

ANÁLISE COMPARATIVA DO USO DO SOLO E ESTIMATIVA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL COM BASE NA CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ITAIM, TAUBATÉ, SP

Walkiria Lacerda Silveira de Melo¹; Getulio Teixeira Batista²; Marcelo dos Santos Targa²;

Neyrienne d'Angelis Rodrigues³

RESUMO - O presente trabalho teve como objetivo estimar o escoamento superficial com base na capacidade de infiltração potencial da bacia hidrográfica do ribeirão Itaim, em função das modificações ocorridas no uso e ocupação do solo no período de 2003 a 2010. O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Geoprocessamento da UNITAU (LAGEO), com base em ferramentas do aplicativo SPRING, utilizando dados do projeto de grande porte desenvolvido no Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU, conhecido como "Projeto Una". Foi utilizado a metodologia do Curva Número do NRCS (2010) para a estimativa da capacidade de infiltração e do escoamento superficial em função da chuva máxima para tempos de Retornos de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100 e 200 anos. Os resultados mostraram um aumento na área das classes agricultura, reflorestamento e áreas urbanizadas e diminuição da área de mata de capoeira para o ano de 2010 gerando, dessa forma, maior escoamento superficial. Conclui-se que essa bacia localizada em área de transição urbana sofreu grande pressão de mudança no uso do solo o que exige atenção para a prevenção de erosão.

ABSTRACT. – This study had the objective of estimating the runoff based on the infiltration capacity potential of Itaim river basin, as a function of land cover and land use changes that occurred from 2003 to 2010. The study was conducted at the GIS Laboratory of UNITAU (LAGEO), using the SPRING software package and data provided by a large project carried out by the Department of Agricultural Sciences UNITAU, known as "Project Una". The curve-number methodology proposed by the NRCS (2010) was used to estimate the infiltration capacity and runoff due to maximum rainfall with turnaround times of 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100 and 200 years. The results showed an increase in the classes of agriculture, forestry and urban and a decrease in forest area for the year 2010 resulting in increased runoff rates. Thus, it could be concluded that this basin located in urban growth transition zone had great land use change pressure and it requires attention to prevent soil erosion.

Palavras-chave: escoamento, uso do solo, sistema de informação geográfica

- 1) UNITAU, Departamento de Ciências Sociais e Letras. Rua Visconde do Rio Branco, 22, 12020-040 - Taubaté, SP, Brasil. {walkirialsm@gmail.com};
- 2) UNITAU, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Estrada Mun. Dr. José Luiz Cembranelli, 5.000, 12080-100 – Taubaté, SP, Brasil {getulio@agro.unitau.br; mtarga@unitau.br}
- 3) UNITAU, Departamento de Ciências Agrárias. Estrada Mun. Dr. José Luiz Cembranelli, 5.000, 12080-100 – Taubaté, SP, Brasil {neyriannerodrigues@gmail.com};

1. INTRODUÇÃO

Os estudos relacionados apontam que a qualidade dos recursos hídricos tem diminuído de forma constante, em sua maioria, devido ao crescimento populacional e a ocupação das áreas de preservação permanente, especialmente as várzeas. O processo de infiltração de água no solo, propriedade de maior importância para seu manejo, envolve a penetração vertical de água pela superfície do solo e garante o fluxo de água para os rios.

A falta de planejamento no uso da terra tem provocado a diminuição da infiltração, o aumento do escoamento superficial, da erosão do solo e das enchentes e inundações.

O Rio Paraíba do Sul e seus afluentes têm sofrido com a ocupação de seu entorno nas últimas décadas. De modo similar, a bacia hidrográfica do Ribeirão do Itaim, objeto do presente estudo, é afluente, pela margem esquerda, do Rio Una cuja bacia abrange uma área de 476km². O ribeirão do Itaim sofreu nas últimas duas décadas um aumento significativo de ocupação urbana e predomínio de pastagens na sua paisagem, refletindo assim, de forma negativa, uma diminuição da capacidade de infiltração da água e no aumento do escoamento superficial (AGUIAR, 2007).

Bertoni (1985) observou que a infiltração ocorre de duas maneiras: nos espaços porosos que recebem influência da força da gravidade nos solos saturados e por meio da capilaridade dos solos não saturados.

O solo coberto por vegetação e com declividade pouco acentuada são mais permeáveis. O estudo da infiltração baseia-se nos valores específicos de Velocidade de Infiltração Básica (VIB) (REICHARDT, 1987).

