



REVISTA
Casa da
GEOGRAFIA
de Sobral
ISSN 2316-8056



CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS SOBRE BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANIZADAS E O PROCESSO DE INUNDAÇÃO

Theoretical considerations about urbanized hydrographical basins and the process of floods

Consideraciones teóricas sobre cuencas hidrográficas urbanizadas y el proceso de inundación

Hydrographie urbanisée et processus d'inondation

<https://doi.org/10.35701/rcgs.v22n2.672>

Ana Márcia Moura da Costa¹

Oswaldo Girão da Silva²

Histórico do Artigo:

Recebido em 01 de Abril de 2020

Aceito em 02 de Maio de 2020

Publicado em 05 de Setembro de 2020

RESUMO

As bacias hidrográficas urbanas passaram a constituir espaços relevantes para o planejamento e gestão das cidades, pois as dinâmicas processuais inerentes aos domínios fluvial e interfluvial refletem no cotidiano dos residentes urbanos, principalmente quando de eventos pluviais intensos, que desencadeiam eventos de enchentes e inundações. Neste artigo, de caráter teórico-conceitual, buscou-se avaliar como o uso e ocupação urbana promove modificações sobre a dinâmica superficial de fluxos hídricos, promovendo enchentes e, principalmente, inundações quando da intensificação de precipitações sazonais, levando a existência de risco geomorfológico a habitantes de planícies fluviais e consequente busca por medidas de controle para tais eventos naturais, mas potencializados pelo processo de urbanização. Assim, o artigo em questão busca contribuir como subsídio a projetos e estudos voltados para o planejamento e gestão para ocupação de áreas de bacias hidrográficas que sofrem um crescente processo de urbanização que potencializam eventos de inundações.

Palavras-chave: Rios urbanos; Enchentes e inundações; Planejamento e gestão urbana.

¹ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n Cidade Universitária – Recife/PE. E-mail: anamouracosta08@gmail.com

² Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n Cidade Universitária – Recife/PE. E-mail: osgirao@gmail.com

ABSTRACT

Urban river basins have become relevant spaces for the planning and management of cities, as the procedural dynamics inherent in the fluvial and interfluvial domains reflect in the daily lives of urban residents, especially when there are intense rain events, which trigger events of floods and overflows. In this theoretical and conceptual article, we sought to evaluate how urban use and occupation promotes changes in the surface dynamics of water flows, promoting floods and, especially, overflows when the intensification of the seasonal precipitation occurs, leading to the existence of geomorphological risk to inhabitants of fluvial plains and consequent search for control measures for such natural events, but enhanced by the urbanization process. Thus, the article in question seeks to contribute as a subsidy to projects and studies aimed at planning and management for the occupation of watershed areas that undergo an increasing urbanization process that potentiate flood events.

Keywords: Urban rivers; Floods and overflows; Urban planning and management.

RESUMEN

Las cuencas hidrográficas urbanas se han convertido en espacios relevantes para la planificación y gestión de las ciudades, ya que las dinámicas procesales inherentes a los dominios fluvial e interfluvial se refleja en la vida cotidiana de los residentes urbanos, especialmente cuando hay eventos pluviales intensos, que desencadenan ocurrencias de crecidas e inundaciones. En este artículo, de carácter teórico y conceptual, buscamos evaluar cómo el uso y ocupación urbana promueven cambios en la dinámica superficial de los flujos hídricos, promoviendo crecidas y, especialmente, inundaciones cuando se intensifica la precipitación estacional, lo que lleva a la existencia de riesgo geomorfológico para habitantes de llanuras fluviales y la consecuente búsqueda de medidas de control para tales eventos naturales, pero reforzados por el proceso de urbanización. Por lo tanto, el artículo en cuestión busca contribuir como un subsidio a proyectos y estudios destinados a la planificación y gestión de la ocupación de áreas de cuencas hidrográficas que se someten a un proceso de urbanización creciente que potencian las inundaciones.

Palabras claves: Ríos urbanos; Crecida e inundaciones; Planificación y gestión urbana.

RÉSUMÉ

Les bassins fluviaux urbains sont devenus des espaces pertinents pour la planification et la gestion des villes, car les dynamiques procédurales inhérentes aux domaines fluvial et interfluvial se reflètent dans la vie quotidienne des citoyens, en particulier lorsqu'il y a des pluies intenses, qui déclenchent des inondations et des inondations. Dans cet article théorique-conceptuel, nous avons cherché à évaluer comment l'utilisation et l'occupation urbaines favorisent les changements dans la dynamique de surface des écoulements d'eau, favorisant les inondations et, surtout, les inondations lorsque l'intensification des précipitations saisonnières, conduisant à l'existence d'un risque géomorphologique habitants des plaines fluviales et la recherche conséquente de mesures de contrôle de ces événements naturels, mais renforcées par le processus d'urbanisation. Ainsi, l'article en question cherche à contribuer à titre de subvention à des projets et des études visant à la planification et à la gestion de l'occupation des zones de bassins versants qui subissent un processus d'urbanisation croissante qui potentialise les inondations.

Mots-clés: rivières urbaines; Inondations et inondations; Planification et gestion urbaine.

INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas constituem unidades de planejamento e gestão espacial que, quando passam a apresentar territorialidades urbanas, desenvolvem mudanças que causam alterações no equilíbrio dinâmico dos elementos naturais derivadas de mudanças no uso e ocupação da terra. Devido ao aumento de áreas e expansão destas com adensamento urbano nas últimas décadas no Brasil, estas ocupações alteraram, significativamente, a dinâmica processual da paisagem, ocasionando desequilíbrios e, conseqüentemente, situações de riscos, por exemplo, em áreas de planícies fluviais e mesmo nas áreas interflúvias.



Além das modificações provocadas por espacialidades urbanas, a existência de canais de drenagens em concomitância à ocorrência de adversidades atmosféricas, causam impactos negativos, e muitas vezes, provocam danos irreparáveis, devido aos eventos de enchentes e inundações que são dependentes da atuação de sistemas atmosféricos.

O processo de urbanização, junto com acasos pluviais, influencia diretamente nas ocorrências das enchentes e inundações, devido a expansiva impermeabilização de superfícies, modificação da cobertura vegetal local e obstrução de canais hídricos. Em ambientes ribeirinhos, tais como as áreas de várzeas de inundação, que recorrentemente são inundadas quando de intensas precipitações, constituem as principais áreas susceptíveis a eventos de inundações e, conseqüentemente, aos riscos deles decorrentes.

Neste artigo busca-se refletir sobre os parâmetros teóricos da dinâmica das bacias hidrográficas, enfatizando-se para aquelas que apresentam espacialidades urbanas em seus perímetros, considerando as influências adversas que o processo de urbanização impõe à dinâmica processual destas territorialidades compostas por domínios fluvial e interfluvial.

Considerando os eventos de inundações e a necessidade de ações de planejamento urbano voltadas para avaliar medidas de mitigação para as áreas sujeitas à inundações, buscou-se considerar que tais ventos naturais são riscos de caráter geomorfológico que demandam formas de controle para minimizar prejuízos infraestruturais e socioeconômicos em áreas que são, naturalmente, fortemente adensadas nas cidades.

