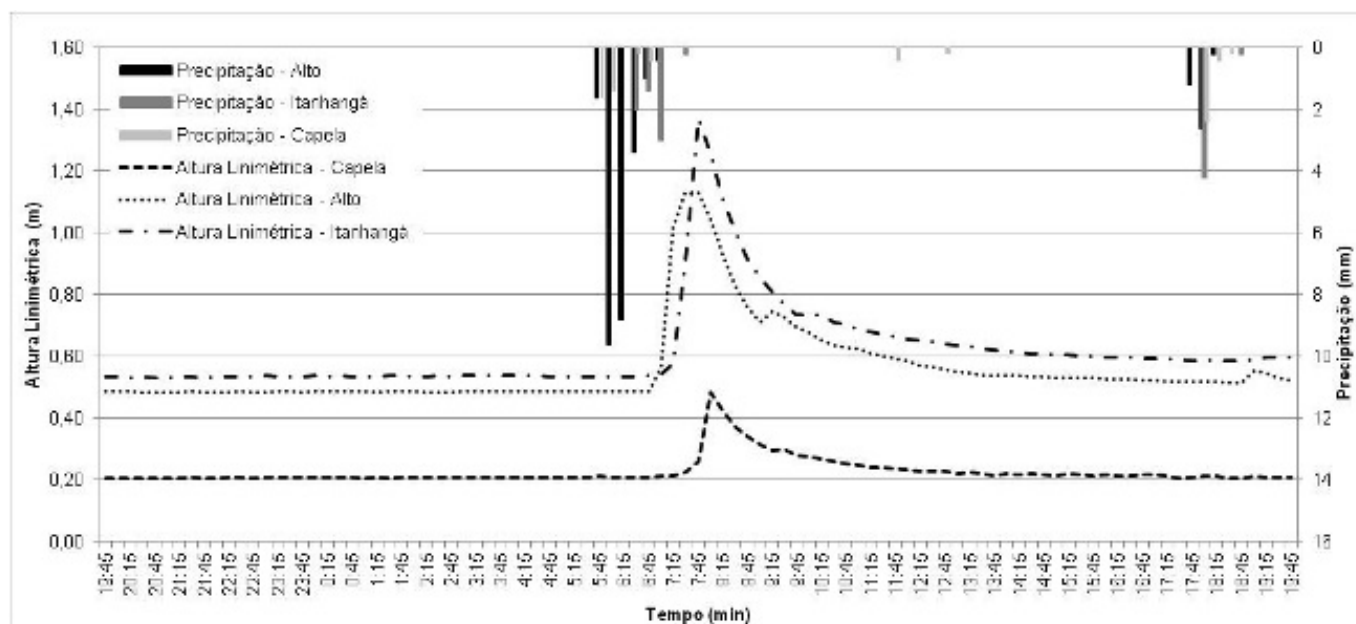
A bacia do Cachoeira (área de 16,48 km²) mostra um comportamento hidrológico diretamente vinculado com o relevo montanhoso com vegetação florestal. A elevada declividade das encostas, associada com a presença de solos rasos e afloramentos rochosos, permite que o escoamento após a chuva atinja rapidamente os canais fluviais. A elevada infiltração nestas encostas em decorrência da cobertura florestal também auxilia nesta rápida resposta. O mapa de uso do solo e cobertura vegetal de 2004 (figura 01), elaborado Dias (2011), indica que 14,17 km² (86%) estão sob o domínio de floresta em bom estado de conservação, que pode ser um fator significativo para as respostas rápidas na hidrologia da bacia. A figura 02 apresenta três hidrógrafas típicas para a bacia do Cachoeira, onde se observa ascensão e recesso quase simultâneos da vazão do rio Cachoeira em três pontos distintos, expressos pela variação da altura linimétrica no alto curso, estação Capela Mayrink, médio curso estação Mata Machado localizada no Alto da Boa Vista e baixo curso, na estação Itanhangá. O evento de chuva que gerou a hidrógrafa acima foi mensurada na estação Alto com um total de 24,8mm e duração de 1h e 15 min. (entre 5:45h e 7h da manhã), enquanto altura máxima mensurada no canal fluvial foi de 1,13m às 7:30h. Na estação Itanhangá o valor precipitado foi bem menor se comparado ao da estação Alto (6,6mm entre 6:30h e 7:30h), entretanto a altura limimétrica mensurada foi maior (1,37m às 7:45h), o que pode ser justificar uma vez que este ponto é o exutório da bacia.