Estudos sobre a dinâmica de uso do solo em bacias hidrográficas são importantes para entender os impactos provocados pela ação antrópica, que modificam a cobertura do solo, ocasionando a redução da capacidade de infiltração, a diminuição da profundidade do leito dos cursos d'água, aumentando assim conseqüentemente as ocorrências de cheias e inundações (GROVE *et al.*, 1998; CENTURION *et al.*, 2001; WENDLAND, 2001).

O presente trabalho teve por objetivo estimar o escoamento superficial na Bacia do ribeirão Itaim, em Taubaté, SP, nos anos de 2003 e 2010, por meio da técnica Curva Número que permite estimar a capacidade de infiltração potencial de água no solo em função uso e ocupação do solo.

2. MATERIAL E METÓDOS

2.1 Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Itaim (Figura 1) se localiza no município de Taubaté, situado na região sudeste do Estado de São Paulo, no Vale do Paraíba. O ribeirão do Itaim tem sua nascente nas

coordenadas W 45°36'28" e S 23°09'46", localizada próxima à divisa de Taubaté com os municípios de Redenção da Serra e Caçapava. O exutório da bacia por sua vez está entre as coordenadas W 45°30'23" e S 23°01'28", no interior da Fazenda Piloto do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté (CORREA, 2001).

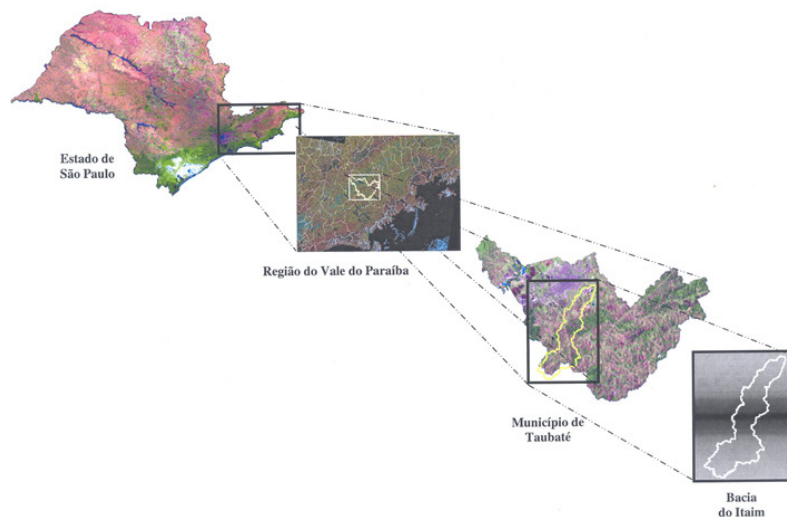


Figura 1 – Localização Geográfica da Bacia do Itaim, Imagem TM/LANDSAT.

Fonte: Aguiar *et al.* (2007).

O solo da área de estudo em sua maior parte é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (Figura 2), com textura areno-argilosa (EMBRAPA, 1997) e relevo ondulado com altitude média de 580 metros.

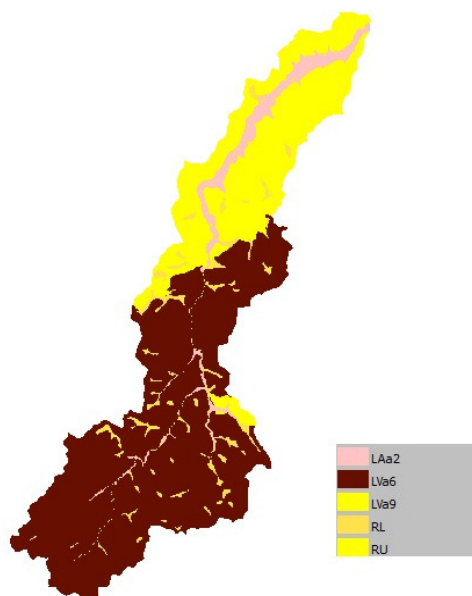


Figura 2 – Classe de solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Itaim

2.2 Imagens utilizadas

As imagens constituídas por fotografias aéreas ortorretificadas disponíveis no Banco de Dados do Una, foram obtidas no ano de 2003, serviram de base para o mapeamento de uso do solo na escala de 1:25.000, realizado por interpretação direta sobre as ortofotos do projeto Una (BATISTA *et al.*, 2006) e as imagens do BD de 2010 pertencem ao sensor *Thematic Mapper*™ a bordo do satélite Landsat 5, Órbita/Ponto 218-76 e possuem uma resolução espacial de 30 metros.