Bacias hidrográficas e urbanização

Uma Bacia Hidrográfica (BH) consiste em uma região de captação natural da água da chuva que tende a conduzir os escoamentos em um único ponto de saída, o seu exutório. A bacia hidrográfica é constituída por um conjunto de vertentes interfluviais e de uma rede de drenagem, a qual é composta por cursos de água que convergem até resultar em um leito único no exutório (TUCCI e SILVEIRA, 2009).

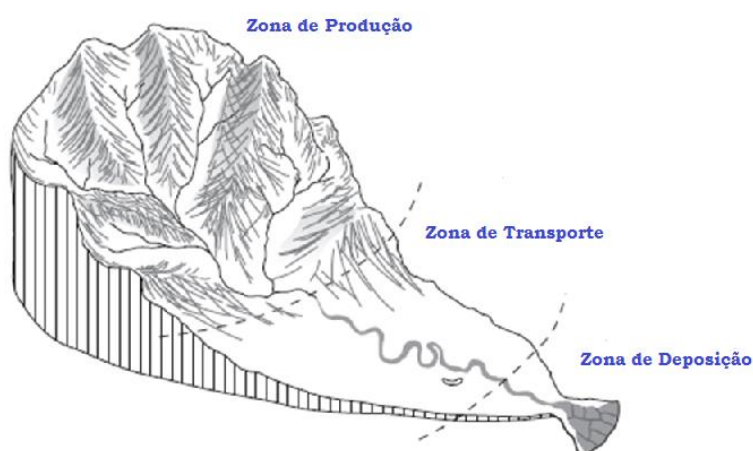
De acordo com Christofolletti (1980) uma bacia hidrográfica é composta por um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados e é definida como sendo a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial.

Para Schumm (2003) e Charlton (2008), uma bacia hidrográfica apresenta zonas ou compartimentos de processos dominantes, sendo elas as zonas de produção, transporte e deposição (Figura 1). Contudo, apesar da dominância de determinado processo por zona, Schumm (2003) assinala que tal domínio de processo não impede a ocorrência de outros processos em determinados compartimentos da bacia hidrográfica.

Para Charlton (2008), considerando uma BH um Sistema Fluvial, o mesmo é composto por domínios interfluvial, submetido aos processos do sistema de encostas (*hillslope system*), e fluvial, submetido aos processos do sistema canal-planície aluvial (*channel-floodplain system*) (Figura 2).

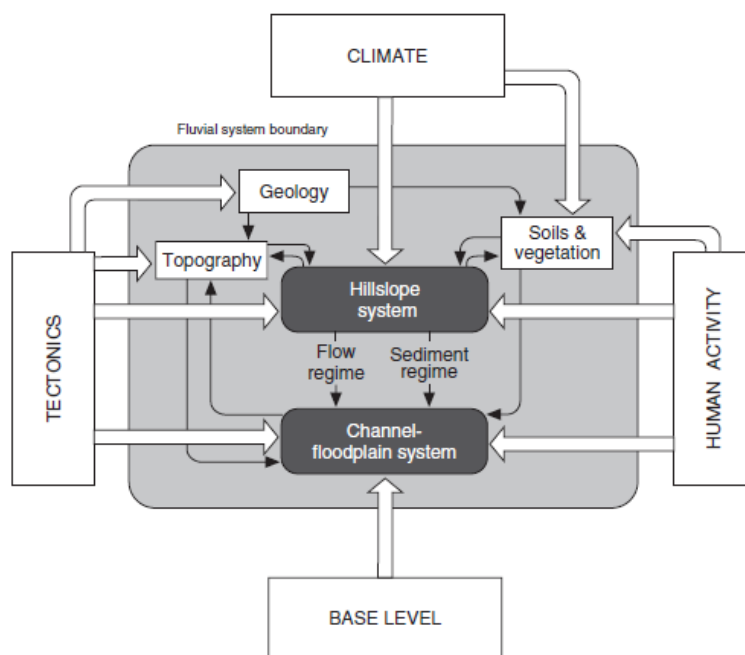
No interior do domínio interfluvial, a geologia, a topografia, os solos e a cobertura vegetal são elementos que interagem para a dinâmica processual que responde pelos regimes de fluxos de água e sedimentos que promovem *inputs* ao domínio fluvial (rede de drenagem). Tais elementos e regimes são influenciados por fatores externos ao sistema fluvial, como climático, tectônico, atividades humanas e o nível de base, que respondem por características espaço-temporais diversas no perímetro de uma BH.

Figura 1: Zonas de processos dominantes.



Fonte: Adaptado de Charlton, 2008.

Figura 2: Representação Simplificada de um Sistema Fluvial.



Fonte: Charlton, 2008.

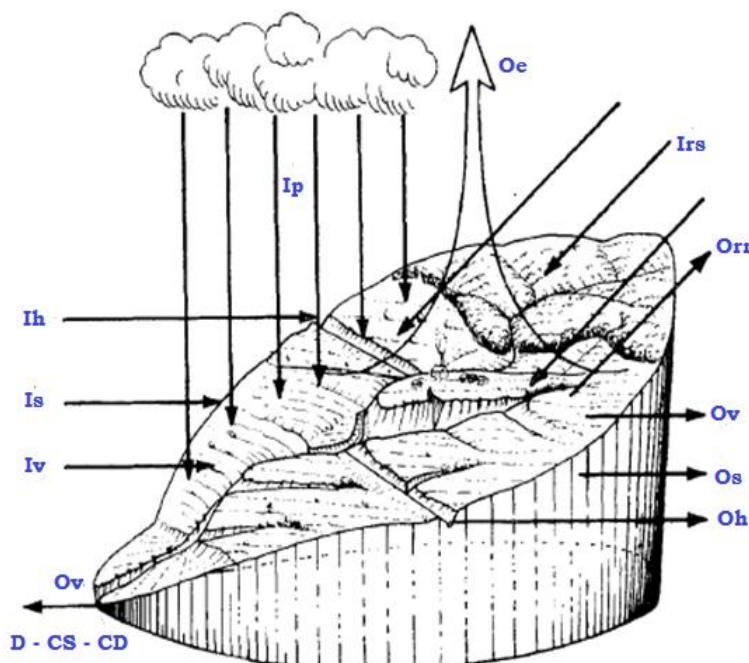
Em uma BH a troca de energia e matéria com seu ambiente externo leva a entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) devido as influências dos fatores externos, conforme Zăvoianu (1985) (Figura 3).

Dentre os *inputs* de energia e matéria climática, Zăvoianu (1985) destaca a influência das precipitações, dos ventos e da radiação solar, além de *inputs* subterrâneos, relacionados com a infiltração e disponibilidade de reservas subsuperfície, e os de origem antrópica, que podem ser de origem superficial ou também subsuperficial, derivada da deposição de resíduos sólidos, esgotamento sanitários e aditivos químicos.

