

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

ANÁLISE HIDROLÓGICA DE DUAS SUB-BACIAS URBANAS

-São Carlos, SP

Danielle de Almeida Bressiani¹; Marcio Henrique Bertazi², João Luiz Boccia Brandão³ & Eduardo Mario Mendiondo⁴

RESUMO – O processo histórico de ocupação do espaço cria sérios problemas que levam a um quadro ambiental atual bastante crítico, no qual se destacam altas taxas demográficas de ocupação, poluição ambiental, deficiência em saneamento básico e inundações. As inundações urbanas resultam em prejuízos de diversas ordens, e na morte de milhares de pessoas por ano. O estudo de bacias urbanas é de grande importância para que este quadro mundial possa ser revertido. Este trabalho busca discutir a gestão integrada dos recursos hídricos e governança de água, entrando em legislações urbanas e ambientais a respeito dos recursos hídricos, trazendo a discussão sobre o plano diretor de São Carlos-SP e em seguida visa estudar a hidrologia urbana da cidade de São Carlos, SP, com a aplicação do software de Análise de Bacias Complexas, ABC 6, da Escola Politécnica de São Paulo, a duas sub-bacias urbanas de São Carlos, assim como fazer uma análise de sensibilidade da vazão de pico em relação ao número de curva (CN). Foi possível observar a influência da urbanização no aumento do escoamento superficial e a variação das vazões de pico das bacias em relação a alterações do número de curva, apresentando, portanto, que o modelo é altamente sensível ao parâmetro CN.

ABSTRACT – The historical process of the soil occupation creates serious problems that lead to a highly critical current environmental context, in which stand high demographic rates, environmental pollution, deficient sanitation and floods. Urban flooding results in damage of various orders, and the deaths of thousands of people each year. The study of urban basins is of great importance for this global framework to be reversed. This paper discusses the integrated management of water resources and governance of water entering in Brazilian urban and environmental laws regarding water resources, bringing the discussion of the Master Plan of São Carlos-SP, and then aims to study the hydrology of the town of São Carlos, SP, with the application of the software Análise de Bacias Complexas, ABC 6 of the Escola Politécnica de São Paulo, for two urban sub-basins of São Carlos, as well as doing a sensitivity analysis of the peak discharge in relation to curve number (CN). We observed the influence of urbanization in the increase of runoff and the variation of the basins peak flows in relation to changes in the curve number, presenting, therefore, that the model is highly sensitive to the parameter CN.

PALAVRAS CHAVE: GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS, INUNDAÇÕES URBANAS, ANÁLISE DE BACIAS URBANAS.

¹ Doutoranda em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos -USP, Av. Trabalhador são-carlense, 400, S.Carlos/SP, Brasil. E-mail: daniebressiani@gmail.com;

² Mestrando em História e Sociedade da Universidade Estadual "Júlio de Mesquita Filho", campus Assis, Av. Dom Antonio, 2100, Assis, SP

^{3,4} Professor, Departamento de Hidráulica e Saneamento, EESC-USP. Av. Trabalhador são-carlense, 400, S.Carlos/SP, Brasil

1 – INTRODUÇÃO

Os problemas na gestão da água têm apenas aumentado, enfrentando conflitos entre montante e jusante de bacias; aumento de inundações e de desastres ambientais; pobreza, poluição e escassez hídrica. Com os efeitos do aquecimento global, as situações de disponibilidade hídrica e de inundações se tornam assuntos ainda mais delicados (Bressiani et al., 2010 e Sullivan, 2002).

O processo histórico de ocupação gera sérios problemas, em que ocorrem altas taxas demográficas, poluição, deficiência no saneamento básico, inundações e secas. Entre 1985 e 1999, as inundações foram responsáveis por 53% das mortes causadas por desastres ambientais no mundo, assim como geraram prejuízos equivalentes a US\$275 bilhões (Berz, 2000 e Bressiani et al, 2010).

Áreas urbanas com altas concentrações populacionais possuem maior vulnerabilidade e suscetibilidade aos riscos hidrológicos. Há a necessidade de tornar as cidades mais resilientes aos desastres ambientais e às mudanças climáticas, bem como de desenvolver ferramentas que proporcionem uma melhor gestão integrada das águas urbanas (Bressiani et al, 2012). A questão de inundações urbanas é inter-setorial e multidisciplinar, no entanto vem sendo tratada de forma setorializada, quando deveria ser tratada de forma integrada e holística. Por exemplo é inviável pensar em inundações urbanas sem integrar o planejamento do uso do solo com o de recursos hídricos, pois o uso do solo influencia o ciclo hidrológico; e também o manejo de águas superficiais e subterrâneas.

A gestão Integrada de Recursos Hídricos é uma gestão e desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos, que só pode ser atingida com a consideração de todos os diferentes usos da água de forma conjunta. Pois todos os usos da água possuem efeitos positivos, no entanto quase todos também possuem impactos negativos, que podem ser agravados, caso não sejam trabalhados de forma integrada, assim como podem ser agravados por uma gestão e regulação pobres, e/ou por falta de motivação devido a uma governança de água pobre, e podem privar o uso do recurso para outra atividade pela falta de planejamento conjunto.

Este trabalho busca discutir a gestão integrada dos recursos hídricos e governança de água, entrando em legislações urbanas e ambientais a respeito dos recursos hídricos, trazendo a discussão sobre o plano diretor de São Carlos-SP e em seguida apresentando o caso de estudo de duas bacias urbanas desta cidade, com mapas e o estudo de vazões máximas e hidrogramas para chuvas de projeto de diferentes tempos de retorno, para três cenários de uso do solo.

2 – GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS

A Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) pode ser definida, de acordo com Global Water Partnership (GWP,2002), por um processo que promove o coordenado desenvolvimento e gestão dos recursos hídricos, solo, e recursos relacionados, a fim de maximizar o resultante bem-estar econômico e social de forma equitativa, sem comprometer a sustentabilidade de ecossistemas. A nível operacional o desafio da GIRH é traduzir os princípios de Dublin em ações concretas. Estes princípios estabelecem a água como um recurso finito e vulnerável, essencial para sustentar a vida, desenvolvimento e meio ambiente; que a gestão deve possuir abordagem participativa, envolvendo usuários, planejadores e formuladores de políticas em todos os níveis; onde as mulheres devem possuir papéis centrais; e que a água é um bem econômico e dotada de valor econômico.

Cada sociedade possui suas prioridades para o estabelecimento da GIRH, sendo uma dificuldade a setorização da gestão, havendo a necessidade de mudança neste paradigma para uma gestão holística e que vise o benefício comum. Necessitando de plataformas para que os *stakeholders* estejam capacitados e, mesmo que possuam interesses conflitantes, possam trabalhar juntos, assumindo responsabilidade pelo recurso hídrico. Para o desenvolvimento desta gestão é necessário que sejam criadas políticas, que claramente estabeleçam os direitos e responsabilidades dos usuários e dos provedores da água; o papel do Estado em relação aos demais *stakeholders*; que formalizem sistemas de alocação dos recursos hídricos; e assegurem um uso sustentável da água.

A GIRH deve integrar visões inter-setoriais e multidisciplinares, assim como levar em consideração os aspectos econômicos, sociais e políticos, reconhecendo os critérios de equidade social, sustentabilidade ambiental e uso econômico eficiente da água. Sendo assim é uma tarefa muito complexa, para uma real implantação, há de se incluir na pauta uma busca para assegurar que as políticas, prioridades financeiras, e planejamento governamental considerem as implicações destes para o desenvolvimento dos recursos hídricos, os riscos hídricos e os usos da água.