Figura 1



Localização dos instrumentos de mensuração e uso do solo e cobertura vegetal da bacia

Figura 2



Hidrógrafas - evento de chuva de 08 e 09 de abril

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este comportamento se deve a chegada rápida de fluxos canalizados ou de encostas adjacentes ao canal principal, decorrentes de escoamento superficial e de escoamento subsuperficial raso. Cabe ressaltar que, este fluxo subsuperficial raso sofre influência muito significativa da cobertura de floresta, da declividade elevada das encostas e dos solos rasos. A diferença de resposta entre o pico da chuva e o pico das hidrógrafa situa-se entre 1h e 1h e 15 min., dependendo também da posição da estação pluviométrica na bacia (Alto da Boa Vista ou Itanhangá) e da intensidade das chuvas observadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos leitores de campo Eli Vieira, Georlan Santos e Jorge Alves pelas anotações dos dados hidrológicos. Agradecemos ao técnico Wilson Pereira do INEA pelo auxílio na instalação das réguas linimétricas, ao Mauro Junior e Licia Domeneck, também do INEA por autorizar a instalação das réguas e por disponibilizar os dados pretéritos necessários para a execução deste trabalho. Agradecemos também ao suporte financeiro e concessão de bolsas de mestrado e iniciação científica através da FAPERJ, CNPQ, CT-Hidro, MCT e PRONEX.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Abreu, M.A., "Evolução urbana do Rio de Janeiro". IPLANRIO, 3, 1992. 156p.
- Abreu, M.A. "A cidade e os temporais: uma relação antiga", pp. 15-20, in: ROSA, L.P. & LACERDA, W.A., Tormentas Cariocas, Ed. COPPE/UFRJ, 1997, 162 p.
- Araújo, F.V.; Van Weerelt, M.M.D.; Fanco, G.M.O.; Soares, C.A G.; Hagler, A N.; Mendonça-Hagler, L.C. "Classification Based On Coliform Counts Of Coastal Waters In Metropolitan Rio De Janeiro, Brazil". in: Coastal Zone 91, (Magoon, O. T., Convex, H., Tippie, v., Tobon, I. T. E Clarke, d. EDS), 1991.
- Aronoff, S. "Geographic Information Systems: A Management Perspective". WDL Publications, Ottawa, Canadá. 1993 pp., 1989.
- Azevedo, L.G.T., Porto, R., L., Filho, K.Z., "Modelos de Simulação e de Rede de Fluxo". In: Porto, R., L., (org.). Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos, Ed. UFRGS, 2 ed., 2002, p. 165-237.
- Baca, J.F.M, "Organização e dinâmica da paisagem: Uma metodologia de organização, análise da dinâmica e simulação, classificação e determinação de pesos", Tese (Doutorado em Geografia) IGEO-URFJ, Rio de Janeiro, 2002, 173p.

- Berry, J.K., "What's in a model in GIS World", 8 (1), 1995, p. 26-28.
- Beven, K., Lamb, R., Quinn, P., Romanowicz, R., Freer, J., TOPMODEL. In: SINGH, V.P. (ed.). Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resource Publications, Colorado, p.627-668, 1995.
- Brandão, A.M.P.M. "As chuvas e a ação humana: uma infeliz coincidência", pp. 21-38, in: ROSA, L.P. & LACERDA, W.A., Tormentas Cariocas, Ed. COPPE/UFRJ, 1997, 162 p.
- Buchianeri, V. C., 2004, "Geração da série histórica de vazão por meio do modelo SMAP: subsídio, para o plano de manejo da bacia do rio Grande de Ubatuba", Tese de M. Sc., Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ USP, Piracicaba, S.P., Brasil.
- Burrough, P.A. "Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment". Monographs on Soil and Resources Survey Nº 12, New York: Oxford University Press, p. 193, 1986.