Já os *outputs* de energia e matéria climática, estes estão relacionados à radiação solar, evaporação e evapotranspiração, ventos, reflexão e radiação. Além destas saídas derivadas da dinâmica climática, considera-se ainda as de origem dos fluxos fluviais relativos à vazão dos canais (descarga, carga de sedimentos e carga dissolvida), os subterrâneos, relativos as zonas de saturação que acrescem água aos cursos fluviais, e os derivados das ações antrópicas, lançados em superfície e subsuperfície, e que são evacuados por escoamento nos interflúvios e nos canais fluviais.

Além dos *inputs* e *outputs*, o processo de armazenagem (*storage*) da água ocorre durante períodos de tempo variáveis em lagos e reservatórios, e abaixo do solo em aquíferos. Além da água, sedimentos são armazenados quando depositados em canais, lagos, lagoas, deltas, leques aluviais e nas planícies aluviais, podendo tais materiais serem liberados do armazenamento em uma fase posterior.

Figura 3: Troca de Matéria e Energia entre uma bacia de hidrográfica e seu ambiente externo.



Fonte: Adaptado de Zăvoianu, 1985.

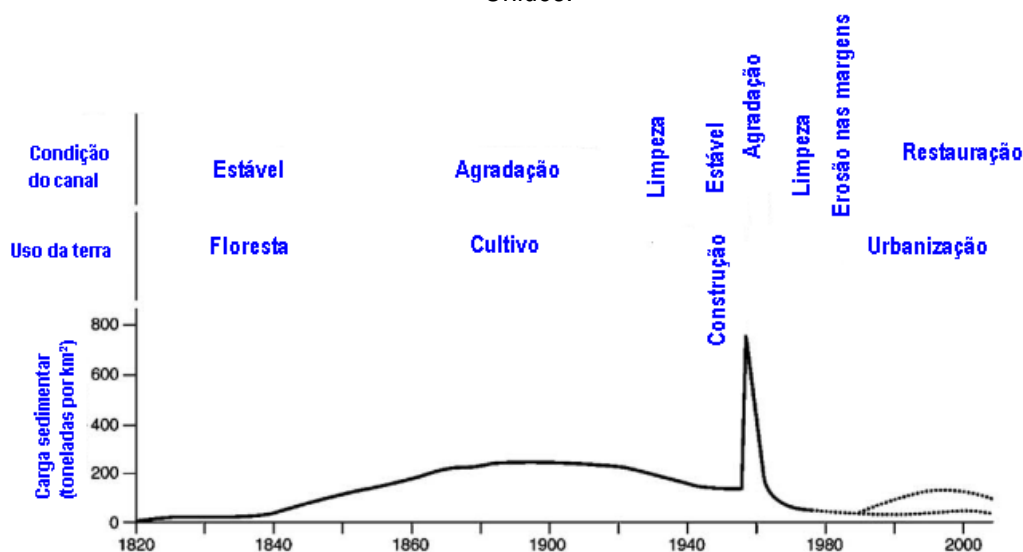
- **Ip:** *Inputs* de matéria devido à precipitação;
- **Ih:** *Inputs* devido à ação humana;
- **Is:** *Inputs* subterrâneos;
- **Iv:** *Inputs* devido aos ventos;
- **Irs:** *Inputs* de energia devido à radiação solar;
- **Ov:** *Outputs* de matéria e energia através da vazão (**D** – descarga, **CS** – carga de sedimento, **CD** – concentração da carga dissolvida);
- **Oe:** *Outputs* devido à evaporação e evapotranspiração;
- **Oh:** *Outputs* devido à ação humana;
- **Os:** *Outputs* subterrâneos;
- **Ov:** *Outputs* devido aos ventos;
- **Orr:** *Outputs* de energia devido à reflexão e radiação.

Nas áreas urbanas, toda essa diversidade de “caminhos” da água de um sistema fluvial é reduzida ao binômio escoamento e infiltração, com maior participação do primeiro, devido à substituição da cobertura vegetal natural por terras desnudas, quando novos elementos são adicionados pelas sociedades urbanas como edificações e pavimentações, que comprometem o processo de infiltração, e acabam por reduzir, drasticamente este processo, em benefício do escoamento superficial, que atinge os canais fluviais mais rapidamente e de forma concentrada, causando o aumento da intensidade e da frequência de enchentes, e mesmo inundações (TUCCI, 1997; BOTELHO, 2011; STEVAUX e LATRUBESSE, 2017).

A análise realizada por Wolman (1967), sobre o ciclo de urbanização em um Interflúvio, referente às mudanças de usos da terra em uma região da costa leste dos Estados Unidos (Figura 4), considerou a importância da correlação dos tipos de usos da terra (floresta, lavoura, pastagem/pecuária e construção) com a produção de sedimentos, principalmente no início e no pico do processo de urbanização, mas que decai a partir da diminuição de disponibilidade de terrenos expostos que passam a ser impermeabilizados (WOLMAN, 1967; STEVAUX e LATRUBESSE, 2017). Contudo, em sua análise Wolman desconsiderou uma provável reativação de atividades de construção por ocasião de uma expansão horizontal na área urbanas pós o pico da fase de crescimento que levaria a reativação do ciclo de hidrotransporte de sedimentos (GIRÃO e CORRÊA, 2015).

Assim, nas bacias hidrográficas urbanizadas em sua totalidade, ou parcialmente, ocorre uma redução do tempo de concentração de suas águas em superfície e um aumento dos picos de sedimentação e enchentes, quando comparadas às condições anteriores à urbanização (BOTELHO, 2011). Tucci (2006) alerta para a ocorrência e consequências destes processos nas áreas urbanas, e Porto *et al.* (2012) afirmam que, em casos de eventos pluviais extremos, o pico de enchentes em uma bacia hidrográfica urbana pode chegar a seis vezes maior que o pico desta mesma em condições de predomínio de elementos naturais.

Figura 4: Ciclo de Mudanças de uso da terra para a região Meio Atlântica, Nordeste dos Estados Unidos.



Fonte: Girão e Corrêa, 2015 (adaptado de WOLMAN, 1967).

Ademais, soma-se a esta água em superfície derivadas da dinâmica climática, as águas servidas de uso familiar, comercial, industrial que, pela ausência de um sistema adequado de tratamento e recolhimento, são conduzidas junto com as águas pluviais, quando não são lançadas diretamente nos corpos d'água, sendo esta uma condição altamente danosa para degradação das águas e para a redução do tempo do ciclo hidrológico em sua fase terrestre (BOTELHO, 2011).

Deve-se considerar que a magnitude com que estas mudanças influenciam no ambiente natural e no balanço hídrico está relacionada com as condições de cada localidade quanto a intensificação e ampliação dos espaços urbanos, considerando os tipos de solos, de cobertura vegetal, da geologia e dos condicionantes climáticos (TUCCI, 1997).

Uma bacia hidrográfica urbana refere-se às redes de drenagem que se encontram restritas, total ou parcialmente, à área de abrangência de uma cidade, cujos recursos hídricos superficiais e subsuperficiais sofrem impactos do processo de urbanização e suas conseqüentes formas de usos.

