Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Influência do uso e ocupação do solo no escoamento superficial na cidade de Ji-Paraná-RO, Amazônia Ocidental

Rafael Henrique Serafim Dias², Eliomar Pereira da Silva Filho³, Alex Mota dos Santos⁴, Ana Lúcia Denardin da Rosa⁵.

²Analista de Infraestrutura/Mestrando em Geografia, UNIR. Autor correspondente. engenheirorafaelserafim@hotmail.com. ³Professor Associado do Departamento de Geografia, UNIR, eliomar@unir.br. ⁴Professor Assistente do Departamento de Engenharia Ambiental, UNIR, alex@unir.br. ⁵Professora Assistente do Departamento de Engenharia Ambiental, UNIR, eng.analucia@yahoo.com.br.

Artigo submetido em 06/05/2015 e aceite em 28/12/2015.

RESUMO

No município de Ji-Paraná/RO, a ocupação urbana ocorreu de forma desordenada às margens dos rios Urupá e Machado, tornando parte da área urbana suscetível a inundações. O presente estudo teve como objetivo a caracterização do uso recente do solo em seis bacias hidrográficas que integram o perímetro urbano de Ji-Paraná, a partir da utilização do processamento digital de imagens (PDI), sendo verificado que todas elas possuem mais de 20% de sua área impermeabilizada. Também foi verificada a influência da urbanização das bacias no escoamento superficial, com base nos dados provenientes da análise de chuvas intensas, sendo mensurado o tempo de concentração (tc) pelo método de George Ribeiro, Kirpich e Kirpich Modificado; o coeficiente de escoamento superficial (C) pelos métodos de Horner e Fantoli; e as vazões máximas de projeto (Q) pelo método racional; cujos resultados não diferiram estatisticamente.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica, Processamento Digital de Imagem, Chuva Intensa, Tempo de Concentração, Vazão Máxima.

Influence of land use and occupation in runoff in the city of Ji-Paraná-RO, Western Amazon

ABSTRACT

Urban occupation in the city of Ji-Paraná/RO occurred on the banks of Urupá river and Machado river in a disorderly manner, making part of the urban area susceptible to floods. This study aimed to characterize the current land use in six watersheds that comprise the urban perimeter of Ji-Paraná using the digital image processing (DIP). It was found that all of them have more than 20% of its area impermeable. The influence of urbanization of watersheds in the runoff was observed based on data from the analysis of heavy rainfalls, and the time of concentration (tc) was measured by the method of George Ribeiro, Kirpich and Kirpich Modified; the runoff coefficient (C) by the methods of Horner and Fantoli; and the project peak flows (Q) by the rational method; the results were not statistically different.

Keywords: Watershed, Digital Image Processing, Heavy rainfall, Concentration Time, Peak Flow.

Introdução

Os processos de ocupação, na maior parte das cidades brasileiras, ocorreram de forma desordenada e com grande deficiência nas ações relacionadas ao planejamento urbano. A ocupação dos espaços urbanos se deu de maneira gradativa e absorveu características dos diversos ciclos econômicos, que até 1930, exerceram influência significativa na maneira como se distribuía a população sobre o território, que se configurava por concentrações populacionais parcialmente isoladas e desconectadas entre si, em geral localizadas no litoral (Bonduki, 1996).

Chaffun (1996) ressalta que a significativa alteração ocorrida no final do século XX deve-se a intensidade dos processos de degradação ambiental que acompanharam a urbanização, o que resultou em crescente vulnerabilidade das cidades, problema agravado pela intensidade da ocupação urbana. Outro fator negativo, segundo Pinheiro Júnior (2009), é que o crescimento da maioria das cidades do século XX ocorreu principalmente nos subúrbios periféricos, e não nos centros urbanos.

Essa ausência de planejamento nos processos de ocupação urbana leva a fragilização do ambiente. Garotti (2008) relata que a ocupação

do território inicia-se pela retirada da vegetação, seguida pelo cultivo de terras, implantação de estradas e por fim o processo de urbanização, que resulta na modificação das características físicas naturais da região, causadas pelo parcelamento do solo, construção de edificações, impermeabilização de superfícies, aumento da quantidade de resíduos sólidos e efluentes lançados em locais inadequados, contribuindo para a degradação das condições sociais, ambientais e econômicas do novo meio urbano.

A defasagem ou inexistência de estudos relacionados ao meio físico, como o conhecimento dos aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos e hidrológicos das localidades, bem como do meio biótico, destacando-se a cobertura vegetal, também contribuem para o surgimento de problemas nos núcleos urbanos, destacando, neste caso, a ocorrência de inundações em áreas urbanas. A ocorrência destes eventos também está relacionada à ocupação de áreas inadequadas para tal uso, especialmente as margens de rios, sendo intensificada por processos que causam alteração no uso do solo, como a impermeabilização excessiva.

No município de Ji-Paraná, localizado na região centro-leste do estado de Rondônia, o processo de ocupação urbana, semelhante a diversas outras localidades que já utilizaram o transporte hidroviário, se deu as margens dos rios Machado e Urupá, com deficiência nas medidas de planejamento urbano.

Com o declínio do ciclo da borracha, na década de 1920, a região passou por um longo período de estagnação econômica, transitando para uma nova fase de desenvolvimento econômico apenas na década de 1950, com a descoberta de diamantes na região (Ji-Paraná, 2011). Contudo, foi na década de 70, período em que houve um surto migratório para o estado de Rondônia, que a população de Ji-Paraná cresceu expressivamente. Esse crescimento, que resultou na abertura de diversas áreas, intensificou as atividades agropecuárias na região. No perímetro urbano também houve um crescimento expressivo, tendo em vista que a ausência de terrenos férteis para produzir ou os conflitos gerados no campo resultavam no êxodo rural. Vale ressaltar que tanto a expansão rural quanto urbana não foram adequadamente planejadas durante todo o século XX.

No ano de 2001, visando ordenar a estrutura urbana do município e atender as determinações da Lei 10.257, de 10 de julho de 2001, que estabelece diretrizes gerais da política urbana, foi instituído o Plano Diretor do

município. Plano Diretor pode ser definido como o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana, sendo de acordo com seu artigo 41, obrigatório para cidades com mais de vinte mil habitantes (Brasil, 2001).

O Plano Diretor de Ji-Paraná, instituído pela Lei Municipal nº 1.136, de 21 de dezembro de 2001, teve como objetivo a disciplina das seguintes áreas: sistema viário, uso do solo, ambiente e saneamento básico, planejamento econômico e planejamento urbano.