- Câmara, G., "Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica". Rio de Janeiro, p. 193, 1996, Disponível no site: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/livros/anatomia.pdf>
- Câmara, C. & Davis, C., "Fundamentos de Geoprocessamento", 1996, Livro on-line: www.dpi.inpe.br
- Câmara, G. & Medeiros, J. S., "GIS para Meio Ambiente". INPE. São José dos Campos, SP., 1998.
- Chiról, A. D'A., "Relações Solo-Fauna durante sucessão florestal em cicatrizes de Movimento de Massa". M.Sc., Programa de Pós-Graduação em Geografia - Instituto de Geociências - Universidade Federal do Rio de Janeiro, p. 148, 2003.
- Chorley, R.J., "Geomorfology and the General Systems Theory". U.S. Geol. Survey, Professional Paper, 1962, 500-B: 10p.
- Christofoletti, A. "Modelagem de Sistemas Ambientais". Edgard Blücher, 1999, 236p.
- Coelho Neto, A.L., " O processo erosivo nas encostas do Maciço da Tijuca, RJ", Dissertação de mestrado - PPGG - UFRJ, p.102, 1979.
- Coelho Neto, A.L., " Surface Hydrology and Soil Erosion in a Tropical Mountainous Rainforest Drainage Basin, Rio de Janeiro", Doctor thesis - Katholieke Universiteit Leuven, Belgium, p.181, 1985.
- Coelho Netto, A.L.. "Hidrologia de encostas na interface com a Geomorfologia". In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. (org.). Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos, Ed. Bertrand Brasil, 3ed., p. 93-148, 1994.
- Coelho Netto, A.L. "Catastrophic Landscape Evolution in a Humid Region (SE Brazil): Inheritances From Tectonic, Climatic And Land Use Induced Changes". Supplementi di Geografia Fisica e Dinâmica Quaternária; 3. P. 21-48, 1999.
- Coelho Netto, A.L.. "A Geoecologia e a Arquitetura da Paisagem do Rio de Janeiro no século XXI: da degradação à reabilitação funcional da cidade e da Floresta Atlântica Remanescente". In: TÂNGARI...[et al]. (org.). Águas Urbanas: Uma contribuição para a regeneração ambiental como campo disciplinar integrado. PROARQ, 1, 2007, p. 75-92.
- Coelho Netto, A.L.; Avelar, A.S.; Fernandes, M.C.; Lacerda, W.A. "Landslide Susceptibility in a Mountainous Geocosystem, Tijuca Massif, Rio de Janeiro: The Role of Morphometric Subdivision of the Terrain". Geomorphology. Amsterdam, 87(3): 120-131, 2007.
- Coelho Netto, A.L., Schlee, M.B., Montezuma, R.C.M., "O Parque Nacional no Maciço da Tijuca: Uma Unidade de Conservação na Metrópole do Rio de Janeiro". In: GUERRA, A.J.T. & COELHO, M.C.N. (org.). Unidades de Conservação - Abordagens e Características Geográficas; Ed. Bertrand Brasil, 1, 2009, p. 143-171.
- Cowen, D. J. "GIS versus CAD versus DBMS: What are the Differences. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing". Vol. 54. p. 1551-1554, 1988.
- Cruz, C. B. M. "Modelagem de Entidades Urbanas e Aplicação em Sistemas de Informações Geográficas". IME-RJ. Dissertação de Mestrado. 1994
- DeBarry, P.A., "ASCE Task Committee on GIS Modules and Distributed Models of the Watershed". American Society of Civil Engineers, 1999, 120p.
- Dias, M. A., "Influência da topografia na dinâmica de bordas floresta-gramínea em um relevo montanhoso - maciço da Tijuca, RJ", Dissertação de mestrado - PPGG - UFRJ, p.123, 2011.
- Di Bello, R. C., "Análise do comportamento da umidade do solo no modelo chuva-vazão SMAP II - versão com suavização hiperbólica. Estudo de Caso: Região de Barreiras na bacia do rio Grande - BA". Dissertação de M. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, R.J., Brasil, p. 162, 2005.
- Dunne, T. & Leopold, L.B.. "Water Environmental Planning". Ed. W.H.Freeman & Company, San Francisco, 1986, 818p.

- Fagherazzi, S., Howard, A.D. e Wiberg, P.L., "An implicit finite difference method for drainage basin evolution" in *Water Resources Research*, Vol. 38, Nº. 7, 1116, 2002.
