

# Mudanças no Comportamento Hidrológico de Bacias de Drenagem em Função do Processo de Urbanização na Cidade do Rio de Janeiro

Alexander Josef Sá Tonias da Costa<sup>1</sup>

## 1 . INTRODUÇÃO

Embora alguns geógrafos vejam a Hidrologia como um campo separado de investigação científica, outros geógrafos físicos defendem a noção de Hidrologia Geográfica. WARD (1979) *apud* GREGORY (1992:160) define-a como “ a Hidrologia com a qual trabalham os geógrafos “, observando que o engenheiro se detém no empirismo e nos coeficientes, na simplificação e na generalização dos sistemas e processos. Segundo esse autor, o geógrafo está

*fundamentalmente interessado em como a paisagem atua e nas interações do homem com ela, o que implica que muitos dos objetivos hidrológicos de geógrafo estejam dirigidos não para a solução de problema hidrológico específico, mas para a mais completa compreensão da paisagem.*

No entanto, o autor percebe recentes tendências de aproximação entre as disciplinas, apesar de dentro da Hidrologia, no momento, poder ser observado o interesse entre os engenheiros para os estudos dos processos, “ numa época em que alguns geógrafos estão começando a mostrar sinais de impaciência com estes “ (WARD, 1979:160).

Dentro dessa perspectiva, este artigo analisa as influências exercidas pelo processo de urbanização da cidade do Rio de Janeiro em bacias de drenagem localizadas em seu território. A partir da análise do crescimento urbano da cidade e das modificações realizadas na sua paisagem daí decorrentes, realiza-se uma avaliação de possíveis mudanças no comportamento hidrológico de bacias de drenagem e algumas considerações sobre a inclusão dessa temática em projetos de planejamento de uso do solo urbano.

## 2 . O CRESCIMENTO DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

A localização e a fundação da cidade do Rio de Janeiro não tiveram outro objetivo senão a instalação de um sítio defensivo, já que os franceses tinham a intenção de se estabelecerem no território colonial português. Após a expulsão dos franceses, Mem de Sá reconheceu a impraticabilidade do núcleo primitivo, fundado por Estácio de Sá na planície entre os morros Carade-Cão e do Pão-de-Açúcar, já que ali não era possível estabelecer uma ocupação permanente (BERNARDES, 1960) .

Assim, a população foi transferida para o morro de São Januário (mais tarde chamado morro do Castelo), um tómbolo cercado por pântanos e lagoas, o que significava a proteção a ataques por terra. Em fins do século XVI, ultrapassada a fase militar, a população desce para

1 Mestre em geografia - PPGG/UFRJ. Professor Assistente - Departamento de Geografia / Instituto de Geociências / UERJ

conquista da planície. Dessa forma, iniciam-se a luta contra os alagadiços e a ocupação de outros morros (LAMEGO,1964). Ao final do século XVII, com a crescente pressão demográfica, o desenvolvimento do comércio exige a ampliação da cidade: as grandes áreas sob domínio do brejo vão sendo, então, progressivamente atacadas. Os limites urbanos são quatro morros: Castelo, Providência, São Bento e Santo Antônio. Adiante, a cidade só progrediria após a drenagem de lagoas e pântanos.

Com a descoberta de ouro nas Minas Gerais, o porto do Rio de Janeiro transforma-se no escoadouro das riquezas do planalto e também se firma como porta de entrada de produtos vindos da Europa. Rapidamente o Rio de Janeiro iria assumir uma condição econômica e administrativa que o tornou capital do país em 1763. A cidade cresce, avançando sobre os brejos, o mar e as montanhas, na luta pela conquista do espaço urbano. Este, em fins do século XVIII, estendia-se em direção ao atual Campo de Santana.

Mesmo após o esgotamento das minas de ouro, não perdeu o Rio de Janeiro a posição de capital; ao contrário, desenvolveu-se como uma grande metrópole. Com a vinda da família real portuguesa, em 1808, e com o café, consolidou-se a posição da cidade como capital, o que proporcionou sua grande expansão no século XIX – a população salta de 60 mil, em 1808, para 500 mil habitantes no final desse século (BERNARDES,1959). Foi a partir do século XIX que o Rio de Janeiro assumiu a dimensão de grande cidade: a expansão se dirige ao norte e ao sul, ultrapassando os limites da planície e dos quatro morros citados anteriormente, numa luta contra brejos e mangues que já durava três séculos. Até então, além dos limites existentes, apenas alguns tentáculos, que se dirigiam aos “sertões” do sul, do oeste e do norte (ABREU,1987).

Em meados do século XIX, a ocupação é marcada pela formação de bairros: a cidade “velha” não absorvia a população que afluía ao Rio de Janeiro, cujas funções haviam se desdobrado.

A solução foi contornar o Maciço da Tijuca, com os bairros ocupando os vales na parte mais interiorizada, já que o “baixo curso” era dominado por alagadiços; a conquista definitiva destes só se deu no século XX, com as obras de drenagem e canalização de rios (BERNARDES,1961).

Conforme ABREU (1987:36):

*a partir de 1850 a cidade conhece um novo e importante período de expansão, caracterizado não só pela incorporação de novos sítios à área urbana, como também pela intensificação da ocupação das freguesias periféricas, notadamente a da Lagoa.*

O processo de especulação vai, aos poucos, transformando esses arrabaldes da então freguesia da Lagoa em bairros residenciais para as ricas famílias republicanas. Mesmo desabitados, Copacabana, Ipanema e o distante Jardim Botânico eram, por volta de 1870, os pontos de atenção para as companhias que especulavam com o solo urbano, como a de carris urbanos. Deve-se lembrar que esta freguesia (que se estendia da enseada do Flamengo até Jacarepaguá) era considerada zona rural, com cerca de 5 % da população total da cidade, segundo o Censo de 1870 (BENCHIMOL,1992).

Com a chegada do século XX, o Rio de Janeiro passa pelo período de maiores transformações ocorridas até então: a Reforma Passos, um verdadeiro programa de reforma urbana, implementado pelo Prefeito Pereira Passos, entre 1902 e 1906 (ABREU, 1987). Nesse período, entre outras obras, foram construídas a nova zona portuária e a Avenida Beira Mar, ambas realizações em áreas conquistadas ao mar através de aterros; foram canalizados, em nome do saneamento e da higiene, o rio Carioca e trechos dos rios Berquó, Maracanã, Joana e Trapicheiro; a Lagoa Rodrigo de Freitas foi, em parte, saneada.

A Reforma Passos, no centro da cidade, promove inúmeras desapropriações, principalmente de habitações populares – os cortiços – execu-

tando em seguida a abertura e alargamento de ruas, parques e praças. No entanto, ao resolver o problema da estratificação espacial, cria outro problema tão ou mais grave que os cortiços. Com a demolição destes, a população pobre se desloca em direção aos morros situados no centro da cidade, ocupando-os efetivamente. Surgem as favelas, única opção para quem precisava residir próximo ao emprego. Essa população não parava de crescer na cidade em virtude do crescimento industrial que aqui se desenrolava (ABREU, 1987).