Há uma relação direta de todas as áreas do Plano Diretor com a Lei Nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), definindo, em seu artigo 1º, V, a bacia hidrográfica como unidade de implementação da PNRH.

A bacia hidrográfica pode ser definida como um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume escoado pelo exutório, podendo ser considerados como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados e também os infiltrados profundamente (Silveira, 2009).

Os processos hidrológicos na bacia hidrográfica possuem duas direções predominantes de fluxo na bacia: vertical e horizontal, sendo que os processos de precipitação, evapotranspiração, umidade e fluxo no solo representam o vertical e o escoamento na direção dos gradientes da superfície e do subsolo representam o longitudinal (Tucci, 2003).

A precipitação é a variável mais importante nos sistemas hidrológicos. Esta variável, em sua forma mais comum que é a chuva, ocorre quando complexos fenômenos de aglutinação e crescimento das microgotículas, em nuvens com presença significativa de umidade e núcleos de condensação, como poeira ou gelo, formam uma quantidade significativa de gotas com tamanho e peso suficientes para que a força da gravidade supere a turbulência normal ou movimentos ascendentes do meio atmosférico (Silveira, 2009).

Para Cirilo (2007), a variabilidade espacial e temporal da chuva ajudam a explicar a observação do decréscimo dos coeficientes de escoamento de acordo com o aumento das declividades.

O escoamento superficial pode ser entendido como a fase do ciclo hidrológico que trata do deslocamento da água sobre a superfície da terra pela ação da gravidade, sendo diretamente relacionado às precipitações atmosféricas (Garcez e Alvarez, 1988). Segundo Villela & Matos (1975), o escoamento superficial envolve o excesso de precipitação gerado após uma chuva

intensa que se desloca em direção a um curso d'água, alimentado tanto pelo excedente de precipitação como por águas subterrâneas. Segundo Arndt (2009), o volume de água escoada superficialmente varia de acordo com as características físicas da bacia, dentre as quais se encontra a declividade, a área impermeabilizada e o tipo de solo.

Assim sendo, o conhecimento de informações referentes às bacias hidrográficas é de grande relevância na tomada de decisões, quanto às ações que serão realizadas em sua área de influência. O conhecimento do uso dado ao solo, aliado a caracterização física da bacia, possibilita uma avaliação de seu comportamento frente a eventos hidrológicos, com destaque para a precipitação, indicando uma maior ou menor tendência a enchentes.

No que tange às chuvas intensas, caso a bacia não seja vegetada, o volume precipitado alcançará mais rapidamente o solo, pois não haverá interceptação vegetal, acontecendo um incremento no escoamento superficial devido à redução da infiltração no solo. Assim, o aumento da proporção impermeável em uma bacia hidrográfica gera uma intensificação nas vazões de cheia ou vazões máximas. Segundo Esteves (2006), mesmo nas precipitações menos intensas, o aumento no escoamento superficial é observado,

Material e métodos

O município de Ji-Paraná localiza-se na porção centro-leste do estado de Rondônia (Figura 1), território central, na Região Norte brasileira, com uma área de 6.896,744 Km² (IBGE, 2011). A área urbana do município está localizada na confluência dos rios Machado e Urupá, sendo dividida em dois distritos, um à margem direita do rio Ji-Paraná e o outro à margem esquerda do rio.

Segundo Krusche et al. (2005), 60% da área de drenagem do rio Ji-Paraná possui solos eutróficos, predominantemente latossolos e podzólicos. A cobertura vegetal original da região é composta predominantemente por floresta ombrófila.

pois as superfícies impermeáveis, além de impedir a infiltração, também apresentam menos depressões onde poderia haver retenção da água; há um aumento na velocidade do escoamento superficial pelo fato das superfícies apresentarem menos resistência ao escoamento, por serem menos rugosas; e conseqüentemente ocorrem cheias com maior volume, maior pico de vazão e menor tempo de concentração, em comparação a cheias naturais.

No caso de Ji-Paraná, em que a cidade se desenvolveu as margens de cursos d'água, precipitações muito intensas podem resultar na inundação de diversas áreas ocupadas pela população. Assim, a análise de chuvas intensas na localidade pode subsidiar a elaboração de estudos e projetos visando à contenção de cheias.

Nessa dinâmica, a presente pesquisa visa aplicar técnicas de tratamento digital de imagens na determinação do uso dado ao solo em seis bacias urbanas do município de Ji-Paraná, com ênfase às áreas impermeabilizadas, relacionando esse uso dado ao solo à análise de chuvas intensas, como forma de entender o comportamento do escoamento superficial em tais bacias hidrográficas.

Processamento Digital de Imagens (PDI) - configurou a principal ferramenta de aquisição de dados para análise hidrológica e do uso do solo. O PDI é um conjunto de manipulação de dados cuja entrada e a saída é uma imagem. A imagem é uma função bidimensional de intensidade luz (matriz) $g(i, j)$, onde i e j denotam as coordenadas espaciais e o valor g em qualquer ponto (i, j) . Este valor g é proporcional ao brilho ou ao Nível de Cinza-NC da imagem naquele ponto (Gonzalez e Woods, 2000). A imagem é gerada pela captação da radiação eletromagnética provenientes dos alvos terrestres.

Figura 1. Localização da área de estudo.

Segundo Crosta (1992) o processamento digital de imagens de sensoriamento remoto trata especificamente das técnicas utilizadas para identificar, extrair, condensar e realçar a informação de interesse para determinados fins. A fase do processamento digital de imagens propriamente dito, abordada nesta pesquisa, consistiu basicamente nas seguintes etapas: Aquisição de imagens, pré-processamento, realce de imagens e análise de imagens. Ressalta-se que todas as etapas do PDI foram executadas no software SPRING, versão 5.1.7 (Câmara et al., 1996), disponibilizado gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

As imagens utilizadas na presente pesquisa foram adquiridas no sítio eletrônico do INPE, tendo sido selecionadas cenas do *Land Remote Sensing Satellite* - LANDSAT-5, sensor *Thematic Mapper* - TM, órbita/ponto 231/67, do dia 06 de agosto de 2008 e do Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres - CBERS-2B, Câmera Pancromática de Alta Resolução - HRC, órbita/ponto 173-C/112-4, do dia 31 de julho de 2008. Vale destacar que a ocorrência de nuvens tornou inviável a utilização de imagens mais recentes do sensor HRC, dentre as disponibilizadas pelo INPE.