A ocupação de espaços urbanos ocorre, em geral, de modo desordenado, sendo este o principal fator de transformação das características naturais dos elementos físico-naturais presentes nestes espaços, e que promovem alterações/impactos nas dinâmicas processuais dos sistemas fluviais. Estes impactos são gerados a partir do modo como ocorre o uso e ocupação da terra, desconsiderando, quase sempre, a dinâmica do meio físico, resultando na geração de riscos, quando da ocorrência de movimentos de massa, processos erosivos, enchentes, inundações e alagamentos (SANTOS *et al.*, 2016).

Para Pessoa e Façanha (2015) os principais impactos sobre os recursos hídricos nas cidades brasileiras são:

- A contaminação dos mananciais urbanos por conta da poluição dos sistemas hídricos e ocupações desordenadas das áreas de proteção de mananciais, levando à redução da disponibilidade hídrica;
- A ausência de tratamento ou disposição adequada de esgotamento sanitário, industrial e de resíduos sólidos;
- Ao aumento das recorrências e intensidades das enchentes e inundações, e da poluição devido à drenagem urbana deficiente;
- A ocupação das áreas de risco de inundação, com consequências para as populações afetadas; e
- A redução da disponibilidade de recursos hídricos.

Quanto às ações e políticas voltadas para as questões sobre drenagem urbana, estas passaram a ser tratadas com maior ênfase por gestores públicos a partir da década de 1960, com o gradativo adensamento urbano que passa a conviver a sociedade brasileira, pois as obras de engenharia desenvolvidas nas cidades em crescimento estavam destinadas a retirar rapidamente o acúmulo de águas de locais importantes para a expansão urbana, sobressaindo-se as localidades do centro e centro estendido das cidades, transferindo os problemas de enchentes e inundações para outras áreas, ou mesmo acirrando para áreas já afetadas nas zonas periurbanas.

Entre os problemas urbanos derivados da expansão horizontal destacam-se as constantes enchentes e inundações em domínio fluvial, e os movimentos de massa ligados ao domínio interfluvial, ocasionados pela ausência de infraestrutura, planejamento e gestão adequada dos cursos de água e seus respectivos interflúvios. Ademais, a ocupação de margens de córregos e rios, a canalização e a impermeabilização dos terrenos, potencializa os riscos de enchentes e inundações nas planícies fluviais, assim como o aumento dos vetores transmissores de enfermidades (PORTO e FERREIRA, 2012).

Com o aumento destes problemas em áreas urbanas via-se a necessidade de acolhimento de projetos voltados para grandes sistemas de galerias pluviais e as ações destinadas a melhorar o fluxo em rios e canais, realizadas através de cortes de meandros, retificações e mudanças de declividade no interior dos cursos d'água. Esta visão, ainda predominante em alguns meios técnicos, destaca o controle do escoamento na própria calha do curso d'água, mas desconsidera a importância da geração do escoamento nas superfícies impermeabilizadas das zonas urbanizadas (POMPÊO, 2000).

Segundo Tucci, Porto e Barros (1995) e Tucci (2008), no final do século XX, devido ao aumento rápido do processo de urbanização, houve um aumento expressivo da população urbana brasileira que

passou dos 80% (IBGE, 2010), ocupando espaços rapidamente e praticamente sem ações de planejamento, gestão ambiental e territorial nos limites das cidades, sem o mínimo de infraestrutura adequada a tal ocupação.

Além da ocupação sem planejamento de domínios interfluviais e fluviais de bacias hidrográficas que possuem centros urbanos em seus perímetros, que potencializam eventos naturais como processos erosivos, movimentos de massa, enchentes e inundações, há como consequência desta o acréscimo da produção de sedimentos hidrotransportados, que acarretam em áreas fluviais assoreamentos quando do início de um processo de urbanização, diminuindo, assim, a capacidade de escoamento da rede de drenagem de rios e canais urbanos (BERTONI e TUCCI, 2003).

A urbanização cria não só novos cenários espaciais, mas também novos ecossistemas, pois modifica todos os elementos da paisagem, como o solo, a topografia, a cobertura vegetal, a fauna, a hidrografia e o clima. As características da urbanização fazem com que este processo se constitua para além de um fator gerador de problemas ambientais, em um problema ambiental em si. Tucci (2006) ratifica que a urbanização não interrompe os processos naturais, mas interfere na combinação futura resultante e, dentre os principais efeitos do crescimento urbano, estão as modificações nas dinâmicas fluviais, relacionadas com o aumento da vazão máxima, a antecipação do tempo de pico e o aumento do volume do escoamento superficial (TUCCI; PORTO e BARROS, 1995).

Conforme Porto e Ferreira (2012), ao ocorrer uma descaracterização de vales fluviais, encostas e leitos de cursos de água, uma tendência expansiva para áreas urbanas devido à crescente demanda pela ocupação de novos espaços, tem-se uma gradativa preocupação por conta da supressão da cobertura vegetal natural, que levam à aceleração dos processos de erosão, assoreamento, contaminação e aumento de sólidos em suspensão nas águas fluviais.

Assim, de acordo com Jabur (2010), alterações nos processos erosivos e de hidrotransporte de sedimentos estão correlacionados com as dinâmicas fluviais a partir das dinâmicas climáticas, sobressaindo-se as de caráter pluvial, sendo indispensável que os estudos hidrológicos busquem informações sobre a chuva excedente que chega a superfície, e que respondem por fluxos intensos de escoamento superficial e vazões de enchentes, os quais representam uma fração do total de água precipitada que escoam inicialmente pela superfície e que colaboram para a vazão dos rios.

De início, a precipitação origina o escoamento superficial, o qual primeiramente forma uma lâmina que recobre as pequenas depressões da superfície. Com a continuação da chuva, esta película laminar vai se transformando em uma lâmina mais espessa, sendo este volume escoado a diferença entre a precipitação total e os volumes retidos, infiltrados, evaporados e acumulados nas depressões. O

escoamento segue o sentido de linhas do terreno com maior declive até alcançar um nível de base local que, majoritariamente, são drenagens fluviais.

Desta forma, as alcançar canais fluviais urbanos com intensidade, as águas pluviais, e mesmo as águas servidas derivadas das formas urbanas, que escoam para estes níveis de base potencializam os processos de enchentes e inundações nas cidades, sendo eventos causadores de recorrentes transtornos, principalmente durante o período chuvoso nas regiões afetadas.

Enchentes e inundações em áreas urbanas

Um dos maiores problemas relacionados com algumas cidades brasileiras são as ocorrências de inundações, que causam prejuízos econômicos e até mesmo perdas de vidas humanas, seja por efeitos imediatos, como afogamentos, ou indiretos como por doenças infectocontagiosas decorrentes do contato com a água contaminada, ou mesmo psíquicas, a partir de processos depressivos pós perdas de bens ou entes queridos.