- Felgueiras, C.A. & Goodchild, M.T. "Two papers on triangulated surface modeling." Relatório Técnico 95/2. National Center for Geographic Information and Analysis - NCGIA - University of California, Santa Barbara, CA, United States of America. 1995.
- Fernandes, M.C., "Geoecologia do Maciço da Tijuca-RJ: Uma Abordagem Geo-Hidroecológica". Dissertação de mestrado, Departamento de Geografia, IGEO/UFRJ, Rio de Janeiro, 141p. 1998.
- Fernandes, M. C., "Desenvolvimento de rotina de obtenção de observações em superfície real: uma aplicação em análises geoecológicas." Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Depto. de Geografia, IGEO/UFRJ, p. 263, 2004.
- Fernandes, M.C.; Menezes, P.M.L. "Avaliação de métodos de geração de MDE para a obtenção de observações em superfície real: um estudo de caso no maciço da Tijuca - RJ". *Revista Brasileira de Cartografia*. Rio de Janeiro, 57(02): 154-161, 2005.
- Fernandes, M.C., Avelar, A.S., Coelho Netto, A.L., "Domínios Geo-Hidroecológicos do Maciço da Tijuca, RJ: Subsídios ao entendimento dos Processos Hidrológicos e Erosivos". In *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, Vol. 29 - 2, p. 122-148., 2006.
- Fernandes, M.C., Menezes, M. L., Avelar, A.S., Coelho Netto, A.L., "Avaliação do uso de observações em superfície real para análise geomorfológica de índice de eficiência de drenagem: um estudo de caso no maciço da Tijuca - RJ", *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 25-30, INPE, p. 3745-3752., 2009
- Ferreira, P.F.M. e Justi, R.S.. "Modelagem e o Fazer Ciência". *Química Nova na Escola* Nº 28, 2008, p.32-36.
- Ferrez, G., "Pioneiros na cultura do café na era da Independência: a iconografia primitiva do café". Rio de Janeiro: Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro, 1972, 96 p.
- Figueró, A.S., "Mudanças ambientais na interface floresta-cidade e propagação de efeito de borda no Maciço da Tijuca-Rio de Janeiro, RJ", Tese (Doutorado em Geografia) IGEO-URFJ, Rio de Janeiro, p. 398, 2005.
- Freitas, S.R. "O Uso de Sensoriamento Remoto na Geração de Indicadores Ambientais", Universidade Federal do Rio de Janeiro Instituto de Geociências - Departamento de Geografia Programa de Pós-Graduação em Geografia Exame de Qualificação, p. 57, 2001.
- GEOHECO-SMAC/RJ, Relatórios sobre "Estudos de Qualidade Ambiental do Geocossistema do Maciço da Tijuca: Subsídios à Regulamentação da APARU do Alto da Boa Vista", Vol. 1, 2, 3 e 4. Fundação COPPETEC - Secretaria Municipal do Meio Ambiente/Prefeitura do Rio de Janeiro. 2000.
- Gilbert, G.K.. "Report on the Geology of the Henry Mountains". U.S. Geogr. Geol. Sunney Rocky Mountain Region, 1877, p.18-98
- Gregory, K.J. & Walling, D.E.. "Drainage Basin Form and Process: A Geomorphological Approach." John Wiley and Sons, Inc, 1973, 456p.
- Guariguata, M. R., "Landslide disturbance and forest regeneration in the upper Luquillo mountains of Puerto Rico". *Journal of Ecology*, vol. 78, nº 3, 1990- p. 814-832.
- Haggett, P. & Chorley, R. J., "Modelos, paradigmas e a Nova Geografia". In *Modelos físicos e de informação em Geografia* (Chorley, R. J. & Haggett, P. Eds.) Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1975, p. 1-19.
- Hutchinson, M.F., "A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits". In: *Journal of Hidrology*. 1989, 106, pp. 211-232.
- Kozciak, S.; Rostirolla, S.P. & Fiori, A.P., "Análise comparativa entre métodos de interpolação para construção de modelos numéricos de terreno". In: *Boletim Paranaense de Geociências*, Ed. da UFPR, (47): p. 19-30, 1999.