O pré-processamento configurou a etapa de correção geométrica das imagens LANDSAT e

CBERS, com a realização do registro das imagens. O perímetro urbano foi definido como polígono de recorte das imagens na análise multitemporal do crescimento urbano, estando sua área localizada entre as seguintes coordenadas geográficas: 62° 02' 30" e 61° 52' 30" oeste; 10° 56' 00" e 10° 49' 00" sul. Já na análise do uso atual do solo em Ji-Paraná, foram delimitadas as bacias que integram o perímetro urbano, estando o recorte da área total delimitada entre as seguintes coordenadas geográficas: 63° 20' 00" e 61° 55' 00" oeste; 10° 55' 00" e 10° 25' 00" sul.

Na etapa de realce de imagens, após o registro, foram realizados ajustes no contraste, tendo em vista a melhor visualização dos componentes integrantes das bacias do perímetro urbano. A técnica de realce de imagens tem por objetivo a modificação dos níveis de cinza ou dos valores digitais de uma imagem, através de funções matemáticas, de modo a destacar certas informações espectrais, melhorando sua qualidade visual (Santos, 2010).

Posteriormente, ainda na fase de realce de imagens, para a determinação do uso do solo no perímetro urbano, os alvos verificados nas imagens foram submetidos a outro processo como forma de melhorar a alta resolução espacial, uma vez que as imagens do LANDSAT apresentam uma moderada resolução espacial, de 30 metros, o

que tornaria inviável a identificação dos alvos na área urbana. Foi realizado o processo de fusão da imagem do ano de 2008 do sensor TM do LANDSAT com a pancromática do sensor HRC do CBERS-2B, de resolução espacial de 2,7 metros, através do processo de transformação IHS (Intensidade/Matiz/Saturação).

A transformação IHS, segundo Santos (2010), consiste na projeção da informação de cores representadas no espaço Vermelho-Verde-Azul (RGB) para outro conjunto de eixos de medição de cores, no caso o IHS, para descrever a amplitude de possíveis variações na tonalidade das cores. A aplicação da técnica de fusão pelo método IHS é clássica e muito utilizada na identificação de áreas urbanas a partir do sensoriamento remoto, sendo seu objetivo a difusão da cor das imagens coloridas de um sensor à imagem monocromática de outro sensor, melhorando a resolução do produto final. Toda a etapa de fusão de imagens foi executada no software SPRING.

A última etapa do PDI, realizada no presente trabalho e também com o auxílio do software SPRING, foi à análise das imagens, que consiste na extração de informações de imagens.

Antes da classificação, as imagens foram submetidas ao processo de segmentação de imagens. Segundo Santos (2010), o objetivo da segmentação de imagens é fragmentar uma região em unidades homogêneas, considerando algumas características intrínsecas, como, por exemplo, o

nível de cinzas dos pixels, textura e contraste, sendo esta parte integrante da classificação. A segmentação foi realizada pelo método do crescimento de regiões, considerando-se uma similaridade de 50 e a área dos pixels de 2,7 metros.

A classificação, segundo Carvalho (2003), é o processo de extração de informações da imagem, através da divisão da imagem em classes, podendo ser realizada de forma supervisionada, a partir da coleta de amostras na imagem, e não supervisionada, onde o programa utiliza de propriedades estatísticas para classificação de imagem. A classificação das imagens foi realizada de forma supervisionada, através do método de Bhattacharya, com limiar de aceitação de 95%. Segundo Moreira (2011), o classificador de Bhattacharya é um algoritmo de classificação supervisionada que utiliza as amostras de treinamento para estimar a função de densidade de probabilidade das classes apontadas no treinamento, avaliando em cada região, a distância de Bhattacharya entre as classes. Este classificador foi utilizado por ser um método supervisionado de classificação de imagens, o que permite uma interação por parte do observador, conduzindo a resultados satisfatórios na análise de áreas urbanas.

Na Figura 2, é possível observar as bacias que integram o perímetro urbano do município de Ji-Paraná. Cabe destacar que a bacia hidrográfica indicada como número 5, é bacia do rio Urupá.

Figura 2. Bacias hidrográficas que fazem parte do perímetro urbano de Ji-Paraná.

Como a análise do uso do solo foi feita a partir de uma imagem sintética resultante da fusão de bandas dos satélites LANDSAT e CBERS-2B, e não foi possível a obtenção de cenas do sensor HRC do CBERS-2B, no período observado, para toda a área que engloba as bacias integrantes do

perímetro urbano de Ji-Paraná, tornou-se inviável a análise do uso do solo para todas essas bacias. Desta forma, as bacias que tiveram seu uso mapeado são as bacias 3, 4, 9, 10, 11 e 12, conforme indicado na Figura 3.

Figura 3. Bacias hidrográficas inseridas no perímetro urbano de Ji-Paraná.

A partir do processo de classificação, cada bacia mapeada foi subdividida em cinco classes: água, vegetação arbórea, vegetação rasteira, solo exposto e superfícies impermeáveis. É importante ressaltar que existe um erro associado ao processo de classificação, tendo em vista que em função da resolução espacial da imagem sintética, alguns alvos são confundidos e considerados como integrantes de outra classe.

Modelos Hidrológicos - tendo em vista que o modelo hidrológico é uma ferramenta desenvolvida pela ciência para facilitar o entendimento e a representação de uma bacia hidrográfica (Tucci, 2005), sua utilização deve ser compatível com os objetivos do estudo. Porém, a aplicação de determinados modelos exigem o conhecimento de certas variáveis que podem ser desconhecidas para a área de estudo. Diante da ausência de informações, os possíveis caminhos para solucionar o problema são a utilização de dados de bacias vizinhas com características

similares, utilização de modelos empíricos ou mensuração de variáveis a partir das informações disponíveis.

No presente estudo, as variáveis mensuradas foram obtidas a partir da utilização de equações empíricas para determinados índices, bem como extração de novas informações a partir de dados gerados.