A ocorrência de inundações em cursos fluviais é um fenômeno natural, característico das áreas de baixo curso dos rios e, excepcionalmente, de médio e alto curso, que ocorrem em planícies aluviais e mesmo em terraços fluviais. A variação do nível ou vazão de um rio depende das características climáticas e físicas de uma bacia hidrográfica, refletindo a densidade da cobertura vegetal, diferenciações na cobertura pedológica, do substrato geológico, características geomorfológicas, como declividade e forma de encostas, e geometria de cursos fluviais. Tais fatores atuam sobre a quantidade e a distribuição temporal e espacial das águas nos leitos e planícies, determinando a frequência e a intensidade de inundações em uma bacia hidrográfica (BOTELHO, 2011; TUCCI, 1997).

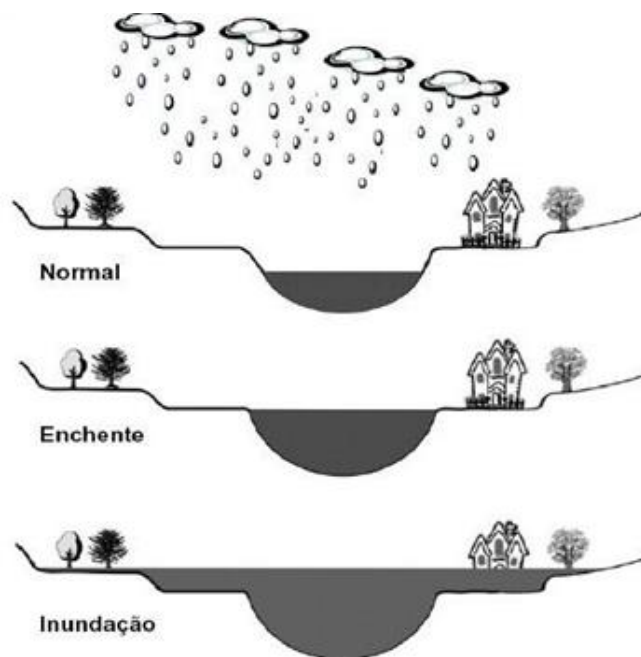
Diferenciar as categorias de processos implícitos ao domínio fluvial, como as enchentes e inundações, é de fundamental importância para o entendimento destes processos, e como os mesmos atuam para a dinâmica da paisagem. Segundo Herrmann (2005) e Wollmann (2015) os termos enchente e inundação são citados muitas vezes como sinônimos, apesar de serem termos distintos (Figura 5). A distinção entre estes dois processos é de fundamental importância, sendo estes conceituados como:

“A enchente ou cheia refere-se ao aumento da vazão do rio por um determinado período de tempo. Entretanto, quando a vazão supera a capacidade de descarga do canal fluvial, indo extravasar para as áreas marginais (várzea e planície aluvial), dá-se à inundação fluvial (*river flood*)”. (HERRMANN, 2005, p. 101).

A respeito das inundações fluviais, Castro (2003) diferencia as inundações graduais das bruscas:

“Nas inundações graduais, as águas elevam-se de forma paulatina e previsível; mantêm-se em situação de cheia durante algum tempo e, a seguir, escoam-se gradualmente”. (p. 48). “Já as inundações bruscas são provocadas por chuvas intensas e concentradas, em regiões de relevo acidentado, caracterizando-se por produzirem súbitas e violentas elevações dos caudais, os quais escoam-se de forma rápida e intensa” (p. 50).

Figura 5: Esquemas ilustrativos de elevação do nível de um rio, do nível normal até o nível de inundação, quando há o extravasamento das águas, atingindo o chamado leito excepcional.



Fonte: Goerl e Kobayama (2005).

Segundo a publicação Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios (BRASIL, 2007), define-se enchentes, ou cheias, pela elevação do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem extravasar. Já inundações são definidas como um processo em que há o transbordamento das águas de um curso d'água, atingindo a planície de inundação ou área de várzea. Enquanto os alagamentos são conceituados como o acúmulo momentâneo de águas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem, mas sem necessária conexão com corpos hídricos (BRASIL, 2007; FRANÇA *et al.*, 2016).

Para Nott (2010) e Ayala e Goudie (2010), são características dos eventos de enchentes e inundações:

- O aumento gradual do nível dos rios além da sua vazão normal;
- O fluxo deixa o canal e se espalha através de áreas adjacentes à planície fluvial;
- São eventos cíclicos e sazonais e intensificadas por variáveis climatológicas de curto e médio prazo;
- Relacionam-se com períodos longos de chuvas contínuas, ou intensas e concentradas, geradoras de enchentes relâmpagos (*Flash Floods*);

- Os canais fluviais se mantem em situação de enchente durante algum tempo e, a seguir, escoam-se gradativamente;
- As inundações, por extravasar os limites das margens fluviais, possuem um potencial destrutivo de propriedades e infraestruturas;
- A magnitude e frequência, a princípio baixa, das inundações, ocorrem em função da intensidade e distribuição da precipitação, da taxa de infiltração de água no solo, do grau de saturação do solo e das características morfométricas e morfológicas de um trecho de uma bacia hidrográfica;
- As inundações produzem súbitas e violentas elevações dos caudais, os quais escoam-se de forma rápida e intensa sobre áreas do leito maior excepcional;
- Tais eventos ocorrem, principalmente, em rios de planície ou em trechos de baixa declividade, sendo tais eventos, muitas vezes, incrementadas pela urbanização no interflúvio;
- Os eventos são controlados pela combinação de processos (naturais e socioeconômicos) que operam em escala local e regional no interflúvio.

Deve-se considerar que algumas das características acima são típicos para a ocorrência de um evento de enchente, mas que pode preceder a gênese de uma inundação, uma vez que a continuidade e intensifica o de um evento chuvoso potencializa a ocorrência de uma inunda o.

A rede de drenagem de uma bacia hidrográfica predominantemente urbana não suporta casos extremos de índices pluviométricos que abarcam parte ou a totalidade de seu perímetro. Ademais, os volumes pluviais lançados se agigantam devido a incipiente infiltra o e o potencializado escoamento superficial e, por conseguinte, os processos de enchentes, e mesmo inunda es, são intensificados e tornam-se recorrentes.

Segundo Tucci (1997) as enchentes e inunda es em áreas urbanas constituem-se importantes impactos sobre a sociedade, que podem ocorrer devido a dois processos, que ocorrem isoladamente ou de forma integrada:

- O primeiro devido   urbaniza o, derivadas do aumento da frequência e magnitude causadas pela ocupa o da terra com superfícies impermeáveis e rede de condutos de escoamentos. Adicionalmente, o desenvolvimento urbano pode produzir obstru es ao escoamento como vias, aterros, pontes, drenagens inadequadas ou danificadas, além de obstru es ao escoamento junto a condutos e mesmo mudanças nos níveis de base fluviais devido ao assoreamento;
- O segundo em áreas ribeirinhas, consideradas como enchentes naturais que atingem a popula o que ocupa o leito maior dos rios. Essas enchentes ocorrem, principalmente, pelo processo natural no qual o rio ocupa o seu leito maior, quando da ocorrência de eventos pluviais extremos.