Essa é a grande contradição do período, segundo ABREU (1986): o crescimento tentacular da cidade, determinado por condições físicas, resultou no aumento das distâncias entre trabalho e residência para a força de trabalho. No entanto, a qualidade do sistema de transporte coletivo não acompanhou tal crescimento e a população cresceu para atender à demanda crescente de força de trabalho. Se por um lado era oferecido somente a localização a grandes distâncias do local de trabalho,

*o espaço físico oferecia, por outro, uma série de opções próximas, ou seja, terrenos ainda não ocupados, seja por apresentarem dificuldades à promoção imobiliária organizada (morros íngremes, mangues, margens inundáveis de rios), seja por decisão deliberada de seus proprietários (reserva de valor).* (ABREU, 1986: 9)

Após a vitória na luta contra os alagadiços e mangues, a expansão urbana dirige sua atenção, a partir da década de 1930, para a montanha. Já tendo sido ocupados os trechos mais acessíveis dos vales, as praias e as planícies costeiras (com os maiores rios da Zona Norte e da Zona Sul totalmente canalizados), a expansão dirige-se à montanha. As favelas foram o passo inicial e, em seguida, também as classes mais ricas ocupam encostas valorizadas do Leblon, Gávea e Lagoa Rodrigo de Freitas, fugindo dos bairros mais populosos para, segundo GALVÃO (1992:19),

*“usufruir a tranquilidade e amenidades climáticas e paisagísticas da escarpa, em residências de alto padrão arquitetônico, abrigadas em meio à floresta”.*

Nas últimas décadas, além do crescimento linear, o Rio de Janeiro experimenta um crescimento interior, na luta contra o aumento das distâncias. Isso se dá através do desmonte das abas dos morros e da extensão do arruamento até a base das encostas, como se verifica recentemente no Rio Comprido, na Tijuca e no Grajaú, além, é claro, do aumento substancial das favelas, tanto em área como em número.

### **3 . O IMPACTO DA URBANIZAÇÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS**

As primeiras intervenções da espécie humana buscando o controle do ambiente ocorreram sobre os rios, devido à importância da água como recurso para a sua atuação e seu desenvolvimento sobre a superfície terrestre. Ao longo da história, houve o aumento progressivo do número e da intensidade dessas intervenções, principalmente em função da facilidade de realizar modificações de grande porte no ciclo hidrológico local, além, é claro, do aumento do contingente humano no planeta (DREW, 1986; MANNING, 1992).

Hoje, podemos afirmar que existem pouquíssimos sistemas de drenagem com um caráter inteiramente natural. Sem dúvida, as maiores modificações são causadas pelo processo de urbanização, que altera profundamente a ocupação e o uso do solo (AYOADE, 1988; BAU, 1983; DREW, 1986).

A intensidade das mudanças ocorridas no ambiente em virtude da urbanização está fundamentada em dois pontos: a proporção de área impermeável e o sistema de drenagem (DREW, 1986; HOLLIS, 1975; KELLER, 1982; TURK, 1971). HOLLIS (1975) e KELLER (1982) criticam os autores que limitam-se simplesmente a considerar na urbanização a extensão das áreas impermeabilizadas, ignorando os graus de desenvolvimento urbano e o aumento da rede de

drenagem. KELLER (1982) apresenta a tabela a seguir (Tab. 1), onde estão relacionados alguns tipos de urbanização e de cobertura do solo ur-

bano em Illinois (EUA). Tal situação, com maior ou menor diferenciação, repete-se em qualquer ambiente tipicamente urbano.

**TABELA 1 - COBERTURA DO SOLO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE URBANIZAÇÃO PARA PEQUENAS BACIAS DE DRENAGEM**

TIPO DE COBERTURA	AREA PAVIMENTADA (%)	GRAMINEAS (%)
Residencial (casas)	23	77
Residencial (apartamentos)	60	40
Comercial	75	25

Fonte: Keller, 1982

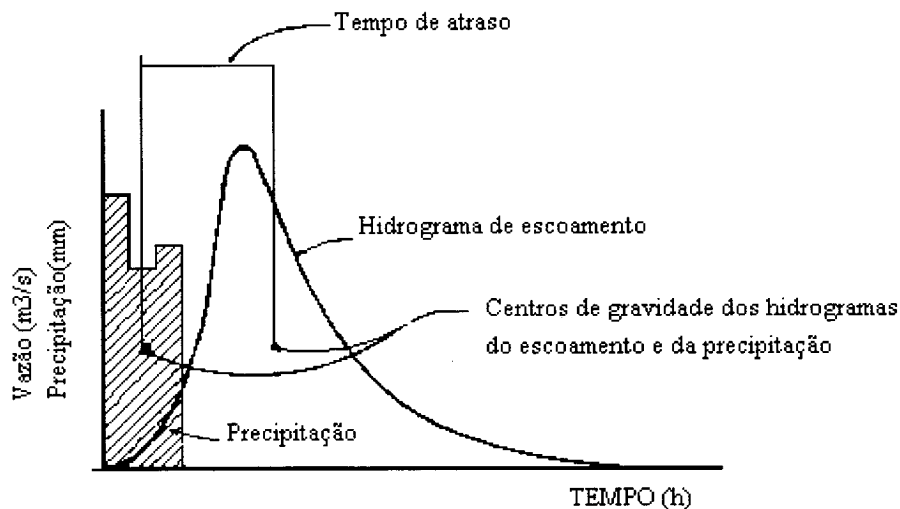
São diversos os estudos que buscam uma melhor compreensão das relações existentes entre o processo de urbanização e o aumento do escoamento superficial e, conseqüentemente, o aumento da frequência e magnitude de cheias. Um simples monitoramento dos registros hidrológicos nos conduz a ratificar essas relações, caso haja uma série de dados que atinja os diferentes momentos de expansão do ambiente urbano dentro da bacia de drenagem. No entanto, é necessário o entendimento dos fatores responsáveis por tais alterações no sistema hidrológico.

Um dos mais importantes trabalhos sobre os efeitos hidrológicos da urbanização é o de LEOPOLD (1968), que tem como base estudos realizados por diversos autores. Neste trabalho, o autor cita quatro efeitos (inter-relacionados, po-

rém separáveis) nas características hidrológicas de uma área, resultantes de mudanças no uso do solo, devido à urbanização :

- alteração do escoamento total, em função do aumento do volume de escoamento superficial; isto ocorre através da diminuição da capacidade de infiltração do solo, ou seja, em função do aumento de áreas impermeáveis e de serviços de águas pluviais;
- modificação das características do hidrograma de cheia (Fig. 1), com o aumento do pico de cheia e a diminuição do tempo de atraso, devido à geração de escoamento de forma mais rápida;
- alterações na qualidade da água; e
- alteração na possibilidade de utilização da água com fins recreativos e panorâmicos.