Os dados referentes à análise de chuvas intensas foram retirados de Souza et al. (2011), com destaque para a curva IDF proposta. Para a análise das chuvas intensas em Ji-Paraná, foi utilizada uma série histórica de dados de chuva máxima de “um dia” entre os anos de 1975 e 1997. Tais dados são disponibilizados pela Agência Nacional de Águas – ANA, provenientes da estação Ji-Paraná, código 1061001. A análise estatística da probabilidade e do período de retorno das chuvas intensas utilizou a distribuição de Gumbel. A Equação 1, utilizada para o cálculo da intensidade da precipitação (i_m), fornecida por

Souza et al. (2011), é apresentada a seguir, podendo ser aplicada a diversas durações (t) do fenômeno e variados períodos de retorno (Tr).

$$i_m = \frac{(951,5419)Tr^{0,1985}}{(t+13,8681)^{0,7137}} \quad (1)$$

O tempo de concentração, segundo Franco (2004), representa o tempo necessário para que toda a área da bacia passe a contribuir para a seção de controle, mantida uma precipitação constante e uniforme, com intensidade superior a capacidade de infiltração. No presente estudo, o tempo de concentração foi mensurado a partir de três métodos, que são: Método de George Ribeiro, apresentado por Garcez e Alvarez (1988); Método de Kirpich, aplicável a bacias com declividades de 3% a 10% e áreas de, no máximo 0,50 km²; Método de Kirpich modificado, que de acordo com Franco (2004) foi utilizado pelo DER/SP em bacias com áreas de drenagem superiores a 100 ha (1 km²).

Após o cálculo do tempo de concentração para as seis bacias em estudo, partiu-se para a determinação do coeficiente de escoamento superficial - C. Este coeficiente pode ser definido como a relação entre o volume total precipitado e o volume total escoado superficialmente, sendo que o valor de C é um índice variável e que compacta em um só valor características do uso e ocupação do solo, das chuvas, do efeito de armazenamento e retenção superficial, da rede de drenagem, entre outros (Genovez, 2001).

No presente estudo, o coeficiente de escoamento superficial foi calculado por dois diferentes métodos: de Horner e de Fantoli. Ambos os métodos utilizam o valor do tempo de duração das chuvas igual ao tempo de concentração da bacia em estudo. Isso ocorre devido à utilização desse coeficiente para a estimativa das vazões máximas em algumas bacias pelo método racional, conduzindo a cálculos que sejam representativos de uma

situação em que a vazão máxima ocorre quando toda a bacia estiver contribuindo no exutório (Collischonn e Tassi, 2008). Os tempos de concentração calculados pelos métodos mencionados foram utilizados na estimativa de C.

A partir do conhecimento do tempo de concentração e do coeficiente de escoamento superficial por diferentes métodos, bem como de informações das bacias em estudo, selecionou-se um método que permitisse a determinação da vazão máxima de projetos para as diferentes bacias analisadas, considerando-se a influência da variação do período de retorno e de diferentes porcentagens de áreas impermeáveis em cada bacia.

Tendo em vista a grande utilização do método racional e sua maior facilidade de aplicação diante dos dados disponíveis para as bacias em estudo, optou-se por sua utilização, bem como a adoção de suas hipóteses simplificadoras.

Em função de o método racional ser geralmente aplicável a bacias com área variando entre 0,05 e 0,5 Km² (Arndt, 2009), a utilização direta deste método para as bacias em estudo poderia gerar resultados incoerentes, pelo fato de que as bacias estudadas possuem áreas entre 0,76 e 25,35 Km². Para corrigir essas distorções ocasionadas pelo tamanho da área, o método racional foi modificado, de forma a permitir sua aplicação para áreas maiores. Segundo Franco (2004), o método racional modificado possui aplicabilidade para áreas de 0,5 a 1 Km². Já para Carvalho e Silva (2006), esse método pode ser aplicado a bacias que apresentem uma área entre 0,8 e 2 Km².

Para áreas ainda maiores, o método racional foi novamente aprimorado, sendo desenvolvido a partir dele o método I-Pai-Wu, sendo este método aplicável, segundo Carvalho e Silva (2006), a bacias com área entre 2 e 200 Km².

Resultados e discussão

Uso e Ocupação do Solo - a partir do processo de classificação da imagem sintética resultado da transformação IHS, cada uma das bacias mapeadas foi subdivida em cinco classes: água, vegetação arbórea, vegetação rasteira, solo exposto e superfícies impermeáveis. A Tabela 1, relaciona a área e respectiva porcentagem para cada classe das bacias analisadas.

Como é possível verificar, o uso dado ao solo em cada uma das bacias difere das demais, sendo possível identificar o grau de urbanização em cada uma delas. As imagens de satélite das bacias após o processo de fusão e suas respectivas classificações podem ser visualizadas abaixo, sendo possível extrair algumas informações não contidas na Tabela 1.

Tabela 1. Áreas mensuradas no processo de classificação e suas respectivas porcentagens.

	Bacia 3		Bacia 4		Bacia 9		Bacia 10		Bacia 11		Bacia 12	
Classe	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Água	0,25	7,81	0,83	3,27	0,23	3,74	0,17	4,31	0,12	3,17	0,05	6,58
Vegetação Arbórea	0,73	22,81	4,55	17,94	0,57	9,27	0,28	7,11	0,81	21,43	0,09	11,84
Vegetação Rasteira	0,44	13,75	11,64	45,90	2,20	35,77	0,72	18,27	0,03	0,79	0,14	18,42
Solo Exposto	0,56	17,50	2,27	8,95	1,26	20,49	0,91	23,10	0,98	25,93	0,19	25,00
Superfícies Impermeáveis	1,22	38,13	6,07	23,94	1,89	30,73	1,86	47,21	1,84	48,68	0,29	38,16
Total	3,2	100	25,36	100	6,15	100	3,94	100	3,78	100	0,76	100

A Bacia 3 (Figura 4), possui uma área pequena em torno de 3 Km². Após o processo de classificação, foi possível verificar que o grau de urbanização dessa bacia é elevado, tendo em vista que quase 40% de sua área é recoberta por superfícies impermeáveis e quase 20% por solo

exposto. Destaca-se que nesta bacia a região recoberta por solo exposto é constituída basicamente por estradas não pavimentadas, sendo este fato visivelmente verificado tanto na imagem de satélite quanto na classificada.

Figura 4. Bacia 3: (a) Composição Colorida R[1] G[2] B[3] e (b) Classificada.