Como visto, a GIRH necessita de um *framework* no qual são necessárias mudanças significativas nas interações existentes entre política, legislações, regulações, instituições, sociedade civil e usuários, a capacidade para efetuar estas mudanças depende de mudanças de governança. Governança se refere à implantação efetiva de alocações e regulações aceitas socialmente e, portanto, é intensamente política, atua nos relacionamentos entre a sociedade e o seu governo. Trabalhando no comportamento, via valores, normas, instituições e legislações, mas também se relaciona a políticas e ações governamentais.

Governança já existe em todos os países e o objetivo é torná-la mais eficiente, para tal é necessário promover iniciativas eficientes dos setores público e privado e incluir o envolvimento de *stakeholders*, tornando a governança uma ação coletiva. Portanto, para boa governança são necessárias inclusão, participação, transparência, previsibilidade e capacidade de resposta. É necessário criar uma governança distribuída, com responsabilidade compartilhada e processos mais transparentes, necessidade evidente nos princípios de Dublin.

Os instrumentos de gestão integrada dos recursos hídricos são: avaliação dos recursos hídricos, da disponibilidade e da demanda; sistemas de informação, comunicação e construção de consensos sociais, resolução de conflitos; instrumentos de comando e controle; instrumentos econômicos; e encorajamento de medidas de auto-regulação, como certificação. No Brasil os principais instrumentos de gestão, inseridos nas categorias apresentadas acima são: os Planos de Recursos Hídricos; o enquadramento dos corpos de águas em classes de usos preponderantes; a outorga de direitos de uso dos recursos hídricos; a cobrança pelo uso dos recursos hídricos; o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos; padrões ambientais; controle do uso do solo; licenciamento ambiental; penalidades; e instrumentos de auto-regulação, como certificações.

3 – MARCO JURÍDICO URBANO AMBIENTAL NO BRASIL

Esta parte da pesquisa visa estudar o marco jurídico brasileiro em relação ao meio ambiente e o meio urbano, com ênfase na questão de inundações urbanas. O Brasil possui diversas legislações importantes sobre o assunto, aqui serão estudadas a Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, o Código Florestal, Lei nº 4.771, de 15 de Setembro de 1965, O Estatuto das Cidades, Lei nº 10.257, de 10 de Julho de 2001, e o Plano Diretor do Município de São Carlos, Lei nº 13.691, de 25 de Novembro de 2005.

3.1 – A Constituição Federal de 1988

A Constituição Federal de 1988 estabelece, através de seu Art. 225 que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”, este trecho simboliza avanço em relação ao meio ambiente e suas políticas, pois considera-o como um bem comum de todos e essencial, implicando à coletividade e ao poder público a proteção deste bem (BRASIL. Constituição Federal, 1988).

A Constituição de 1988 estabelece três níveis federativos: a União, os Estados e os municípios, todos autônomos, Art. 18 da Constituição. O Brasil é o único país do mundo a possuir tal

organização (CAMARGO, 2003 apud CARNEIRO et al, 2008), a Constituição de 1988 segue uma tendência de descentralização e introduz práticas de gestão participativa ao país (BRASIL. Constituição Federal, 1988). Os municípios são “autônomos” e são importantes na gestão pública. Possibilitando a descentralização das políticas públicas e força a autonomia municipal, delegando ao município, mais próximo da dinâmica da cidade, um papel importante de gestão. No entanto, apresenta também custos e dificuldades (CARNEIRO et al, 2008).

De acordo com a Constituição de 1988 (BRASIL. Constituição Federal, 1988) ficou estabelecido que a União, estados e municípios partilham diferentes competências comuns (Artigo 23) ou concorrentes (Artigo 24). A proteção ao meio ambiente, o combate a poluição ambiental, estão entre as competências comuns ou concorrentes da União, estados e municípios. O que pode gerar uma competição entre os três níveis da federação, ou então, em uma situação onde nenhum dos níveis atua de forma efetiva sobre suas competências (CAMARGO, 2003 apud CARNEIRO et al, 2008).

Devido à competência comum de proteção ao meio ambiente pelos três níveis de governo, faz-se necessário que se estabeleçam cooperações e parcerias entre estes a fim de que cumpram com suas competências. Os municípios se fortalecem com a questão jurídica da constituição, pois são entes federativos regidos por leis orgânicas próprias (Art. 29) (MILARÉ, 1999 apud CARNEIRO et al, 2008). Os municípios possuem a oportunidade de aumentar a contribuição em relação a competência ambiental (BRASIL. CONAMA 237/97), através da criação do Conselho Municipal de Meio Ambiente, com caráter deliberativo e participação social, assim como ao possuir profissionais legalmente habilitados, podem exercer competências licenciadoras (PHILIPPI JR. e ZULAUF, 1999 apud CARNEIRO et al, 2008). Os municípios são autônomos e responsáveis pelas questões ambientais locais, no entanto a maioria destes não possui autonomia orçamentária; sendo portanto, questionável a real autonomia administrativa destes.

Os artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988 explicitaram um novo quadro jurídico, apontando a necessidade da Reforma Urbana, trazendo temas como a função social da cidade, da propriedade, da justa distribuição de bens e serviços urbanos, da gestão democrática e da questão ambiental. O artigo 183 garante uma função social à propriedade, ao garantir o direito à moradia. Para regulamentar tais artigos foi criado o Estatuto da Cidade, Lei nº10.257, de 10 de Julho de 2001 (BRASIL. Constituição Federal, 1988 e BRASIL, Lei nº10.257, 2001).

O Estatuto da Cidade formula as diretrizes gerais da política urbana brasileira, e de acordo com o Art. 1º: “estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como

do equilíbrio ambiental”. Assim, vê-se em seu primeiro artigo a preocupação com o meio ambiente nas áreas urbanas (BRASIL, Lei nº10.257, 2001).

O Estatuto define o que significa cumprir a função social de cidade e da propriedade urbana, e dá diretrizes gerais urbanísticas, oferece um conjunto de instrumentos, como a nova concepção de planejamento e de gestão urbana (Rolnik, 2001). No entanto cabe ao município a tarefa de cumprir com a norma geral, através da gestão participativa, visando a sustentabilidade ecológica e econômica, assim como a melhor ordenação do espaço urbano, levando em conta a proteção ambiental e os problemas sociais, como a moradia e o saneamento.

O Estatuto traz, em seu Art. 2º, diversas preocupações em relação ao meio ambiente e noções de gestão integrada de recursos hídricos. Ele define instrumentos da política urbana, entre os quais o Plano Diretor, que é definido como o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana (Art. 40), assim como determina a sua obrigatoriedade aos municípios enquadrados pelo Art. 41 (BRASIL, Lei nº10.257, 2001).

Com a Constituição Federal e o Estatuto da Cidade, o Plano Diretor passa a ser o instrumento definidor da função social da cidade e da propriedade, estabelecendo uma separação entre direito da propriedade e direito de construir. Os instrumentos de controle do uso do solo são ferramentas fundamentais ao desenvolvimento sustentável e à proteção dos recursos hídricos. No entanto, se observa uma desarticulação entre estes instrumentos; de gestão dos recursos hídricos e do planejamento do uso do solo (CARNEIRO et al, 2008).