- Konadu, D.D., Fosu, C., "Digital Elevation Models and GIS for Watershed Modelling and Flood Prediction - A Case Study of Accra Ghana", *Earth and Environmental Science*, VI, 325-332, 2009.
- Lang, S, Blaschke, T. "Análise da Paisagem com SIG". Tradução: Hermann Kux. Ed. Oficina de Textos, SP, p. 424, 2009.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W.. "Remote Sensing and Image Interpretation", 3rd ed. xvi New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons. 750pp., 1994.
- Lopes, J.E., Braga, B.P.F., Conejo, J.G.L., "SMAP - a simplified hydrological model", IN : SINGH, V.P., (ed), *Applied Modelling in Catchment Hydrology*, Water Resources Publication, 1981.

- Maidment, D.R., "Arc Hydro: GIS for Water Resources", ESRI, p. 203, 2002.
- Magalhães Júnior, A.P. "Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos: Realidade e Perspectivas para o Brasil a partir da Experiência Francesa". Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2007, 688p.
- Meis, M.R.M; Miranda, L.G.H.; Fernandes, N.F. "Desnívelamento de altitude como parâmetro para a compartimentação do relevo: bacia do Médio Vale do rio Paraíba do Sul." Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador 4: 1489-1509, 1982.
- Mendes, C.B.M & Cirilo, J.A, "Geoprocessamento em Recursos Hídricos Princípios, Integração e Aplicação". ABRH, Porto Alegre, Brasil, 2001,Ed.1.
- Negreiros, A.B, Chirol A.A, Coelho Netto, A.L. "Interações Biota-Solo-Água em Cicatriz de Deslizamento e Entorno Florestado: Maciço da Tijuca, RJ". in SINAGEO VII Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2008, Belo Horizonte-MG.
- Novo, E.M.L.M., "Aplicações de sensoriamento remoto em hidrologia e recursos hídricos", Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos, 1985, 3,2.
- Novo, E.M.L.M., "Sensoriamento Remoto, princípios e aplicações", Editora Edgard Blucher Ltda, p. 308, 1992.
- O' Connell, P.E., Todini, E., "Modeling of rainfall, flow and mass transport in hydrological systems : an overview", Journal of Hydrology,175, 3-16,1996.
- Oliveira, L. C. K., "O Papel do Monitoramento e da Previsão de Vazões no Gerenciamento de Bacias Hidrográficas" [Rio de Janeiro], 168 p. (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2003) Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Oliveira, M. R. M., Avelar, A. S., Freitas, M. M., Coelho Netto, A. L., "Degradação da floresta e desabamentos ocorridos em Fevereiro de 1996 no maciço da tijuca, RJ". in Anais do XLVII Congresso Nacional de Botânica, Nova Friburgo (RJ), vol 1, p. 353, 1996
- Oswaldo Cruz, J. C. H., "Dinâmica hidro-erosiva superficial e revegetação em uma cicatriz de movimento de massa. Maciço da Tijuca, RJ". Ciência e Natura, Edição Especial Simpósio Nacional de Geomorfologia, p. 343-364, 2004.
- Miranda, J. C. "O efeito da cobertura vegetal na entrada e redistribuição da chuva em uma encosta florestada." Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geografia, UFRJ, 100p., 1992.
- Renno, C.D., Soares, J.V., "Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental", Ministério da Ciência e Tecnologia INPE, Relatório Técnico, 2000, 60p.
- Ribeiro, C.B.M., "Sensoriamento remoto aplicado à detecção de mudanças na cobertura do solo de uma bacia hidrográfica", Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2001.
- Rocha Leão, O. M., Balesdent, F. C, Cruz, E. S, Coelho Netto, A. L., "Reativação erosiva em cicatriz de movimento de massa, Maciço da Tijuca, RJ". In Anais do I Simpósio Nacional de Geomorfologia, Uberlândia, MG. 1996.
- Rodrigues, M. "Geoprocessamento: um retrato atual". Revista Fator GIS. Sagres Cartografia e Editora. Curitiba, PR. Ano 1, no. 2, p. 20-23. 1993.
- Rotunno Filho, O. C., "Soil moisture mapping using remote sensing and geostatistics applied to rainfall-runoff models", Ph. D. Thesis, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 1995.