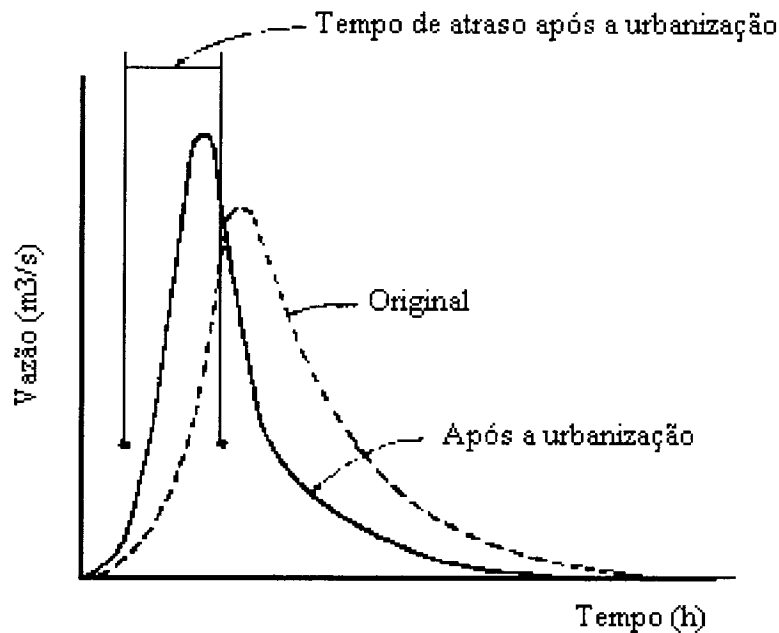
**FIGURA 1 - HIDROGRAMA COM A DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS SIGNIFICATIVOS (LEOPOLD, 1968).**



Segundo LEOPOLD (1968), é notado o aumento das áreas impermeabilizadas de acordo com a diminuição do tamanho dos lotes urbanos. Isto nos indica uma diferenciação ou estágios dentro do processo de urbanização, conforme os percentuais de área impermeabilizada, o que implicará diferentes respostas do solo às precipitações incidentes.

Em relação ao hidrograma gerado em áreas urbanas, o autor aponta o incremento dos picos de cheia para uma mesma chuva, em relação aos valores alcançados quando a bacia de drenagem encontrava-se em estado natural (Fig. 2). Outras mudanças ocorrem em função do aumento do volume de escoamento superficial: a diminuição da recarga dos lençóis freáticos e também dos níveis de vazão mínimas.

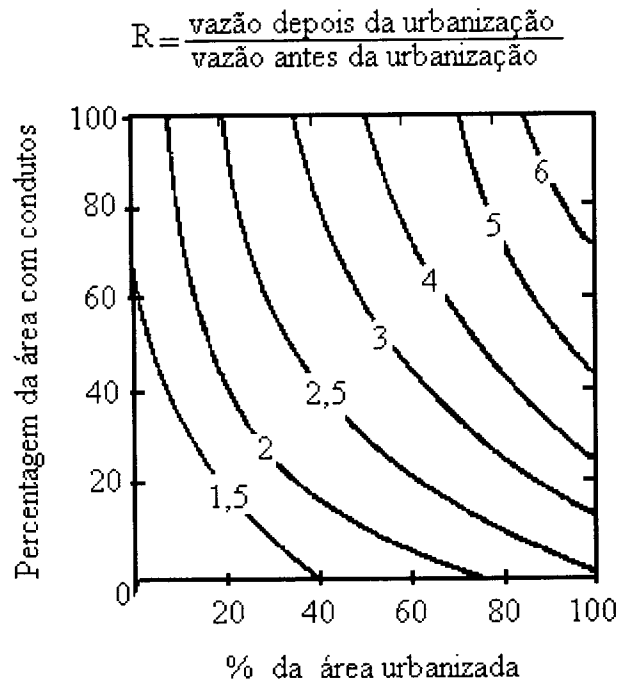
FIGURA 2 - MODIFICAÇÕES NO HIDROGRAMA DE CHEIA EM FUNÇÃO DA URBANIZAÇÃO (LEOPOLD, 1968).



A Figura 2 também mostra no hidrograma a diminuição do tempo de atraso após a urbanização. Tempo de atraso é definido como o intervalo de tempo entre o centro de massa da precipitação e o centro de massa da hidrógrafa resultante (LEOPOLD, 1968). Este fato decorre da maior velocidade do escoamento superficial sobre ruas e telhados do que sobre áreas de vegetação natural. A construção de canais artificiais, especialmente as redes pluviais, também influem na diminuição do tempo de atraso. Como diminui o tempo necessário para um determinado volume de água escoar na superfície, o pico de cheia aumenta.

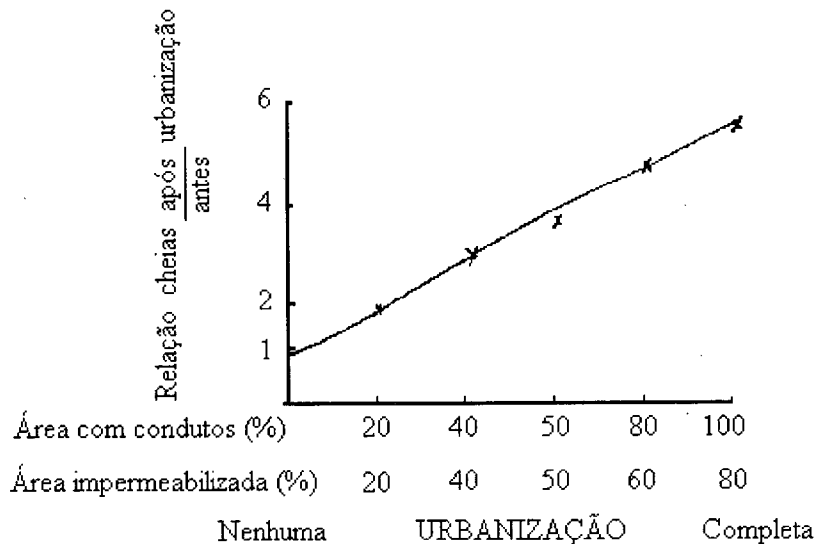
LEOPOLD (1968) conclui seus estudos apresentando dois métodos para investigar os efeitos da urbanização nas condições hidrológicas de uma bacia de drenagem. O primeiro baseia-se num gráfico (Fig. 3) que mostra o percentual de área servida por rede de drenagem em relação ao percentual de área impermeabilizada através da urbanização; as linhas do gráfico mostram a proporção entre as descargas de pico sob condições urbanas e sob condições rurais ou sem urbanização. Cada gráfico será diferente para diferentes extensões de áreas de drenagem e para diferentes frequências de fluxo (no caso desse gráfico, um ano).