Das bacias analisadas, a Bacia 4 (Figura 5), é a que detém a maior área e também é a que possui a menor proporção de superfícies impermeabilizadas. Esta bacia possui menos de 25% de sua área impermeabilizada e menos de 10% de área com solo exposto, o que exprime uma urbanização com manutenção de boa parte da cobertura vegetal. Nessa bacia, o índice de vegetação rasteira se aproxima dos 50% e aliado ao índice de vegetação arbórea, ultrapassa os 60%. Uma observação relevante com relação a essa bacia é que um trecho considerável de seu curso d'água, o igarapé 2 de Abril, foi canalizado. Além disso, a ocupação da bacia ocorreu predominantemente em sua área mais baixa, ou seja, mais próxima do rio Machado. Assim, a canalização do igarapé associada à ocupação das regiões mais baixas da bacia, com o incremento

das superfícies impermeáveis, tende a tornar a Bacia 4 mais suscetível a inundações.

A partir da análise das imagens da Bacia 9 (Figura 6), é possível verificar que a vegetação existente nesta bacia é predominantemente rasteira, ou seja, constituída por espécies popularmente conhecidas como grama, capim e outros tipos de vegetação similares. É importante destacar que em uma imagem de satélite, esse tipo de vegetação apresenta um comportamento espectral diferente de uma vegetação arbórea, o que permite sua diferenciação visual a partir da textura, do aspecto, da tonalidade, entre outros elementos. Nessas imagens, também é possível observar que há algumas áreas com formato irregular classificadas como solo exposto, representando predominantemente áreas onde houve implantação de empreendimentos

industriais. Parte da área identificada como solo exposto também representa vias não pavimentadas. As superfícies impermeáveis

representam mais de 30% da área total dessa bacia.

Figura 5. Bacia 4: (a) Composição Colorida R[1] G[2] B[3] e (b) Classificada.

Figura 6. Bacia 9: (a) Composição Colorida R[1] G[2] B[3] e (b) Classificada.

A Bacia 10 (Figura 7), inserida em uma das regiões urbanizadas mais antigas do município, merece destaque pelo grau de impermeabilização do solo. A partir do processo de classificação foi possível verificar que quase 50% de sua área é recoberta por superfícies impermeáveis, fato este que serve de alerta, tendo em vista os recorrentes casos de enchentes ocorridos em anos anteriores nos trechos mais baixos da bacia. Incluindo a área recoberta por solo exposto, que representa mais de 20% do total, essa bacia ultrapassa um grau de urbanização de 70%. A área vegetada desta bacia é pouco superior a 25%, sendo a vegetação predominantemente rasteira.

A Bacia 11 (Figura 8), tanto quanto a bacia 10, apresenta uma fração considerável de

superfícies impermeáveis, próximo aos 50%, que associado a área classificada como solo exposto, representa um grau de urbanização próximo a 75%. Nesta bacia e também na Bacia 3, é possível verificar a existência de superfícies impermeáveis e solo exposto a margem do curso d'água, no caso, o rio Machado. Esse fato remete aos casos de ocupações irregulares, em desacordo com Lei Nº 12.651/2012 que dispõe dentre outras questões sobre a proteção de Áreas de Preservação Permanente – APPs. Tal lei estabelece faixas marginais mínimas de 200 m para cursos d'água com largura entre 200 e 600 m, como é o caso do rio Machado. Logo, com base nas imagens, verifica-se que esta determinação não está sendo respeitada, havendo a ocupação de APPs.

Figura 7. Bacia 10: (a) Composição Colorida R[1]G[2]B[3] e (b) Classificada.

Figura 8. Bacia 11: (a) Composição Colorida R[1] G[2] B[3] e (b) Classificada.

Figura 9. Bacia 12: (a) Composição Colorida R[1] G[2] B[3] e (b) Classificada.

No caso da Bacia 12 (Figura 9), que apresenta uma área pequena quando comparada as outras bacias em estudo, inferior a 1 Km², o grau de urbanização também é superior a 50%. Em ambas as imagens, é possível verificar que as vias não são pavimentadas e a vegetação arbórea é bem distribuída ao longo das quadras. Um fator relevante a ser discutido é o fato de que essas estradas, mesmo não sendo impermeabilizadas, apresentam um baixo potencial de infiltração devido à compactação. Além disso, a vegetação existente as margens do rio Machado é predominantemente rasteira, o que corrobora para o aumento dos riscos de erosão do solo.

Modelagem Hidrológica - analisando-se os dados de precipitação disponibilizados pela ANA entre os anos de 1975 e 1997 do município de Ji-Paraná, foi possível verificar que os períodos que apresentaram maior magnitude de chuvas

intensas foram os anos de 1991 e 1982, com uma altura precipitada de 170 e 138 mm, respectivamente. Por meio da distribuição de Gumbel, foi possível estimar a frequência ou período de retorno dessas precipitações máximas, que se aproxima dos 31 anos para uma precipitação de 170 mm e gira em torno de 08 anos para uma precipitação de 138 mm (Souza et al., 2011).

Dentre as variáveis de grande relevância em uma bacia hidrográfica, encontra-se o tempo de concentração – tc. Esta variável, que pode ser entendida como o intervalo de tempo contado desde o início da precipitação até o momento em que toda a bacia contribui para o escoamento (Franco, 2004), foi mensurada por diferentes métodos, para todas as bacias em que houve a análise do uso e ocupação atual do solo, conforme Tabela 2.

Tabela 2. Tempo de Concentração (tc) encontrado para as bacias por três diferentes métodos.

	tc (min) - George Ribeiro	tc (min) - Kirpich	tc (min) - Kirpich Modificado
Bacia 3	17,37	19,24	28,76
Bacia 4	230,24	214,18	320,15
Bacia 9	56,63	58,36	87,23
Bacia 10	45,96	54,53	81,51
Bacia 11	50,81	57,64	86,16
Bacia 12	19,20	31,83	47,57

Conforme é possível verificar na Tabela 2, o tempo de concentração foi mensurado por três diferentes métodos, tendo em vista que cada método leva diferentes fatores em consideração. O método de Kirpich, que é antigo e bastante difundido, leva em consideração apenas o comprimento e o desnível total do talvegue, desprezando o uso e ocupação do solo. Segundo Franco (2004), o método de Kirpich pode subestimar o valor do tc quando o comprimento do talvegue for maior que 10 Km ou superestimar este valor em bacias urbanas. A mensuração do tc pela equação de Kirpich original foi realizada como forma de comparação, tendo em vista que sua aplicação é voltada a bacias que possuem declividades entre 3 e 10% e áreas de no máximo 0,50 Km² (Franco, 2004), o que não ocorre nas bacias em estudo. Já o método de Kirpich modificado é voltado a bacias com áreas de drenagem superiores a 1 Km², sendo aplicável a quase todas as bacias em estudo. O método de George Ribeiro, apresentado por Garcez e Alvarez (1988) como um método de razoável precisão, possui grande aplicabilidade no estudo por considerar além do comprimento e declividade do talvegue, a relação entre a área recoberta por

vegetação e a área total, bem como por não definir o tamanho da área de aplicação. Quando o tc for inferior a 10 min, deve-se adotar este valor igual a 10 min para que seja possível a utilização da equação IDF (São Paulo, 2005).