A parcela do leito maior ocupada pela população sempre dependeu das histórias dos anos anteriores da área e da frequência/recorrência com que as inundações ocorriam. Uma sequência de anos sem inundação é o pretexto para que a sociedade pressione para que haja ocupação de um leito maior de rio, riacho ou canal urbano (TUCCI, 1999).

Os efeitos das intervenções nos rios consistem, além da depreciação da paisagem e da intervenção na estabilidade ecológica, sobretudo na perda de espaços de retenção, na concentração do deflúvio, na elevação das águas, num incremento adicional do transporte de sedimentos com o consequente aprofundamento da calha e na destruição das margens dos rios (RIGHETTO, 2005).

Tais intervenções, e suas consequências, são potencializadas pelo aumento da população mundial concentrada principalmente nos últimos 60 anos e a consequente ocupação mais intensa dos espaços urbanos, que paulatinamente passaram a exigir cuidados e proteção contra eventos de enchentes e inundações.

Risco geomorfológico e medidas de controle para inundações

Um dos principais problemas nas pesquisas sobre eventos naturais é a existência de múltiplos significados sobre importantes conceitos pertinentes à temática, tais como: risco, suscetibilidade, vulnerabilidade e perigo que, algumas vezes, são utilizados de forma incorreta (RODRIGUES, 2013). Sendo assim, no estudo de processos naturais como as inundações, aplicados a áreas urbanas, torna-se relevante definições e a distinção entre tais conceitos.

O risco, pode ser explicado como sendo a probabilidade de consequências prejudiciais, ou perdas previstas como mortes, prejuízo aos meios de subsistência, interrupção de atividade econômica ou destruição ambiental, resultando das interações entre perigos naturais ou sociais e circunstâncias vulneráveis (UN-ISDR, 2006; LOPES e REIS, 2011; MANZIONE, 2011).

O risco constitui-se a probabilidade de ocorrência de um evento natural perigoso (susceptibilidade), adicionando-se o grau de prejuízo (vulnerabilidade) que um evento pode causar. Assim, o conceito de risco inclui a probabilidade de ocorrência de um evento natural ou derivado de atividades antrópicas, e a avaliação por parte do ser humano quanto aos seus efeitos nocivos. Desta forma, uma avaliação qualitativa pode ser realizada através da medição quantitativa de perda e probabilidade de ocorrência (MENEZES JÚNIOR e SILVA, 2015).

Dentro desta concepção, o risco geomorfológico indica áreas sujeitas à ocorrência de eventos naturais relacionados à dinâmica processual superficial da paisagem através da dinâmica de encostas (interfluvial) e por dinâmica fluvial, por exemplo.

Os riscos por dinâmica fluvial ocorrem, na maioria das vezes, em áreas planas do dito domínio fluvial, correspondentes aos leitos maior periódico e leito maior excepcional, localizados próximas à rede de drenagem (planície aluvial) e sujeitas a enchentes e inundações, assim como à erosão de margens.

Já o risco ambiental relacionado à ação antrópica, está ligado a dinâmica do espaço urbano, como ocupação inadequada no interior dos leitos maior periódico e excepcional e à vulnerabilidade do território, ligados à população, equipamentos, organização social e econômica e recursos naturais. De acordo com Westen, Van Asch e Soeters (2006), o risco pode ser esquematicamente representado pela seguinte fórmula:

$$Risco = \sum (H \sum (VA))$$

Onde:

- **(H)** é representado pelo perigo expressado em função da probabilidade da ocorrência dentro de um período de frequência;
- **(V)** representa a vulnerabilidade física dos elementos que estão expostos ao risco, sendo atribuído um valor (0 a 1) para cada elemento;
- **(A)** significa os danos causados aos elementos que estão em risco.

O risco implica a proximidade de um dano ou adversidade, o que pode afetar a vida humana. Não existe risco sem que uma população ou indivíduo que o perceba e que poderia sofrer com seus efeitos. Portanto, as interações entre perigo natural ou por indução humana resulta na condição de vulnerabilidade (VEYRET, 2007).

A definição de suscetibilidade é determinada por fatores geológicos, pedológicos etc. que correspondem às possibilidades de ocorrências de um evento sem danos, enquanto o risco está relacionado à possibilidade de que a ocorrência do fenômeno tenha consequências sociais e econômicas (CERRI e AMARAL, 1998).

O conceito de vulnerabilidade é definido como sendo um conjunto de processos e condições resultantes de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, as quais aumentam a suscetibilidade de uma comunidade ao impacto dos perigos (TOMINAGA, SANTORO e AMARAL, 2009).

Com relação a identificação e avaliação de áreas de risco de enchentes e inundações através de mapeamentos, tais estudos tem o propósito de enquadrar o tipo de evento de enchente e inundação em função das diferentes definições e cenários encontrados em Tucci (2005) e Brasil (2007). Para isso, são delineadas áreas (polígonos) resultantes do cruzamento da susceptibilidade com os diferentes tipos de ocupação, enfatizando-se as áreas de ocupação consolidadas e subnormais. Por fim, cada uma das

áreas delimitadas tem seu grau de risco classificado em Muito alto, Alto, Médio ou Baixo em função da adaptação definida na metodologia sugerida pelo Ministério das Cidades – IPT (Quadro 1).

Quadro 1: Critério para a determinação dos graus de risco.

Grau de probabilidade	Características
R1 Baixo ou sem risco	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com baixo potencial de causar danos e baixa frequência de ocorrência (sem registro de ocorrências significativas nos últimos 5 anos).
R2 Médio	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com baixo potencial de causar danos e baixa frequência de ocorrência (sem registro de ocorrências significativas nos últimos 5 anos).
R3 Alto	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com alto potencial de causar danos, média frequência de ocorrência (registro de 1 ano de ocorrência significativa nos últimos 5 anos), que envolvem moradias de alta vulnerabilidade.
R4 Muito alto	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com alto potencial de causar danos, principalmente sociais, alta frequência de ocorrência (pelo menos 3 eventos significativas em 5 anos), que envolvem moradias de alta vulnerabilidade.