**FIGURA 3 - VARIAÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA EM RELAÇÃO AOS PERCENTUAIS DE ÁREA URBANIZADA E DE ÁREA COM CONDUTOS (LEOPOLD, 1968).**



O segundo método utiliza a relação entre os graus de urbanização e a frequência em que a capacidade original do canal poderá ser excedida (Fig. 4).

**FIGURA 4 - RELAÇÃO ENTRE AS CHEIAS ANTES E APÓS A URBANIZAÇÃO E A VARIAÇÃO DO PROCESSO DE URBANIZAÇÃO (LEOPOLD, 1968).**



BAU (1983), apresentando um estudo realizado na área metropolitana de Houston (EUA), mostra que, sob os efeitos da urbanização, a superfície impermeabilizada cresceu de 1 para 35 por cento e a vazão de pico sofreu um aumento de 9 vezes, para uma cheia com um período de retorno de 2 anos, e 5 vezes para uma cheia com período de retorno de 50 anos.

Em seu trabalho, TURK (1971) enumera cinco efeitos do desenvolvimento urbano no sistema hidrológico :

- a) o volume de escoamento superficial para uma determinada chuva sofre um acréscimo, devido à grande extensão de áreas impermeabilizadas;
- b) a água alcança a drenagem natural mais rapidamente, através de calhas, valas e esgotos que desembocam nos canais naturais ;
- c) os picos de cheia são aumentados substancialmente devido a (a) e (b); portanto, a frequência de cheias é nitidamente aumentada. Pontes têm a tendência de retardar o escoamento da água e de acumular entulhos em suas estruturas, o que aumenta a incidência de cheias;
- d) como resultado de construções e escavações, a produção de sedimentos é drasticamente multiplicada; e
- e) a recarga dos aquíferos é reduzida, o que resulta em menores descargas no período entre as precipitações.

Um estudo realizado no Texas (EUA) é apresentado por TURK (1971) e demonstra que o efeito da urbanização leva a uma diminuição do tempo de atraso e ao aumento das vazões máximas em valores entre 100 % e 300 % , em comparação aos que eram registrados antes do desenvolvimento urbano. O autor ainda indica o risco de intrusão de água salina nos aquíferos de algumas áreas costeiras, em função da diminuição dos níveis dos lençóis subterrâneos. COATES (1981) e AYOADE (1988) , além de destacarem o rebaixamento dos lençóis e as intrusões salinas, alertam também para a possibilidade de

subsistência de terrenos localizados acima das áreas de níveis freáticos rebaixados.

Além de descrever os já citados efeitos causados pela urbanização nas condições hidrológicas, PARK (1981) destaca a diminuição da rugosidade das superfícies no ambiente urbano e o conseqüente aumento da velocidade dos fluxos superficiais.

GUPTA (1984) expressa a atenção que os ambientes hidrológico e sedimentológico das regiões tropicais deveriam merecer, já que são áreas que podem sofrer alterações significativas, devido ao rápido crescimento urbano, às altas intensidades das precipitações e à falta de planejamento do uso do solo. Infelizmente, segundo o autor, os dados disponíveis, apesar de algumas vezes impressionantes, são ainda restritos em frequência e cobertura espacial. Apesar de existirem graves problemas ambientais causados pela urbanização em países tropicais, esses danos recebem uma prioridade distante e um pequeno reconhecimento por parte dos administradores e governantes.

HOLLIS (1975) relaciona o desenvolvimento de uma área urbana em uma bacia de drenagem com as drásticas mudanças ocorridas no uso do solo e afirma que os maiores efeitos desse processo no ciclo hidrológico são sentidos durante as cheias. O autor relaciona diversas alterações que se seguem à impermeabilização: diminuição das áreas onde a chuva pode infiltrar no solo; a interceptação e o armazenamento em depressões também se reduzem; o fluxo superficial forma-se mais rapidamente nas superfícies impermeabilizadas sem rugosidade. HOLLIS (1975) ainda acrescenta que a construção da rede de escoamento pluvial invariavelmente aumenta a densidade de drenagem da área e reduz o tempo em que o fluxo superficial alcança os canais de drenagem. Concluindo, o autor cita o aumento da parcela de chuva que se transforma em escoamento superficial (precipitação efetiva) e os fluxos de cheia que ficam, portanto, maiores e mais rápidos do que no período anterior à urbanização.

O trabalho de HOLLIS (1975), além de reunir resultados de pesquisas direcionadas à avaliação das relações entre cheia e urbanização, faz críticas ao estudo publicado anos antes por LEOPOLD, em 1968. A primeira crítica é em relação ao gráfico mostrado na Figura 3, que, segundo Hollis, é de limitado valor para o planejamento urbano, já que não pode ser utilizado diretamente em bacias de drenagem com área maior que 1 milha quadrada (aproximadamente 2,59 km<sup>2</sup>) e nem em cheias com um período de retorno mais longo. Também o gráfico mostrado na Figura 4 merece críticas, como, por exemplo, o fato de não incluir as cheias extremas, que causam prejuízos significativos. Apesar das críticas, o autor ressalta a importância do trabalho de Leopold, ressaltando sua valiosa contribuição na síntese de um grande número de estudos e pesquisas e na produção de uma série de diagramas e gráficos de aplicação prática.

Por fim, Hollis conclui seu trabalho apresentando uma série de considerações :

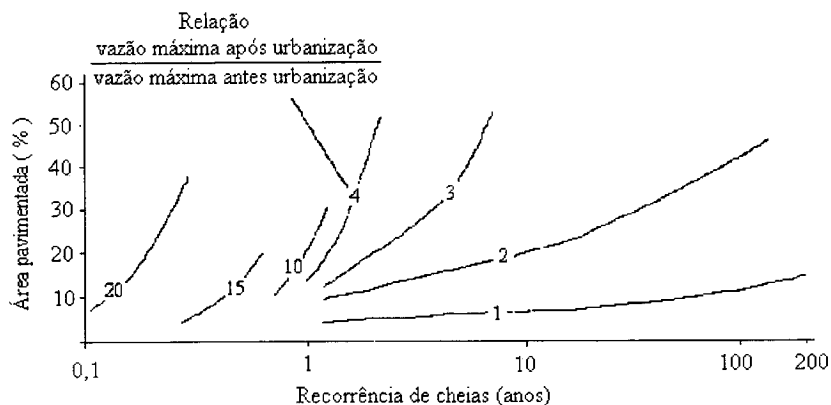
- cheias com período de retorno de 1 ano (ou mais) não são afetadas sensivelmente pela impermeabilização de 5 % da área da bacia de drenagem;
- as cheias pequenas podem ser incrementadas em dez vezes ou mais, dependendo do grau de urbanização;
- cheias com um período de retorno de 100 anos podem ser dobradas de tamanho pela completa urbanização da bacia

de drenagem, se esta urbanização resultar em pelo menos 30 % de impermeabilização da bacia ;

- o efeito da urbanização declina em termos relativos com o aumento do intervalo de recorrência da cheia.