3.2 –Áreas de Preservação Permanente Urbanas

As Áreas de Preservação Permanente (APPs) possuem tremenda importância para o ciclo hidrológico, para conservação dos recursos hídricos e para a minimização de riscos hidrológicos, além das funções de paisagem, de estabilidade geológica, da biodiversidade, do fluxo gênico de fauna e flora, para a proteção do solo e pelos benefícios ao bem estar da população (BRANDÃO e LIMA, 2002, apud SERVILHA et al, 2006). Nas cidades, devido a alta impermeabilização do território, modificação do ciclo hidrológico, e das ocorrências de inundações urbanas, etc, a função das Áreas de Preservação Permanente deveria ser melhor assegurada.

As Áreas de Preservação Permanente, por imposição do Código Florestal, Lei nº4.771, de 1965, são áreas nas quais a vegetação natural deve ser mantida intacta (BRASIL. Lei nº4.771, 1965). O regime das APPs é rígido; a regra é a intocabilidade, sendo admitida excepcionalmente a supressão da vegetação nos casos de utilidade pública ou interesse social legalmente previstos. No entanto, por mais que protegidas pela legislação federal e que possuam demasiadas funções

ambientais, as APPs continuam a ser degradadas. A realidade de degradação nas áreas urbanas somada a intocabilidade das legislações, e portanto a uma ilegalidade constante, gera um engessamento da situação, com conflitos e degradação ambiental (SERVILHA et al, 2006).

As legislações sobre a questão urbana e as APPs apresentam diversos conflitos (SERVILHA et al, 2006 e ARAÚJO, 2002). Existem diversas normas que regulam as APPs, com diferentes restrições de uso impostas por distintas legislações, como o Código Florestal, de 1965; as Resoluções CONAMA 302 e 303, de 2002, e a 369 de 2006; a Lei Lehman, de 1979 e regulamentações específicas de uso e ocupação do solo nos municípios (SERVILHA et al, 2006).

3.3 - Plano Diretor de São Carlos

Como já discutido, cabe ao município legislar sobre assuntos de interesse local, suplementar a legislação federal e a estadual no que couber, e de promover, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, parcelamento e ocupação do solo urbano. O Plano Diretor é definido como o instrumento básico da política urbana, de acordo com o Art.182 e Art. 30 da Constituição Federal, incisos I, II e VIII e Art. 40 do Estatuto das Cidades (BRASIL. Constituição Federal, 1988 e BRASIL, Lei nº 10.257, 2001).

De acordo com os objetivos desta pesquisa são analisados alguns aspectos do Plano Diretor do município de São Carlos, em relação ao uso e ocupação do solo e os recursos hídricos, como a impermeabilização do solo; área de mananciais; áreas de preservação permanente; áreas de recarga de aquíferos; e regularização fundiária.

Em relação a impermeabilização do solo o Plano Diretor aborda a questão dos coeficientes para estabelecimento de mínimos para a ocupação, aproveitamento e permeabilidade dos terrenos no Capítulo I, Título I a respeito das diretrizes gerais do ordenamento territorial de São Carlos, no Artigo 14. Define que estes coeficientes devem ser definidos pelo Macrozoneamento e o Zoneamento do Município para cada zona do território (Título III, “Do parcelamento, uso e ocupação do solo”, no Capítulo III, referente à ocupação do solo).

Não foi encontrada nenhuma medida para o incentivo de aumento da área permeável e/ou retenção das águas pluviais nos lotes. Em relação ao tempo de concentração das bacias hidrográficas, o Art. 103 define que “O projeto de drenagem constituído por poços de infiltração, bacias de retenção de águas pluviais, dispositivos de dissipação de energia, pavimentos permeáveis e demais componentes do sistema, devem ser concebidos e implantados de tal modo que a vazão de escoamento seja mantida dentro das condições originais da área antes de ser urbanizada, reduzindo-se o impacto da urbanização nos fundos de vale e nos corpos d'água”. Os Artigos 98 e 99

estabelecem que pode-se utilizar áreas públicas para a implantação de bacias de retenção de águas pluviais (DEÁK, 2009).

O Artigo 101 diz respeito ao estabelecimento de áreas públicas contíguas às Áreas de Preservação Permanente, “ para fins de ampliar a faixa de proteção ambiental dos corpos d’água, incrementar a permeabilidade do solo urbano e servir de suporte para a implantação das bacias de retenção de águas pluviais” (DEÁK, 2009).

Em relação às APPs, o Plano Diretor do município traz em seu Artigo 8º objetivos para direcionar as formas de vivência e uso do território, estabelecendo uma política fundiária que demarque, preserve e amplie as áreas verdes e de preservação ambiental. O Artigo 14º dispõe que o macrozoneamento e o zoneamento do município devem designar e delimitar as áreas de preservação ambiental, urbanas e rurais, discriminando as de preservação permanentes ou temporárias, nas encostas, nas bordas de tabuleiros ou chapadas, e consolida estas áreas como áreas não edificantes.

Já o Artigo 62 trata das Áreas Especiais de Interesse Ambiental, que inclui a conservação de fundos de vale. E, o artigo 104, inciso III diz que o Poder Público não autorizará o parcelamento de áreas com restrição a ocupação, que apresentem encostas nas proximidades de nascentes de cursos d’água. Em relação a regularização fundiária em área de APP, o artigo 88, inciso IV, dispõe que estas não serão objeto de regularização. Em relação a áreas de recarga de aquífero o Plano Diretos não apresenta norma, mesmo este estando situado em área de afloramento do aquífero Guarani (DEÁK, 2009).

Desta forma, fica claro que a legislação brasileira engloba em diferentes esferas a problemática ambiental, a questão urbana e dos recursos hídricos, e que estas, assim como os Planos Diretores são fundamentais instrumentos para a GIRH, no diálogo entre questão urbana e recursos hídricos. No entanto, ainda é necessária uma governança mais efetiva em que se aplique as legislações nas ações governamentais, assim como se intensifique a fiscalização para que as estas sejam cumpridas.

4 – MÉTODOS

4.1-Área de Estudo

Na cidade de São Carlos, existem 14 bacias urbanas que se localizam nas nascentes do Rio Monjolinho, afluente do Jacaré-Guaçu. As sub-bacias são apresentadas através da Figura 1.

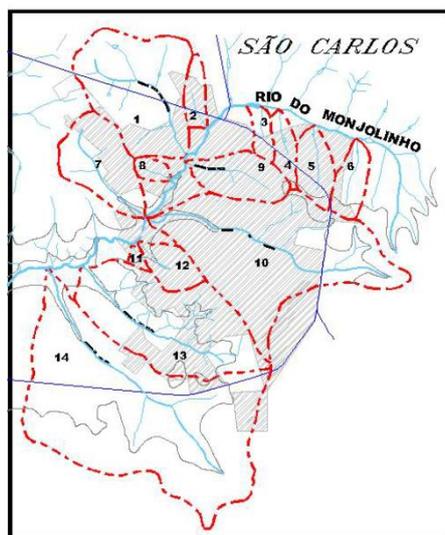


Figura 1- Bacias urbanas de São Carlos. Fonte: CDCC – USP/ SC (2009).