As bandas empregadas foram as: 3 (630 a 690 nm - vermelho); 4 (760 a 900 nm - infravermelho próximo); e 5 (1.550 a 1.750 nm - infravermelho médio). As imagens do satélite Landsat 5 utilizadas neste trabalho foram disponibilizadas gratuitamente pela Divisão de Geração de Imagens (DIG) e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

2.3 Processamento de dados

O Banco de Dados (BD) foi implementado no aplicativo SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (CÂMARA *et al.*, 1996), utilizando uma projeção cartográfica UTM.

O Banco de dados da Bacia do Rio Una foi criado em 2003 no LAGEO (Laboratório de Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto de Informática Rural, localizado no Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté – UNITAU) e no IPABHi (Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas) e atualizado em 2010. Após o registro das imagens de ambos os anos, foi realizado o mapeamento das classes, para compatibilizar os dois levantamentos e por meio de tabulação cruzada foram avaliadas as áreas das classes de uso do solo nos dois anos analisados que incluíram as seguintes classes temáticas: Mata capoeira, Agricultura, Pasto, Reflorestamento, Área urbana, Água e Outros.

Para cada classe temática foi criado um PI individual possibilitando assim a análise e comparação dos mapas temáticos de 2003 e 2010.

Utilizando ainda o SPRING e a programação de Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algebrico (LEGAL) foi possível a criação do mapa temático final dos anos analisados.

2.4 Método do Curva Número

Para se determinar o escoamento superficial utilizou-se o Método Curva Número, considerando os valores de uso e ocupação do solo para ambos os anos. Esse método é o mais utilizado para as estimativas do escoamento superficial em bacias hidrográficas.

O método da Curva número de acordo com o NRCS (2010) é baseado nas equações 1 e 2.

$$Pe = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} \quad \text{Eq. (1)}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Eq. (2)}$$

em que:

Pe: Precipitação efetiva que gera o escoamento superficial (mm);

P: Precipitação Máxima em dado Período de Retorno (mm);

S: Infiltração Potencial (mm)

CN: Número da Curva, adimensional.

O valor do CN deve ser ponderado em função dos diferentes usos e ocupação (cobertura) do solo pela seguinte Equação 3, conforme TARGA (2011):

$$CN_{pond} = \frac{\sum (CN_c (A_c))}{Area_t} \quad \text{Eq. (3)}$$

em que:

CN_{pond}= Valor do Número da Curva ponderado, adimensional.

CN_c = Valor do Número da Curva de cada classe de uso e cobertura do solo da bacia, adimensional.

A_c = Área de cada classe de uso e cobertura do solo da bacia em ha.

A_t = Área total da bacia, em ha.

O tempo de concentração em minutos corresponde ao tempo necessário para a água ir do ponto mais distante até o exutório da bacia. Sua estimativa foi baseada na velocidade média do escoamento superficial que é a função do espaço a ser percorrido e da declividade equivalente, sendo calculado pela Equação 4 de Kirpich (TUCCI, 1993).

$$Tc = 57 * \left(\frac{L^2}{S} \right)^{0,385} \quad (\text{Eq. 4})$$

em que:

Tc = Tempo de Concentração em minutos.

S = Declividade equivalente (m/Km)

L = Comprimento do Talvegue (Km)

Os dados de chuvas máximas foram selecionados dos estudos de Martines Junior e Magni (1999) para o posto meteorológico de Taubaté, localizado dentro da área de estudo e cujas características são descritas na Tabela 1. Foram escolhidos os Tempos de Retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100 e 200 anos para os valores de chuvas máximas a serem utilizados na estimativa dos escoamentos, sendo considerada a duração da chuva igual ao Tempo de Concentração da bacia.

Tabela 1. Característica do posto meteorológico INMET/UNITAU

Estação	Taubaté – E2-022R
Latitude	23°02’S
Longitude	45°34’W
Altitude	610 m
Período de dados utilizados	1964-65; 1969-88; 1990-97 (30 anos)

Posteriormente, foram cruzados os mapas de uso e cobertura do solo dos anos de 2003 e 2010, usando a função “Tabulação Cruzada” do SPRING para verificar se houve modificação quanto a esta característica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do presente trabalho são apresentados em duas partes: Avaliação e comparação do mapa temático de uso da terra em relação aos anos de 2003 e 2010 e a avaliação da infiltração de água no solo da mesma região utilizando o mapa temático final gerado usando-se a programação em LEGAL (BARBOSA e CORDEIRO, 2001). Antes de se analisar o resultado é preciso compreender que existem diferenças digitais das imagens, causando mudanças que estão relacionadas ao fato de terem sido obtidas com resoluções diferentes, sendo 2003 com resolução espacial de 0,60 m e 2010 de 30 m.