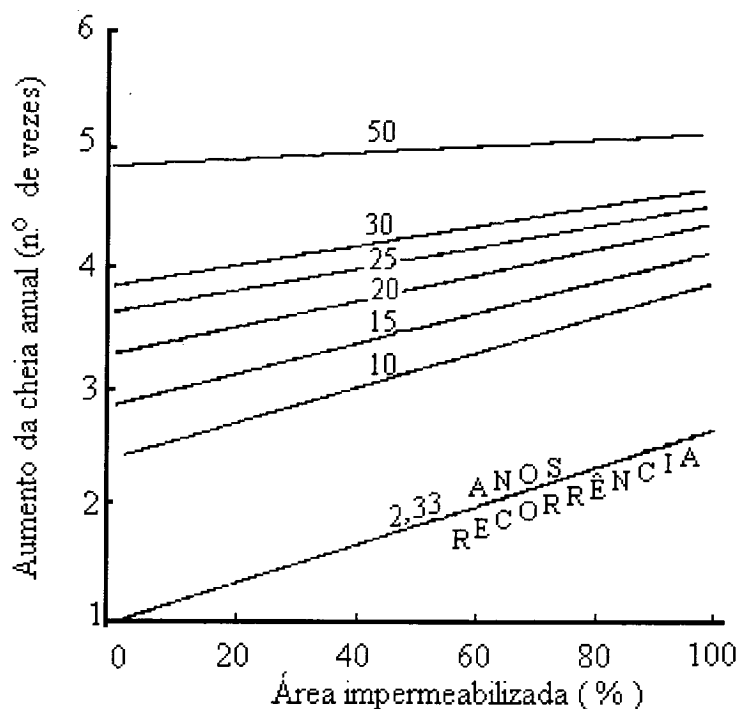
Esse último ponto está embasado pelo gráfico da Figura 5, onde é mostrado o aumento diferenciado nos valores de descarga para diferentes intervalos de recorrência, ou seja, a urbanização não afeta da mesma maneira as cheias com períodos de retorno diferentes: enquanto pequenas cheias podem ser incrementadas muitas vezes pela urbanização, as cheias maiores e raras, que causam graves prejuízos, não são significativamente afetadas pela construção de áreas urbanas dentro da bacia de drenagem. KELLER (1982) também conclui nessa mesma direção, de acordo com a Figura 6, onde se constata a pequena influência da urbanização nas cheias com grande intervalo de recorrência. O que explica essa conclusão é que, sob chuvas intensas ou com longa duração e elevada altura pluviométrica, os valores de infiltração serão pequenos, seja pela superação da capacidade de infiltração pela intensidade da chuva, seja pela saturação do solo de forma quase imediata, proporcionando, em ambos os casos, elevados volumes de escoamento superficial. Assim, essas chuvas com longo intervalo de recorrência irão gerar grandes cheias tanto em ambiente urbano como no rural.

FIGURA 5 - EFEITO DA URBANIZAÇÃO NA VAZÃO MÁXIMA (HOLLIS, 1975)





**FIGURA 6 - VARIAÇÃO DA FREQUÊNCIA DE CHEIAS COM O PERCENTUAL DE ÁREA IMPERMEÁVEL PARA CHUVAS COM DIFERENTES TEMPOS DE RECORRÊNCIA (KELLER, 1982).**



No Brasil, e mais especificamente no Rio de Janeiro, são poucos os estudos realizados com o propósito de investigar os efeitos da urbanização no sistema hidrológico. COELHO NETTO (1987) desenvolve trabalhos ligados à circulação da água em ambientes florestais no Maciço da Tijuca, localizado no município do Rio de Janeiro (RJ). Nesses ambientes, uma alteração de grande importância é a remoção da vegetação. No solo, com a ausência deste agente de distribuição da água através de suas camadas, altera-se o escoamento superficial, com mudanças na natureza e na intensidade da produção de fluxo, que, em áreas desmatadas, passa a ser gerado logo após o início da precipitação (COELHO NETTO, 1987). Isso se deve à diminuição da permeabilidade do solo e à compactação de suas camadas superficiais, modificando, ainda, os valores de infiltração.

Os estudos desenvolvidos por SANTOS *et al* (1991) analisam as alterações no uso do solo urbano no município do Rio de Janeiro, com

base em mapeamentos realizados em diversos períodos. Aos diferentes usos do solo foram inferidos os tipos de fluxos superficial e subsuperficial operantes e, a partir daí, foi realizada uma análise da variação da extensão de cada tipo de fluxo. Percebeu-se a diminuição das áreas dominadas por fluxos lentos e o sensível aumento das áreas controladas por fluxos rápidos/superficiais. O processo de urbanização, através do desmatamento, da impermeabilização e da favelização, é o principal responsável por tais modificações no comportamento hidrológico dessas áreas do município do Rio de Janeiro. Deve-se também analisar as modificações dentro da própria urbanização, como o incremento de habitações multifamiliares e, conseqüentemente, a verticalização das construções. COSTA(1995); LOPES *et al* (1996); MONTANHA *et al* (1996); COSTA (1997); COSTA *et al* (1997) E MENDONÇA *et al* (1997) apresentam estudos desenvolvidos no município do Rio de Janeiro, em bacias de drenagem localizadas nos maciços da Tijuca e da

Pedra Branca, nos quais mostram alterações nos hidrogramas de cheias e na produção de sedimentos transportados pelos canais e pelas enxurradas, causadas por processos de expansão urbana sobre as encostas desses maciços.

#### **4 . AS MODIFICAÇÕES FISIográficas E A URBANIZAÇÃO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO**

Ao descrever o processo de evolução geomorfológica do Rio de Janeiro, RUELLAN (1953) nos mostra o quadro que recebeu os portugueses no século XVI: vales amplos e planícies de formação recente, mal consolidadas, nas quais se destacavam alinhamentos e morros isolados. Daí até a metrópole nacional do século XX, uma série de modificações fisiográficas tiveram lugar no sítio urbano inicial, as quais alteraram profundamente as características originais do ecossistema local. A transformação foi (e é) tão intensa, a custos tão elevados, que repetidamente vem à pauta a discussão sobre a propriedade ou não da instalação e crescimento da cidade do Rio de Janeiro nesse sítio urbano original.