Este trabalho visou estudar uma bacia mais urbanizada do município que possui histórico de inundações; a bacia do Tijuco Preto (na Figura 1; Bacia 9), assim como uma bacia menos urbanizada, mas que tem apresentado altas taxas de crescimento, além de ser uma área de tendência da expansão urbana para o município, a bacia Córrego do Mineirinho (na Figura 1; bacia 7). Essas bacias podem ser melhor visualizadas através das Figuras 2 e 3:

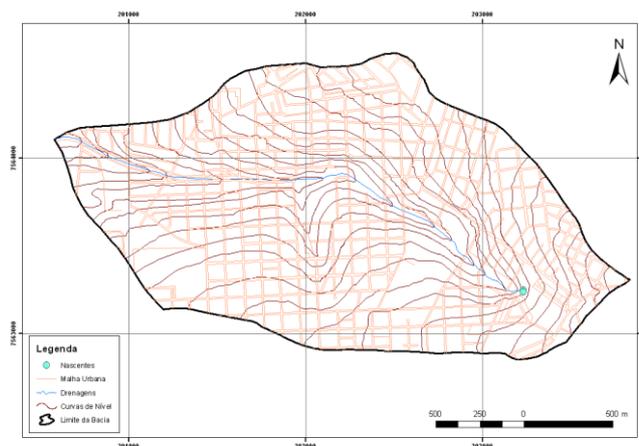


Figura 2 – Bacia do Tijuco Preto

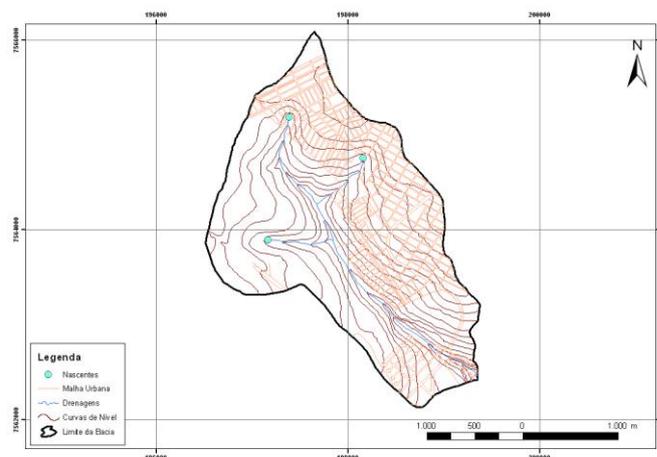


Figura 3 – Bacia do Mineirinho

(Fonte: CDCC, 2009 e IBGE, 1990).

4.2- Modelagem Hidrológica com o modelo SCS e software ABC6

A utilização de modelos hidrológicos faz-se necessária para antecipar e representar cenários, como por exemplo, do impacto da expansão urbana de uma bacia antes que ela ocorra, como também a eficácia da implantação de medidas de controle de cheia ou de políticas públicas. Os modelos hidrológicos podem ser utilizados como ferramentas no planejamento urbano e de identificação de problemas.

Neste trabalho utilizou-se o software ABC6 (Análise de Bacias Complexas), desenvolvido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. O modelo utiliza métodos sintéticos para dimensionamento de vazões máximas de pequenas bacias sem dados (perfil urbano e de pequenas bacias rurais), facilitando o planejamento quando há escassez de informações (OLIVEIRA et al, 1999).

O ABC6 possibilita a escolha entre quatro modelos para o cálculo da chuva excedente (fórmula de Horton, fórmula de Green e Ampt, método do Soil Conservation Service e método do Índice Fi), e a escolha do método para o traçado do hidrograma de escoamento superficial (Sta. Barbara, de Clark e hidrograma triangular do SCS). É possível determinar a tormenta de projeto a partir de precipitações fornecidas diretamente pelo usuário ou por meio de relações Intensidade-Duração-Frequência. Assim como distribui a chuva no espaço e no tempo, através do método de blocos alternados (OLIVEIRA et al, 1999).

Utilizou-se o modelo de cálculo de chuva excedente do Soil Conservation Service –SCS, e para a obtenção dos hidrogramas de cheia utilizou-se o hidrograma unitário sintético proposto pelo SCS (SCS, 1957, apud Tucci, 2001). Para cálculo do CN utilizou-se como base a classificação apresentada em Tucci et al., 2001. O tempo de concentração foi calculado utilizando a formulação empírica de *Kirpich* (Kirpich 1940 apud MARTINS, et al 2010).

Foram utilizadas chuvas sintéticas (relações do tipo intensidade duração frequência - IDF) para a obtenção das vazões de pico, para os Tempos de Retorno de 25, 50, 75 e 100 anos. Utilizou-se a IDF definida experimentalmente por Barbassa, apud RIGHETTO, 1998.

Para o cálculo dos parâmetros da bacia, utilizou-se a base de mapas (hidrografia, curvas de nível) obtida através do mapeamento IBGE, 1990 (1:10.000), os mapas de malhas urbanas obtidos com a prefeitura de São Carlos (1:10.000), e as divisões das bacias efetuadas pelo Centro de Divulgação Científica e Cultural, CDCC, da USP São Carlos (2009), todos os mapas foram obtidos através da colaboração do CDCC, da USP São Carlos (2009). A partir destes foram realizados os mapas de declividade do terreno. Realizou-se o mapa de uso do solo, a partir de imagem satélite do Earth Google Pro, 2011, e de tipo de solos, Mapa de Solos do Brasil, IBGE, (1:5.000.000), 2003.

5-RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos mapas apresentados (Figura 2 e 3), foram calculadas a área, perímetro e comprimento do rio principal de cada bacia hidrográfica. A Tabela 1 apresenta os resultados.

Tabela 1– Características físicas das Bacias Hidrográficas

	Área (m ²)	Perímetro (m)	Comprimento do rio Principal (m)
Tijuco Preto	3.677.933	7.989	2.949
Mineirinho	5.853.427	10.864	3.702

Em relação aos tipos de solo da bacia, de acordo com o Relatório POLIS (2002), apud ALVAREZ, 2010, o município de São Carlos possui oito tipos de solos, destes, apenas dois são encontrados na área de estudos: latossolo vermelho escuro e vermelho amarelo. A partir do Mapa de solos do IBGE, Mapa de Solos do Brasil (1:5.000.000), 2003, seguem as Figuras 4 e 5, com os tipos de solo presentes nas bacias hidrográficas.

Seria interessante, para uma melhor classificação do tipo de solo hidrológico para o cálculo do número de curva (CN) uma descrição mais detalhada, principalmente em relação a textura do solo, no entanto, não foi possível encontrar tais informações sobre a região. Desta forma, por o maior percentual de área das bacias possuir o tipo de solo latossolo vermelho, e este ser de origem basáltica, na região, este é argiloso, e pode ser caracterizado como da Classe C, para cálculo do CN, e por referências ALVAREZ (2010) e ESTEVES (2003) terem classificado, também como classe C, esta foi a classificação utilizada neste estudo.

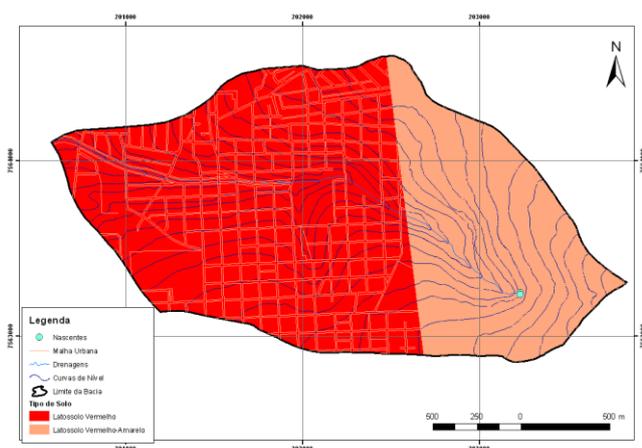


Figura 4 –Tipos de Solo da Bacia do Tijuco Preto



Figura 5 – Tipos de Solo da Bacia do Mineirinho

Foi feito o processo de digitalização dos usos do solo. As áreas foram classificadas em quatro usos: área residencial (lotes pequenos, próximos, localizados dentre a malha urbana), para cada bacia foi realizada uma classificação média do tamanho dos lotes, para a Bacia do Mineirinho

esta classificação média do tamanho dos lotes de 1000m² e para a Bacia do Tijuco Preto esta classificação foi de 500m²; industrial (lotes mais espaçados e com características de construções industriais); cobertura vegetal (áreas com continuidade de vegetação) e parques (áreas com pouca vegetação, com solo sem construções aparentes).