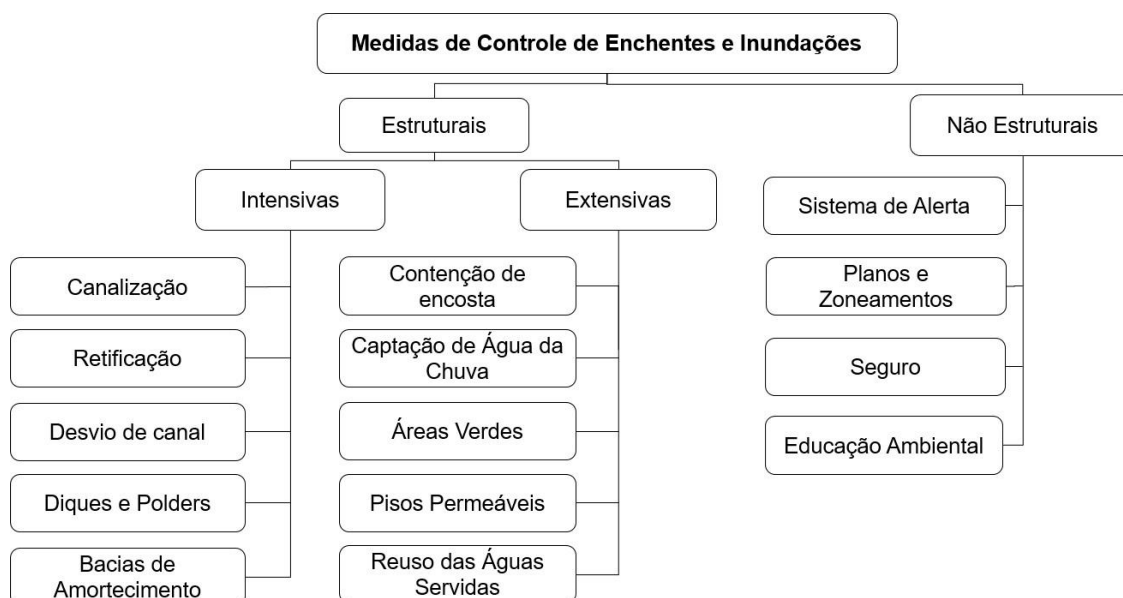
Fonte: Brasil (2007).

Segundo Tucci (2005), a gestão e o combate ao risco à inundação acontecem através da utilização de medidas de controle, que visam tornar mínimo o risco das populações que estão expostas, diminuindo os prejuízos causados e mesmo a probabilidade de perdas de vidas humanas. Tais medidas podem ser do tipo estrutural e não-estrutural. As medidas estruturais fundamentam-se em obras de engenharia que modificam o sistema fluvial, e são implementadas para reduzir o risco de inundações, sendo classificadas em extensivas, quando atuam na bacia hidrográfica modificando o sistema, e intensivas, quando realizadas no rio e tem como propósito evitar o extravasamento do escoamento para o leito maior decorrentes das enchentes.

As medidas não-estruturais, de acordo com Tucci (2005), se destacam pela tentativa de diminuir prejuízos em função da melhor convivência da população com as enchentes que podem potencializar inundações. Dentre as medidas não-estruturais, as principais são as preventivas, tais como: previsão e

alerta de inundação; zoneamento das áreas de risco de inundação e seguro e proteção individual contra inundação (Figura 6) (TUCCI, 2005). Daí a necessidade de propostas de solução caso a caso. Trata-se, então, de rever a concepção de proteção e/ou controle de enchentes, partindo do entendimento da relação da enchente com o espaço onde ela ocorre.

Figura 6: Medidas para o controle de enchentes e inundações.



Fonte: Botelho, (2011).

A avaliação e hierarquização das situações de risco servem de base para a gestão das áreas de risco que devem estar inseridas nas políticas de desenvolvimento urbano. Entendendo-se como gestão as ações para a identificação da tipologia do processo, o mapeamento das áreas de risco, o monitoramento e as medidas estruturais e não estruturais que podem ser adotadas (BRASIL, 2007).

No Brasil, pelo menos em princípio, as técnicas adotadas internacionalmente para o controle de enchentes e inundações são conhecidas (TUCCI, 1997), mas carecem totalmente da consideração de aspectos ecológicos.

Portanto, as ações para a redução de perdas e danos resultantes de eventos de enchentes e inundações, bem como de outros problemas geoambientais, não são de responsabilidade apenas do poder público, mas também da sociedade como um todo. Isso já está devidamente definido em nossa Carta Magna (Constituição), conforme o art. 5º: “Art. 5º - Art. 225 (BRASIL, 2020). 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”.

Sendo assim, é importante a participação do poder público juntamente com a população nos debates e nas tomadas de decisões envolvendo assuntos de gerenciamento de recursos naturais, principalmente em países em desenvolvimento. Segundo TUCCI (2006 e 2009), somente quando acontecem eventos de maior extensão e de grande repercussão há maior mobilização e participação popular na gestão pública que acontece em um curto período de tempo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A expansão urbana verificada nas últimas décadas no Brasil tem proporcionado alterações aos ambientes outrora naturais de bacias hidrográficas que passam por processos de urbanização total ou parcial de seus perímetros, que são de abrangência espacial localizada a de extensões significativas como as mudanças sobre o equilíbrio natural em ambientes como encostas interfluviais e calhas fluviais.

Nas mudanças na dinâmica de canais fluviais, que podem ser de caráter direto ou indireto, os efeitos destas alterações podem ser locais (*on-site*), ou transmitidos a longas distâncias (*of-site*), e estes podem repercutir tanto à montante quanto à jusante de focos de mudanças, fazendo com que os estudos em bacias hidrográficas urbanas nas últimas décadas constatem incertezas quanto aos variados fatores e graus de intensidade de mudanças, quanto às respostas de um canal diante de modificações efetivadas diretamente no canal ou mesmo na bacia de captação, que podem refletir na intensidade e recorrência dos eventos de inundações nas cidades.

As bacias hidrográficas urbanas sofrem recorrentes eventos de inundações de intensidades variadas anos após anos, em virtude de intensos sistemas atmosféricos geradores de precipitações pluviais, sendo a ausência de ações estruturais, e mesmo não-estruturais, reflexos de políticas de planejamento urbano que, a princípio, deveriam minimizar os eventos dependentes das precipitações sobre os espaços urbanos, com as inundações.

Assim, o planejamento e gestão do espaço urbano, considerando as dinâmicas processuais da paisagem, e seus diversos elementos constituintes, não pode ser negligenciado, sendo condição essencial para políticas de ocupação de áreas direcionadas por órgãos públicos de escalas governamentais diversas.

Para tanto, as áreas que foram ocupadas, e áreas em processo de ocupação, demandam um devido planejamento e gerenciamento de ações ocupacionais, que no caso de áreas sujeitas a inundações, necessitam da implementação de medidas de controles para a mitigação destes eventos, objetivando minimizar seus efeitos adversos para grupos sociais afetados ou potencialmente a serem afetados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYALA, Irasema Alcântara; GOUDIE, Andrew. **Geomorphological Hazards and Disaster Prevention**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

BOTELHO, R.G.M. Bacias Hidrográficas Urbanas. GUERRA, Antonio José Teixeira. **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 71-116, 2011.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil 1988. **Capítulo VI do meio ambiente- Art. 225**. Disponível em <<https://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/91972/constituicao-da-republica-federativa-do-brasil-1988#art-225>>. Acesso em 26 de março de 2020.

BRASIL. Ministério das Cidades; IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios**. Ministério das Cidades e IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Brasília. 2007.

CASTRO, A. L. C. **Manual de desastres naturais**. Brasília: Ministério da integração Nacional, 2003.

CERRI, L. E. S. e AMARAL, C. P. Riscos Geológicos. In: BRITO, S. N. A.; OLIVEIRA, A. M. S. **Geologia de Engenharia**. ABGE, São Paulo, 1998. p. 301-310.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª ed. São Paulo; Ed. Edgard Blucher Ltda.1980.