A Figura 10 mostra que os menores valores do tc foram obtidos pelo método de George Ribeiro e os maiores pelo método de Kirpich modificado. Um fator observável é que com o aumento da área da bacia, o tc pelo método de George Ribeiro vai se elevando, até superar o valor do tc de Kirpich, como ocorre na Bacia 4. No caso da Bacia 12, que apresenta uma área inferior a 1 Km² e superior à 0,5 Km², ambos os métodos de Kirpich não são totalmente adequados, porém, mantem a mesma tendência das demais bacias. Salienta-se que muitos autores utilizam o método de Kirpich para bacias com áreas de tamanho superior ao recomendado. A análise estatística dos valores de tc, por meio da análise de variância, mostrou que a diferença apresentada pelos três métodos não é significativa, ou seja, não há evidências estatísticas suficientes para afirmar que os dados diferem em algum dos métodos.

Figura 10. Comparação entre os tempos de concentração (min) por diferentes métodos.

O cálculo do coeficiente de escoamento superficial (C) foi executado por dois diferentes métodos: de Horner e de Fantoli. Pelo fato do tempo de concentração ter sido obtido por três diferentes métodos, o coeficiente C foi calculado para cada um deles, de forma a possibilitar comparações. Como o valor de C será utilizado para a estimativa das vazões máximas, para efeito de cálculo, considera-se o tempo de duração da

chuva igual ao tempo de concentração da bacia, pois segundo Collischonn e Tassi (2008) isso representará a situação em que a vazão máxima ocorrerá quando toda a bacia estiver contribuindo no escoamento. Esse coeficiente reflete as características do uso do solo no ano de 2008. A Tabela 3 permite observar que para cada um dos métodos, nos diferentes tempos de concentração, os valores apresentaram variações.

Tabela 3. Coeficiente de Escoamento Superficial (C) encontrado para as bacias por dois diferentes métodos.

	p/ tc - George Ribeiro		p/ tc - Kirpich		p/ tc - Kirpich Modificado	
	C - Horner	C - Fantoli	C - Horner	C - Fantoli	C - Horner	C - Fantoli
Bacia 3	0,31	0,39	0,32	0,40	0,39	0,43
Bacia 4	0,72	0,36	0,70	0,35	0,77	0,37
Bacia 9	0,49	0,38	0,50	0,39	0,56	0,41
Bacia 10	0,46	0,57	0,49	0,59	0,55	0,62
Bacia 11	0,48	0,60	0,50	0,61	0,56	0,64
Bacia 12	0,32	0,39	0,40	0,43	0,47	0,46

O coeficiente C, que está diretamente relacionado ao uso do solo, mais especificamente ao grau de impermeabilização da bacia, apresentou diferentes comportamentos em função das características da bacia. No caso das bacias 4 e 9, que são as maiores bacias utilizadas nesta análise, o coeficiente obtido pelo método de Horner foi mais alto que pelo método de Fantoli para os diferentes tempos de concentração, ocorrendo o inverso nas demais bacias. Essa diferença pode ser explicada a partir das variáveis envolvidas no cálculo de C.

No método de Horner, considera-se apenas a fração impermeabilizada da bacia e o tempo de duração da chuva, que é igual a tc. Já no método

de Fantoli, além de considerar um coeficiente em função da porcentagem impermeabilizada da área e o tempo de duração da chuva, é necessário adotar também um valor para o período de retorno. No presente cálculo adotou-se um período de retorno de 31 anos, pelo fato representar o tempo esperado para que a chuva máxima identificada na série histórica do município seja igualada ou superada, destacando-se que quanto maior esse valor adotado, maior a intensidade da chuva. Como a intensidade é inversamente proporcional ao tempo de duração da chuva, as bacias maiores, que possuem tc mais elevados, apresentaram menores valores de intensidade e consequentemente valores do

coeficiente C mais baixos. Além disso, as bacias maiores do estudo apresentaram menores proporções de áreas impermeáveis. Franco (2004) expressa que, em suas análises, um aumento de 10% na área impermeabilizada pode elevar em até 180% o valor de C, sendo que o incremento de 10 hab/ha resulta no aumento de C em 100%. A análise estatística dos valores de C, comparando o método de Horner e Fantoli para os valores de tc encontrados por cada método, mostram que os dados não são significativos, ou seja, não há evidências estatísticas suficientes para dizer que os valores de C por Horner e Fantoli diferem para os diferentes tempos de concentração.

O cálculo da vazão máxima foi feito pelo método racional modificado para a Bacia 12 e pelo método de I-Pai-Wu, que é o método racional aprimorado, para as demais bacias, em função do tamanho da área da bacia aplicável a cada método. No caso das vazões máximas obtidas pelo método racional modificado, são utilizadas todas as variáveis definidas para o método racional original mais um elemento relacionado ao comprimento axial da bacia. Para as vazões

máximas obtidas pelo método de I-Pai-Wu, além do valor do C, a equação envolve um fator de forma relacionado ao comprimento axial da bacia e sua área, um coeficiente de distribuição da chuva geralmente adotado com o valor de 0,99 (São Paulo, 2005), e a intensidade da chuva. A intensidade utilizada refere-se ao período de retorno de 31 anos e ao tc igual ao tempo de duração da chuva, conforme descrito na Tabela 2.

A Tabela 4, apresentada a seguir, traz os valores da vazão máxima para as seis bacias analisadas, levando em conta os valores de C calculados pela equação de Horner e Fantoli para os diferentes tempos de concentração. A vazão máxima de um curso d'água está vinculada à segurança de uma obra hidráulica, associada à probabilidade da ocorrência do evento em um ano qualquer, no caso, associado ao período de retorno (São Paulo, 2005). Pelo fato do método de I-Pai-Wu não considerar a parcela de água que infiltra no solo, para o cálculo da vazão máxima de projeto, é adicionada a vazão de cheia mais 10% de seu valor, o que representa a vazão de base.