Para tal, foram utilizadas imagens do Google Earth, com as escalas de digitalização: bacia do Mineirinho: 1:35.000 e do Tijuco Preto: 1:20.000. No entanto, com a passagem da imagem do Google Earth para o ArcView3.2, houve perda de precisão. A Tabela 2 apresenta os CNs calculados a partir das Figuras 6 e 7, que trazem os mapas de uso do solo das bacias. Os CNs foram calculados para a classe C de solos; e condições médias de umidade.

Tabela 2 – Usos do Solo nas bacias e CN's correspondentes

Bacias Hidrográficas	Mineirinho	Tijuco Preto
Número de curva (CN total)	78.91	88.90

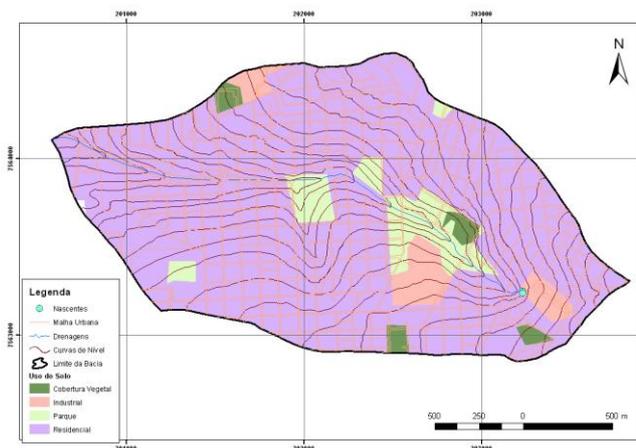


Figura 6 –Uso do Solo da Bacia do Tijuco Preto

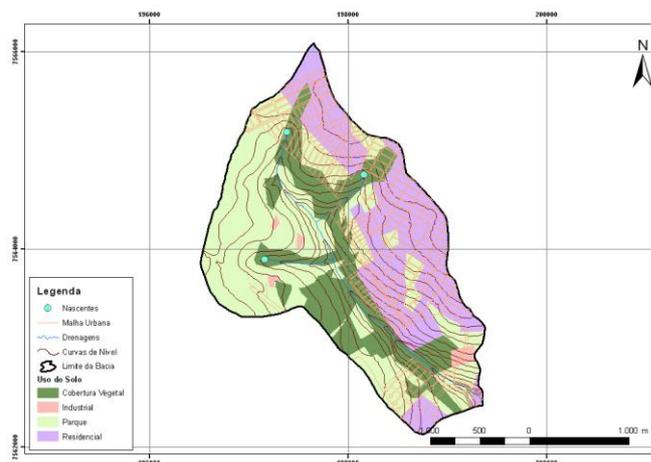


Figura 7 –Uso do Solo na Bacia do Mineirinho

A partir destes mapas de uso do solo apresentados para ambas bacias, é possível verificar as diferenças na urbanização destas. Na Bacia do Tijuco Preto há forte impermeabilização do solo e grande quantidade de lotes, possui poucas áreas verdes e Áreas de Preservação Permanente preservadas, mostrando uma tendência contrária a apresentada nas legislações, assim como no Plano Diretor do Município, que preve que se demarque, preserve e amplie as áreas verdes e de preservação ambiental do município, assim como que não se construa e/ou que haja regularização fundiária em áreas de preservação permanente.

O mapa de uso do solo da Bacia do Mineirinho apresenta esta bacia com menor área urbanizada, assim como demonstra que esta possui mais áreas verdes e áreas de preservação

permanente preservadas, no entanto estas APPs em torno dos rios e nascentes, em diversos pontos, não cumprem com o total delimitado pelo atual Código Florestal. Esta bacia é uma área de extremo interesse ao município, pois ainda não foi completamente urbanizada, no entanto tem sofrido pressão de crescimento populacional, além de conter três nascentes, assim é interessante elaborar estudos nesta bacia, assim como um planejamento municipal de expansão urbana na área.

A partir dos mapas com as curvas de nível (IBGE, 1990), elaborou-se mapas de declividade do terreno. Com estes foi possível determinar as declividades dos talwegues, sendo as declividades encontradas para o Tijuco de 21,33 m/Km e para o Mineirinho de 27,32m/km, os Mapas de declividade de terreno (MDT) são apresentados pelas Figuras 8 e 9.

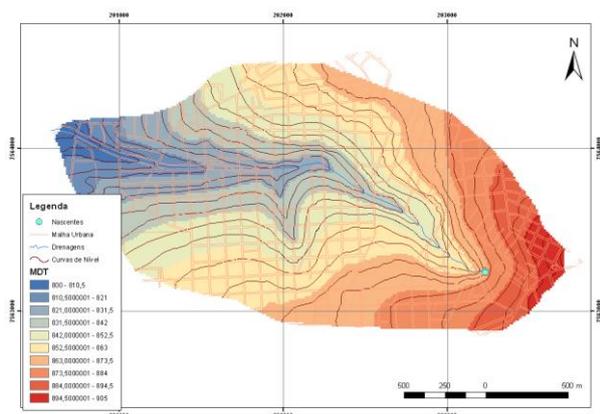


Figura 8 – MDT da Bacia do Tijuco Preto

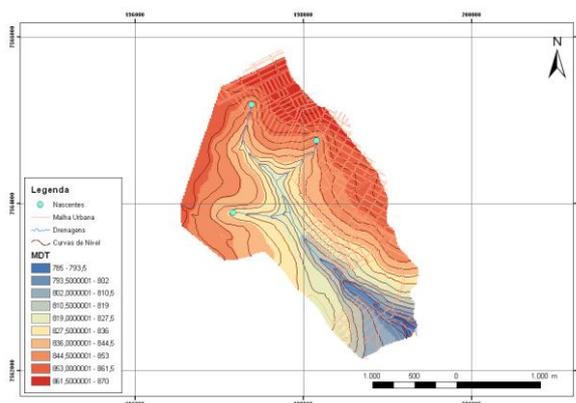


Figura 9 – MDT da Bacia do Mineirinho

Calculou-se o Tempo de Concentração pela fórmula de *Kirpich*, para a Bacia do Mineirinho encontrou-se o tempo de concentração de 47,53 minutos e para a do Tijuco Preto de 33,24 minutos.

Com a definição das características das bacias: área, perímetro, tamanho do rio principal, declividade e número de curva, estas foram inseridas no software ABC6 para efetuar a simulação hidrológica para cada bacia. Foram feitas simulações para o cenário de referência, realizado com o número de curva calculado, e para mais dois cenários de uso e ocupação do solo, com diminuição e aumento do número de curva (CN) em 10%. Modelou-se para os períodos de retorno de 25, 50, 75 e 100 anos.

Primeiramente segue o gráfico de vazões específicas (vazão/área da bacia) para cada bacia, para o Tempo de Retorno de 50 anos, e com o CN de referência, Figura 10. Pela figura percebe-se a alta vazão específica da bacia do Tijuco Preto em relação à do Mineirinho, esta bacia possui menor área, no entanto apresenta alto grau de urbanização, o que explica o seu hidrograma, que possui um pico mais alto, assim como chega a vazão de pico mais rapidamente, o que pode ser explicado também pelo tempo de concentração da bacia, que é inferior. A Bacia do Mineirinho, não muito urbanizada, possui um hidrograma mais achatado, o que era esperado.