3.1 Mapa temático de uso da terra nos anos de 2003 e 2010

Os mapeamentos do uso da terra para o ano de 2003 e de 2010 podem ser visualizados de acordo com os mapas e legendas das Figuras 3 e 4, respectivamente.

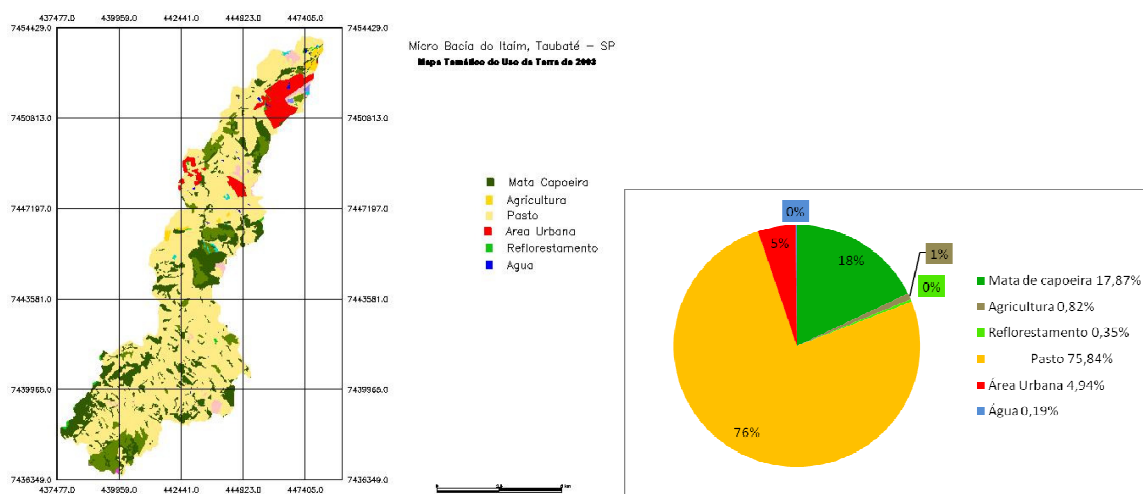


Figura 3 – Mapa temático do uso da terra do ano de 2003

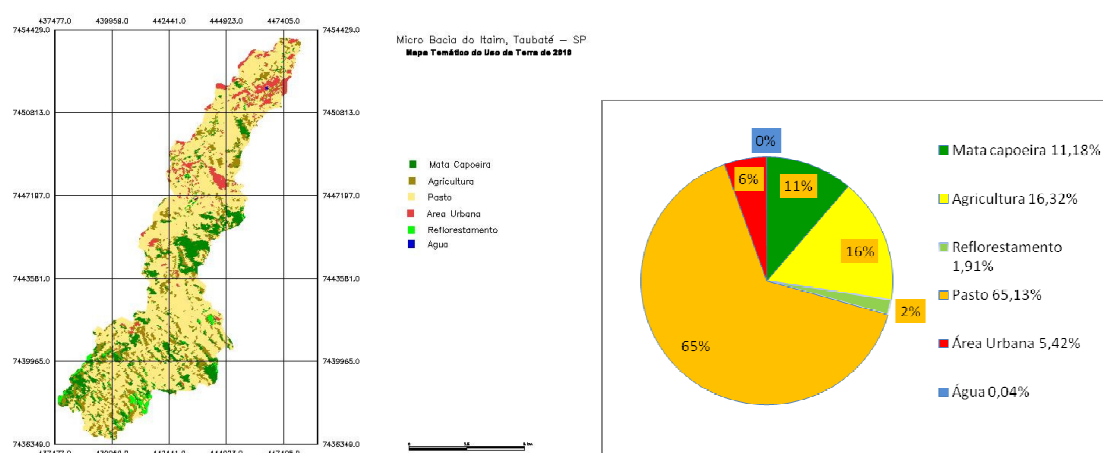


Figura 4 – Mapa temático do uso da terra do ano de 2010

A sobreposição dos dados temáticos permitiu a análise da mudança do uso e cobertura do solo entre os anos de 2003 e 2010 a partir das medidas de classes extraídas dos mapas.

As diferenças nas áreas de cada classe para os diferentes são mostradas na Tabela 2, onde é possível notar as mudanças que ocorreram no uso e ocupação do solo em função da área ocupada por cada classe.

Como no ano de 2003, a legenda das classes foi mais detalhada, foi necessário agrupar algumas classes para poderem ser comparadas com as do ano de 2010. Foram agrupadas as classes: pasto sujo, pasto e pasto degradado de 2003 para corresponder à classe Pasto de 2010; a classe Corpo d'água recebeu a nomenclatura de água, para se compatibilizar com os dados de 2010.

Comparando as Figuras 3 e 4 observa-se que os maiores aumentos no uso foram pela ordem na classe agricultura, reflorestamento e área urbana.

A determinação de valores de Curva-Número está baseada nas condições hidrológicas e coberturas e uso de solos para as áreas de bacias urbanas e rurais. Para a definição do CN, a bacia

apresenta maior ocorrência de Latossolo Vermelho-amarelo e, portanto, os solos dessa bacia foram considerados como sendo do grupo hidrológico C conforme Setzer e Porto (1979).

O valor do $CN_{ponderado}$ em função da área das diferentes classes de uso do solo da bacia para 2003 foi 72,92 e de 74,15 para 2010, o que dá uma capacidade de infiltração potencial ($S = 94,31$ mm) em 2003 e ($S = 88,55$ mm) em 2010.

Tabela 2. Mudanças ocorridas entre os anos de 2003 e 2010 para as classes de Uso do Solo e suas respectivas porcentagens.

Uso do Solo	2003		2010		CN
	%	ha	%	ha	
Mata de Capoeira	17,87	1025,64	11,18	648,54	55
Agricultura	0,82	46,98	16,32	946,53	76
Reflorestamento	0,35	20,07	1,91	110,52	62
Pasto	75,84	4353,3	65,13	3778,38	76
Área Urbana	4,94	283,59	5,42	314,37	90
Água	0,19	4,52	0,04	2,52	89

3.2 Escoamento superficial (Q) pela equação do NCRS

O escoamento superficial é influenciado ainda pelas características hidráulicas dos solos, das rochas, da cobertura vegetal e das estruturas biológicas, assim como pela forma da bacia de drenagem, da declividade de sua superfície e do teor de umidade dos seus terrenos (JORGE; UEHARA, 1998).

O tempo de concentração da bacia do ribeirão Itaim calculada pela Equação 4 é de 180 min., tempo necessário para água que caiu no ponto mais distante da bacia chegar até o exutório. O cálculo do escoamento superficial foi realizado para o tempo de concentração da bacia do Itaim (180 min.), variando as precipitações máximas de 2 a 200 anos, obtidas de Martinez Junior e Magni (1999).

Tabela 3. Escoamento Superficial da bacia do Itaim, no ano de 2003 e 2010, com tempo de duração de 180 minutos.

Parâmetros	Período de Retorno (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
Precipitação em mm para duração de 180 min.	54,4	70,3	80,8	86,7	90,9	94,1	103,9	113,7	123,5
Escoamento Superficial em mm – 2003	9,73	18,20	24,55	28,50	31,20	33,40	40,32	47,55	55,04
Escoamento Superficial em mm - 2010	10,75	19,60	26,25	30,21	33,12	35,38	42,51	49,93	57,59

Considerando os resultados da Tabela 3 e Figura 5, pode-se notar que o escoamento superficial aumenta no ano de 2010 devido ao aumento na área das classes agricultura, reflorestamento e urbanizada e diminuição da área de mata de capoeira gerando maior, escoamento superficial.

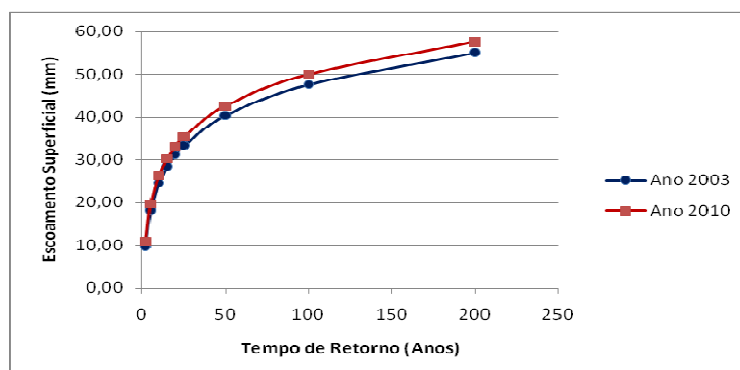


Figura 5. Variação do escoamento superficial na bacia do ribeirão Itaim em função do tempo de retorno para os anos de 2003 e 2010.

5. CONCLUSÃO

O escoamento superficial na bacia do ribeirão Itaim aumentou no período de 2003 para 2010 em função das mudanças no uso e cobertura do solo para todos os tempos de retorno de chuva analisados, sendo as diferenças maiores para os tempos de retorno maiores. Sendo o Itaim, uma bacia localizada em área de crescimento urbano, deve haver controle na mudança no uso do solo para prevenir aumento da erosão.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Comitê das Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul (CBH-PS), pelo projeto “Banco de Dados Ambientais da Bacia do Rio Una Bacia do Rio Paraíba do Sul”, financiado pelo Fundo Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (FEHIDRO), Projeto PS-61/ 2002 e ao CNPq -Projeto Universal– **Processo 480990/2007-7** - Comportamento da água no solo sob cobertura vegetal de eucalipto e de essências florestais nativas.

BIBLIOGRAFIA

- AGUIAR, L. S. G., TARGA, M. S., BATISTA, G. T. **Escoamento superficial na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Itaim**. Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science, abril, v. 2, n. 1, pp. 44-56, 2007. Universidade de Taubaté, Taubaté - Brasil. (doi: 10.4136/ambi-agua.19). Disponível em: <<http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/view/37/250>>. Acesso em: junho de 2011
- BARBOSA, C. C. F.; CORDEIRO, J. P. C. Manual de Referência – LEGAL. **INPE-10498-PRE/5975**. INPE. São José dos Campos, 2001. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.19.15.12/doc/apendice.pdf>. Acesso em: junho de 2011.
- BATISTA, G. T., TARGA, M. S., CATELANI, C. S. **Plano de Bacia do Rio Una: Resultados do Projeto Una**. Repositório Eletrônico Ciências Ambientais, Coleção Recursos Hídricos, UNITAU. 2006. Disponível em: <<http://www.agro.unitau.br:8080/dspace/handle/2315/69>>. Acesso em: junho de 2011.
- MOREIRA, D. W. **Intensidades máximas de chuvas e sua influência na vazão e sedimentação do Ribeirão do Itaim, Taubaté-SP**. 2005. 160f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade de Taubaté, Taubaté, 2005.
- NRCS. **Estimation of direct runoff from Storm rainfall**. In: _____. Hydrology. National Engineering Handbooks. National Resources Conservation Service. USDA, Washington, USA, 2010. Part 630. Cap. 10, 79p. Disponível em www.ftw.nrcs.usda.gov. Consultado em setembro de 2010.
- REICHARDT, K. **Relações solo-água-plantas para algumas culturas**. In: REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 1987, p.157-71
- SETZER, J.; PORTO, R. L. Tentativa de avaliação de escoamento superficial com o solo e o seu recobrimento vegetal nas condições do Estado de São Paulo. In: **Boletim técnico DAEE**, Vol. 2, Nº 2, São Paulo. 1979.
- TARGA, M. S. **Estudo Hidrológico da Bacia do Rio Una: Subsídios para estabelecimento de planos de macrodrenagem no Vale do Paraíba do Sul – SP**. Repositório Eletrônico Ciências Ambientais, Coleção Recursos Hídricos, UNITAU. 2009. Disponível em: <<http://www.agro.unitau.br:8080/dspace/handle/2315/149>> Acesso em: junho de 2011.
- TARGA, M. S., BATISTA, G. T., CÍCERO, C. M., DIAS, N. W. **Metodologia para Avaliação dos Processos Hidrológicos e da Sedimentação na Bacia Hidrográfica Experimental do Ribeirão do Itaim, Município de Taubaté, no Vale do Rio Paraíba do Sul – Estado de São Paulo**. Repositório Eletrônico Ciências Agrárias, Universidade de Taubaté. 2006. Disponível em: <http://www.agro.unitau.br:8080/dspace/bitstream/2315/54/1/Metodo_Bacia_Exp_FINEP_Dspace.pdf>. Acesso em: junho de 2011.
- TUCCI, C. E. M. 1993 (org). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Editora da UFRGS e EDUSP ABRH 952p (2ª edição).