LAMEGO (1964) descreve com detalhes a intensa luta da cidade e de seus habitantes contra o brejo, o mar e a montanha, no processo de crescimento urbano. A primeira fase desta luta foi contra o brejo.

Com exceção das partes mais baixas das encostas dos morros, que foram consolidadas por enxurradas, a planície da então recém-fundada cidade do Rio de Janeiro era generalizada através de mapas e cronistas como brejos, alagadiços e lagoas. Com a carência de solo enxuto para expansão urbana, nos primeiros séculos as planícies e as lagoas iam sendo dessecadas sem técnicas saneadoras: colocava-se, simplesmente, o aterro por cima (LAMEGO, 1964).

Assim, sucedem-se os aterros, tanto para aumentar a área de crescimento urbano como também com fins saneadores, já que os pântanos foram causa de muitas moléstias que afligiram a

cidade, segundo ANTUNES (1962). De acordo com LAMEGO (1964:163), praticamente toda a planície onde se localizava o centro comercial do Rio de Janeiro, do Cais do Porto à Praça Paris e desde a rua Primeiro de Março ao Campo de Santana, se assenta “*sobre uma esponja de velhos paludes aterrados*”.

Junto com as planícies, diversas lagoas foram aterradas, algumas com navegabilidade, como a do Boqueirão (atual rua Evaristo da Veiga), da Sentinela (rua do Senado), da Lampadosa ou do Polé (Praça Tiradentes), da Pavuna (Igreja do Rosário), do Desterro (entre o morro de Santo Antônio e o bairro de Santa Tereza), da Carioca (Praça Duque de Caxias) e de Santo Antônio (Largo da Carioca), entre outras.

Como conseqüência, o volume de água doce que desce diretamente para a Baía de Guanabara sofreu um aumento, já que diminuíram as áreas de evaporação dos mangues, planícies pantanosas e lagoas, devido aos aterros realizados (LAMEGO, 1964), além de ocorrerem modificações nos tipos de escoamento da água em superfície, já que a área coberta por impermeabilização teve um incremento elevado (SANTOS *et al*, 1991).

Mesmo após vencer a batalha contra os mangues e pântanos, a cidade ainda sentia a falta de espaço para a sua expansão, principalmente ao final do século XIX, quando se deu acelerado crescimento populacional. Restava, então, conquistar os espaços necessários ao mar e às montanhas.

Sucessivos aterros foram realizados, numa modificação constante do litoral carioca, que hoje se encontra totalmente diferente daquele encontrado pelo colonizador. Dos aterros surgiram todo o bairro da Urca, a área portuária e o Parque do Flamengo, com a linha de costa, que alcançava a rua da Glória, o Passeio Público e a rua Praia do Flamengo, recuando centenas de metros. O antigo Saco de São Diogo, vastíssimo manguê que alcançava de São Cristóvão até o Santo Cristo, se reduz, hoje, ao Canal do Manguê, cujas obras terminaram em 1857.

As modificações continuam: as desembocaduras dos rios Maracanã, Trapicheiros, Joana e Comprido recuaram muitas dezenas de metros já que, originalmente, localizavam-se nas proximidades da atual Praça da Bandeira; além disso, as obras do porto avançaram de tal modo sobre a Baía de Guanabara que absorveram até várias ilhas afastadas da costa (BACKHEUSER, 1946).

Estes aterros trouxeram mudanças para o escoamento das águas dos rios. Com essa expansão, temos o alongamento do percurso das águas e a diminuição da declividade já excessivamente fraca (RUELLAN, 1953). Com uma distância maior a percorrer, a velocidade das águas se reduz mais ainda, pois esta já sofria considerável diminuição, em função da abrupta ruptura de declive entre as íngremes encostas do Maciço da Tijuca e a planície. Isto agrava o problema do escoamento pela micro-drenagem, porque, com a diminuição da velocidade e da competência, ocorre uma maior deposição de sedimentos que geralmente cobrem os ralos e entopem as caixas de retenção, reduzindo a capacidade de escoamento das galerias pluviais, quando não bloqueando-o (AMARANTE, 1960).

Paralelamente às conquistas de faixas de terra e mar, houve o ataque à montanha, dado de duas formas: pelo desmonte e pela ocupação das encostas.

O desmonte, apesar de ter uma justificativa saneadora (segundo os médicos da época "para melhorar a salubridade"), vai propiciar, na verdade, o ganho de espaço de duas maneiras: pela área resultante da destruição dos morros (houve o predomínio do desmonte nos morros do centro da cidade) e pelos aterros que serão realizados com o material resultante da destruição.

A ocupação da encosta se dará primeiramente pelas culturas da cana-de-açúcar e do café, com a devastação da floresta tropical nativa. Por volta de 1870, o Major Archer realiza o reflorestamento do Maciço da Tijuca, até que no decorrer do século XX reinicia-se o desmatamento e a ocupação das encostas, só que agora através de habi-

tações. Apesar do predomínio das favelas e casas de população de baixa renda, também as classes mais privilegiadas vão ocupar as encostas com suas residências, principalmente em bairros de Zona Sul, como Laranjeiras, Cosme Velho, Leblon, Gávea e Lagoa Rodrigo de Freitas.

Com as encostas desmatadas, vai ocorrer a intensificação dos processos erosivos e, por ocasião das intensas chuvas da estação mais úmida, acontecem freqüentemente desmoronamentos e quedas de barreiras. Além disso, há o aumento da sedimentação nas planícies, contribuindo para as inundações, já que as galerias de águas pluviais (muitas mal dimensionadas) são insuficientes para dar vazão ao volume de água e sedimentos que desce das encostas (BERNARDES, 1966; CARVALHO, 1985).

A isto deve ser acrescentado que a substituição da floresta por mansões, favelas, arruamentos, entre outras obras de urbanização, trouxe alterações na geração de escoamento superficial e subsuperficial, modificando profundamente a infiltração e o deflúvio, ocasionando um aumento no total da precipitação útil. Além disso, os próprios sistemas de águas pluviais e de esgotos contribuem para a maior rapidez e tamanho das vazões de pico, já que muitas galerias pluviais e de esgotos têm como destino os canais principais dos rios cariocas.

## 5 . PLANEJAMENTO URBANO E OCORRÊNCIA DE ENCHENTES NO RIO DE JANEIRO

O planejamento visando à ordenação do solo urbano merece pouca atenção por parte dos poderes públicos, principalmente em países subdesenvolvidos (GUPTA, 1984). A maioria dos planos elaborados até então não atenta para a devida importância da aglomeração urbana como agente modificador do ciclo hidrológico. Além disso, com freqüência, ocorre nesses planos o dimensionamento de obras sem o conhecimento da evolução da ocupação do solo ou sem considerar futuras ocupações (BAU, 1983).