CHARLTON, Ro. **Fundamentals of Fluvial Geomorphology**. London and New York.Routledge – Taylor & Francis Group, 2008.

FRANCA, Rodrigo S.; GIRÃO; Osvaldo; MIRANDA, Marcelo R. B.; RAFAEL, Larissa. M. Identificação de áreas inundáveis no município de Jaboatão dos Guararapes - Região Metropolitana do Recife/PE. In: **Okara: Geografia em Debate (UFPB)**, v. 10, p. 3-22, 2016.

GIRÃO, Osvaldo; CORRÊA, Antonio Carlos de Barros. Progressos nos estudos de geomorfologia fluvial urbana ao final do século XX. In: **Revista GeoUERJ**, n. 26, p. 245-269. 2015.

GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M. Considerações sobre as inundações no Brasil. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa, **Anais [...]**. Porto Alegre, ABRH, 2005.

HERRMANN, M. L. P. As principais conseqüências negativas provocadas pelas adversidades atmosféricas no Estado de Santa Catarina. IN: HERRMANN (Org.). **Atlas de desastres naturais do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: IOESC, 2005. p. 67-88.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010. Taxa de Urbanização. Censo 2010. Disponível em <<https://censo2010.ibge.gov.br/noticias-censo.html?busca=1&id=3&idnoticia=1766&t=censo-2010-populacao-brasil-190-732-694-pessoas&view=noticia>>. Acesso em 10 de janeiro de 2020.

JABUR, A. S. **Alterações hidrológicas decorrentes de mudança do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do alto rio Ligeiro, Pato Branco – PR**. 176 p. Tese – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

LOPES, E.S.S.; REIS, J.B.C. Desastres Naturais: conceitos e classificações. In: PURINI, Sérgio Roberto de Moura. **Programa educacional Jc na escola: promovendo a leitura: Jc na Escola Ciência**; organizado por Sérgio Roberto Purini e outros. Bauru; JC; São Paulo: FEBAB, 2011.

MANZIONE, R.L. Análise de Riscos de Desastres Naturais em Ambientes Urbanos. In: PURINI, Sérgio Roberto de Moura. **Programa educacional Jc na escola: promovendo a leitura: Jc na Escola - Ciência**; organizado por Sérgio Roberto Purini e outros. Bauru; JC; São Paulo: FEBAB, 2011.

MENEZES JÚNIOR, Edmário Marques de; SILVA, Osvaldo Girão da. Diferentes percepções para a compreensão do conceito de risco no enfoque ambiental. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral/CE, v. 17, n. 2, p. 12-22, Jul. 2015.

NOTT, Jonathan. **Extreme Events: A physical reconstruction and risk assessment**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.



Revista da Casa da Geografia de Sobral, Sobral/CE, v. 22, n. 2, p. 219-238, Ago. 2020, <http://uvanet.br/rcgs>. ISSN 2316-8056 © 1999, Universidade Estadual Vale do Acaraú. Todos os direitos reservados.

PESSOA, Fabiano da Silva; FAÇANHA, Antonio Cardoso. Impressões sobre bacia hidrográfica urbana e gestão compartilhada. In: **Interespaço** – Revista de Geografia e Interdisciplinaridade, UFMA, vol. 1, n. 2, p. 256-269. 2015.

POMPÊO, C. A. Drenagem urbana sustentável. **RBRH- Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Vol. 5 n. 01. Jan/Mar, 2000.

PORTO, R. L.; ZAHED FILHO, K.; TUCCI, C. E. M.; BIDONE, F. **Drenagem urbana**. In: **Hidrologia: ciência e aplicação**. C. E. M. Tucci (org.). 4 ed. Porto Alegre: Editora da universidade/UFRGS, p. 805-847, 2012.

PORTO, Klayre Garcia e FERREIRA, Idelvone Mendes. Gestão das bacias hidrográficas urbanas e a importância dos ambientes ciliares. **Geografia em Questão**, UNIOESTE, vol. 5, n. 2, p. 43-57. 2012.

RIGHETTO, Julian Margarido. **Modelo de seguro para riscos hidrológicos no contexto de manejo integrado de bacias hidrográficas**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

RODRIGUES, Carina de Sousa. **Mapeamento de Suscetibilidade a Escorregamentos de Nova Friburgo-RJ por meio de Inferência FUZZY e Elaboração de Cenários de Alerta com uso do TERRAMA2**. 2013. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013.

SANTOS, C. L.; SOUZA, A. O.; VITAL, S. R. O.; GIRÃO; WANDERLEY, L. S.. Impactos da urbanização em bacias hidrográficas: O caso da bacia do rio Jaguaribe, cidade de João Pessoa/PB. In: **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, número especial, p. 1024-1033, 2016.

SCHUMM, S. A. **The fluvial system**. Wiley. New York. 2003.

STEVAUX, José Cândido; LATRUBESSE, Edgardo Manuel. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos. 2017.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R., (orgs.) **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

TUCCI, C. E. M. Plano Diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. **RBRH** – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 2 n.2 Jul/Dez, 1997.

TUCCI, C.E.M. Aspectos Institucionais no Controle de Inundações. In: **I Seminário de Recursos Hídricos do Centro-Oeste**. Brasília. 1999.

TUCCI, C. E. M. **Programa de drenagem sustentável: Apoio ao desenvolvimento do manejo das águas pluviais urbanas – Versão 2.0**. Brasília: Ministério das Cidades, 2005.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. In: TUCCI, C. E.; PORTO, R. L. L. e BARROS, M. T. **Drenagem Urbana**. UFRGS, Ed. Da Universidade/ABRH, Porto Alegre, 2006.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**. Vol. 22 no. 63. São Paulo, 2008.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. de. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, ABRH, 1995.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Brasília: MMA, 2006.

TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. da. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, ABRH, 2009.

UN-ISDR - **International Strategy for Disaster Reduction**. 2004. Living with Risk. A global review of disaster reduction initiatives. Inter-Agency Secretariat International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), Genebra, Suíça. 152pp. Disponível em <<http://www.unisdr.org>>. Acesso em setembro de 2006.

VEYRET, Y. **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. São Paulo: Contexto, 2007.

ZĂVOIANU, Yon. **Morphometry of Drainage basins**. 2 ed. Bucareste: Editora da Academia da República Socialista da Romênia. 1985.

WESTEN, C.J.; VAN ASCH, T.W.J.; SOETERS, R. *Landslide hazard and risk zonation: why is it still so difficult?*, **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 2006, p. 167 – 184.

WOLLMANN, C. A. Revisão teórico-conceitual do estudo das enchentes nas linhas de pesquisa da geografia física. **Revista Eletrônica Geoaraguaia**. Barra do Garças-MT. V 5, n.1, p 27 - 45. Janeiro/Julho. 2015.

WOLMAN, M. G. A. Cyclo of Sedimentation and Erosion in Urban River Channels **Geografiska Annaler**. n. 49, p.385-395. 1967.