

EQUIPE TÉCNICA

Coordenação Técnica:
Tatiana Sancevero Batistela, Arquiteta e Urbanista Mestre em Arquitetura e Urbanismo

Consultores:
Alejandro Alvarado Peccinini, Biólogo Mestre em Biologia
Carla Rosana Azambuja Herrmann, Arquiteta e Urbanista
José Alfredo Guimarães de Sá, Geólogo Mestre em Engenharia de Produção
Marcos Antônio Correntino da Cunha, Engenheiro Eletricista Especialista em Hidrologia e Recursos Hídricos
Nilson Clementino Ferreira, Engenheiro Cartógrafo Doutor em Ciências Ambientais
Nilton Ricetti Xavier de Nazareno, Engenheiro Cartógrafo Doutor em Arqueologia
Roberta Mara de Oliveira, Tecnóloga em Geoprocessamento
Rosângela Mendanha da Veiga, Arquiteta e Urbanista e Tecnóloga em Saneamento Ambiental Mestre em Desenvolvimento e Planejamento Territorial

Secretária:
Ludimila Rodrigues de Carvalho

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	05
1.1 Hidrologia	07
1.2 Importância dos dados hidrológicos para a ciência, projetos e relatórios ambientais	07
1.2.1 Dados de Pluviometria	08
1.2.2 Dados de Evaporimetria	08
1.2.3 Dados de Níveis dos Mananciais	08
1.2.4 Dados de Vazão	09
1.2.5 Dados de Qualidade das Águas	09
1.2.6 Dados de Sedimentometria	09
1.3 Características hidrológicas e dinâmica fluvial	09
1.4 Pluviosidade	10
1.5 As inundações provocadas pela urbanização	11
2 INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS	12
2.1 Obtenção de dados hidrológicos	12
2.2 Análise e tratamento de dados	13
3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS	14
4 CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS	16
4.1 Pluviometria	16
4.2 Máximo porcentual de contribuição de três meses consecutivos (MPC)	17
5. CARACTERÍSTICAS FLUVIOMÉTRICAS	19

5.1	Fluviometria	19
5.2	Medição de vazão em curso de água	20
6	OS PROBLEMAS CAUSADOS POR SEDIMENTOS	23
7	ESCOAMENTO SUPERFICIAL E INFILTRAÇÃO	26
7.1	Preparo e manejo do solo	26
7.2	Determinação da infiltração	26
8	OS EFEITOS DA IMPERMEABILIZAÇÃO	28
9	NOÇÃO DE ESTATÍSTICA APLICADA EM HIDROLOGIA	29
9.1	Frequência de totais precipitados	29
10	ESTIMATIVA DE ENCHENTE MÁXIMA PROVÁVEL	31
10.1	Estimativa de vazão por meio de dados de intensidade de chuva	32
11	INTENSIDADE DE CHUVA	33
12	BALANÇO HÍDRICO	35
13	DINÂMICA FLUVIAL	37
13.1	Fatores que afetam o Coeficiente de Manning	38
14	EXERCÍCIOS	39
	Referências Bibliográficas	43
	Anexo	45

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento dos parâmetros ou das variáveis hidrológicas é de grande importância para a elaboração de projetos e relatórios ambientais, pois são esses parâmetros que auxiliam no diagnóstico do meio físico e prestam subsídio para formulação das propostas e sugestões para medidas mitigadoras, no caso de ocorrência de impactos ao meio ambiente.

Os parâmetros hidrológicos são obtidos por meios de observações diárias, medições e coletas realizadas nas estações ou postos hidrométricos que podem ser instalados isoladamente para cumprir especificamente a um determinado interesse ou instalados formando uma rede hidrológica. No Brasil existe a rede Hidrológica Básica da Agência Nacional de Águas - ANA.

Uma rede de estações hidrológicas pode ser considerada semelhante a uma rede de pesca, em que os nós são as estações e os elos que as unem são os coeficientes de correlação e regressão entre duas ou mais estações.

Um grande problema para a realização de estudos hidrológicos é a falta de dados em pequenas bacias hidrográficas, em cabeceiras e em áreas urbanas.

A figura 1 mostra a rede hidrológica da Bacia do Rio Meia Ponte. Para todos os projetos, estudos e relatórios ambientais na área dessa Bacia, deverão utilizar os dados hidrológicos das estações dessa rede.

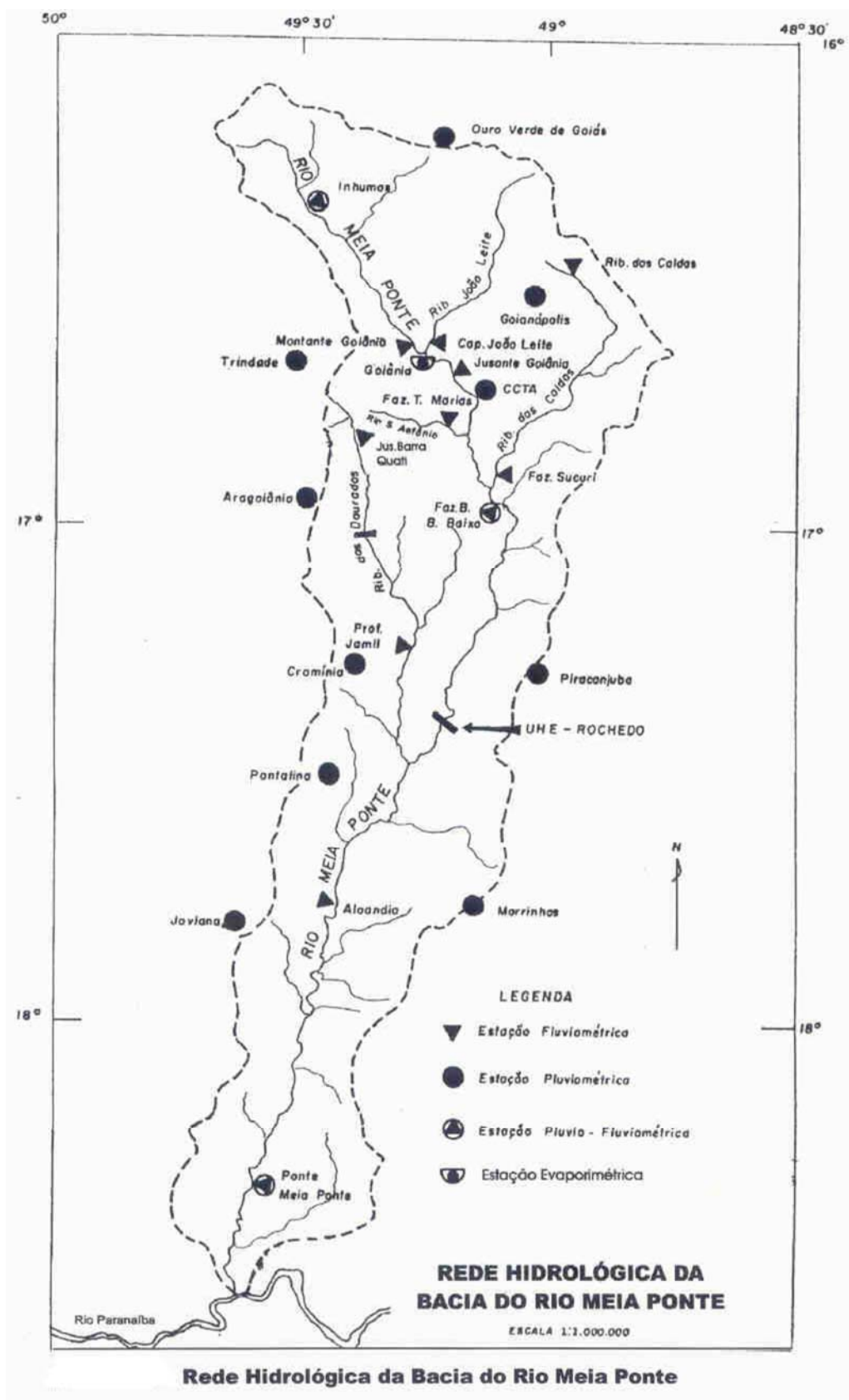


Figura 1 – Rede Hidrológica da Bacia do Rio Meia Ponte.

1.1. Hidrologia

Hidrologia é a ciência que trata do estudo da água na natureza.

Hidrologia é a ciência que trata da água na terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas e suas reações com o meio ambiente, incluindo suas relações com a vida.

Divisão da hidrologia e seu relacionamento:

Hidrologia(pluviometria-fluviometria- evaporimetria-sedimentometria-infiltração-qualidade das águas).

Hidrogeologia

Hidrologia Operacional

Hidrologia Aplicada

Hidrologia Continental

Hidrologia Florestal

Hidrologia Ambiental

Hidrologia Agrícola

Hidrologia Urbana

Hidrologia Estatística

Hidrometeorologia

1.2. Importância dos dados hidrológicos para a ciência, projetos e relatórios ambientais.

De uma maneira geral a informação hidrológica é um insumo muito valioso para múltiplas atividades, como:

- planejamento agropecuário
- planejamento de obras de engenharia
- planejamento de operação do setor de energia elétrica
- previsão e acompanhamento de enchentes
- interpretação das relações entre os seres vivos e o ambiente
- estudos de EIA/RIMA

1.2.1. Dados de Pluviometria

- conhecer períodos de secas
- estimar a máxima precipitação em uma bacia
- comprovação de estiagem (seguros e paralisação de obras)
- época adequada de plantios
- controle de pragas
- dimensionamento de canais
- informações para turismo
- informações para projetos de drenagem urbana.

1.2.2. Dados de Evaporimetria

temperatura – umidade relativa – vento – evaporação – insolação – radiação solar – pressão

- estimar o balanço hídrico
- calcular a evapotranspiração
- estudos de reservatórios
- estudar as funções dos vegetais, como na reprodução, germinação e crescimento
- estudar o comportamento e metabolismo dos animais
- energia solar

1.2.3. Dados de Níveis dos Mananciais

- prevenir inundações em áreas urbanas e rurais
- realizar zoneamento de áreas inundáveis
- estudos para navegação

- controle de erosão e sedimentos

1.2.4. Dados de Vazão

- estimar o volume de água para o abastecimento de população, irrigação, etc.
- estimar a vazão mínima e máxima que pode ocorrer sem prejuízo ecológico

1.2.5. Dados de Qualidade das Águas

- determinar os índices e grau de poluição dos mananciais
- indicadores ambientais

1.2.6. Dados de Sedimentometria

- estimativa de deposição de materiais sólidos
- cálculo da vida útil de reservatório

1.3. Características hidrológicas e dinâmica fluvial

Estudos hidrológicos, como de pluviometria, fluviometria e levantamentos das características físicas de bacias hidrográficas, visam identificar a evolução da dinâmica fluvial dos cursos de água, indicar as probabilidades de inundações e estabelecer parâmetros para dimensionamento de obras hidráulicas.

Especificamente em áreas urbanas, uma importante questão a ser considerada é a evolução da dinâmica fluvial dos cursos de água, seja como variável ou como parâmetro de restrição. Seu conhecimento é necessário para a tomada de

decisões políticas, administrativas e técnicas que visem a proteção das populações ribeirinhas e a minimização dos riscos de inundações e desastres ecológicos.

As séries históricas de dados de chuva, vazão e variação de níveis de água devem ser analisadas estatisticamente para a caracterização de eventos extremos em termos de magnitude e freqüência de ocorrência.

Portanto, no que se refere ao planejamento e gestão urbana, é imprescindível o conhecimento dos dados hidrológicos para a caracterização e análise do meio físico. Esse conjunto de informações é subsídio para a elaboração de planos diretores, de projetos de gestão ambiental e para a caracterização de áreas de risco e vulnerabilidade físico-ambiental.

Apresentam-se a seguir informações gerais e conceitos utilizados nos estudos para a caracterização hidrográfica, hidrológica e da dinâmica fluvial neste trabalho.

1.4. Pluviosidade

Para o estudo de pluviosidade ou de chuva de uma região, deve-se trabalhar com os dados de altura, intensidade, duração e freqüência das precipitações. Para as obras de engenharia em pequenas bacias e para a previsão de risco de desmoronamentos e deslizamentos, o que mais interessa é a precipitação do tipo convectiva, que é aquela provocada pela ascensão do ar devido às diferenças de temperatura na camada vizinha da atmosfera. Esse tipo de chuva localiza-se na época de maior ganho de energia do ano. São as tempestades e têm curta duração.

Os outros tipos de precipitações são: frontais e orográficas, que interessam aos projetos de hidrelétricas, controle de cheias e navegação.

1.5. As inundações provocadas pela urbanização

Segundo Tucci (BARROS, PORTO e TUCCI, 1995), as enchentes em áreas urbanas são consequência de dois processos que ocorrem isoladamente ou de forma integrada:

- a) Enchentes em áreas ribeirinhas: as enchentes naturais que atingem a população que ocupa os leitos dos rios por falta de planejamento do uso do solo. Essas enchentes ocorrem, principalmente, pelo processo natural no qual o rio ocupa o seu leito maior, de acordo com os eventos chuvosos extremos, em média com tempo de retorno superior a dois anos, e, normalmente, ocorre em bacias grandes, maiores que 1.000 km²;
- b) Enchentes devido à urbanização: com o desenvolvimento urbano ocorre a impermeabilização do solo por meio de telhados, ruas, calçadas e pátio, entre outros. Dessa forma, a parcela da água que se infiltraria passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial.

Esses fatores aliados à quantidade de lixo e entulho depositados irregularmente nas margens e dentro dos cursos de água e à falta de um sistema de drenagem moderno e eficiente, provocam freqüentes inundações.

2. INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS

As informações hidrológicas são obtidas por intermédio das estações hidrométricas ou postos instalados nas bacias hidrográficas. As principais entidades que coletam e armazenam dados hidrológicos são:

- Agência Nacional de Águas – ANA.
- Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.
- Furnas Centrais Elétricas S.A.
- Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – DAEE – SP.
- Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG.
- Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – ELETROBRAS.

2.1. Obtenção de dados hidrológicos

Os dados hidrológicos, como: altura de chuva, vazão, evaporação e sedimentos podem ser obtidos por intermédio das entidades já mencionadas, principalmente junto à ANA, que dispõe do sistema de Informação Hidrológica – Hidroweb e o Programa Hidro.

Quando não existe informação hidrológica em local que se deseja fazer um estudo ou um projeto faz-se a transferência ou a regionalização de informação, que consiste em estimar dados por meio de correlação, desde que os locais estejam localizados em bacias homogêneas, com características físicas e hidrológicas semelhantes.

Os dados podem ser obtidos consistidos ou não consistidos (brutos). Aconselha-se trabalhar com dados com série histórica com mais de 10 (dez) anos.

2.2. Análise e tratamento de dados

Salienta-se que sempre quando for trabalhar com os dados hidrológicos, os mesmos devem estar consistidos.

A consistência tem como objetivo fazer o tratamento dos dados preliminares ou brutos para detectar erros e preencher falhas. O tratamento dos erros deve começar pela distinção entre erros aleatórios e sistemáticos. A distinção pode ser referida aos efeitos destes dois tipos de erros. Os erros aleatórios afetam a precisão e a reprodutibilidade dos dados. Os erros sistemáticos produzem distorções que alteram a exatidão.

3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

As características físicas de uma bacia hidrográfica são elementos que dão noção do comportamento hidrológico da mesma. Esses elementos físicos, que podem ser considerados flúvio-morfológicos constituem a mais conveniente possibilidade de conhecer a variação no espaço dos elementos do regime hidrológico e a dinâmica fluvial dos cursos de água.

Funciona a bacia de drenagem como coletor de águas pluviais, recolhendo-as e conduzindo-as, como escoamento, ao exutório. É assim que o relevo, a forma, a rede de drenagem, a declividade, a cobertura vegetal e a natureza do solo da bacia condizionarão, no espaço e no tempo, a relação precipitação-vazão nos cursos de água.

Foram calculadas as seguintes características físicas:

- **Perímetro** – contorno que delimita a bacia – P.
- **Área de drenagem** – área delimitada pelos divisores topográficos – A
- **Coefficiente de compactidade** – relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual a bacia. Um coeficiente igual à unidade corresponderia a uma bacia circular, sendo maior o perigo de enchentes. Portanto, quanto mais próximo de 1, maior o risco de enchentes – Kc.
- **Fator de forma** – relação entre a largura média e o comprimento da bacia. Um valor baixo demonstra que a bacia é menos sujeita às enchentes que outra do mesmo tamanho, porém com maior fator de forma. A forma da bacia vertente tem grande importância no escoamento e, portanto, no hidrograma resultante, sendo estreita e alongada comportar-se-á de maneira diversa do que fosse compacta e arredondada – kf.
- **Densidade de drenagem** – relação entre o comprimento total dos cursos de água e a área de drenagem da bacia, indica o grau de sistema de drenagem. A densidade de drenagem varia inversamente com a extensão do escoamento superficial. A densidade de drenagem varia de 0,5 km/km²,

pra bacias com drenagem pobre, a 3,5 km/km² ou mais, para bacias bem drenadas – Dd.

- **Extensão média do escoamento superficial** – distância média em que a água da chuva teria que escoar sobre os terrenos da bacia, caso o escoamento se desse em linha reta desde onde a chuva caiu até o ponto próximo no leito do curso de água – L.
- **Comprimento da vazão superficial** – é o somatório das eqüidistâncias da menor distância da linha divisória de águas dos afluentes. Quanto maior o valor do comprimento de vazão superficial (Cv), maior será o perigo de erosão na bacia. Para se ter uma avaliação sobre maior valor de Cv, deve-se avaliá-lo em várias bacias e comparar os resultados – Cv.

4. CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS

As características pluviométricas de uma bacia são obtidas por meio dos dados de pluviometria, utilizando o pluviômetro e/ou o pluviógrafo.

4.1. Pluviometria

É a medida da quantidade de chuva caída em um determinado lugar de uma bacia hidrográfica. Consiste em medir a altura de chuva em milímetros ou em polegadas, por meio de aparelhos denominados de pluviômetros e pluviógrafos. Os pluviômetros medem a chuva em intervalos de 24 horas, e os pluviógrafos, que são aparelhos registradores, medem as chuvas pontuais em intervalos de tempo. Para fazer estudo de intensidade de chuva, os quais são utilizados para projetos de bueiros, galerias pluviais e de drenagem, utiliza-se os dados do pluviógrafo.

A altura de precipitação é determinada pela medida do volume de água captado, por uma superfície horizontal de área conhecida, por meio da expressão:

$$h = 10 \cdot \frac{V}{A}$$

h = altura de chuva em mm.

v = volume de água captado em ml.

A = área da superfície coletora em cm^2 .

A unidade de medição é **milímetro de chuva**, definido como a quantidade de precipitação correspondente a um volume de um litro por metro quadrado de superfície.

$$1 \text{ mm de chuva} = 1 \text{ L/m}^2 = 10 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Exemplo:

Para medir a altura de uma chuva em 24 horas, foi utilizada uma lata com uma área coletora de 400 cm^2 . Se o volume coletado foi de 6.000 cm^3 de água, qual foi a altura de chuva em mm?

$$h = 10 \cdot \frac{V}{A}$$

$$h = 10. \frac{6000}{400}$$

$$h = 150 \text{ mm}$$



Pluviômetro



Pluviógrafo

4.2. Máximo porcentual de contribuição de três meses consecutivos (MPC)

De um modo geral, o regime de chuvas em quase todas as bacias hidrográficas é caracterizado pela maior ou menor quantidade de precipitação em determinados meses, ou estações do ano. Para expressar quantitativamente melhor o regime pluviométrico de um determinado lugar, a relação entre as médias mensais e a média anual define a porcentagem de contribuição de um mês em relação a média anual (Morris, citado em Nimer 1966). Se cada mês contribuísse com o mesmo total de chuvas, teríamos 1/12 da média anual para mês do ano, que corresponderia a 8,33% da média anual.

O MPC de três meses consecutivos é uma medida de concentração estacional do regime anual de chuvas. Segundo (Edmon Nimer, 1979), seu conhecimento é de grande importância para a:

- **Climatologia**, uma vez que fornece diferentes parâmetros dos regimes anuais de precipitações. Teoricamente é tanto mais concentrado quanto mais se afasta deste índice.
- **Hidrologia**, pela estreita dependência dos rios com o MPC de 3 meses. A época do MPC é a mesma das enchentes dos rios.
- **Geomorfologia**, pela importância que o MPC de 3 meses exerce sobre a aceleração dos processos de erosão nas encostas;
- **Agricultura**, a fim de permitir melhor utilização da água no ciclo vegetativo das principais culturas.

Exemplo:

De acordo com os dados de chuva média mensal em Pirenópolis calcular o MPC de 3 meses:

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Precip.(mm)	317	247	196	136	38	17	11	12	62	158	249	325

$$\text{MPC} = 249 + 325 + 317 = 891 \text{ mm}$$

$$\text{MPC} = 50,5\%$$

5. CARACTERÍSTICAS FLUVIOMÉTRICAS

As características fluviométricas de uma bacia são obtidas por meio dos dados das estações fluviométricas e/ou fluviográficas.

5.1. Fluviometria

É o estudo das águas fluviais (rios, ribeirões, córregos, etc), tendo como principal objetivo determinar o volume de água escoada na unidade de tempo numa determinada seção de um curso d'água, ou somente o nível d'água.

- **Estação Fluviométrica (F)**

Consiste basicamente na instalação de réguas graduadas, escalonadas ao longo da margem de tal forma que permita, a um observador realizar as leituras de cota do rio. As réguas são amarradas a uma referência de nível (RN).

- **Terminologia**

Deflúvio: é o volume d'água total que passa em determinado tempo em uma seção transversal de um curso d'água.

Descarga ou vazão: é o deflúvio na unidade de tempo, expressa em metros cúbicos por segundo ou em litros por segundo.

Descarga específica: é a descarga por unidade de área de drenagem, expressa geralmente em litros por segundo por quilômetros quadrados.

Cota, Cota Linimétrica ou Cota Fluviométrica: é a altura da superfície d'água referida ao zero de uma escala graduada em centímetros.

- **Seção de Medição e Réguas**

A escolha da seção de medição e local das réguas merecem um reconhecimento da calha do rio, o qual deve ser orientado nos seguintes requisitos básicos:

- Trecho reto, ambas as margens bem definidas.
- A seção deve localizar fora de remansos.
- Leito regular e estável.
- As réguas devem estar localizadas a montante do controle.
- O acesso a seção deve ser fácil.
- As margens devem ser estáveis.
- Deve existir um observador próximo à seção de réguas.
- As medições de descargas deverão ser realizadas sempre na mesma seção.

- **Controle**

O controle poderá ser natural ou artificial. No primeiro caso poderá apresentar-se como uma corredeira, um ressalto em rocha, etc., proporcionando assim condições para uma relação unívoca das descargas em relação as cotas. No segundo caso poderemos ter uma pequena soleira submersível, uma pequena barragem ou um vertedor construído com a finalidade de estabilizar a relação cota-descarga.

5.2. Medição de vazão em curso de água

Necessidade de quantificar a vazão ou o volume de água de um manancial.

- A hidrologia e os recursos hídricos não devem ser estudados, pesquisados e gerenciados desassociando a quantidade da qualidade e nem as águas superficiais das águas subterrâneas.
- A medição de vazão de um curso de água é importante para conhecer a disponibilidade hídrica para abastecimento, para irrigação, geração de energia, lançamento de esgoto, etc.

Método de Medição de Vazão

- **Método volumétrico**

A vazão é medida usando um reservatório (balde, tambor, tanque) e um cronômetro para marcar o tempo necessário para encher o reservatório.

$$\text{Vazão} = \frac{\text{Volume}}{\text{Tempo}}$$

- **Método químico**

Utilizado em rios de montanha de grande turbulência.

Coloca-se no rio uma certa quantidade de um produto químico e determina a concentração do produto na água a uma certa distância a jusante.

- **Calha Parshall**

É uma estrutura com geometria simples e bem definida. Mede vazões no máximo até 5 m³/s.

- **Vertedores**

Utilizados para medir pequenas vazões. Podem ser retangular ou triangular.

- **Flutuadores**

Consiste em determinar a velocidade de deslocamento de um objeto flutuante, medindo o tempo em que o mesmo se desloque num trecho de um curso de água de comprimento conhecido.

- **Uso de ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)**

Mede as velocidades das correntes dos cursos de água através do efeito “Doppler”.

- **Uso de molinete hidrométrico**

É universalmente usado para medir vazões em pequenos e grandes cursos de água.

Tem uma equação de velocidade $V = an + b$, $N = n^2$ rotação por segundo.



Estação Fluviométrica



Calha Parshall

6. OS PROBLEMAS CAUSADOS POR SEDIMENTOS

Sedimentos podem ser considerados como materiais sólidos carregados pelos cursos de água, derivados da desintegração física e química de rochas, sendo um fator de qualidade de água muito importante para o cálculo da vida útil provável dos reservatórios.

Os processos responsáveis pela sedimentação nos corpos de água são vários e complexos e podem ser provocados por fenômenos naturais e antrópicos, abrangendo as erosões, as enxurradas, os deslocamentos das partículas de solos devido ao impacto das gotas de água das chuvas, desmatamento e grandes intensidades de ventos.

Os sedimentos e assoreamento causam problemas nos vários usos da água, como: na geração de energia elétrica, nos reservatórios para abastecimento, na navegação e na irrigação. Na geração de energia, a quantidade de sedimentos pode tornar inviável a construção da hidrelétrica, causar desgastes nas turbinas por abrasão e paralisar a geração de energia. No caso de abastecimento, seja com o uso de reservatório ou derivação direta do manancial, os sedimentos dificultam o aproveitamento das águas, onerando os custos da produção das empresas que fornecem água tratada. Na navegação, a deposição de sedimentos nos canais, a formação de deltas e a movimentação dos bancos de areias no fundo dos rios constituem um problema grave para esta atividade. Quando os sedimentos depositam nos canais de irrigação, criam problemas devido à elevação do nível de água, redução do volume de água e obstruções nas tubulações.

Em relação à dinâmica da correnteza de um curso de água, considera-se que a aceleração da corrente provoca a erosão, e a diminuição da velocidade provoca a sedimentação, a qual compromete a qualidade da água e o tempo de vida útil dos reservatórios.

Existem vários reservatórios brasileiros comprometidos devido ao assoreamento. Segundo (Gomite citado em Correia e Melo Filho, 1994), Itaipu recebe sedimentos em suspensão e por arraste de fundo, na ordem de 47,34

milhões de toneladas por ano. Este volume anual representa a descarga de uma caçamba de solo a cada 4,5 segundos.

O trabalho sedimentológico elaborado por Carvalho, em 2000, para o projeto básico do reservatório da usina hidrelétrica Itiquira, situada no Rio Itiquira, em Mato Grosso, chegou-se à conclusão que o reservatório pode ser assoreado totalmente em menos de 9 anos. Observa-se que a vida útil do aproveitamento seria muito curta, inviabilizando o empreendimento.

Todos os reservatórios ficarão assoreados em maior ou menor tempo. Em razão disso é necessário fazer a previsão do assoreamento na fase de planejamento e procurar acompanhar a formação dos depósitos e os efeitos do assoreamento na fase de operação. Os pequenos reservatórios devem ser observados e levantados com maior frequência.

Nos cursos de água dentro das macrozonas não se têm dados de concentração de sedimentos, porém, pode-se observar a deposição de sedimentos nos leitos dos córregos, devido principalmente a deposição irregular de entulho e lixo nas margens dos mesmos, além dos solos desnudos nas bacias hidrográficas.

Estudos realizados por Casseti (1990), de dezembro de 1987 a novembro de 1988, no baixo Ribeirão João Leite, em Goiânia, mostram uma concentração média de sedimentos de 69,1 mg/l para esse curso de água, enquanto que estudos realizados por Correntino da Cunha (ARAÚJO et al., 1993), de junho de 1992 a março de 1993, na bacia do Ribeirão dos Dourados, em Abadia de Goiás, mostram uma concentração média de 12,3 mg/l.

A transferência de informações ou a regionalização de concentração de sedimentos em bacias com dados para outras bacias sem nenhum dado é, em vários casos, desaconselhável e, em outros, chega a ser impossível.



Grande concentração de sedimentos no curso d' água

7. ESCOAMENTO SUPERFICIAL E INFILTRAÇÃO

O escoamento superficial é o segmento de ciclo hidrológico que corresponde ao deslocamento das águas sobre a superfície do solo. As informações sobre o escoamento superficial são importantes e necessárias para projetos de controle de erosão e de desmoronamento e para elaboração das cartas de risco.

Um dos fatores que mais influencia o escoamento superficial é a taxa de infiltração da água no solo, responsável por processos indesejáveis, como a erosão e as inundações. A infiltração determina o balanço de água na zona radicular e, por isso, o conhecimento desse processo e suas relações com as propriedades do solo é de fundamental importância para o eficiente manejo do solo e da água. O conhecimento do processo de infiltração também fornece subsídios para o dimensionamento de reservatórios, estruturas de controle de erosão e de inundações, canais e sistemas de irrigação e drenagem (BRANDÃO, 2003).

7.1. Preparo e manejo do solo

Em geral, quando se prepara o solo, a capacidade de infiltração tende a aumentar, em razão da quebra da estrutura da camada superficial. No entanto, se as condições de preparo e manejo forem inadequadas, sua capacidade de infiltração poderá tornar-se inferior à de um solo sem preparo, principalmente se a cobertura vegetal for removida. Uma vez formado o selamento superficial e, em muitos casos, este é estabelecido muito rapidamente após as primeiras precipitações, a taxa de infiltração da água no solo é consideravelmente reduzida (Pruski et al, 1997).

7.2. Determinação da infiltração

A infiltração de água no solo deve ser determinada por métodos simples e capazes de representar, adequadamente, as condições em que se encontra o solo.

O equipamento utilizado na determinação da taxa de infiltração da água no solo é o infiltrômetro.

A taxa de infiltração é definida como a lâmina (volume de água por unidade de área) que atravessa a superfície do solo por unidade de tempo, que pode ser expressa por:

$$i = \frac{dl}{dt}$$

i = taxa de infiltração

l = infiltração acumulada

t = tempo

A capacidade de infiltração deve ser entendida como a quantidade máxima de água que pode infiltrar no solo em um dado intervalo de tempo. Quando uma precipitação atinge o solo com intensidade menor do que a capacidade de infiltração, toda água penetra no solo, provocando progressiva diminuição na própria capacidade de infiltração.

8. OS EFEITOS DA IMPERMEABILIZAÇÃO

A impermeabilização causa problemas de natureza hidrológica e climática, tanto na zona urbana como na zona rural. Na zona urbana, os telhados, as calçadas e asfaltos impermeabilizam o solo, prejudicando a infiltração e aumentando o escoamento superficial. Além disso, as superfícies impermeáveis absorvem parte da energia solar aumentando a temperatura ambiente, provocando ilhas de calor, principalmente na parte central dos centros urbanos, como exemplo, o entorno da Praça do Bandeirante em Goiânia.

A impermeabilização devido à compactação das áreas de recargas, normalmente as áreas mais altas, de topos, causa sérios problemas para as nascentes e abastecimento dos pequenos cursos d'água e lagos no período de estiagem. Na zona rural, estas áreas são compactadas pelo pisoteio do gado.

Segundo Tucci (2007), a estimativa da área impermeável é um processo que depende da resolução de imagens e dados cartográficos. No planejamento urbano a área impermeável é desconhecida, pois o planejamento é realizado com base na densidade habitacional (parâmetro de planejamento). É possível estabelecer uma relação entre estes parâmetros urbanos, o que permite avaliar as alterações hidrológicas em face ao planejamento urbano.

Uma pessoa tende a impermeabilizar, em média, 50 m².

9. NOÇÃO DE ESTATÍSTICA APLICADA EM HIDROLOGIA

Em estudos hidrológicos utilizam-se muito os cálculos estatísticos com objetivo de estimar as probabilidades de acontecimento de um determinado evento extremo ou o tempo de recorrência de um evento, como: uma precipitação que causa inundação em um período de 10 em 10 anos, uma vazão máxima que tem um período de retorno de 1.000 anos.

As variações temporais e/ou espaciais dos fenômenos do ciclo da água podem ser descritas pelas variáveis hidrológicas. São exemplos de variáveis hidrológicas o número anual de dias consecutivos sem precipitação, em um dado local, e a intensidade máxima anual da chuva de duração igual a 30 minutos. Outros exemplos são a vazão média anual de uma bacia hidrográfica, o total diário de evaporação de um reservatório ou a categoria dos estados do tempo empregada em alguns boletins meteorológicos (Naghattini e Pinto, 2007).

9.1. Freqüência de totais precipitados

Nos projetos e obras de engenharia hidráulica, como galerias de água e esgoto, canais de escoamento de águas pluviais, bueiros e pontes, as dimensões são determinadas em função de considerações de ordem econômica, com isto tem que levar também em consideração o risco de que a estrutura construída venha a falhar. Então tem que conhecer a probabilidade deste risco acontecer. A probabilidade teórica pode ser avaliada utilizando várias fórmulas. Uma maneira de fazer esta avaliação é classificar os dados observados em ordem decrescente e a cada um atribuir o seu número de ordem. A freqüência com que foi igualado ou superado um evento de ordem m é:

$$F = \frac{m}{n} \quad (\text{Método Califórnia}) \text{ ou}$$

$$F = \frac{m}{n+1} \quad (\text{Método de Kimbal})$$

n é o número de anos observados.

Considerando a probabilidade teórica **P** e o tempo de recorrência ou período de retorno **T**, tem-se a seguinte relação:

$$T = \frac{1}{F} \quad \text{ou} \quad T = \frac{1}{P}$$

Para períodos de recorrência bem menores que o número de anos de observação, o valor encontrado para **F** pode dar uma boa idéia do valor real de **P**. Para grandes períodos de recorrência a repartição de freqüência deve ser ajustada a uma lei probabilística teórica de modo a possibilitar um cálculo mais correto.

Ven Te Chow mostrou que a maioria das funções de freqüência aplicáveis na análise hidrológica pode ser resolvida pela equação:

$$X_t = X_m + K \cdot S$$

X_t = evento com certo período de retorno

X_m = média dos N eventos

S = desvio padrão dos N eventos

K = fator de freqüência que depende do número de amostra e do período de recorrência.

10. ESTIMATIVA DE ENCHENTE MÁXIMA PROVÁVEL

A Organização Meteorológica Municipal define que a PMP é teoricamente a maior altura pluviométrica, correspondente a uma dada duração fisicamente possível de acontecer sobre uma dada área de drenagem em uma dada época do ano.

Várias organizações vinculadas à segurança de barragem recomendam a PMP para o caso de grandes obras que envolvem grandes riscos.

A PMP pode ser estimada pela fórmula estatística:

$$P_t = P_m + S \cdot K_t$$

$$K_t = 0,7797 \cdot \ln T - 0,45$$

P_t = Precipitação com um período de retorno T .

P_m = Média da série de N máximas observadas

S = Desvio padrão de N máximas observadas

$\ln T$ = logaritmo neperiano do período de retorno

K_t = fator de frequência

Exemplo:

Com os dados de chuva máxima de um dia em Três Ranchos, calcular chuva que tem período de retorno de 10 anos:

Ano	73	74	75	76	77	78	78	80	81	82	83	84	85	86	87	88
Chuva(mm)	84	73	65	45	76	139	120	86	106	68	80	79	102	98	64	86

$$P_m = 85,7$$

$$S = 23,2$$

$$K_{10} = 1,345$$

$$P_t = P_m + S \cdot K_t$$

$$P_{10} = 116,9 \text{ mm}$$

10.1. Estimativa de vazão por meio de dados de intensidade de chuva

O escoamento superficial que provoca uma vazão de cheia é aquela que resulta de uma chuva capaz de produzir uma enchente do curso d' água. Neste caso a vazão pode ser calculada pelo Método Racional, que é baseado na fórmula:

$$Q = 0,278 C \cdot I \cdot A$$

Q = vazão em m³/s

C = coeficiente de escoamento superficial

I = intensidade de chuva, em mm/h

A = área de drenagem, em km²

O coeficiente de escoamento **C**, que representa a relação entre o deflúvio superficial e o deflúvio pluvial correspondente, pode ser avaliado a partir de condições de solo e vegetação da bacia. Normalmente **C** é tabelado.

Alguns valores do coeficiente de deflúvio **C**:

Telhados	0,70 a 0,95
Superfícies Asfaltadas	0,85 a 0,90
Terrenos cultivados em vales	0,10 a 0,30
Parques, jardins, gramados	0,10 a 0,20

Pela fórmula observamos que aumentando o valor **C**, aumentamos também a vazão de enchente.

As condições que propiciam a ocorrência de inundação são de ordem meteorológicas e hidrológicas. Os conhecimentos das variáveis e do comportamento hidrometeorológico ao longo do tempo são necessários e importantes para os projetos e previsão de enchentes.

11. INTENSIDADE DE CHUVA

Para projetos de obras hidráulicas, como galerias pluviais e bueiros, não basta saber qual foi a quantidade de chuva registrada pelo pluviômetro em um dia, é necessário ter conhecimento de qual foi o período em que ocorreu a precipitação. Desta maneira, quando fala que a chuva em Goiânia em um determinado dia foi de 47 mm, é importante saber qual foi o intervalo de tempo que ocorreu esta chuva. Uma chuva de 47 mm que ocorre em oito horas tem efeito muito diferente se ocorrer em uma hora.

Segundo Fendrich (1998), para utilização de dados de chuva em projetos de engenharia de drenagem, faz-se necessário conhecer a relação entre as quatro características fundamentais da chuva: intensidade, duração, frequência e distribuição. A determinação dessa relação é feita a partir de dados históricos de postos pluviográficos.

A relação entre intensidade, duração e frequência pode ser representada graficamente ou por intermédio de uma equação, que tem como fórmula geral:

$$i = \frac{K \cdot T^d}{(t + c)^b}$$

i = intensidade de chuva (mm / minuto)

T = Período de retorno (anos)

t = tempo de duração da chuva (minuto)

K, c, b, d = parâmetros determinados para a estação pluviométrica.

Existem várias referências em relação ao período de retorno T para diversos tipos de estruturas.

Estrutura	Período de retorno T (anos)
bueiros de grota e drenagem superficial	5
bueiros em bacias até 1 km ²	10
bueiros em bacias entre 1 e 5 km ²	25
bueiros em galerias em que 5 km ² < A ≤ 10 km ²	50
pontes até 100 m	50
pontes maiores que 100 m	100

Extraídos da publicação *Chuvas Intensas no Brasil*, de Otto Pfafstetter, editada pelo DNOS em 1982, são apresentados na tabela os dados de chuvas intensas para o Município de Goiânia.

Chuvas Intensas para Goiânia (mm)

Duração	Tempo de recorrência (anos)			
	1	2	5	10
5 min	10	12	15	17
15 min	24	28	31	36
30 min	36	38	44	56
1 h	44	54	66	70
2 h	51	64	87	94
4 h	62	74	98	105
9 h	65	80	105	110
24 h	75	90	120	145

12. BALANÇO HÍDRICO

A impermeabilização do solo provoca alteração do balanço hídrico, pois: aumenta o volume de escoamento superficial, reduz a recarga dos aquíferos, que tende a diminuir o nível do lençol freático por falta de recarga; reduz a evapotranspiração devido à substituição da cobertura natural.

O balanço hídrico de uma bacia hidrográfica é realizado por meio da equação hidrológica fundamental:

$$Q_e - Q_s = \frac{dV}{dt}$$

Q_e = vazão de entrada

Q_s = vazão de saída

V = volume armazenado

t = tempo

A aplicação dessa equação em um intervalo de tempo, resulta na equação do balanço hídrico superficial:

$$V_p = V_a + V_q + V_i + V_e$$

V_p = volume precipitado

V_a = volume armazenado

V_q = volume escoado

V_i = volume infiltrado

V_e = volume evaporado

Exemplo:

Na seção da saída de uma microbacia hidrográfica foi constatada uma vazão anual de $20 \text{ l/s/km}^2 = 630,7 \text{ mm}$ em resposta a uma chuva de 1.000 mm . Considerando que a variação da infiltração foi de 10 mm e o armazenamento foi desprezível, qual foi a evaporação?

$$V_p = V_a + V_q + V_i + V_e$$

$$1000 = 0 + 630,7 + 10 + V_e$$

$$V_e = 1000 - 640,7$$

$$V_e = 359,3 \text{ mm}$$

13. DINÂMICA FLUVIAL

Segundo Christofolletti (1981), o escoamento dos canais fluviais apresenta diversas características dinâmicas, que se tornam responsáveis pelas qualidades atribuídas aos processos pluviais. A dinâmica do escoamento, no que se refere à perspectiva geomorfológica, ganha significância na atuação exercida pela água sobre os sedimentos do leito fluvial, no transporte dos sedimentos, nos mecanismos deposicionais e na esculturação da topografia do leito.

Os cursos de água transportam escoamentos concentrados com superfície livre advindos de precipitações pluviais ou da contribuição de águas do lençol freático. Dessa maneira, as calhas dos cursos de água servem como canais naturais para drenagem de uma bacia hidrográfica e recebem, ao mesmo tempo, sedimentos da própria rocha do leito e por intervenção humana.

Segundo Silva e Júnior (2005), em seu estado natural, a forma de equilíbrio de um rio tende a ajustar-se a uma conformação geométrica em função dos seguintes fatores condicionantes:

- A seqüência de vazões líquidas impostas pelo processo chuva-vazão na bacia hidrográfica;
- A seqüência de vazões sólidas provenientes da bacia e do próprio leito;
- A susceptibilidade de suas margens aos processos de erosão ou deposição de sedimentos;

As alterações bruscas ou gradativas destes fatores modificam a dinâmica fluvial do curso de água, alterando o seu curso normal, o raio hidráulico, o leito, a seção transversal e as magnitudes das vazões naturais.

Considerando a fórmula de Chézy com o Coeficiente de Manning temos que:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R_h^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

V = velocidade

R_h = raio hidráulico = A (área molhada)

P (perímetro)

n = coeficiente de rugosidade de Manning

i = declividade

Pode-se observar que a velocidade da água altera com o raio hidráulico e com o Coeficiente de Manning.

13.1. Fatores que afetam o Coeficiente de Manning

- rugosidade do material do leito
- formas do fundo
- profundidade e largura da seção molhada
- vegetação natural
- lixo
- material de revestimento das margens (concreto, gabiões)

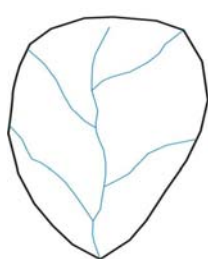
14. EXERCÍCIOS

1 – Quando trabalhamos com dados hidrológicos devemos sempre utilizar dados consistidos. Por quê?

2 – Quais são os tipos de precipitações? Qual é o tipo que interessa às obras em pequenas bacias hidrográficas, como construções de bueiros?

3 – Qual a bacia hidrográfica que está sujeita a ter mais enchentes? Por quê?

Obs: Comparar **A** com **B** e **C** com **D**.



BACIA A



BACIA B

Área de drenagem de **A** = área de drenagem de **B**.

Bacia **C** tem área de drenagem = 212 km² e perímetro = 75 km.

Bacia **D** com área de drenagem = 42 km² e perímetro = 23 km.

4 – Calcular o Coeficiente de Compacidade da bacia do córrego Barreiro, sabendo-se que a área de drenagem é 15,8 km² e o perímetro é 18,3 km.

5 - Qual foi a altura de chuva registrada por um pluviômetro que tem área coletora de 500 cm² e captou um volume de 4.600 ml?

6 – Para medir a altura de uma chuva foi utilizado uma lata que mede 20 x 20 cm de boca e uma proveta que tem área de 8 cm² e que mediu 12 cm de altura de água. Qual foi a altura medida de chuva em mm?

7 – Em uma bacia hidrográfica o total precipitado no ano 2000 foi de 1.326 mm. Calcule a evaporação total nesse ano na bacia, considerando que a vazão média anual na saída (exutória da bacia) foi de 14,3 L/s/km² = 451 mm. Despreze o volume armazenado e infiltrado.

8 – Na seção exutória de uma bacia pequena, foi constatada uma vazão média anual de 23 L/s/km², em resposta a uma chuva de 1.227 mm. Considerando-se desprezível a diferença no volume total de água armazenada na bacia, qual foi a evapotranspiração?

9 – Considere uma bacia com 13 hectares onde o total anual precipitado é em média de 1326 mm e a vazão na exutória igual a 1,86 L/s. Nesta bacia pretende-se implantar um lago inundando 1/3 da área total da bacia. Nestas circunstâncias, haverá um acréscimo do total evaporado na bacia devido ao espelho d'água, e o conseqüente decréscimo na vazão média anual. Supondo que a evaporação direta no reservatório é estimada em 1.100 mm/ano, calcule o decréscimo percentual na vazão média.

OBS:

$$P = D + EVT$$

P = precipitação (mm)

D = deflúvio (mm)

EVT = evapotranspiração (mm)

$$D \text{ (m)} = \frac{Q \text{ (l/s)} \times 10^{-3} \times 365 \times 24 \times 3600}{A \text{ (m}^2\text{)}}$$

Vazão na saída da bacia

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = \frac{D \text{ (mm)} \times 10^{-3} \times A \text{ (m}^2\text{)}}{365 \times 24 \times 3600}$$

Q = vazão

$$\Delta q \text{ (\%)} = \frac{\text{vazão antes} - \text{vazão depois}}{\text{vazão antes}} \times 100$$

10 – Determinar a vazão de projeto no vale receptor das águas de chuva de uma bacia para dimensionar a galeria de águas pluviais.

- Área de drenagem da bacia = 0,506 km²
- Coeficiente de escoamento = 0,55
- i = intensidade de chuva em mm/h
- tc = tempo de concentração = 19,70 min

$$i = \frac{2808,67 \times T^{-0,104}}{(tc + 33)^{0,930}}$$

11 – Com os dados de precipitação máxima de 01 (um) dia de uma região de Goiânia, calcular a chuva máxima e sua probabilidade de ocorrer para um período de retorno de 7 (sete) anos. Utilizar o método de Kimbal.

Chuva máxima de 1 dia

ANO	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
P (mm)	64,3	93,0	59,3	96,0	85,4	107,1	90,2	70,2	53,2	80,6

ANO	93	94	95	96	97	98	99	01	02	03
P (mm)	70,2	82,4	99,4	93,2	70,8	68,9	71,0	74,0	83,0	69,2

12 – Para 20 anos de dados de chuva máxima de 1 dia observado na estação pluviométrica instalada na Escola de Agronomia de Goiânia, tem-se uma média de 83,2 mm e um desvio padrão de 20,1. Utilizando o método de Vem Te Chow, calcular as precipitações máximas prováveis para os períodos de retorno de 50 e 100 anos.

$$K_{50} = 3,179 \quad \text{e} \quad k_{100} = 3,836$$

Referências Bibliográficas

ARAÚJO, L.M.N.; CORRENTINO DA CUNHA, M.A.; MOREIRA, F.M.; NETO, P.M.R. **Projeto Abadia de Goiás. Relatório Final de Estudos Hidrológicos.** CNEN/CPRM. 1993.p. 20-21.

BARROS, M.T.; PORTO, R.L.L.; TUCCI, C.E.M. **Drenagem Urbana.** UFRGS/ABRH. 1995. 428 p.

BRANDÃO, V. S.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. **Infiltração da Água no Solo.** 2ª edição. UFV. Viçosa. 2003. 98 p.

CARVALHO, N. O.; GUILHON, L. G.; TRINDADE, P. A. **O Assoreamento de um Pequeno Reservatório – Itiquira, um Estudo de Caso.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 5. n.1. Porto Alegre. 2000. p. 69-79.

CASSETI, V. **Concentração de Sedimentos em Suspensão no Baixo Ribeirão João Leite – Goiânia.** In: Boletim Goiano de Geografia. Vol. 9/10 nº 1/2.UFG. 1990. p. 71-97.

CHOW, V. TE.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, L. W. **Applied Hydrology.** McGraw-Hill. New York. 1988. 572 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial. O Canal Fluvial.** Vol. 1. Edgard Blücher. São Paulo. 1981. 313 p.

CORRÊA, R. S.; MELO FILHO, B. **Ecologia e Recuperação de Áreas Degradadas no Cerrado.** Paralelo 15. Brasília. 1998. p. 118-119.

FENDRICH, R. **Chuvas Intensas para Obras de Drenagem (no Estado do Paraná).** Champagnat. Curitiba. 1998. 99 p.

JÚNIOR, G. W.; SILVA, R.C.V. **Hidráulica Fluvial**. Volume II. COPPE/UFRJ. 2005. 256 p.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística**. CPRM. Belo Horizonte. 2007. P. 6-10.

NIMER, E. **Pluviometria e Recursos Hídricos de Pernambuco e Paraíba**. IBGE/SUPREN. Rio de Janeiro. 1979. 128 p.

PFAFSTETTER, O. **Chuvas Intensas no Brasil**. Ministério do Interior. Departamento Nacional de Obras de Saneamento. Rio de Janeiro. 1982. 426 p.

TUCCI, C.E.M. **Inundações Urbanas**. ABRH/RHAMA. Porto Alegre. 2007. 393 p.

ANEXO

SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS E DINÂMICA FLUVIAL DO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA

Os estudos realizados para caracterizar a hidrografia, a hidrologia e a dinâmica fluvial dos cursos de água das oito macrozonas definidas no Plano Diretor do Município de Goiânia, tiveram, como objetivo principal, prestar informações básicas e necessárias para o planejamento territorial, mediante elaboração de cartas de riscos, caracterização de áreas de vulnerabilidade físico-ambiental e verificação de possíveis evoluções da dinâmica fluvial dos cursos de água.

O Brasil não tem tradição em monitoramento hidrológico em áreas urbanas, apenas algumas grandes cidades têm estações hidrológicas para coletar dados de vazões, de chuva e de variação do nível das águas subterrâneas, visando prestar informações para projetos de drenagem, mapeamento de áreas inundáveis e estudos do comportamento do lençol freático e da evolução da dinâmica fluvial.

No Município de Goiânia não é diferente, não existem informações hidrológicas adequadas nas bacias hidrográficas, que possam contribuir e facilitar o desenvolvimento dos estudos de correlação entre precipitação e ocorrências de movimentos de massa, evolução da dinâmica fluvial, intensidade de chuvas nas cabeceiras, drenagem urbana e levantamento de enchentes históricas. Afirma-se ainda que o Plano Diretor de Drenagem Urbana do Município de Goiânia foi elaborado sem a quantidade necessária de dados hidrológicos.

Assim sendo os referidos estudos tiveram como base as poucas informações hidrológicas disponíveis no Município e entorno e o reconhecimento das bacias hidrográficas, com a finalidade de realizar algumas medições de vazões, visando obter subsídios para avaliação da influência das áreas impermeáveis no escoamento fluvial e na infiltração; verificar os problemas de erosões hídricas, de sedimentos carregados pela chuva para os cursos de água, das instabilidades das margens dos córregos e ribeirões e dos resíduos sólidos urbanos depositos nas margens e dentro dos cursos de água.

As características físicas das bacias das Macrozonas, como fator de forma e coeficiente de compacidade, mostram que elas, a exemplo da Bacia do Rio Meia Ponte, por serem estreitas e alongadas ao invés de serem compactas e arredondadas, não seriam

sujeitas às inundações caso fossem mantidos seus estados naturais, com pouca urbanização de suas áreas de drenagem.

O conhecimento das características morfológicas e dos vários processos envolvidos em cada canal é de grande importância para o planejamento sobre a utilização das áreas ribeirinhas. O uso urbano das áreas marginais, a construção de pontes, bueiros e de outras obras de arte devem levar em consideração a dinâmica observada nos diversos tipos de canais.

O escoamento dos canais fluviais apresenta várias características dinâmicas, que se tornam responsáveis pelos processos pluviais. As alterações das seqüências de vazões impostas pelo regime chuva-vazão e da susceptibilidade das margens à erosão ou deposição de sedimentos, modificam a dinâmica fluvial do curso de água, alterando o seu curso natural, o leito, a seção transversal, o raio hidráulico e as magnitudes das vazões.

As alterações da dinâmica fluvial das Macrozonas Rurais, devido à urbanização, provocarão aumento de inundações, principalmente nas bacias em que o curso principal corre na direção da Macrozona Construída. Como exemplo cita-se a Macrozona Rural do Alto Anicuns. Se ocorrer a urbanização dessa Macrozona, sem um planejamento e um controle rigoroso do meio físico e das questões ambientais, pode-se prever grandes alterações na dinâmica fluvial desse ribeirão, que, em conseqüência, aumentarão as inundações, o carreamento de sedimentos e as erosões na calha e nas suas margens, principalmente na sua parte média e baixa, compreendendo as regiões do Parque Industrial João Braz e as Vilas São José, Clemente, João Vaz e São Paulo.

Outras duas Macrozonas Rurais que merecem atenção especial são a do João Leite e a do São Domingos, porque nelas se localizam as captações de água para abastecimento público da SANEAGO. As alterações do escoamento e aumento das magnitudes das vazões poderão provocar inundações com carreamento de sedimentos e resíduos sólidos urbanos, piorando a qualidade da água e onerando o custo para o seu tratamento.

Em relação à Macrozona Construída há casos em que a urbanização está se desenvolvendo de jusante para montante, ou seja da parte baixa para a parte alta dos córregos ou ribeirões. Como conseqüência, as áreas principais e já urbanizadas são afetadas pelas futuras urbanizações das cabeceiras das microbacias hidrográficas. É o caso da bacia hidrográfica do Córrego Cascavel, onde a parte alta do Parque Amazonas, Jardim Atlântico, Vila Rosa, Jardim América, e intermediações da Avenida Rio Verde foram e ainda estão sendo urbanizadas após a ocupação da parte média e baixa dessa bacia hidrográfica.

Esse fato está modificando a dinâmica fluvial do Córrego Cascavel e poderá provocar desmoronamento de suas margens a jusante da Avenida T-9, no Setor Sudoeste. O mesmo acontece com a bacia do Ribeirão Anicuns, onde sua parte a montante está sendo urbanizada. Observe-se, como exemplo, a formação do Setor Parque Eldorado Oeste, próximo ao Conjunto Vera Cruz.

São várias as sugestões para prevenir e minimizar os impactos decorrentes dos efeitos das alterações na dinâmica fluvial devido à urbanização das macrozonas. Essas sugestões constituem-se em medidas estruturais e não estruturais que deveriam ser colocadas em prática antes e após a urbanização.

Como medidas estruturais sugere-se:

- A construção de pequenos reservatórios para detenção e controle de inundações;
- A desobstrução de canais por meio de retirada de entulho e vegetação dentro dos mesmos.

Como medidas não estruturais recomenda-se:

- Desenvolver programas de educação ambiental que realmente contribuam para modificar o comportamento da população em relação às áreas permeáveis e à disposição correta dos resíduos sólidos urbanos nas calçadas;
- Determinar que os projetos de pontes, bueiros e galerias para travessias dos cursos de água apresentem soluções que não ofereçam resistência ao escoamento;
- Exigir que os novos loteamentos destinem áreas não edificáveis para retenção temporária do excesso do volume de escoamento superficial que ocorre durante as chuvas intensas;

É necessária também a elaboração de um projeto e a instalação de uma Rede Hidrológica Urbana no Município de Goiânia, objetivando prestar as informações básicas e necessárias para projetos de drenagem, de controle de erosões, desmoronamentos e deslizamentos, para mapeamento de planícies de inundações e, de uma maneira geral, prestar informações para estudos do meio físico e biótico.

Recomenda-se instalar registradores automáticos de variações de níveis de água (linígrafos) e pluviógrafos para medir a quantidade de chuva que precipita em um determinado tempo. A princípio, os pluviógrafos deveriam ser instalados nas partes altas

das microbacias das macrozonas e os linígrafos, entre os trechos médio e baixo dos cursos de água principais de cada microbacia.

Após a instalação da referida rede, deveria ser realizado um projeto de Zoneamento de Áreas Inundáveis, uma das medidas mais importantes e imprescindíveis a ser executada antes de qualquer processo de urbanização das macrozonas. Com a utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG) e dos dados das estações fluvométricas, poder-se-ia fazer um excelente trabalho de Zoneamento de Áreas Inundáveis, propondo um conjunto de regras para ocupação das áreas de riscos de inundações.

Sua realização, portanto, seria mais um instrumento para definir as políticas de uso do espaço urbano, orientar corretamente o desenvolvimento da ocupação de novas áreas, avaliar os custos das inundações e dos benefícios decorrentes da redução dos riscos das enchentes, indicar as medidas estruturais e não estruturais de controle de inundações e desmoronamento, evitar os loteamentos inadequados com super ocupação, prestar subsídio para o plano de drenagem urbana, evitar problemas de saúde pública e indicar locais com maior potencial para implantação de áreas verdes e de lazer e selecionar locais para a construção de pequenos reservatórios para retenção e controle de inundações.

O zoneamento deveria ser feito ao longo das margens do Rio Meia Ponte, dentro do Município de Goiânia, e nas margens dos principais cursos de água das macrozonas, principalmente em áreas com potencial de inundações.