- Santos, I.; Fill, H. D. ; Sugai M. R. V. B.; Buba H.; Kishi R. T.; Marone, E. ; Lautert, L. F. C.: "Hidrometria Aplicada". CEHPAR, Curitiba. 372p., 2001.
- Saulnier, G.M., Beven, K., Obled, C., "Digital elevation analysis for distributed hydrological modeling : Reducing scale dependence in effective hydraulic conductivity values", Water Resources Research,33,9, p. 2097-2101,1997a.
- Saulnier, G.-M., Beven, K., Obled, C., "Including spatially variable effective soil depths in TOPMODEL", Journal of Hydrology, 202,p. 158-172,1997b.
- Schlee, M.B., "Landscape change along the Carioca River, Rio de Janeiro, Brazil". Landscape Architecture Thesis. University Park: The Pennsylvania Sate University. 2002, 241p.
- Schlee, M.B., Coelho Netto, A. L., Tamminga, K., "Mapeamento Ambiental e Paisagístico de Bacias Hidrográficas Urbanas: Estudo de Caso do Rio Carioca". In:COSTA, L. M. S. A. (org.). Rios e Paisagens Urbanas em Cidades Brasileiras; Ed. PROURB, 2006, p. 33-55.
- Schlee, M.B., "The role of open spaces in the application of buffer zones in the slopes of Rio de Janeiro, Brazil" in 46th IFLA World Congress. Rio de Janeiro, 2009, 11p.
- Schultz, G. A , "Remote sensing in hydrology", Journal of Hydrology, 100,p. 239- 265. 1988.
- Schumann, A .H., Funke, R., Schultz, G.A , "Application of a geographic information system for

- conceptual rainfall-runoff modeling”, *Journal of Hydrology*, 240, p.45-61, 2000.
- Strahler, A.N. “Equilibrium theory of erosional slopes approaches by frequency distribution analysis.” *Amer. J. Sci.* 248: 673 – 696, 1952.
- Spence, C, Hosler, J., “Representation of stores along drainage networks in heterogenous landscapes for runoff modelling”, *Journal of Hydrology*, n. 347, p. 474-486, 2007.
- Tabanez, A.A.J., Viana, V.M., Dias, A.S., “Consequências da fragmentação e do efeito de borda sobre a estrutura, diversidade e sustentabilidade de um fragmento de floresta de planalto de Piracicaba, SP”. *Revista Brasileira de Biologia*, v.57, n.1, p. 47-60. 1997
- Thomé, R., “Interoperabilidade em Geoprocessamento: Conversão entre Modelos Conceituais de Sistemas de Informação Geográfica e Comparação com o Padrão Open GIS”. Dissertação de Mestrado. INPE, p. 200, 1998
- Tucci, C.E.M., “Modelos hidrológicos”, 1a ed., Editora da Universidade UFRGS/ABRH, Porto Alegre, RS, Brasil, 1998.
- USDA - United States Department of Agriculture, “Urban Hydrology for Small Watersheds - TR-55”, 164p., 1986.
- Valeriano, M. M., “Dados Topográficos”. In: Florenzano, T. G. (org.). *Geomorfologia: Conceitos Atuais e Tecnologias Atuais*; Ed. Oficina de Textos, São Paulo, 2008, p. 72-104.
- Yevjevich, V., “Determinism and stochasticity in Hydrology”, *Journal of Hydrology*, n. 22, 1974, p. 225-238.
- Villas-Boas, M. D., “Modelo de Simulação de Sistemas Hídricos Complexos, Integrado com Avaliação de Qualidade da Água - Uma Ferramenta de Gestão”, 183 p. - COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2008.
- Xavier, L. N. R., “Análise da incerteza causada pela representação da precipitação no modelo Topmodel” [Rio de Janeiro] 2002, VIII, 124 p. (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2002)
- Xavier da Silva, J. “Geoprocessamento para Análise Ambiental”. Rio de Janeiro. p.228, 2001.
<http://www2.rio.rj.gov.br/georio/site/alerta/alerta.htm>, último acesso em 28/02/2011.
<http://www.rio.rj.gov.br/web/ipp/>, acesso em 12/02/2011.
<http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/GISHYDRO/ferdi/research/agree/agree.html>, último acesso em 28/02/2011