No tocante às bacias hidrográficas, o planejamento de uso do solo urbano deve ter uma preocupação específica com as pequenas bacias urbanas (que são causadoras de grandes prejuízos, quando ocorrem as inundações), já que é aí que acontecem as modificações mais intensas e, conseqüentemente, as maiores alterações no ciclo hidrológico. No entanto, é claro, não se exclui o planejamento a nível regional (e até mesmo nacional), que assegure uma boa utilização dos recursos hídricos (BAU, 1983).

Dentro dessa ótica, BAU (1983) recomenda dois tipos de medidas a serem tomadas em relação a uma política de proteção contra cheias:

- (a) Medidas estruturais, como a construção de diques marginais e barragens para a regularização das vazões dos rios.
- (b) Medidas não-estruturais, como o zoneamento de vales e planícies inundáveis, com a determinação de usos apropriados; sistemas de previsão e alerta de ocorrência de cheias; e a preparação de programas de emergência.

Diversos autores fazem esta divisão entre medidas estruturais e não-estruturais, como TURK (1971), COATES (1981), KELLER (1982) e TUCCI (1994), entre outros.

KELLER (1982) descreve algumas estruturas utilizadas na prevenção de cheias, como diques marginais, reservatórios, bacias de retenção e a canalização de trechos de rios. No entanto, o autor alerta para a falsa sensação de segurança que estas estruturas tendem a produzir, caso os estudos de cheias se limitem a elas.

A combinação da prevenção das cheias (medidas estruturais) com a regulamentação do uso do solo das planícies de inundação (medidas não-estruturais) é, para KELLER (1982), a melhor e mais efetiva solução para o fenômeno das cheias. O primeiro passo para a regulamentação do uso do solo, para o autor, é a elaboração de mapas de enchentes, mostrando as áreas inundadas para chuvas com determinada freqüência. Entretanto, a necessidade de obtenção de dados

hidrológicos e de fotografias aéreas e imagens de satélite podem encarecer e dificultar os trabalhos.

TURK (1971) também sugere o zoneamento de áreas inundáveis, com a ocupação destes locais por estacionamentos, parques, áreas verdes, ou seja, espaços abertos. Além disso, o autor propõe um ensino à população, com esclarecimentos sobre intervenções no ciclo hidrológico, para proporcionar sua participação efetiva no processo de aplicação e manutenção do zoneamento proposto.

COATES (1981) faz a proposta de zoneamento do uso e ocupação do solo urbano, com a classificação de áreas vulneráveis às cheias. Outras proposições do autor são programas de educação e percepção dos riscos de cheias e um sistema de manejo das cabeceiras de drenagem, com o reflorestamento e/ou plantio das encostas, além da prática de conservação do solo e construção de diques e barragens.

TUCCI (1994) é outro autor que defende a combinação de medidas estruturais e não-estruturais em busca de uma melhor solução, afirmando que o processo de controle de cheias deve se iniciar pela regulamentação do uso do solo urbano. Dentro das medidas estruturais, o autor mostra, entre outros exemplos, os reservatórios de detenção, que são áreas temporárias de retardo da vazão, e os hidrogramas gerados a partir de sua utilização.

No Brasil, temos casos isolados, como em Curitiba, onde foi elaborada a Lei de Preservação dos Fundos de Vale, que cria os conceitos de faixas de drenagem e de setores especiais de fundo de vale (CETEC, 1984).

Essas faixas de drenagem possuiriam a seção transversal capaz de escoar as águas pluviais referentes à área a montante do ponto considerado. A vazão seria determinada considerando a bacia contribuinte a este ponto totalmente urbanizada e ocupada. Existiriam, ainda, áreas não-edificáveis proporcionais à área contribuinte a cada ponto. Os setores especiais de fundo de vale seriam as áreas localizadas nas imediações

ou nos fundos de vale sujeitos às inundações. Estas áreas teriam seus usos limitados à recreação e ao lazer.

Outro exemplo brasileiro é o do município de Estrela (RS), onde foi implementado, dentro do Plano Diretor, a legislação de zonas de uso especial, definidas pela restrição da ocupação e de construções abaixo de determinadas cotas estabelecidas no zoneamento de inundação elaborado anteriormente. Está prevista ainda nessa legislação a troca de terrenos sujeitos a inundações por áreas mais valorizadas, adquirindo-se, assim, áreas de risco para uso público (TUCCI 1994).

## 6 . CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento da cidade do Rio de Janeiro, marcado até os dias de hoje por graves intervenções e modificações nas características naturais do sítio urbano original, vai influenciar de forma definitiva o comportamento das bacias de drenagem localizadas em seu município. A população carioca sofre de modo constante os efeitos dessas intervenções, através, por exemplo, do assoreamento de canais e do aumento dos volumes de escoamento superficial, que ocasionam o incremento dos fenômenos de cheias e enchentes, além da ocorrência de deslizamentos e desmoronamentos nas encostas dos maciços montanhosos.

Analisando os principais trabalhos relacionados às modificações do comportamento hidrológico de bacias de drenagem em função da urbanização, pode-se perceber que a temática ainda tem muitos caminhos a serem percorridos, principalmente no nosso país e, mais especificamente, no município do Rio de Janeiro. Através do desenvolvimento de pesquisas nesse campo de estudo, a comunidade científica pode trazer contribuições ao equacionamento do fenômeno das enchentes e de seus efeitos. Além disso, novas discussões devem ser iniciadas sobre a inclusão dessas pesquisas no planejamento e a ordenação do uso do solo nas cidades, de forma a não negligenciar ou minimizar a influência da urbanização no funcionamento do ciclo hidrológico no ambiente urbano.

Um outro aspecto a ser analisado é a incorporação de outras tecnologias aos estudos ligados à temática, como os modelos computacionais, a interpretação de imagens de satélite e a aplicação de técnicas de geoprocessamento, que podem trazer novas interpretações e o aprimoramento de conceitos existentes. É importante frisar que nos países ricos há um crescente desenvolvimento de softwares relacionados a estudos em bacias de drenagem urbanas, confirmando uma tendência de pesquisa direcionada à identificação e à solução de problemas gerados a partir de impactos no comportamento hidrológico dessas bacias.