Tabela 4. Vazões Máximas de projeto (Q_{máx}) para diferentes valores de C e tc.

	Q _{máx} (m ³ /s) - C Horner			Q _{máx} (m ³ /s) - C Fantoli		
	tc G. Ribeiro	tc Kirpich	tc Kirpich Mod.	tc G. Ribeiro	tc Kirpich	tc Kirpich Mod.
<i>Bacia 3</i>	35,44	44,34	35,68	43,65	35,63	39,24
<i>Bacia 4</i>	94,17	46,64	97,91	48,96	81,71	39,14
<i>Bacia 9</i>	50,01	38,75	49,80	38,48	44,16	31,95
<i>Bacia 10</i>	34,88	43,01	33,69	40,40	30,02	33,66
<i>Bacia 11</i>	32,03	39,95	31,22	38,22	27,71	31,76
<i>Bacia 12</i>	8,62	10,31	8,51	9,04	7,98	7,80

Na análise dos valores das vazões máximas de projeto, observa-se que ao considerar o tc de George Ribeiro, as bacias 4 e 9, que são as maiores, apresentam valores mais elevados ao utilizar o coeficiente C obtido pelo método de Horner, enquanto as demais bacias apresentaram valores menores, mantendo a tendência constatada no cálculo de C. Já ao se considerar o tc de Kirpich, ocorreu exatamente o inverso, sendo que os valores de Q_{máx} obtidos com a utilização de C pelo método de Horner apresentaram valores mais baixos para as duas bacias maiores e valores mais altos para as demais bacias. Para o tc de Kirpich Modificado, não se observou uma tendência para as vazões máximas. A partir de análises estatísticas, verificou-se que a variação entre os valores de Q_{máx} para os diferentes valores de C e tc não é significativa, demonstrando que não há evidências estatísticas suficientes para afirmar que

existe diferença entre os valores de Q_{máx} para as situações propostas.

A fim de se obter cenários de vazões máximas de projeto para as bacias analisadas, foi feito o cálculo desse parâmetro para diferentes tempos de concentração (tc) e usos do solo na área das bacias. É importante destacar que esses cenários são hipotéticos para situações futuras, tendo sido a atual situação das bacias discutida acima. Para essa suposição foi adotado o tc de George Ribeiro por ser aplicável a todas as bacias e por considerar a permeabilidade da bacia, a partir da relação entre área vegetada e área total da bacia. Destaca-se ainda que os valores de C utilizados foram calculados pela equação de Fantoli, considerando além da fração impermeável da bacia, a intensidade das chuvas para diferentes períodos de retorno. Para simplificar a situação proposta, foram consideradas como superfícies

impermeáveis as áreas impermeabilizadas e com solo exposto; como áreas vegetadas, as proporções de vegetação arbórea e rasteira; a fração de água de cada bacia foi descontada em cada cálculo. A Tabela 5 apresenta as frações impermeáveis de cada bacia (AI), utilizadas para o

cálculo de C, bem como os valores de tc encontrados para os diferentes índices de permeabilidade das bacias. A primeira linha de valores da tabela se refere à situação observada do uso do solo no ano de 2008 e as demais, a possíveis situações futuras.

Tabela 5. Tempo de Concentração (tc) calculado a partir da proporção de áreas impermeáveis (AI) nas bacias – cenário atual (1ª linha) e proposições futuras.

Bacia 3		Bacia 4		Bacia 9		Bacia 10		Bacia 11		Bacia 12	
AI (%)	tc (min)	AI (%)	tc (min)	AI (%)	tc (min)	AI (%)	tc (min)	AI (%)	tc (min)	AI (%)	tc (min)
55,42	17,37	32,90	230,25	51,21	56,63	70,36	45,96	74,71	50,81	62,66	19,20
60,00	17,21	40,00	226,75	60,00	55,61	75,00	45,54	80,00	50,28	70,00	18,92
70,00	16,87	60,00	217,46	70,00	54,49	80,00	45,09	85,00	49,79	80,00	18,55
80,00	16,54	80,00	208,91	80,00	53,42	85,00	44,65	90,00	49,31	90,00	18,19

Utilizando-se os valores de tc e do coeficiente de escoamento superficial para as proporções de áreas impermeáveis mostradas na Tabela 5, foram calculadas as vazões máximas de projeto para as seis bacias analisadas, considerando-se um período de retorno de 2, 5, 10, 20 e 100 anos. Os gráficos relacionando as vazões máximas de projeto, tempos de duração da chuva e períodos de retorno são apresentados na Figura 11.

Pelo fato de se considerar situações diferentes para cada bacia analisada, não se pode fazer comparações diretas entre o comportamento apresentado por elas nos gráficos. Mas de forma geral, é possível notar que quanto maior o período de retorno e menor a duração da chuva, maior será a intensidade da chuva e consequentemente o valor da $Q_{m\acute{a}x}$ será mais alto. Também se percebe que de acordo com o aumento da fração impermeável da bacia, o tempo de duração da chuva é reduzido, pois a água que cai no ponto mais distante da bacia chegará mais rápido ao exutório, o que resulta em vazões mais elevadas.

Para a Bacia 4, que apresenta uma menor área impermeabilizada e o cenário considera uma maior amplitude de impermeabilização, as linhas apresentam uma inclinação maior que as demais, ou seja, uma maior variação da vazão máxima com relação ao tempo de duração da chuva para cada período de retorno. As características da Bacia 4 atualmente resultam em uma vazão 61%

menor do que se ela apresentasse 80% de sua área impermeabilizada. Arndt (2009) reafirma que o aumento das vazões máximas em pequenas bacias hidrográficas é extremamente sensível às mudanças ocorridas no uso do solo, uma vez que o aumento das áreas impermeáveis reduz potencialmente a capacidade de infiltração do solo, diminuindo assim o tempo de concentração da bacia e concentrando o volume escoado nos canais de drenagem, o que pode intensificar as inundações das áreas ribeirinhas aos canais de drenagem.

As Bacias 10 e 11, que possuem mais de 70% de sua área impermeabilizada, apresentam uma menor variação da vazão máxima com relação ao tempo de duração da chuva. Caso a bacia 10 apresentasse 85% de sua área impermeabilizada e a Bacia 11 tivesse 90%, as vazões máximas em função da impermeabilização do solo aumentariam com relação à situação atual 18,20% e 18,00%, respectivamente. Caso as bacias 3 e 9 tivessem 80% de sua área impermeabilizada, $Q_{m\acute{a}x}$ teria um aumento consecutivo de 31,40% e 37,60%. Já a Bacia 12, se impermeabilizasse 90% de sua área, elevaria sua vazão com relação a atual em 31,20%.