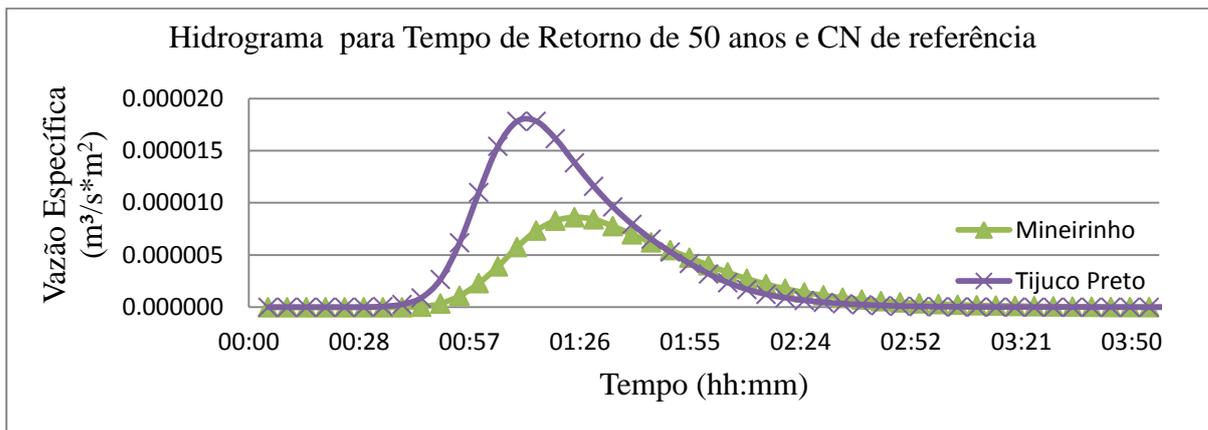


Figura 10 – Vazões específicas por tempo para as bacias do Mineitinho e Tijuco Preto.

Nas Figuras 11 e 12 são apresentados os hidrogramas para os tempos de retorno de 25, 50, 75 e 100 anos para cada bacia, com o CN de referência.

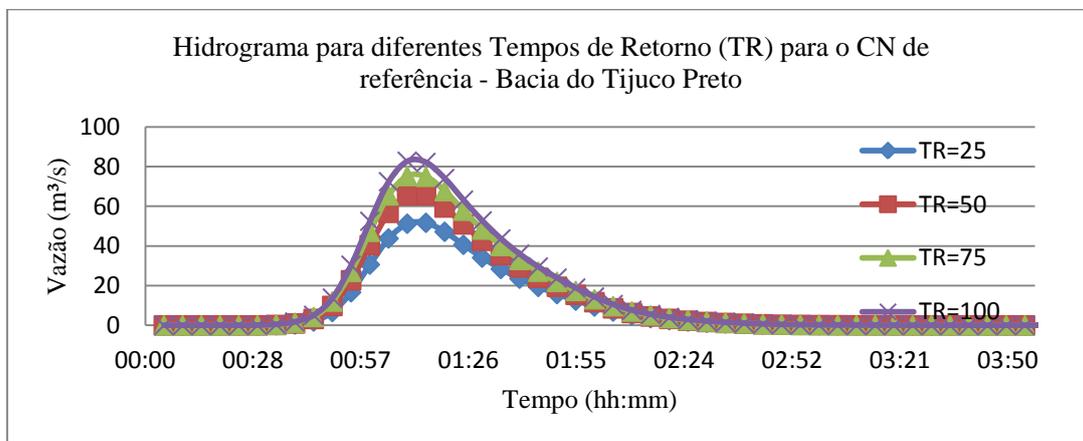


Figura 10 – Hidrograma para diferentes tempos de retorno (TR) para a Bacia do Tijuco Preto

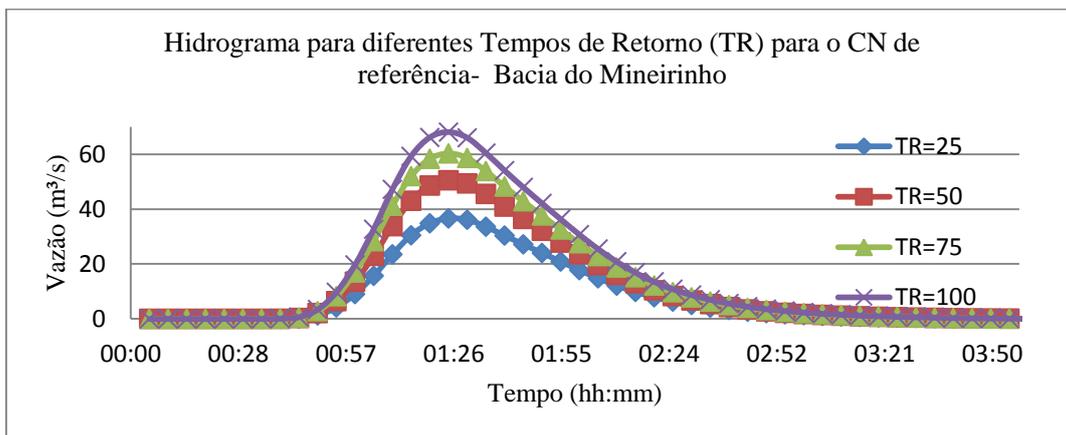


Figura 11 – Hidrograma para diferentes tempos de retorno (TR) para a Bacia do Mineirinho

Através das Figuras 10 e 11 apresentadas é possível verificar o aumento das vazões de acordo com o aumento do tempo de retorno, assim como percebe-se a influência da urbanização no

aumento do escoamento superficial, a Bacia do Mineirinho possui maior área, $5,9\text{Km}^2$, cerca de 60% maior, no entanto apresenta vazões inferiores às vazões simuladas para a bacia do Tijuco Preto, possuindo vazão máxima para o tempo de retorno de 25 anos aproximadamente 29% inferior à vazão máxima da bacia do Tijuco Preto, que possui área inferior, $3,7\text{Km}^2$.

As figuras 12 e 13 são relativas aos hidrogramas obtidos para o Tempo de Retorno de 100 anos, para os três cenários de uso do solo, ou seja, para o CN de referência, calculado, e para os cenários com acréscimos e com decréscimos de 10%.

A partir destas figuras é possível ver a variação no hidrograma devido a mudança no parâmetro do CN. Mostrando, desta forma a alta sensibilidade do modelo SCS e do software ABC6 (quando aplicado com o SCS) ao parâmetro CN. Assim como demonstra o aumento da vazão para o cenário de aumento de urbanização e consequente aumento de urbanização do solo, assim como uma redução na vazão, com o aumento de áreas permeáveis, verdes, diminuição do CN.

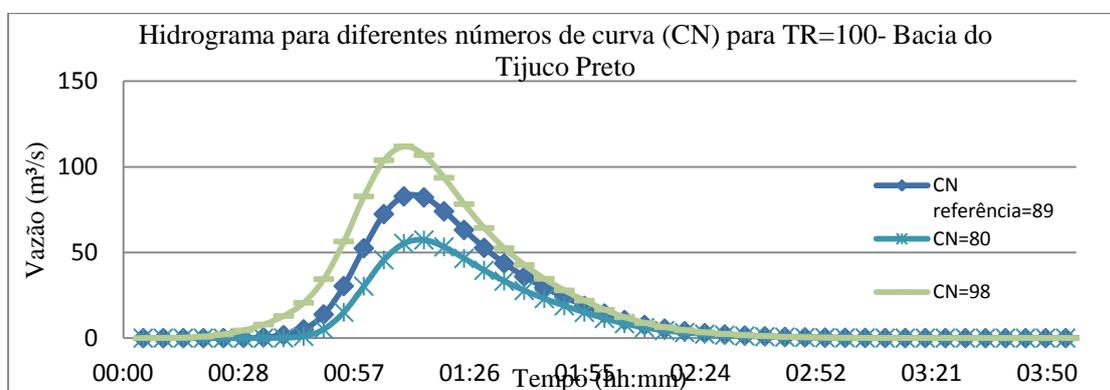


Figura 12 – Hidrograma para TR=100 para diferentes números de curva para a Bacia do Tijuco Preto

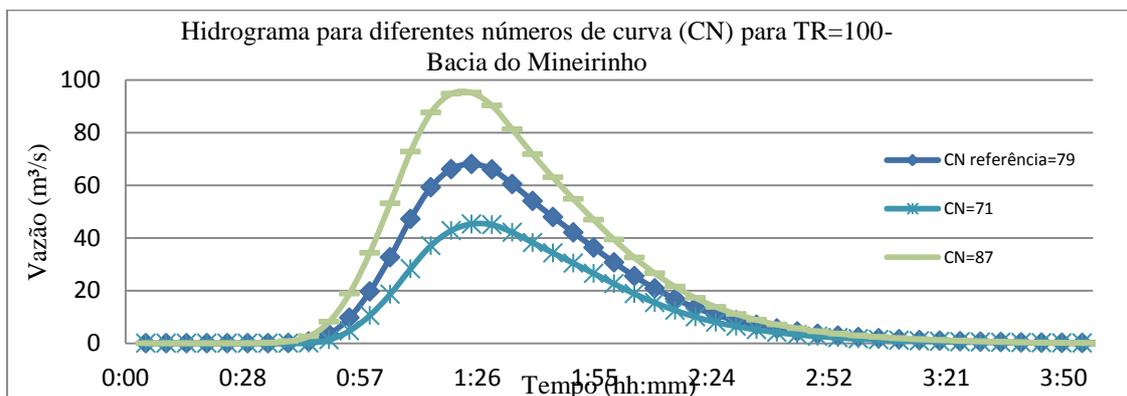


Figura 13 – Hidrograma para TR=100 para diferentes números de curva para a Bacia do Mineirinho

As figuras 14 e 15 apresentam as variações das vazões máximas em relação a mudanças no número de curva para os tempos de retorno de 25, 50, 75 e 100 anos. A partir destas figuras é possível observar a alta sensibilidade do modelo hidrológico; e dos resultados obtidos de vazões

máximas à mudanças no número de curva. Tal parâmetro, muitas vezes, não pode ser obtido com a precisão desejada, como no caso deste estudo, no entanto esta análise de sensibilidade mostra que para obtenção de resultados confiáveis faz-se necessária uma determinação de CN com alta precisão.

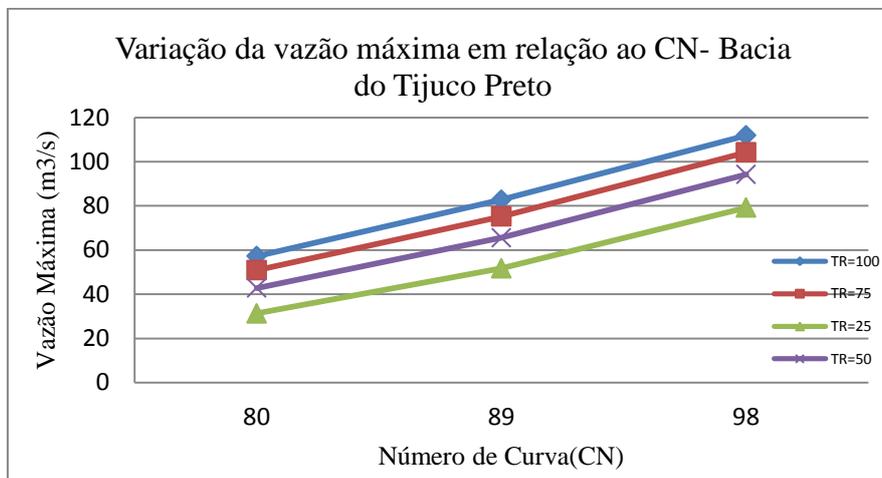


Figura 14 – Variações da vazão máxima para diferentes CNs, para Tempos de retorno de 25, 50, 75 e 100 anos, - Bacia do Tijuco Preto.

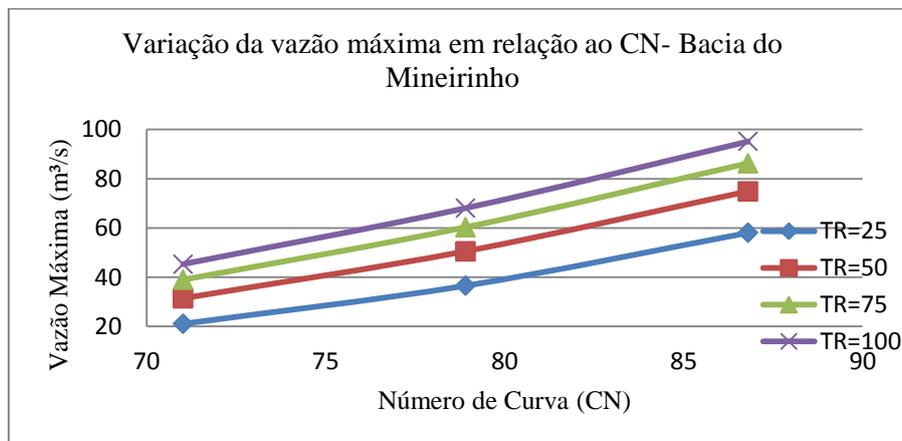


Figura 15 – Variações da vazão máxima para diferentes CNs, para Tempos de retorno de 25, 50, 75 e 100 anos - Bacia do Mineirinho.

Analisando-se a Figura 14, percebe-se a alta sensibilidade da vazão máxima simulada em relação a alterações no parâmetro do número de curva, CN, para os diferentes tempos de retorno. Por exemplo, tem-se, com o acréscimo de 10% no número de curva, um acréscimo de aproximadamente 53% (TR=25), 44% (TR=50), 39% (TR=75) e 35% (TR=100) na vazão máxima, e com o decréscimo de 10%, há um decréscimo da vazão máxima em aproximadamente 40%

(TR=25), 35%(TR=50), 32% (TR=75) e 30% (TR=100). É interessante notar que com um acréscimo no CN há um acréscimo maior na vazão máxima, do que com um decréscimo deste parâmetro.

Já a partir da Figura 15, pode-se ver a variação da vazão máxima em relação a alterações no CN para a bacia do Mineirinho, com o acréscimo de 10% no número de curva, um acréscimo de aproximadamente 59% (TR=25), 48%(TR=50), 43% (TR=75) e 40% (TR=100), e com o decréscimo de 10%, há um decréscimo da vazão máxima em aproximadamente 42% (TR=25), 38%(TR=50), 35% (TR=75) e 34% (TR=100). A Bacia do Mineirinho apresenta maior sensibilidade ao aumento dos valores de CN na vazão máxima do que a bacia do Tijuco Preto.

Percebe-se portanto a alta sensibilidade da vazão máxima e do hidrograma ao parâmetro CN, assim como acréscimos e decréscimos significativos nas vazões máximas com alterações no parâmetro, ou seja em alterações de uso e ocupação do solo das bacias em questão. Também pôde-se verificar a influência da urbanização no hidrograma das bacias; onde a bacia do Tijuco Preto, de menor área e maior grau de urbanização apresenta valores de vazão superiores aos encontrados para a bacia do Mineirinho.

Alguns procedimentos de ocupação que poderiam ser adotados nas áreas, nas quais a urbanização está aumentando, como na bacia do Mineirinho como, por exemplo, pavimentos porosos, a preservação das APPs, com reflorestamento de APPs e criação de parques e praças nas bacias, etc. Assim como, pode-se pensar, para ambas bacias, no projeto de medidas de “retenção” e “retenção” de água, por meio de medidas estruturais, por exemplo, como trincheiras de infiltração ou reservatórios, de forma que estas sejam projetados para compensar o aumento de volume de escoamento superficial, devido à novas urbanizações: $\Delta pe(t) = Pe_{futura}(t) - Pe_{atual}$, assim como esta previsto pelo Plano Diretor do Município. Também podem ser utilizadas medidas não-estruturais, como por exemplo incentivos econômicos, indicadores de risco, seguros ambientais e alertas antecipados à enchentes, para ambas bacias.

6 – CONCLUSÕES

A urbanização altera o uso e a ocupação do solo interferindo nas respostas hidrológicas, dentre as quais se destacam a diminuição da infiltração e do armazenamento de água, que resultam em aumento da vazão e do volume do escoamento superficial. Através desta pesquisa foi possível visualizar tal alteração na bacia do Tijuco Preto, que com a mesma chuva de projeto, apresenta

vazões máximas superiores às vazões máximas simuladas para a bacia do Mineirinho, menos urbanizada, mas com maior área.

Também, foi possível observar a alta sensibilidade do modelo do modelo SCS e do software ABC6 (quando aplicado com o SCS); e dos resultados obtidos de vazões máximas em relação ao parâmetro CN. Parâmetro, que muitas vezes, não pode ser obtido com a precisão desejada, como no caso deste estudo, no entanto esta análise de sensibilidade mostra que para obtenção de resultados confiáveis faz-se necessária uma determinação de CN com alta precisão.

Vê-se também a importância das legislações ambientais em vigência, e as dificuldades da implantação da Gestão Integrada de Recursos Hídricos, tendo o Plano Diretor como um importante instrumento dessa Gestão Integrada. No entanto há a necessidade da incorporação destes instrumentos nas ações práticas governamentais e no planejamento, assim como há a necessidade de se assegurar e fiscalizar que estas legislações e instrumentos sejam postos em prática. No caso de São Carlos a não edificação em APPs está no Plano Diretor, assim como está previsto que a vazão de escoamento seja mantida dentro das condições originais da área antes desta ser urbanizada, questões importantes para as inundações urbanas, no entanto necessitam de estudo, implantação e controle, lembrando a importância de todos os princípios da Gestão Integrada de Recursos Hídricos.

7 – BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ, R. P. P. (2010). “Estudo experimental e teórico da qualidade de água da drenagem urbana com base ecohidrológica”. Dissertação de mestrado, EESC-USP, São Carlos, 2010.
- BERZ, G. “*Flood Disasters: Lessons From the Past – Worries for the Future*” in *Symposium on River Flood Defense, Kassel: Herkules Verlag, 2000, V.2, pp. F1-F10.*
- BRANDÃO E LIMA (2002). Conflitos na proteção legal das áreas de preservação permanente urbana. Campinas: FEC-UNICAMP, 2006.
- BRESSIANI, D; LAURENTIS, G. L.; MENDIONDO, E. M. (2012). “Estratégias de adaptação à mudança climática e de gestão de risco de desastres ambientais; horizontes de previsão de curto e longo prazos”, In: Congresso Brasileiro Sobre Desastres Naturais, Rio Claro, SP, Anais CD Room, 14-17 Maio, 2012.
- BRESSIANI, D; BRANDÃO, J. L. B; MENDIONDO, E. M.; SIVAPALAN, M (2010). “Hidrologia Urbana no Brasil e nos Estados Unidos: Estudo de Caso das Cidades de São Carlos, SP, Brasil e Chicago, Illinois, EUA”, In: X Simp. Bras. Rec. Hídricos do Nordeste, Fortaleza, CE, Anais CD Room, 16-19 Nov, 2010.

CARNEIRO, P. R. F.; CARDOSO, A. L.; AZEVEDO, J. P. S. (2008). “O planejamento do uso do solo urbano e a gestão de bacias hidrográficas: o caso da bacia dos rios Iguaçú/Sarapuí na Baixada Fluminense”. *Cadernos Metrópole*, 19, pp. 165-190, 1º Semestre 2008.

CDCC (2009), CENTRO DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E CULTURAL, USP São Carlos, informação pessoal, 2009.

Código Florestal de 1965, http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/14771.htm Acesso Outubro 2010.

CONAMA 237/97, <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html> Acesso Outubro 2010.

CONAMA 369/2006, http://www.mp.go.gov.br/portalweb/hp/9/docs/conama_res_cons_2006_369_supressao_de_vegetacao_em_app.pdf , Acesso Outubro 2010.

Constituição Federal de 1988, artigo 225, http://www.dji.com.br/constituicao_federal/cf225.htm Acesso Outubro 2010.

Deák, Uirá Piá-Uaçú Oliveira (2009). “A incorporação da variável ao planejamento urbano: uma análise sob o enfoque dos recursos hídricos” Trabalho de Graduação-Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

EARTH GOOGLE PRO (2011). Imagens Satélites. 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1990). Mapeamento IBGE 1990, Atlas 91.

Lei 10.257, 10/07/2001, Estatuto da Cidade, http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LEIS_2001/L10257.htm Acesso Outubro, 2010.

Lei de Lehman, Lei Florestal 6766, 1979, <http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/ anotada/2715497/art-5-da-lei-lehmann-lei-6766-79> Acesso Outubro, 2010.

MARTINS, F. J. P.; PINHEIRO, A. N.; CARMO, J. S. A. (2010). “Passagens Hidráulicas. Dimensionamento hidrológico e hidráulico e estimativa de custo assistidos por computador”. <<http://www.estv.ipv.pt/paginaspessoais/fmartins/Publica%C3%A7%C3%B5es/APRH-Vfinal.pdf>> Acesso em Novembro de 2010.

OLIVEIRA, C. P. M., PORTO, R. L., ZAHED FILHO, K., ROBERTO, A. N. (1999). “ABC 6, um sistema de suporte a decisões para análise de cheias em bacias complexas”, in XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1999. Belo Horizonte: ABRH, 1999.

RIGHETTO, A. M. (1998). “Hidrologia e Recursos Hídricos”, São Carlos, EESC-USP, 1998.

ROLNIK, Raquel. (2001). *Estatuto da Cidade – Instrumento para as cidades que sonham crescer com justiça e beleza*. Documento disponível em http://www.polis.org.br/artigo_interno.asp?codigo=76

- SERVILHA, E. R. et al. Conflitos na proteção legal das áreas de preservação permanentes urbanas.
In: SEMINÁRIO DO LABORATÓRIO FLUXUS, 1, 2006. Campinas: SLF, 2006. 8p.
- SULLIVAN, C. (2002). “*Calculating a Water Poverty Index*”, World Development. Great Britain.
30 (7), pp. 1195–1210.