## RESUMO

*Este artigo analisa as intervenções ocorridas em bacias de drenagem da cidade do Rio de Janeiro decorrentes do seu processo de urbanização. Ao longo do crescimento da cidade, caracterizado por profundas mudanças na paisagem, pode-se perceber as diversas alterações no comportamento hidrológico dessas bacias, intensificando os fenômenos das cheias e das enchentes.*

## PALAVRAS-CHAVE

*Comportamento hidrológico - Bacia hidrográfica - Urbanização*

## ABSTRACT

*This article analyses the interventions of urbanization process in Rio de Janeiro City on drainage basins. Along of the urban development, is perceptible a succession of changes on the components of hydrological cycle. These changes intensify the floods problems in urban areas.*

## KEYWORDS

*Hydrological response- Drainage basin - Urbanization process*

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, M. A. A cidade do Rio de Janeiro : evolução urbana, contradições do espaço e estratificação social. In BERNARDES, J. A. ( Org.). *Rio de Janeiro* - painel de um espaço em crise. Rio de Janeiro: UFRJ. 1986. 122 p.
- \_\_\_\_\_. *Evolução urbana do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: IPLANRIO / Jorge Zahar. 1987.147 p.
- AMARANTE, A. P. Problemas de erosão e do escoamento das águas na Cidade do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geografia*. Rio de Janeiro, ano XXII, nº 4. 1960.
- ANTUNES, D.P. Transformações do quadro urbano e evolução do Rio de Janeiro. In : *Aspectos da geografia carioca*. Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Geografia. 1962. 284 p.
- AYOADE, J.O. *Tropical hydrology and water resources*. London: Macmillan Publishers, 1988. 275 p.
- BACKHEUSER, E. Geografia carioca: o litoral da Guanabara. *Boletim Geográfico*. Rio de Janeiro, ano IV, nº 4. 1946.
- BAU, J. *Recursos hídricos e gestão urbana*. Lisboa: LNEC, 1983. 20 p.
- BENCHIMOL, J.L. *Pereira Passos: um Hausmann tropical*. Rio de Janeiro: Secretaria Municipal de Cultura, Turismo e Esportes, 1992. 328 p.
- BERNARDES, L.M.C. Importância da posição como fator do desenvolvimento do Rio de Janeiro. *Anais da Associação dos Geógrafos Brasileiros*. São Paulo, v. 11. 1959.
- \_\_\_\_\_. Função defensiva do Rio de Janeiro e seu sítio original. *Boletim Carioca de Geografia*. Rio de Janeiro, v.13, nº 1-2, p. 92-97. 1960.
- \_\_\_\_\_. Expansão do espaço urbano no Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geografia*. Rio de Janeiro, ano XXIII, nº 3. 1961.
- \_\_\_\_\_. Notas sobre as características fisiográficas do Estado da Guanabara. *Boletim Geográfico*. Rio de Janeiro, ano XXV, nº 192, 1966.
- CARVALHO, E.T. Aspectos geológico-geotécnicos e suas relações com elementos da natureza sócio-econômica e cultural do sítio urbano de Belo Horizonte. *Simpósio Situação Ambiental e Qualidade de Vida na Região Metropolitana de Belo Horizonte - MG*. Belo Horizonte, 1985.
- CETEC. *Seminário sobre enchentes urbanas*. Belo Horizonte, 1984.
- COATES, D.R. *Environmental geology*. New York : John Wiley & Sons, 1981. 701 p.
- COELHO NETTO, A. L. Overlandflow production in a tropical rainforest catchment : the role of litter cover. *Catena*. v. 14, nº 3, 1987.
- COSTA, A.J.S.T. A influência da urbanização no comportamento hidrológico de bacias de drenagem - Município do Rio de Janeiro - RJ. *VII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada I Fórum Latino-Americano de Geografia Física Aplicada*. Curitiba, 1997.
- COSTA, A.J.S.T.; RIBEIRO, M.F. & SANTOS, A.A.M. Geração de enxurradas e produção de sedimentos no Maciço da Tijuca - Município do Rio de Janeiro (RJ). *IV Simpósio de Geografia Física Aplicada*. Porto Alegre, 1991.
- \_\_\_\_\_. O uso do geoprocessamento na evolução dos processos hidrogeomorfológicos atuantes em encostas do maciço da Tijuca - RJ. *VII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada I Fórum Latino-Americano de Geografia Física Aplicada*. Curitiba, 1997.
- DREW, D. *Processos interativos homem - meio ambiente*. São Paulo: Difel, 1986. 206p.
- GALVÃO, M.C.C. Focos sobre a questão ambiental no Rio de Janeiro. In Abreu, M.A. (Org.). *Natureza e sociedade no Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Secretaria Municipal de Cultura, Turismo e Esportes, 1992. 352 p.
- GREGORY, K. J. *A natureza da Geografia Física*. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 1992. 367 p.
- GUPTA, A. Urban hydrology and sedimentation in humid tropics. *Development and applications of geomorphology*. New York, 1984.
- HOLLIS, G.E. The effect of urbanization on floods of different recurrence interval. *Water Resources Research*. v. 11, nº 3, p. 431-435, 1975.
- KELLER, E. A. *Environmental geology*. Columbus: Charles E. Merrill Publishing Co.,1982. 480 p.
- LAMEGO, A.R. *O Homem e a Guanabara*. Rio de Janeiro: IBGE / CNG, 1964. 249p.
- LEOPOLD, L.B. Hydrology for urban land planning - a guidebook on the hydrologic effects of urban land use. *U.S.G.S. Circular*. N. 554, p. 1-18, 1968.
- LOPES, G.N.; NOGUEIRA, L.S.; COSTA, A.J.S.T. A Influência do Uso do Solo no Comportamento Hidrológico e na Produção de Sedimentos na Bacia do Rio Maracanã - Rio de Janeiro (RJ). *Sociedade e Natureza*. Ano III, nº 15, p. 421-425, jan/dez.1996.
- MANNING, J.C. *Applied principles of hydrology*. New York: Macmillan Publishing Co., 1992. 294 p.
- MENDONÇA, J.R.; SOUZA, A.B.; TEIXEIRA, L.G.E.O; BARBOSA, D.R.; MONTANHA, A.C.F.E.; COSTA, A.J.S.T. A Importância do estudo das mudanças do uso do solo e sua influência sobre as bacias de drenagem urbanas. *VII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada I Fórum Latino-Americano de Geografia Física Aplicada*. Curitiba,1997.

- \_\_\_\_\_. Análise Comparativa de Bacias de Drenagem Urbanas em Função de Respostas às Precipitações Incidentes. *Sociedade e Natureza*. Ano III, n° 15, p. 431-435, jan/dez.1996.
- PARK, C.C. Man, river systems and environmental impacts. *Progress in physical geography*. v. 5, n. 1, p. 1-31, 1981.
- RUELLAN, F. Estudos geomorfológicos na zona urbana do Rio de Janeiro. *Boletim Carioca de Geografia*. Rio de Janeiro, ano VI, n° 3-4, 1953.
- SANTOS, A.A.M.; COSTA, A.J.S.T.; RIBEIRO, M.F. Hidrogeomorfologia como instrumento no planejamento do solo. *III Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente*. Londrina, 1991.
- TUCCI, C.E.M. Enchentes urbanas no Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia - Caderno de Recursos Hídricos*. Rio de Janeiro, v. 12, n° 1, p.117-136, 1994.
- TURK, L.J. *Hydrology in the urban environmental*. Austin: University of Texas - Department of the Geological Sciences, 1971. 37 p.