Já com relação aos períodos de retorno, a variação causada na vazão máxima ao se considerar uma alteração no tr de 2 para 100 anos é de aproximadamente 65% para todas as bacias.

Figura 11. Cenário de vazões máximas para as bacias analisadas para diferentes períodos de retorno e tempo de duração da chuva.

Conclusões

1. A caracterização do uso do solo nas Bacias 3, 4, 9, 10, 11 e 12, realizada a partir da classificação de uma imagem fusionada do ano de 2008, tornou possível a quantificação das superfícies impermeáveis existentes em cada delas. Todas essas bacias possuem mais de 20% de sua superfície impermeabilizada e quando se associa este valor às áreas com solo exposto, se ultrapassa os 30%. Há duas bacias que apresentam quase 50% de suas superfícies impermeáveis e quando associadas a suas áreas de solo exposto, esse valor supera os 70%. O aumento na impermeabilização do solo contribui para intensificação das inundações em casos de precipitações intensas, pois a infiltração será menor e o escoamento superficial incrementado.
2. Na análise das chuvas intensas, verificou-se nos dados da série histórica que a maior

precipitação diária entre os anos de 1975 e 1997 foi de 171 mm no ano de 1991, sendo possível estimar um período de retorno de 31 anos para que uma precipitação dessa intensidade volte a acontecer.

3. O cálculo de variáveis hidrológicas como o tempo de concentração e o coeficiente de escoamento superficial, conjuntamente aos demais dados gerados na pesquisa para cada bacia, tornou possível a mensuração das vazões máximas de projeto para as seis bacias que tiveram seu uso mapeado, pelo Método Racional. Os resultados mostraram que tanto o tempo de concentração (t_c) quanto o coeficiente de escoamento superficial (C), obtidos por métodos distintos, não diferiram estatisticamente, bem como as vazões máximas de projeto calculadas com o uso desses parâmetros.

Referências

- Arndt, M. A., 2009. Uso e ocupação do solo e escoamento superficial na Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel. Dissertação (Mestrado). Cascavel, UNIOESTE.
- Bonduki, N. G., 1996. A guisa de conclusão: das experiências concretas para a construção de um novo ideário em políticas urbanas. In: Phillipi Júnior, A. (Org.) Habitat: As práticas bem-sucedidas em habitação, meio ambiente e gestão urbana nas cidades brasileiras. Studio Nobel, São Paulo.
- BRASIL, 1997. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro.
- BRASIL, 2001. Lei nº 10.257, de 10 de julho.
- BRASIL, 2012. Lei Nº 12.651, de 25 de maio.
- Câmara, G. et al., 1996. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. *Computers e Graphics* 20, 31-43.
- Carvalho, A. A., 2003. Fundamentação Teórica para Processamento Digital de Imagens. Monografia (Graduação). Lavras, UFLA.
- Carvalho, D. F.; Silva, L. D. B., 2006. Hidrologia. UFRRJ, Rio de Janeiro.
- Cirilo, J. A.; Góes, V. C.; Asfora, M. C., 2007. Integração das águas superficiais e subterrâneas, in: Cirilo, J. A. et al. O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semi-áridas. Ed. Universitária da UFPE, Recife.
- Chaffun, N., 1996. Dinâmica global e desafio urbano, in: bonduki, N. (Org.) Habitat: As práticas bem-sucedidas em habitação, meio ambiente e gestão urbana nas cidades brasileiras. Studio Nobel, São Paulo.
- Collischonn, W.; Tassi, R., 2008. Introduzindo Hidrologia. IPH UFRGS, Porto Alegre.
- Crósta, A. P., 1992. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Tese (Doutorado). Campinas, UNICAMP.
- Esteves, R. L., 2006. Quantificação das Superfícies Impermeáveis em Áreas Urbanas por Meio de Sensoriamento Remoto. Dissertação (Mestrado). Brasília, UnB.
- Franco, E. J., 2004. Dimensionamento de bacias de detenção das águas pluviais com base no método racional. Dissertação (Mestrado). Curitiba, UFPR.
- Garcez, L. N.; Alvarez, G. A., 1988. Hidrologia, 2 ed. Edgard Blucher, São Paulo.
- Genovez, A. M., 2001. Vazões Máximas, in: FINEP, Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre.
- Gonzalez, R. C.; Woods, R. E., 2000. Processamento de Imagens Digitais. Edgard Blucher, São Paulo.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011. Cidades. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 14 maio 2011.
- Ji-PARANÁ (Município), 2001. Lei n. 1136, de 21 de dezembro.
- Ji-Paraná (Município). 2011. Histórico do Município. Disponível em: < <http://www.ji-parana.ro.gov.br/simbolos-municipais.php>>. Acesso em: 23 jul. 2011.
- Krusche, A. V. et al., 2005. Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. *Acta Amazonica* 35, 197-205.
- Moreira, M. A., 2011. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. Ed. UFV, Viçosa.
- Pinheiro Júnior, N. X., 2009. Aplicação de produtos fotogramétricos no estudo da expansão urbana no bairro Vila Nova em Joinville/SC. Dissertação (Mestrado). Florianópolis, UFSC.
- Santos, A. R.; Peluzio, T. M. O.; Saito, N. S., 2010. SPRING 5.1.2: passo a passo: aplicações práticas. CAUFES, Alegre.
- São Paulo., 2005. Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas. DAEE, São Paulo.
- Silveira, A. L. L., 2009. Ciclo hidrológico e Bacia Hidrográfica, in: Tucci, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação, 4 ed. ABRH, Porto Alegre.
- Souza, V. A. S. et al., 2011. Análise de Eventos Pluviométricos Extremos no Município de Ji-Paraná, Rondônia. *Revista Pesquisa e Criação* 10, 139-151.
- Tucci, C. E. M., 2005. Modelos Hidrológicos, 2 ed. UFRGS/ABRH, Porto Alegre.
- Tucci, C. E. M.; Braga, B., 2003. Clima e Recursos Hídricos no Brasil. ABRH, Porto Alegre.
- Villela, S. M.; Mattos, A., 1975. Hidrologia aplicada. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo.