

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Franco Turco Buffon

**APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS:
EFEITO SOBRE O SISTEMA DE DRENAGEM URBANA**

Porto Alegre
junho 2010

FRANCO TURCO BUFFON

**APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS:
EFEITO SOBRE O SISTEMA DE DRENAGEM URBANA**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Gino Roberto Gehling
Coorientador: Fernando Dornelles

Porto Alegre
junho 2010

FRANCO TURCO BUFFON

**APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS:
EFEITO SOBRE O SISTEMA DE DRENAGEM URBANA**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 16 de junho de 2010

Prof. Gino Roberto Gehling
Dr. pela Universitat Politecnica de Catalunya
Orientador

Eng. Fernando Dornelles
Mestre pela UFRGS
Coorientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Gino Roberto Gehling
Dr. pela Universitat Politecnica de Catalunya

Eng. Fernando Dornelles
Me. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Enga. Magda Vânia Corrêa Carmona
Ma. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Walter Collischonn
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a minha irmã Gabriela, por todo bom astral com que sempre me brinda, e especialmente por saber que sempre estará ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Gino Roberto Gehling, orientador deste trabalho, pelo tempo dedicado a esta pesquisa e pelos conhecimentos a transmitidos.

Agradeço a Profa. Carin Maria Schmitt pelo empenho dedicado, pelas críticas construtivas e pelo acompanhamento que ajudou a dar consistência a este trabalho.

Agradeço ao Eng. Fernando Dornelles, que me auxiliou durante todas as etapas deste trabalho, desde a identificação do foco do problema até a elaboração do desenvolvimento, repassando seus conhecimentos para melhorar este trabalho.

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo. Todos nós sabemos alguma coisa. Todos nós ignoramos alguma coisa. Por isso aprendemos sempre.

Paulo Freire

RESUMO

BUFFON, F. T. **Aproveitamento de Águas Pluviais**: efeito sobre o sistema de drenagem urbana. 2010. 59 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

A água é essencial à existência e manutenção da vida, ao bem-estar social e ao desenvolvimento socioeconômico. Deve-se promover seu uso sustentável para que se estabeleçam ações articuladas e integradas que garantam a manutenção de sua disponibilidade em condições adequadas para as futuras gerações. Visando aliar soluções que promovam a sustentabilidade das cidades, no sentido de reduzir os impactos da urbanização, como o aumento do consumo de água potável e a frequência de alagamentos, este trabalho se propõe a avaliar o impacto da captação e utilização de águas pluviais em edificações no sistema de drenagem urbana. Para tanto, foram estudadas as características do regime hidrológico local e as diretrizes para implantação de empreendimentos de habitação no município de Porto Alegre, com os quais foi formulado o modelo que representa a disponibilidade e utilização das águas pluviais. Por meio da identificação de um loteamento, através da análise de imagens de satélite do Município, e quantificação e caracterização de suas superfícies através do uso de *softwares*, foi simulado o balanço hídrico do mesmo antes e após a implantação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais para abastecimento de descargas em bacias sanitárias. Através da utilização de uma série diária de dados pluviométricos foram determinados os volumes dos reservatórios de armazenamento de água de chuva para subdivisões do loteamento. Assim foi possível quantificar os volumes extravasados do sistema de aproveitamento e verificar o efeito provocado sobre o sistema de drenagem urbana a jusante. Por meio de análises estatísticas dos resultados obtidos nos balanços hídricos em cada conjunto residencial do loteamento, observou-se uma variação da redução da média diária dos volumes originalmente escoados no terreno entre 15,62 % e 20,31 %, calculados sobre a quantidade de dias chuvosos. Verificou-se que o efeito sobre o sistema de drenagem urbana varia com a redução das superfícies impermeáveis e com a parcela ocupada pela área de telhado em relação à área total do loteamento. Verificou-se também que há uma correlação inversamente proporcional entre a quantidade de dias chuvosos e a redução da média dos volumes escoados diariamente.

Palavras-chave: sustentabilidade; drenagem urbana; aproveitamento de águas pluviais.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: delineamento da pesquisa.....	15
Figura 2: volumes de água no mundo.....	16
Figura 3: série histórica de chuvas diárias de um posto pluviométrico.....	18
Figura 4: efeitos de diversas densidades urbanas no ciclo hidrológico.....	19
Figura 5: impacto da urbanização sobre o hidrograma.....	22
Figura 6: estimativa do crescimento da extração de água para abastecimento do consumo mundial.....	24
Figura 7: desagregação do uso doméstico de água em Porto Alegre.....	25
Figura 8: relação entre densidade populacional e área impermeável.....	28
Figura 9: comparação entre traçados viários.....	29
Figura 10: programa de conservação de água em novas edificações.....	34
Figura 11: sistema de aproveitamento de água pluvial.....	35
Figura 12: delineamento completo da pesquisa.....	37
Figura 13: localização do loteamento estudado no município de Porto Alegre.....	38
Figura 14: polígonos utilizados na quantificação das áreas do loteamento.....	40
Figura 15: divisão das áreas do loteamento em blocos de residências.....	41
Figura 16: localização do posto pluviométrico 3051023 utilizado no estudo.....	44
Figura 17: precipitação total dos anos que compõem a série.....	45
Figura 18: curva de permanência da redução dos volumes escoados.....	50
Figura 19: curva de permanência das precipitações amortecidas.....	51
Figura 20: curva de permanência dos volumes disponíveis no reservatório.....	52
Figura 21: precipitações médias e máximas mensais.....	53
Figura 22: número médio de dias chuvosos e média de chuva por dia chuvoso.....	53
Figura 23: redução média mensal dos volumes escoados.....	54
Figura 24: correlação entre precipitação e redução dos volumes escoados.....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: coeficientes de escoamento para algumas superfícies.....	21
Quadro 2: usos não-potáveis, fontes alternativas e tratamentos necessários (A a G).....	26
Quadro 3: orientações para projetos de loteamentos.....	31
Quadro 4: resumo dos dados de densidade demográfica e de demanda de água.....	43
Quadro 5: determinação dos volumes dos reservatórios de amortecimento.....	46
Quadro 6: volumes dos reservatórios de descarte e de aproveitamento.....	47
Quadro 7: dados do loteamento que influenciam os volumes escoados.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: crescimento da população brasileira e taxa de urbanização.....	28
Tabela 2: quantificação e caracterização das áreas do loteamento.....	40
Tabela 3: quantificação e caracterização das áreas do Bloco A.....	41
Tabela 4: quantificação e caracterização das áreas do Bloco B.....	42
Tabela 5: quantificação e caracterização das áreas do Bloco C.....	42
Tabela 6: quantificação e caracterização das áreas do Bloco D.....	42
Tabela 7: volumes escoados sem sistema de aproveitamento.....	46
Tabela 8: volumes escoados com sistema de aproveitamento.....	48
Tabela 9: redução dos volumes escoados com sistema de aproveitamento.....	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 MÉTODO DE PESQUISA	13
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA.....	13
2.2 OBJETIVO PRINCIPAL.....	13
2.3 PRESSUPOSTO.....	14
2.4 DELIMITAÇÃO.....	14
2.5 LIMITAÇÕES.....	14
2.6 DELINEAMENTO.....	14
3 ÁGUAS URBANAS	16
3.1 DISPONIBILIDADE E CICLO HIDROLÓGICO.....	16
3.2 DRENAGEM URBANA.....	20
3.3 CONSUMO DE ÁGUA.....	23
4 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO	27
4.1 CRESCIMENTO DEMOGRÁFICO.....	27
4.2 OCUPAÇÃO DO SOLO.....	29
4.3 PLANEJAMENTO URBANO.....	30
5 SUSTENTABILIDADE DAS ÁGUAS URBANAS	32
5.1 USO RACIONAL DA ÁGUA.....	32
5.2 CONSERVAÇÃO DA ÁGUA.....	33
5.3 APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	34
6 CARACTERIZAÇÃO E MODELAGEM	37
6.1 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS.....	38
6.1.1 Identificação do loteamento	38
6.1.2 Caracterização e quantificação das áreas	39
6.1.3 Densidade demográfica e demanda de água	43
6.1.4 Regime hidrológico	44
6.2 MODELOS DE SIMULAÇÃO.....	45
6.2.1 Sem sistema de aproveitamento de águas pluviais	45
6.2.2 Com sistema de aproveitamento de águas pluviais	46
7 ANÁLISE DOS RESULTADOS	49
7.1 QUANTO AO BALANÇO HÍDRICO.....	49
7.2 QUANTO À SAZONALIDADE.....	52
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

Como reflexo do crescimento da economia das grandes cidades, o aumento da quantidade de construções gera zonas de expansão urbana dentro do perímetro dos municípios. Segundo Tucci (1995, p. 15), “Os efeitos desse processo se fazem sentir sobre todo o aparelhamento urbano relativo aos recursos hídricos: abastecimento de água, transporte e tratamento de esgotos cloacais e drenagem pluvial.”. Os principais impactos que decorrem do desenvolvimento de uma área urbana sobre os processos hidrológicos estão ligados à forma de ocupação do solo e ao aumento das superfícies impermeáveis. Isto tem produzido aumento significativo na frequência de inundações e gradativa piora da qualidade das águas, além de prejuízos sociais e financeiros a população.

Baseado nisso, este trabalho se propõe a avaliar o efeito que o sistema de aproveitamento de água pluvial provoca sobre o sistema de drenagem urbana, a fim de contribuir para a integração da gestão dos recursos hídricos nos centros urbanos. Dessa forma, o segundo capítulo propõe o método do trabalho, onde estão apresentados os elementos para possibilitar a compreensão do mesmo, como a questão de pesquisa e objetivo. Além destes, são apresentadas as motivações, limitações, pressupostos e delineamento da pesquisa desenvolvida.

No terceiro capítulo são discutidos os aspectos relacionados à gestão das águas urbanas, entre eles, sua disponibilidade natural e a demanda, além dos elementos que compõe o sistema de drenagem urbana. Após essa análise, no quarto capítulo, são abordados aspectos relacionados aos impactos da urbanização sobre os recursos hídricos, como a concentração populacional e a ocupação do solo, além de quesitos do planejamento urbano.

Como uma maneira de enfrentar os impactos trazidos pela urbanização, atualmente, o aproveitamento das águas pluviais como fonte alternativa de abastecimento contribui para redução do risco de desabastecimento e do racionamento. Aproveitar a água da chuva em edificações implica, entre outros, em otimizar o consumo a partir da gestão da demanda e da utilização de água com diferentes níveis de qualidade para atendimento das diferentes necessidades existentes, e consequentemente obter economia pela redução do consumo de

água e de outros insumos como energia, além de aumentar a disponibilidade de água e agregar valor ao produto (PIO et al., 2005).

Assim, no quinto capítulo estão apresentados elementos sobre o desenvolvimento sustentável relacionados à utilização dos recursos hídricos no ambiente urbano, como o uso racional e o combate ao desperdício da água. O foco principal deste capítulo é o aproveitamento da água pluvial como fonte alternativa para suprir a demanda de edificações em usos que não requerem a utilização de água potável, apresentando exemplos e definições necessárias para projetos deste tipo de sistema de conservação de água.

Após apresentar os componentes mais relevantes para o entendimento da pesquisa através do embasamento técnico, no capítulo 6 foi identificado o local (um condomínio) para aplicação do sistema de aproveitamento que melhor se enquadrasse no proposto por este trabalho quanto à ocupação do solo e planejamento urbano, de modo que se quantificou e qualificou as áreas impermeáveis nele existentes. Com uma demanda em função das edificações existentes e com a disponibilidade de água determinada por uma série histórica de chuvas, realizou-se uma simulação diária do balanço hídrico nos reservatórios do sistema de aproveitamento, o que possibilitou a análise, no capítulo 7, das mudanças nos volumes de saída antes e após a implantação do sistema de aproveitamento de águas pluviais.

Desta forma, foram produzidas informações que podem auxiliar o esclarecimento de questões ainda pouco consideradas no planejamento urbano e na tomada de decisão sobre a gestão dos recursos hídricos em centros urbanos, como o emprego de técnicas de sustentabilidade com objetivos diferentes (abastecimento de água não-potável e redução de alagamentos) agindo de forma integrada.

2 MÉTODO DE PESQUISA

O presente projeto de pesquisa trata de um assunto ainda pouco pesquisado na abordagem com a qual se pretende trabalhar. Busca-se contribuir com dados e informações para possibilitar que futuras pesquisas sobre o tema venham a ser desenvolvidas, solucionando problemas práticos da Engenharia Civil na área de recursos hídricos e saneamento ambiental surgidos a partir da rápida expansão das zonas urbanas. Objetiva-se aliar técnicas sustentáveis com o progresso da atividade do setor. Para facilitar a compreensão dos detalhes do projeto de pesquisa serão explicitados a seguir os principais itens que o compõem.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é a seguinte: qual o efeito da captação e armazenamento de águas pluviais, para posterior consumo não-potável, quanto à redução dos volumes escoados originalmente lançados à rede pública de drenagem, para uma determinada área urbana?

2.2 OBJETIVO PRINCIPAL

O objetivo principal deste trabalho é a avaliação da interação que um reservatório de captação para uso não-potável tem com o sistema de drenagem a jusante do mesmo, em uma determinada área urbana, sobre os aspectos quantitativos do escoamento das águas precipitadas.

2.3 PRESSUPOSTOS

Os pressupostos adotados para a realização deste trabalho são:

- a) o reservatório de aproveitamento das águas pluviais é considerado cheio no início da simulação;
- b) as áreas de coleta de água pluvial para o aproveitamento são os telhados;
- c) os dados históricos pluviométricos são representativos das condições futuras.

2.5 DELIMITAÇÃO

A pesquisa será desenvolvida através da simulação do sistema de captação e utilização da água de chuva ao longo de uma série histórica de dados pluviométricos, discutindo-se a influência que o reservatório de captação e utilização das águas pluviais exerce sobre o sistema de drenagem urbana em um loteamento do município de Porto Alegre.

2.6 LIMITAÇÕES

A pesquisa será desenvolvida com alguns condicionantes inerentes a complexidade das variáveis que serão tratadas. As limitações deste trabalho são:

- a) o posto pluviométrico com série histórica suficientemente longa, mais próximo do local de estudo, está situado no município de Barra do Ribeiro;
- b) a demanda por água varia conforme o consumo, no entanto a demanda de descargas em bacias sanitárias é considerada fixa;

2.7 DELINEAMENTO

As etapas do delineamento da pesquisa serão descritas detalhadamente a seguir:

- a) pesquisa bibliográfica: estudo e coleta de dados e informações relevantes sobre os impactos da urbanização no ciclo hidrológico, ocupação do solo e impermeabilização, planejamento urbano, drenagem urbana, oferta e consumo de água não-potável, desenvolvimento sustentável e educação ambiental, qualidade das águas do sistema de drenagem, sistemas de aproveitamento de águas pluviais e tratamento matemático das variáveis do modelo;

- b) definição e caracterização dos dados e das variáveis dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais e drenagem urbana aplicados a um loteamento: quantificação e relação matemática entre as variáveis como os índices pluviométricos, áreas impermeáveis, consumo não-potável residencial e volume dos reservatórios;
- c) simulação dos sistemas a partir dos dados quantificados e caracterizados;
- d) análise dos resultados obtidos a partir da simulação matemática no loteamento e avaliação da interação dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais e de drenagem urbana aplicados em uma determinada área urbana;
- e) considerações finais.

O diagrama do delineamento da pesquisa é apresentado na figura 1.

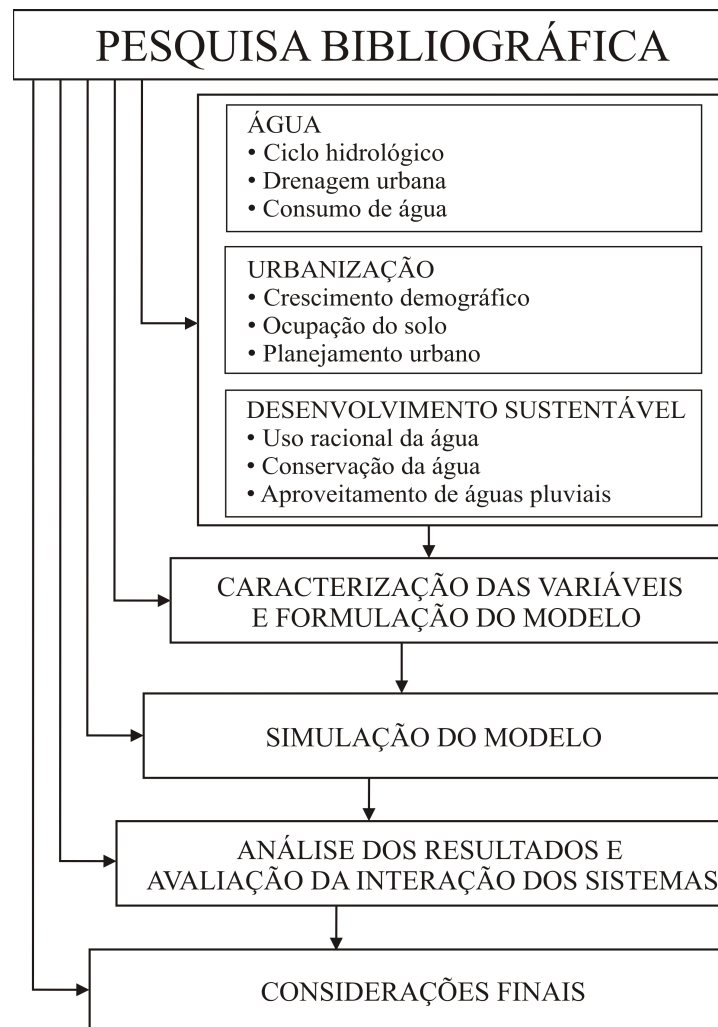


Figura 1: delineamento da pesquisa

3 ÁGUAS URBANAS

Neste capítulo serão abordados os aspectos que envolvem a gestão dos recursos hídricos, como sua disponibilidade natural no ciclo hidrológico e os impactos da urbanização na disponibilidade de água e nos alagamentos urbanos.

3.1 DISPONIBILIDADE E CICLO HIDROLÓGICO

A água é um recurso natural indispensável para a sobrevivência humana e de todas as espécies, sendo considerado um recurso que enfrenta problemas de quantidade e qualidade. A figura 2 evidencia que a disponibilidade de água para consumo humano é muito pequena e que as águas salgadas tem maior volume no planeta (SHIKLOMANOV, 1998, p. 4).

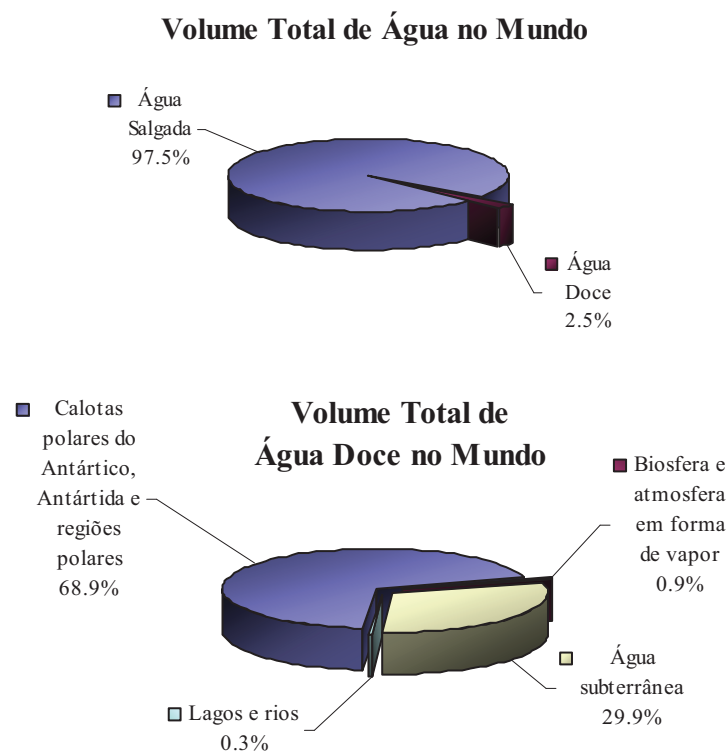


Figura 2: volumes de água no mundo (adaptado de SHIKLOMANOV, 1998, p. 4)

A água estocada em rios e lagos, por ser mais acessível, é mais utilizada para atendimento dos seres humanos em suas atividades econômicas. Deve-se buscar uma harmonia entre a disponibilidade hídrica e a demanda, pois apesar de haver uma alta quantidade de água por habitantes na América do Sul em geral, “[...] as regiões de grande concentração populacional exercem fortes pressões no aumento do consumo e no agravamento das condições de qualidade dos mananciais existentes.” (PIO et al., 2005, p. 8).

As águas circulam de tal forma que “Pode-se descrever o ciclo hidrológico a partir do vapor de água presente na atmosfera que, sob determinadas condições meteorológicas, condensa-se, formando micro-gotículas de água que se mantêm suspensas no ar devido à turbulência natural.” (SILVEIRA, 1993, p. 36), criando condições de precipitação, principalmente sob a forma de chuva, nos mares e superfícies terrestres. As águas no meio urbano também estão relacionadas com a infraestrutura das cidades, elas englobam o sistema de abastecimento de água e coleta esgotos, onde estão incluídas a drenagem urbana e a produção de resíduos sólidos.

Sabe-se que o sistema de circulação atmosférica é extremamente dinâmico e não-linear, o que dificulta sua previsão quantitativa, porém isso não impede que sejam feitas estimativas de seus principais intervenientes como a precipitação, infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial em bacias hidrográficas urbanas. Reforçando o conceito de bacia hidrográfica como unidade de estudo e planejamento em recursos hídricos, Silveira (1993, p. 41) explica que:

A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados e também os infiltrados profundamente.

A chuva é um dos fenômenos do ciclo hidrológico que é mais facilmente percebido pela sociedade no meio urbano, pois quando precipita sobre as superfícies impermeáveis urbanas é impedida de se infiltrar ao solo, aumentando o volume do escoamento superficial e, conseqüentemente, provocando alagamentos. A chuva pode ser medida através de aparelhos como o pluviômetro, com o qual se registram os valores precipitados em uma determinada área, geralmente valores associados à escala de um dia, de forma a gerar uma série histórica de chuvas em cada posto de medição.

Existem diversas séries históricas de chuvas diárias disponíveis para *download* no site da Agência Nacional das Águas¹ (ANA) para quase todas as regiões brasileiras. Por meio dessas séries é possível realizar estatísticas de frequências de ocorrência de precipitações, além de verificar a distribuição e variabilidade das chuvas, e até mesmo realizar estudos da disponibilidade hídrica de uma determinada região. A figura 3 mostra a série histórica de dados resultantes das medidas de precipitação de um determinado posto pluviométrico.

SÉRIE HISTÓRICA DE CHUVAS

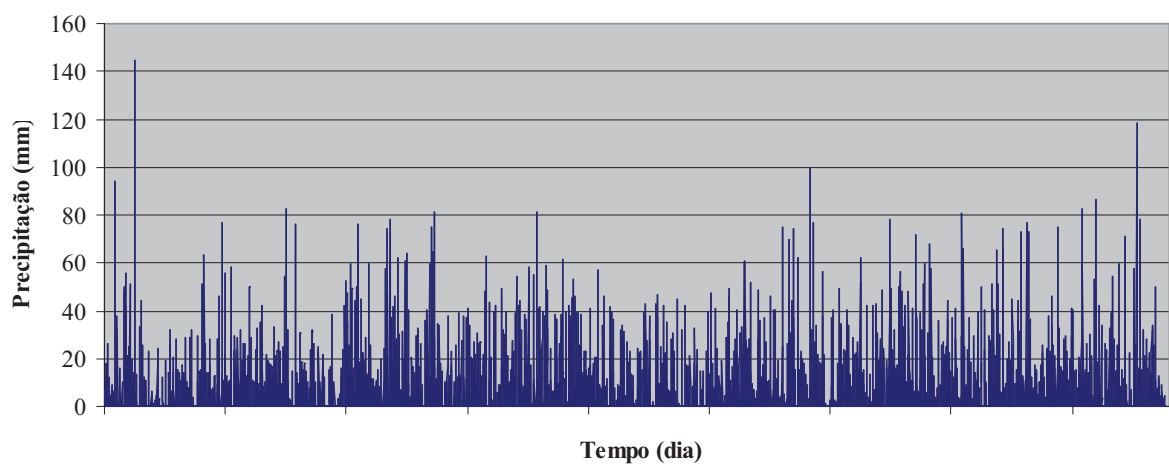


Figura 3: exemplo de série histórica de chuvas diárias de um posto pluviométrico (BRASIL, 2001b)

Conforme o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU) (PORTO ALEGRE, 2002, p. 22), “A precipitação é o principal dado hidrológico de entrada utilizado no cálculo das vazões de projeto das obras de drenagem pluvial.”. De acordo com tipo de obra a ser projetada recomenda-se a utilização de séries históricas ou de hietogramas (calculados através de curvas Intensidade-Duração-Frequência), por exemplo, as obras de drenagem utilizam hietogramas de projeto e as obras de aproveitamento de águas pluviais utilizam séries históricas de precipitações.

Segundo Mano (2004), a urbanização retira a vegetação existente alterando os escoamentos naturais, dessa forma, a infra-estrutura do meio urbano intervém no ciclo hidrológico das bacias hidrográficas urbanizadas afetando os volumes de água escoados, evaporados e

¹ Endereço do site: www.hidroweb.ana.gov.br, acessar o *link* dados hidrológicos, e depois acessar o *link* séries históricas e então pesquisar.

infiltrados, de acordo com a densidade da ocupação do solo. Conforme apresentado por Menegat (1999), a figura 4 ilustra o comportamento de saída de bacias hidrográficas urbanas para as condições climáticas, geológicas e urbanísticas de Porto Alegre, propondo valores que aproximam os volumes de infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial.

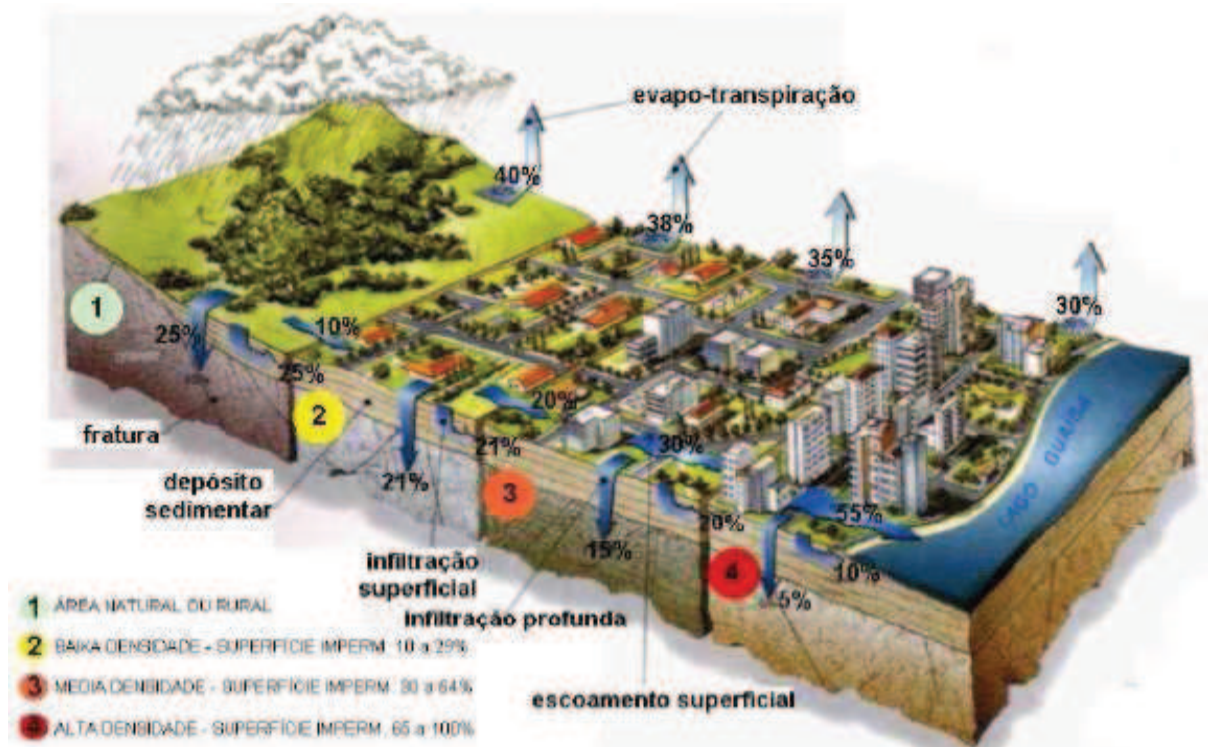


Figura 4: efeitos de diversas densidades urbanas no ciclo hidrológico (MENEGAT, 1999)

Devido ao impacto do desenvolvimento urbano, as águas urbanas criam diversas necessidades de infraestrutura para a manutenção de sua qualidade. Segundo Tucci (2007), os componentes das águas urbanas incluem a contaminação dos mananciais gerada pelos efluentes das cidades, os serviços de abastecimento de água e saneamento, o tratamento dos esgotos sanitários, a drenagem urbana, a gestão dos sólidos (sedimentos) e dos resíduos sólidos (materiais grosseiros) e a manutenção da qualidade da água pluvial. Tudo isso exige muitos investimentos por parte do poder público, assim como da iniciativa privada, sendo necessário conscientizar os empreendedores, planejadores e gestores das cidades para alcançar os objetivos do desenvolvimento sustentável no meio urbano.

3.2 DRENAGEM URBANA

A drenagem urbana é um sistema hidrológico de grande complexidade que “[...] deverá ter seu planejamento inter-relacionado com o planejamento dos sistemas de abastecimento e tratamento de água, da coleta e tratamento dos esgotos sanitários, e ainda, com outros que são partes integrantes do planejamento urbano global.” (FENDRICH, 2002, p. 18). O PDDrU de Porto Alegre regulamenta e apresenta conceitos e soluções técnicas que devem ser implantados pelos responsáveis pela elaboração de projetos de drenagem urbana, para que os impactos gerados na implantação de novos loteamentos sejam controlados na fonte que os gera, e não simplesmente transferidos para jusante como é comumente praticado na atualidade.

Conforme o PDDrU (PORTO ALEGRE, 2002), essas medidas de controle na fonte podem usar diferentes dispositivos que mantenham a vazão de saída do empreendimento igual ou menor que a vazão de pré-desenvolvimento, podendo ser utilizado para isso dispositivos que provocam o aumento de áreas de infiltração da água no solo e dispositivos que provocam o armazenamento temporário em reservatórios locais. Segundo Tucci (1995, p. 22), “[...] quando um loteamento é projetado, os municípios exigem apenas que o projeto de esgotos pluviais seja eficiente no sentido de drenar a água do loteamento.”, sendo que em diversos casos deve-se avaliar a necessidade de implantação do controle do escoamento dos loteamentos ainda na fonte.

Segundo Bidone e Tucci (1995, p. 79), alguns dos principais dados necessários para o dimensionamento de redes de drenagem são os cadastros de redes existentes, levantamento topográfico, mapas planialtimétricos em escalas adequadas, além de selecionar os seguintes elementos relativos à urbanização da bacia contribuinte, na situação atual e prevista no plano diretor:

- a) tipo de ocupação (residências, comércio, praças, etc.);
- b) porcentagem de ocupação dos lotes;
- c) ocupação e recobrimento do solo nas áreas não urbanizadas da bacia.

Os elementos relativos à urbanização influenciam no volume do escoamento superficial, infiltração e evapotranspiração das bacias hidrográficas, de modo que é necessário mensurá-los para que se possam dimensionar os sistemas de drenagem e armazenamento. O PDDrU

(PORTO ALEGRE, 2002, p. 30) recomenda valores de coeficiente de escoamento superficial (estimador da parcela de precipitação que provoca escoamento superficial) de acordo com as superfícies das áreas projetadas (quadro 1), sendo que o coeficiente que representa o volume escoado em uma bacia com superfícies variáveis deve ser obtido através da ponderação do coeficiente de escoamento de diferentes superfícies, conforme a equação 1:

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{C_i \cdot A_i}{A_t} \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

C = coeficiente de escoamento superficial ponderado (adimensional);

C_i = coeficiente de escoamento superficial de uma determinada superfície (adimensional);

A_i = área de uma determinada superfície (m^2);

A_t = área total da bacia (m^2);

i = tipo da superfície;

n = total de tipos de superfícies.

Material	C
Cimento, asfalto e telhado	0,95
Paralelepípedo	0,70
Blockets	0,78
Concreto e asfalto poroso	0,03
Solo compactado	0,66
Gramma solo arenoso	0,10
Gramma solo pesado	0,20

Quadro 1: coeficientes de escoamento para algumas superfícies (adaptado de PORTO ALEGRE, 2002, p. 30)

Segundo Tucci (2007, p. 185), cada novo prédio construído aumenta a vazão prévia natural em várias vezes de magnitude, transportando essa vazão aumentada para a rede pública ou do loteamento num tempo menor do que ocorria anteriormente. Os resultados desse efeito são alagamentos em diferentes pontos da rede de drenagem pública situados à jusante. A

consequência disso pode ser vista nos hidrogramas resultantes de pré e pós-desenvolvimento de uma região genérica (figura 5), onde a diferença entre os hidrogramas é o volume necessário a ser armazenado temporariamente para se manter a condição natural do escoamento no empreendimento. Ainda, conforme Tucci (2007, p. 207) a estimativa do volume deve ser realizada com base nas condições estabelecidas pelo poder público quanto ao limite de vazão pluvial para a entrada da rede de drenagem.

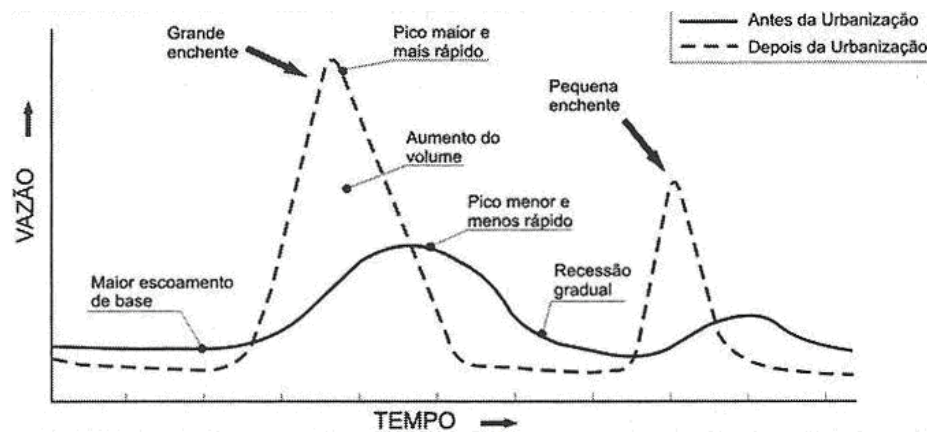


Figura 5: impacto da urbanização sobre o hidrograma (TUCCI, 2007, p. 102)

No município de Porto Alegre, existe o Decreto n. 15.371, que responsabiliza o empreendedor pela manutenção das condições de pré-ocupação dos mananciais da cidade, evitando a transferência do ônus da drenagem urbana para o restante da população (PORTO ALEGRE, 2006). Esse Decreto determina que toda ocupação deverá possuir vazão máxima específica de saída de $20,8 \text{ L} \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$, e determina também que a água precipitada sobre terrenos com áreas superiores a 600 m^2 e inferiores a 100 hectares (para áreas maiores do que 100 hectares é necessário realizar estudo específico), não pode ser drenada diretamente para a rua ou redes de drenagem, devendo ser controlada através de reservatório, trincheira de infiltração e/ou pavimentos permeáveis com volume de reservação determinado pela equação 2:

$$V = 4,25 \cdot AI \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

V = volume por unidade de área de terreno ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$);

AI = área impermeável do terreno em percentagem.

Para a verificação do volume adotado em um reservatório de retenção, verificação das dimensões da rede de drenagem e para a geração do hidrograma de saída de um lote/loteamento com controle do escoamento na fonte, o PDDrU (PORTO ALEGRE, 2002) recomenda a utilização de métodos numéricos de simulação do escoamento, sendo que o esgotamento dos reservatório deve ser exclusivamente por gravidade. O dimensionamento da infraestrutura de drenagem (redes, calhas, bocas de lobo, etc.) deve ser feito através da vazão máxima de projeto que pode ser obtida pelo uso do Método Racional (equação 3) como modelo de transformação chuva-vazão:

$$Q_p = 2,78 \cdot C \cdot i_{\text{máx}} \cdot A \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

Q_p = vazão de projeto ($L \cdot s^{-1}$);

C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

$i_{\text{máx}}$ = intensidade máxima da chuva de projeto ($mm \cdot h^{-1}$);

A = área contribuinte (ha).

Reforçando o que foi dito até o momento, segundo Fendrich (2002, p. 141), o uso de pequenas bacias de retenção em lotes urbanos como forma de controle das enchentes na fonte tem sido apresentado por vários autores como proposta de controle das águas pluviais, baseando-se na idéia do abatimento das vazões máximas geradas. Desta forma, este trabalho também adota microreservatórios de retenção como solução do controle do escoamento na fonte, não apenas por ser de simples construção, mas também por ser de fácil adaptação aos projetos arquitetônicos e urbanísticos, visto que podem ser enterrados.

3.3 CONSUMO DE ÁGUA

Conforme o proposto pela Agenda 21 (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2000), que é um documento estabelecido para cooperação de toda sociedade em busca de soluções para os problemas sócioambientais mundiais, para a sustentabilidade dos recursos hídricos, é necessário assegurar que se mantenha uma oferta adequada de água de boa qualidade para

toda a população do planeta, ao mesmo tempo em que se preservem as características hidrológicas, biológicas e químicas dos ecossistemas, adaptando as atividades humanas aos limites da capacidade da natureza para combater a degradação da qualidade das águas e assegurar sua disponibilidade.

O processo de urbanização gera o aumento da concentração populacional, e que por consequência gera um rápido crescimento na demanda de água nas cidades tanto para usos domésticos como para fins industriais. Essa aglomeração populacional impacta também sobre a qualidade dos mananciais de abastecimento, exigindo uma grande infraestrutura para o tratamento das águas poluídas. Conforme Mano (2004, p. 44), “O abastecimento de água potável em grandes centros urbanos constitui um grande desafio, não apenas pelas quantidades envolvidas, mas também, e principalmente, pela qualidade que a água distribuída deve ter.”. A figura 6 mostra uma estimativa do crescimento da extração de água para consumo no mundo (SHIKLOMANOV, 1998, p. 24).

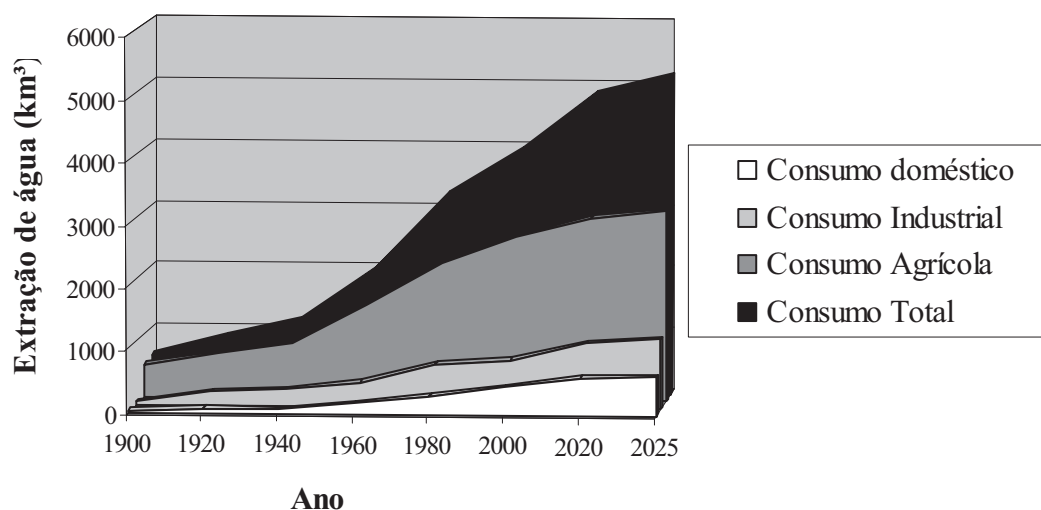


Figura 6: estimativa do crescimento da extração de água para abastecimento do consumo mundial (adaptado de SHIKLOMANOV, 1998, p. 24)

Buscando a melhoria da disponibilidade hídrica, em quantidade e qualidade, e a percepção da conservação da água como valor socioambiental relevante, deve-se considerar a utilização de água de qualidade inferior em diversos usos comuns nas edificações, como descarga de vasos sanitários, rega de jardim e lavagem de veículos, evitando o uso de água potável (TOMAZ, 2003). Conforme Pio et al. (2005, p. 11), “Além disso, o conceito de ‘substituição de fontes’,

se mostra como a alternativa mais plausível para satisfazer a demandas menos restritivas, liberando as águas de melhor qualidade para usos mais nobres, como o abastecimento doméstico.”.

Segundo Mano (2004, p. 78), “Em Porto Alegre, por exemplo, é regulado um volume de consumo diário de 200 litros por pessoa para o dimensionamento de reservatórios de água potável [...]”, sendo que o volume utilizado nos usos que permitem água não-potável em edificações urbanas pode alcançar até metade do consumo total de água na edificação (ver figura 7).

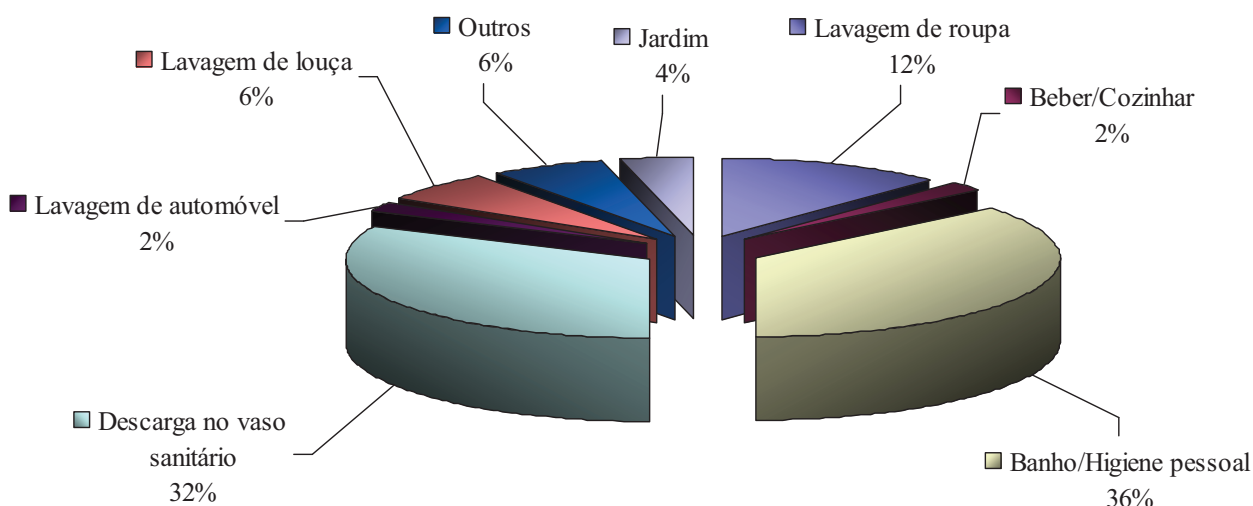


Figura 7: desagregação do uso doméstico de água em Porto Alegre (adaptado de MENEGAT, 1999)

No entanto, “A análise das possibilidades de aplicação de fontes alternativas de água deverá considerar os níveis de qualidade da água necessários, as tecnologias existentes, cuidados e riscos.” (PIO et al., 2005, p. 47) associados à aplicação do sistema de tratamento e distribuição da água. Conforme o quadro 2, a água de chuva pode ser utilizada desde que haja controle de sua qualidade e verificação da necessidade de tratamento específico, de forma que não comprometa a saúde de seus usuários, nem a vida útil dos sistemas envolvidos. Os tratamentos do quadro 2 estão definidos da seguinte forma (PIO et al., 2005, p. 69):

- a) A: tratamento através de sistema físico de gradeamento;
- b) B: tratamento através de sistema físico de sedimentação e filtração simples (através de decantador e filtro de areia);

- c) C: tratamento através de sistema físico de filtração através de filtro de camada dupla (área + antracito);
- d) D: tratamento através de sistema físico-químico de coagulação, floculação, decantação ou flotação;
- e) E: tratamento através de sistema aeróbio de tratamento biológico (lodos ativados);
- f) F: significa desinfecção;
- g) G: significa correção de PH.

USOS POTENCIAIS	FONTES ALTERNATIVAS DE ÁGUA			
	Pluvial do telhado	Drenagem do solo	Máquina de lavar roupas	Lavatório e/ou Chuveiro
Lavagem de roupas	A + B + F + G	C ou D + F + G	(D ou E) + B + F + G	(D ou E) + B + F + G
Descargas em bacias sanitárias				
Limpeza de pisos		C + F + G		
Irrigação e rega de jardins				
Lavagem de veículos		C ou D + F + G		
Uso ornamental				

Quadro 2: usos não-potáveis, fontes alternativas e tratamentos necessários (A a G)
(adaptado de PIO et al., 2005, p. 69)

No capítulo seguinte são abordados os temas que complementas as informações apresentadas até o momento, citando-se as influências que a urbanização causa sobre as águas urbanas e demais aspectos relacionados à gestão dos recursos hídricos.

4 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO

Neste capítulo procura-se abordar os aspectos do planejamento da urbanização e da tomada de decisão sobre novas zonas de loteamento e que afetam os recursos hídricos urbanos.

4.1 CRESCIMENTO DEMOGRÁFICO

Nas últimas décadas o crescimento da população urbana tem aumentado significativamente (ver tabela 1) nas grandes cidades brasileiras como Porto Alegre. Como resultados desse aumento surgem as zonas de expansão urbana que crescem a partir dos centros econômicos municipais em direção as suas periferias, e que causam diversos impactos sobre a infraestrutura dos recursos hídricos urbanos. Segundo Tucci (2002), uma característica deste crescimento urbano é feita pela expansão irregular das periferias com pouca obediência da regulamentação urbana relativa ao plano diretor e normas específicas de loteamentos, dificultando assim o ordenamento das ações não-estruturais de controle ambiental urbano e podendo comprometer a sustentabilidade hídrica das cidades.

Tabela 1: crescimento da população brasileira e taxa de urbanização

Ano	População (milhões de habitantes)	Parcela da população urbana (%)
1970	93,1	55,9
1980	118,0	68,2
1991	146,8	75,6
1996	157,1	78,4
2000	169,0	81,1

(fonte: adaptado de TUCCI, 2002, p. 5)

Além de aumentar a demanda por abastecimento de água, o crescimento demográfico pode ser relacionado também com o tipo de ocupação do solo estabelecida. Conforme Ribeiro

(2006, p. 40), no caso de áreas residenciais, altas densidades estão relacionadas com uma maior cobertura de áreas verticalizadas e, em baixas densidades, os habitantes estão vinculados a uma maior proporção de área impermeável (que pode ser traduzida pelo sistema viário e área edificada) do que locais com maior densidade demográfica. Apesar das distinções que cada sociedade utiliza para caracterizar os padrões de densidade urbana, Ribeiro (2006, p. 44) mostra que é possível delimitá-lo da seguinte forma:

- a) baixas densidades: 10 a 20 hab/ha;
- b) médias densidades: 50 a 80 hab/ha;
- c) altas densidades: 200, 300 até 600 hab/ha.

O PDDrU de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2002) apresenta uma estimativa da área impermeável para bacias com área superior a 2 km² com base na densidade populacional, que está reproduzido na figura 8.

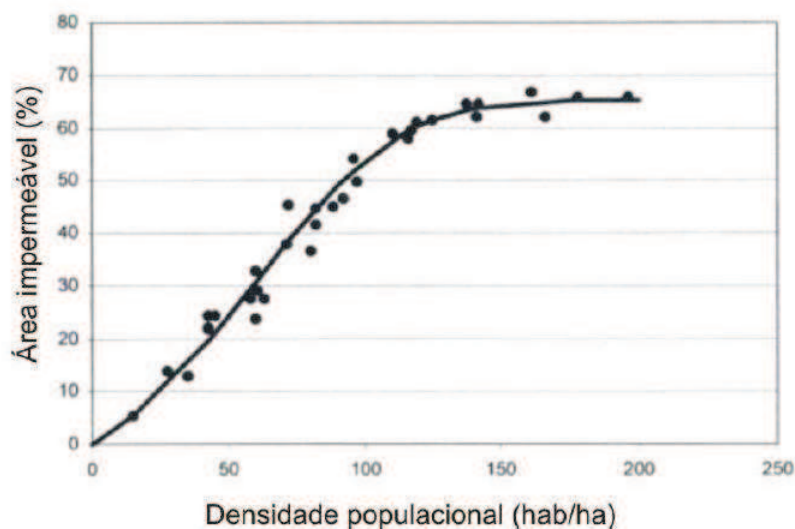


Figura 8: relação entre densidade populacional e área impermeável (PORTO ALEGRE, 2002, p. 166).

4.2 OCUPAÇÃO DO SOLO

A ocupação do solo é o fator que mais gera impacto ambiental no processo de urbanização, devido à impermeabilização das superfícies e a inadequação da ocupação urbana com as características naturais do terreno, aumentando a frequência dos alagamentos e inundações de áreas ribeirinhas. Segundo Tucci (2007, p. 95), existe uma grande inter-relação entre os elementos de uso do solo e os recursos hídricos (aumento do volume do escoamento, redução de recarga de aquíferos e redução da evapotranspiração) no planejamento do controle de bacias hidrográficas urbanas, sendo responsabilidade dos gestores municipais estabelecerem os critérios e normas sobre alteração de quantidade e qualidade da água pluvial proveniente de áreas urbanas.

Observa-se na legislação sobre o parcelamento do solo de Porto Alegre a recomendação mínima de 35% da área do loteamento para uso público, sendo que 15% é reservado a áreas verdes e institucionais, resultando 20% de ocupação viária. Em áreas residenciais, a taxa de ocupação nos lotes possui valores entre 50% a 75% do lote, sendo que, em áreas comerciais, esta taxa pode chegar a 100% do lote (PORTO ALEGRE, 1999). Essa grande variedade de superfícies urbanas influencia diretamente no balanço hídrico das cidades, conforme visto anteriormente na composição do coeficiente de escoamento superficial (equação 1), até mesmo as vias podem influenciar a quantidade de água escoada (figura 9), visto que a área impermeável gerada é diferente conforme o traçado de via escolhido (RIBEIRO, 2006, p. 93).

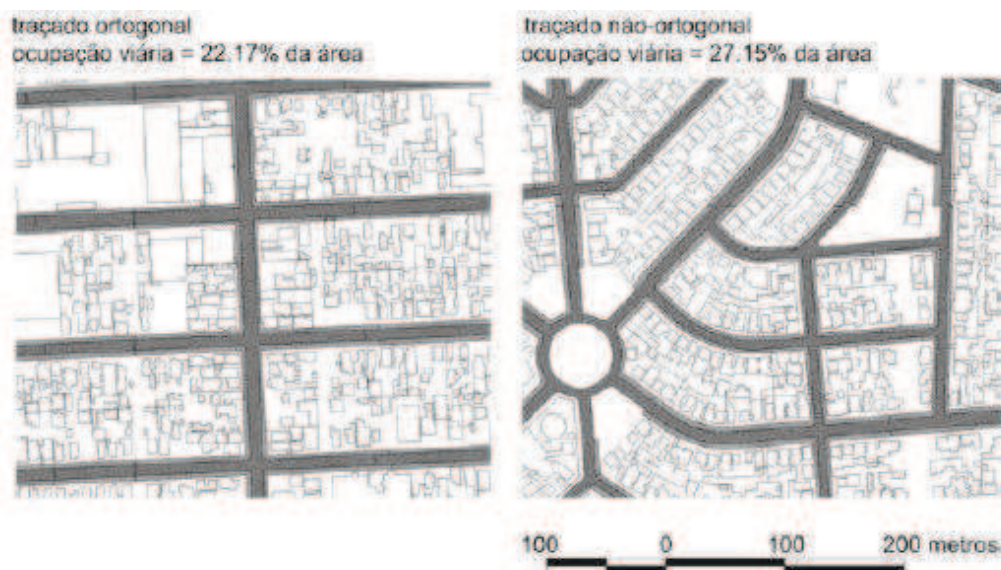


Figura 9: comparação entre traçados viários (RIBEIRO, 2006, p. 93).

A ocupação do solo também está relacionada ao aumento da erosão urbana e de resíduos sólidos. Segundo Tucci (2007, p. 105), o aumento da velocidade do escoamento e a energia da queda da chuva sobre as obras civis e terrenos com o solo exposto provocam a erosão e o transporte de sedimentos para o sistema de drenagem. Isto, aliado aos resíduos gerados pelo lixo da população, reduz a capacidade de escoamento das canalizações da drenagem urbana podendo gerar alagamentos em pontos localizados do sistema.

4.3 PLANEJAMENTO URBANO

Segundo o Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001a), a propriedade urbana cumpre sua função social quando assegura o atendimento das necessidades dos cidadãos quanto à qualidade vida, a justiça social e ao desenvolvimento das atividades econômicas. Desta forma, o plano diretor municipal é um instrumento básico da política do desenvolvimento e expansão urbana, através de leis de uso do solo, de ocupação urbana e de zoneamento urbano.

O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PDDUA) do município de Porto Alegre, sobretudo o Plano Diretor de Drenagem Urbana, visam legislar sobre a ocupação e uso do solo no sentido de integrar as políticas de mitigação dos impactos devido à urbanização do município. Entretanto, segundo Ribeiro (2006, p. 29), o PDDUA e o PDDrU do município de Porto Alegre, apresentam alto impacto hidrológico em relação aos planos diretores de outras cidades, pois permitem um maior índice de ocupação dos lotes e, conseqüentemente, uma maior taxa de áreas impermeabilizadas

Segundo os autores como Tucci (2007) e Souza (2005), o zoneamento urbano é uma forma de delimitar a distribuição espacial desejada do tipo de uso do solo e índices urbanísticos do lote, como a proporção que estas podem ocupar e suas respectivas densidades de população, sendo que cada zona deve possuir um regime adequado a sua função. Desta forma é possível adequar o crescimento urbano às regiões que apresentam maiores riscos de inundações e alagamentos.

O planejamento do lote consiste na melhoria do potencial de escoamento, redução para os padrões naturais, que pode ser avaliado quanto à manutenção do tempo de concentração, minimização da geração de áreas impermeáveis e na microgestão por práticas integradas

locais para mitigação dos impactos inevitáveis (SOUZA, 2005, p. 65). No quadro 3 são apresentados alguns parâmetros para novos projetos de loteamento residenciais em áreas urbanas, buscando um menor nível de impermeabilização na sua implantação, e conseqüentemente, um menor impacto hidrológico também.

Parâmetros	Orientações para projetos de loteamentos residenciais
Quanto aos elementos da Forma Urbana	Tendência para um traçado ortogonal do sistema viário
	Densidade de interseções viárias - 30 a 40 interseções por km ²
	Área do lote - entre 300m ² a 400m ² para habitações unifamiliares; 500m ² a 600m ² para habitações multifamiliares
	Pavimentações dos passeios - reservar 50% para cobertura permeável - faixas com pisos permeável e vegetação
Quanto às densidades urbanas	Densidade populacional - 80 a 120hab/ha
	Densidade de edificação - entre 20 a 30 edificações/ha
Quanto às ocupações	Área pública - sistema viário - 20% do loteamento
	Área semipública - área verde e área institucional - 20% do loteamento
	Área privada - 60% do loteamento
Quanto aos índices urbanísticos	Implantar uma taxa máxima de ocupação e impermeabilização do lote de 60%

Quadro 3: orientações para projetos de loteamentos
(adaptado de RIBEIRO, 2006, p. 119)

Dessa forma, o estudo da localização das áreas impermeáveis no ambiente urbano mostra-se um importante tema a ser investigado para subsidiar decisões de planejamento urbano (RIBEIRO, 2006, p. 123).

5 SUSTENTABILIDADE DAS ÁGUAS URBANAS

Neste capítulo estão apresentados elementos relacionados à sustentabilidade no meio urbano quanto aos aspectos relacionados aos recursos hídricos.

5.1 USO RACIONAL DA ÁGUA

Segundo Souza (2005, p. 29), “A gestão e controle dos impactos são realizados, não somente pela utilização de controles estruturais (controle no lote), mas, principalmente, educação pública (controle na fonte), abrangendo construtores, planejadores e população em geral.”. Há, assim, uma necessidade de aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva integrada aos processos, produtos e serviços para aumentar a ecoeficiência e reduzir os riscos ao homem e ao meio ambiente.

Conforme Pio et al. (2005, p. 19), “A evolução do conceito do uso racional para a conservação de água consiste na associação da gestão, não somente da demanda, mas também da oferta de água, de forma que usos menos nobres possam ser supridos, sempre que possível, por águas de qualidade inferior.”. Ainda, segundo os mesmos autores, é necessário sistematizar as intervenções em edificações, de tal forma que haja redução do consumo de água potável, garantindo a qualidade necessária para a realização das atividades consumidoras, com o mínimo de desperdício.

O uso racional de água nas edificações está caracterizado por meio de medidas sensibilizadoras dos agentes consumidores e pela ação de medidas de combate ao desperdício. Uma forma de evitar o desperdício pode ser o uso de aparelhos economizadores (além da conscientização dos usuários), tais como os reguladores de vazão; substituição de bacias sanitárias por outras de sistema de descargas econômicas e adoção de hidrômetros individuais.

Recentemente, foi aprovada a Lei n. 10.506 que institui em Porto Alegre o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas, objetivando a promoção de medidas necessárias à conservação, à redução do desperdício e à utilização de fontes

alternativas para a captação e o aproveitamento da água nas edificações (PORTO ALEGRE, 2008). A Lei apresenta algumas medidas como disseminação de ações educacionais sobre a importância do uso racional, substituição de hidrômetros por medidores computadorizados, equipamentos hidráulicos de fluxo reduzido e ainda prevê cadastramento das novas edificações que pretendem aderir ao programa para fins de estudos referentes a incentivos do poder público.

5.2 CONSERVAÇÃO DA ÁGUA

O conjunto de ações voltadas para a gestão da oferta e da demanda de água em edificações é denominado de Programa de Conservação de Água (PCA) (PIO et al., 2005, p. 21). Conforme os mesmos autores, no que trata sobre conservação e reuso das águas em edificações, afirma-se que a conservação de água pode ser definida como qualquer ação que:

- a) reduza a quantidade de água extraída em fontes de suprimento;
- b) reduza o consumo de água;
- c) reduza o desperdício de água;
- d) aumente a eficiência do uso de água; ou, ainda,
- e) aumente a reciclagem e o reuso de água.

Alguns estudos para determinação da qualidade das águas no meio urbano já foram realizados, visando qualificá-las quanto aos parâmetros mais comuns de tratamento de esgoto, como demanda biológica de oxigênio (DBO) e coliformes fecais. Estes estudos são importantes por permitirem seu enquadramento na determinação dos possíveis usos que as águas pluviais podem ter após passar pelo tratamento adequado.

A implantação de forma sistêmica de um PCA implica em aperfeiçoar o consumo de água e consequente redução de volumes de efluentes, otimizando-se o uso e a utilização de água com diferentes níveis de qualidade para atendimento das necessidades existentes. Buscando a viabilidade de implantação de um PCA em uma nova edificação, com base nos dados de entrada que caracterizam a edificação, é importante o entendimento deste como uma política de economia de água, devendo-se iniciar com a etapa de avaliação técnica preliminar, na qual se realiza a avaliação da demanda e oferta de água para proposição de soluções viáveis técnica e economicamente, conforme apresentado na figura 10 (PIO et al., 2005, p. 41).

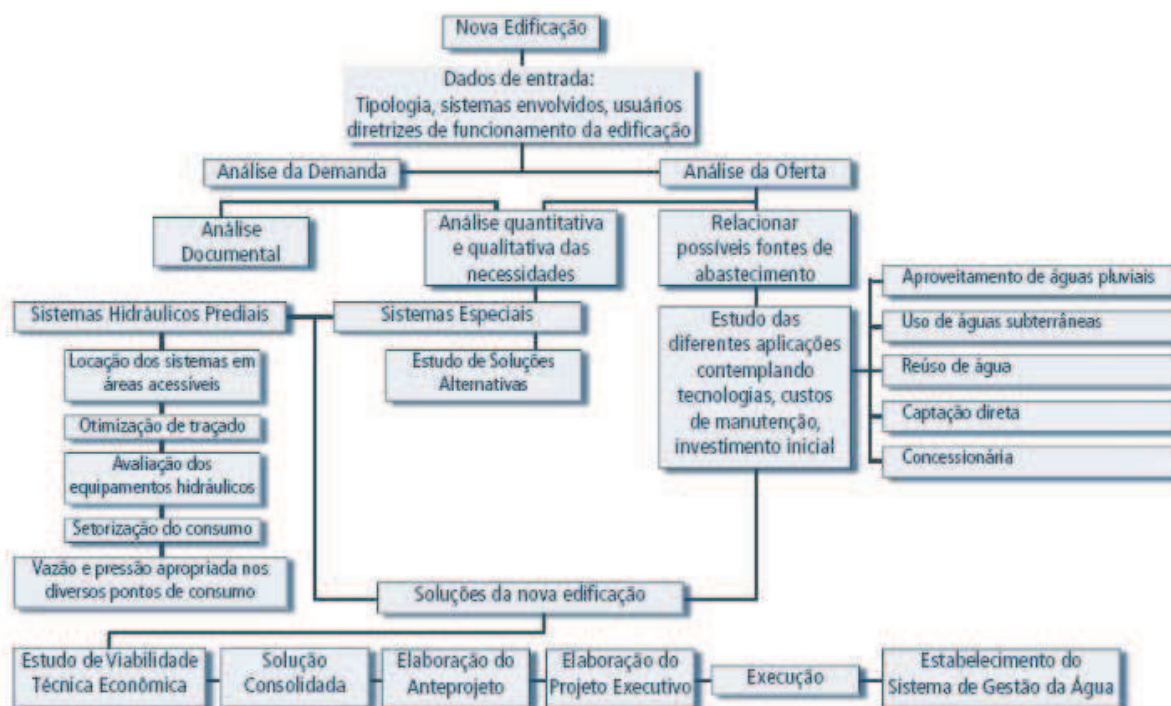


Figura 10: programa de conservação de água em novas edificações
(PIO et al., 2005, p. 41)

Conforme Souza (2005, p. 7), “Com base em técnicas de gestão integrada e investimento estratégico na tecnologia de reuso das águas pluviais e servidas, pode-se transformar problemas de qualidade de águas pluviais em oportunidades de desenvolvimento ambientalmente sustentável.”. Ainda segundo o mesmo autor, um enfoque mais integrador com base no desempenho quanto as metas de manutenção do equilíbrio do balanço hídrico, captação de água para consumo e preservação da qualidade seja coerente diante dos objetivos de sustentabilidade a serem alcançados pela utilização de medidas de controle.

5.3 APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAIS

A captação das águas pluviais em sistemas individuais de abastecimento de água tem sido uma prática usual há muitos anos em diversos locais do mundo, sendo também aplicados em sistema públicos de pequenas comunidades. Como exemplo de utilização efetiva dos recursos hídricos, Fendrich e Oliynik (2002, p. 68) citam o caso do reservatório de 1000 m³ utilizado pela Prefeitura da Cidade de Sumida, no Japão, que armazena 500 m³ de água para uso de fins não-potáveis enquanto os outros 500 m³ são utilizados para controle de enchentes.

As instalações públicas de armazenamento geralmente incluem após as áreas de coleta, reservatórios de armazenamento, filtros lentos e reservatórios de distribuição (figura 11) e, para o dimensionamento dos sistemas, segundo Netto (1991² apud FENDRICH. 2002, p. 177), são indispensáveis os seguintes dados: precipitação anual média mínima; número máximo de dias sem chuvas significativas; consumo de água máximo mensal. No entanto, a NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007) que normaliza os requisitos para o aproveitamento da água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não-potáveis, apresenta seis métodos diferentes para o cálculo de dimensionamento do reservatório de armazenamento, sendo que a maioria desses são de natureza empírica baseados na experiência de seus autores, fornecendo assim resultados bastante variados, conforme o método adotado.

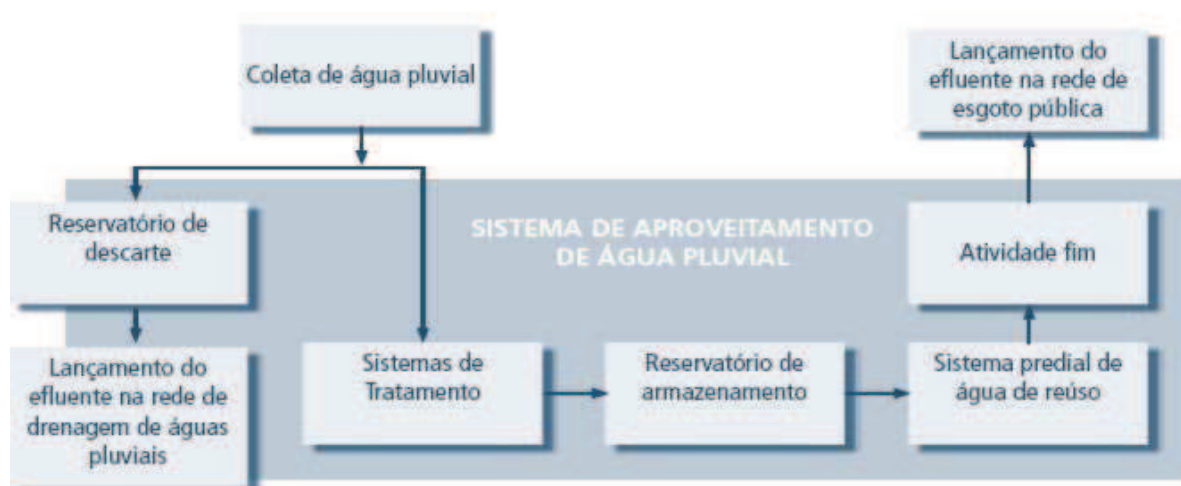


Figura 11: sistema de aproveitamento de água pluvial (PIO et al., 2005, p. 71)

Dentre os métodos citados na NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007), o método da simulação (equação 4) se mostra o mais consistente, pois para sua aplicação é necessário utilizar séries históricas de dados pluviométricos, incorporando assim as características locais do regime de chuva (trabalho não publicado)³:

² NETTO, J. M. A., Aproveitamento de águas de chuva para abastecimento. **Revista Bio**, Rio de Janeiro, ano III, n. 2, p. 44-48, abr./jun. 1991.

³ Trabalho escrito em 2009 por Fernando Dornelles, Rutinéia Tassi e Joel Goldenfum, intitulado: **Avaliação das técnicas de dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água de chuva**, ainda não-publicado.

$$S_{(t)} = S_{(t-1)} + C \cdot A \cdot P_{(t)} - D_{(t)} \quad (\text{equação 4})$$

Sendo que $0 < S_{(t)} < V$, e onde:

$S_{(t)}$ = volume de água no reservatório no tempo t (litro);

$S_{(t-1)}$ = volume de água no reservatório no tempo t-1 (litro);

C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

A = área de coleta (m^2);

$P_{(t)}$ = precipitação no tempo t (mm);

$D_{(t)}$ = consumo ou demanda no tempo t (litro);

V = volume do reservatório (litro).

A simulação inicia com o reservatório cheio (representado por zero), sendo que o maior déficit obtido através da série de dados de chuva local será definido como volume (V) do reservatório, de forma que se o resultado do balanço em determinado tempo é positivo utiliza-se então a representação de reservatório cheio (trabalho não publicado)⁴. Para descartar o primeiro fluxo de água (autolimpeza) do telhado devido a impurezas, Tomaz (2003) recomenda adoção de valores práticos, entre 0,8 e 1,5 L/m², baseados na experiência do projetista. Por exemplo, na Flórida, utiliza-se 0,4 L/m² para o volume do reservatório e em Guarulhos adota-se 1,0 L/m². Já em Porto Alegre, ainda não há um consenso quanto a este valor. Quanto aos dispositivos que promovem a autolimpeza (descarte do fluxo inicial da chuva) são os mais diversos possíveis, como os baseados no peso da água, em boia e no volume (TOMAZ, 2003).

Diversos autores como Tucci (1995), Fendrich e Oliynik (2002), Souza (2005) entre outros, sugerem que o uso da água pluvial para abastecimento (não-potável) em edificações pode contribuir para redução de alagamentos, porém sem quantificar ou propor formas de se estimar valores representativos dessa redução. Deste modo, o capítulo seguinte irá apresentar um método para verificação do volume de água escoado antes e após a implantação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais para uso não potável em um condomínio residencial e dessa forma estimar a redução dos escoamentos.

⁴ Trabalho escrito em 2009 por Fernando Dornelles, Rutinéia Tassi e Joel Goldenfum, intitulado: **Avaliação das técnicas de dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água de chuva**, ainda não publicado.

6 CARACTERIZAÇÃO E MODELAGEM

Nos capítulos anteriores foram apresentados os conceitos básicos para a formulação e equacionamento do modelo que será aplicado em um loteamento do município de Porto Alegre. A avaliação do efeito do sistema de aproveitamento das águas pluviais sobre o sistema de drenagem urbana será desenvolvida conforme mostra o fluxograma da figura 12.

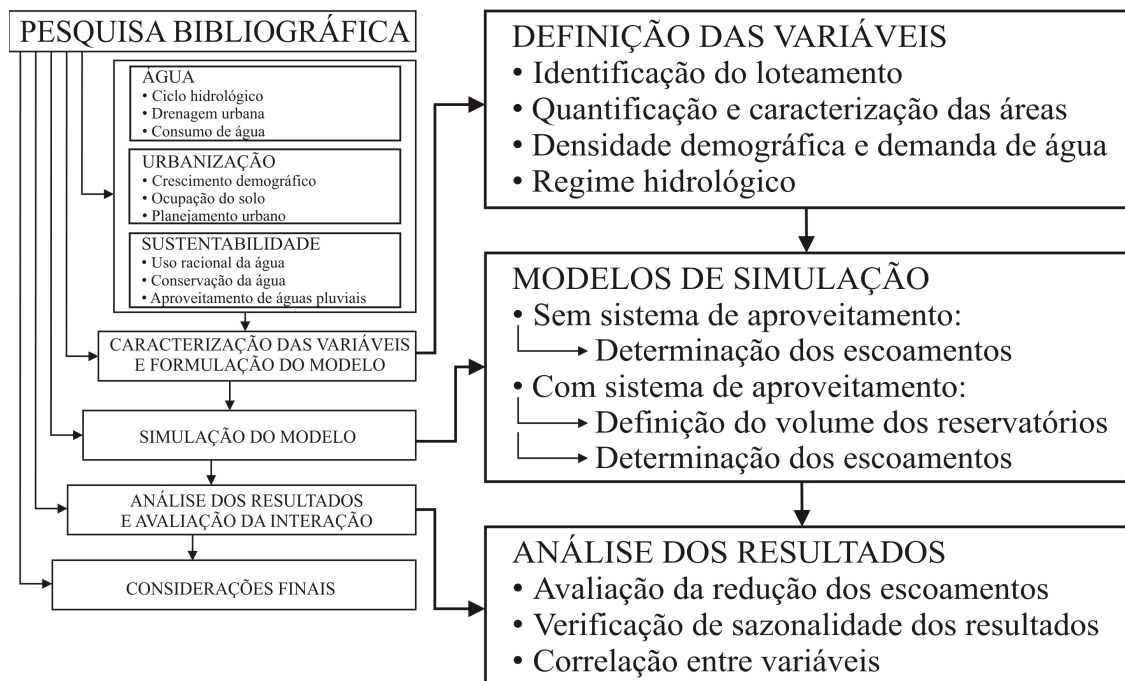


Figura 12: delineamento completo da pesquisa

Este capítulo discorrerá sobre a simulação matemática do sistema de aproveitamento de águas pluviais em um loteamento residencial, que permitirá avaliar os possíveis efeitos sobre a drenagem urbana. Para tanto, a seguir serão identificadas e caracterizadas todas as variáveis que fazem parte do problema desta pesquisa.

6.1 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

6.1.1 Identificação do loteamento

O local escolhido para a aplicação do estudo está situado na Zona Sul do município de Porto Alegre, na Avenida Juca Batista. A escolha foi feita através da análise de imagens de satélite fornecidas pelo *software* Google Earth, onde se buscou um loteamento com o perfil mais frequente dos empreendimentos desenvolvidos na região, que é caracterizado por ser um sistema urbano planejado e formado primordialmente por moradias. Possui sistema viário e quadras bem definidas, relevo suave, contém espaços para lazer com área verde, e telhados com conexão entre si e que facilitam o encaminhamento das águas para o reservatório de aproveitamento para consumo, o que possibilita o emprego de técnicas utilizadas no presente trabalho. A localização do loteamento, dentro do município de Porto Alegre, está apresentada na figura 13.



Figura 13: localização do loteamento estudado no município de Porto Alegre

6.1.2 Caracterização e quantificação das áreas

Para uma posterior avaliação dos volumes e vazões escoadas no loteamento em estudo, é necessário conhecer a natureza das superfícies que o compõe, visto que as taxas de impermeabilização e os coeficientes de escoamento são essenciais para esta avaliação. Através das imagens de satélite em alta resolução (obtidas pelo *software* Google Earth) do local do estudo, foi possível classificar as superfícies que compõe o loteamento, sendo que estas foram classificadas como:

- a) gramado (vegetações);
- b) telhados (telhas cerâmicas);
- c) pavimentos (calçadas em concreto e lajotas);
- d) arruamento (asfalto).

De posse das imagens de satélite, também foi possível quantificar todas as superfícies. Com auxílio do *software* AutoCAD, as imagens foram escalonadas para posterior delimitação de áreas. O processo de escalonamento gera algumas incertezas quanto a magnitude das áreas, no entanto isto terá pequena influência nos resultados pois as informações mais importantes extraídas são as proporções entre os tipos de superfícies. Foram traçados polígonos envoltórios (figura 14) em cada superfície da classificação acima citada, e com isso foram determinadas suas respectivas áreas (tabela 2) e coeficientes de escoamento superficial.

No entanto, para a viabilidade da implantação dos sistemas aproveitamento das águas pluviais optou-se pela divisão do loteamento em quatro áreas, formando conjuntos onde será aplicado um sistema de aproveitamento isolado para cada um deles (figura 15). Assim, cada conjunto de residências servirá como área de captação (área dos telhados) para o abastecimento do reservatório de aproveitamento das águas pluviais, o que também pode facilitar a sua adaptação aos projetos arquitetônicos e urbanísticos.



Figura 14: polígonos utilizados na quantificação das áreas do loteamento

Tabela 2: quantificação e caracterização das áreas do loteamento

Classificação	Área		C
	(m ²)	(%)	
Gramado	1.746,31	26,59	0,20
Telhado	1.863,36	28,37	0,95
Pavimento	1.777,40	27,06	0,95
Arruamento	1.181,56	17,99	0,95
TOTAL	6.568,63	100,00	0,75

Redefinindo os polígonos envoltórios para essa condição de divisão do loteamento em blocos, foram então novamente determinadas as áreas e os coeficientes de escoamento superficial (tabelas 3 a 6) para cada bloco em particular. Também foi calculado o coeficiente de escoamento dos blocos desconsiderando-se a contribuição das áreas de telhado, o que representa a situação após o sistema de aproveitamento estar implantado (tabelas 3 a 6), pois assim as áreas de telhados contribuem diretamente ao reservatório de aproveitamento.



Figura 15: divisão das áreas do loteamento em blocos de residências

Tabela 3: quantificação e caracterização das áreas do Bloco A

Classificação	Área		C	
	(m ²)	(%)	Antes aprov.	Após aprov.
Gramado	574,44	31,30	0,20	0,20
Telhado	465,17	25,35	0,95	-
Pavimento	494,52	26,95	0,95	0,95
Arruamento	300,95	16,40	0,95	0,95
TOTAL	1.835,08	100,00	0,72	0,64

Tabela 4: quantificação e caracterização das áreas do Bloco B

Classificação	Área		C	
	(m ²)	(%)	Antes aprov.	Após aprov.
Gramado	367,23	23,75	0,20	0,20
Telhado	455,41	29,45	0,95	-
Pavimento	420,88	27,22	0,95	0,95
Arruamento	302,79	19,58	0,95	0,95
TOTAL	1.546,31	100,00	0,77	0,70

Tabela 5: quantificação caracterização das áreas do Bloco C

Classificação	Área		C	
	(m ²)	(%)	Antes aprov.	Após aprov.
Gramado	457,41	26,24	0,20	0,20
Telhado	454,25	26,06	0,95	-
Pavimento	484,02	27,77	0,95	0,95
Arruamento	347,39	19,93	0,95	0,95
TOTAL	1.743,07	100,00	0,75	0,68

Tabela 6: quantificação e caracterização das áreas do Bloco D

Classificação	Área		C	
	(m ²)	(%)	Antes aprov.	Após aprov.
Gramado	347,22	24,04	0,20	0,20
Telhado	488,53	33,83	0,95	-
Pavimento	377,99	26,17	0,95	0,95
Arruamento	230,43	15,96	0,95	0,95
TOTAL	1.444,17	100,00	0,77	0,68

6.1.3 Densidade demográfica e demanda de água

Observa-se que em cada bloco definido no loteamento há sete residências, e considerando, segundo Tomaz (2006), cinco habitantes por unidade obtêm-se um total de 35 moradores por bloco de residências. Dessa forma também foi possível determinar a densidade demográfica da ocupação de cada bloco (quadro 4), já que as áreas dos mesmos também são conhecidas.

Para projetos de abastecimento de água no município de Porto Alegre recomenda-se a prever um consumo diário de água tratada por habitante de 200 L para atendimento total da demanda, e aproximadamente 50% dessa demanda pode ser atendida com o uso de água de fontes alternativas. No entanto, optou-se em restringir o uso da água de chuva ao abastecimento de um habitante por residência.

Considerando-se valores de referência, conforme Tomaz (2006), como consumo de 36 L/hab.dia para a demanda das descargas de bacias sanitárias em residências (bacia sanitária com regulador de vazão), e visando atender sete bacias sanitárias por bloco definido (uma bacia por residência), foi possível estabelecer a demanda de água de cada sistema de aproveitamento de água pluvial como 252 L/dia. Um resumo das informações acima apresentadas pode ser visto no quadro 4.

RESUMO DOS DADOS	Bloco A	Bloco B	Bloco C	Bloco D
Área (m ²)	1.835,08	1.546,31	1.743,07	1.444,17
Habitantes por residência	5	5	5	5
Total de residências	7	7	7	7
Total de habitantes	35	35	35	35
Densidade demográfica (hab/ha)	191	226	201	242
Habitantes atendidos	7	7	7	7
Demanda (L/hab.dia)	36	36	36	36
Demanda total do sistema (L/dia)	252	252	252	252

Quadro 4: resumo dos dados de densidade demográfica e de demanda de água

6.1.4 Regime hidrológico

Para compor o regime hidrológico local é necessário utilizar uma série com um mínimo de anos completos de dados de precipitação no local do estudo para a realização da simulação. No entanto, o posto pluviométrico mais próximo que atende tal requisito e está disponível gratuitamente pela Agência Nacional de Águas (ANA) está situado no município de Barra do Ribeiro, a uma distância de aproximadamente 19 km (ver figura 16). O posto pluviométrico utilizado neste trabalho tem o código 3051023 da ANA, e seus dados foram obtidos através do Sistema de Informações Hidrológicas (BRASIL, 2001b). Este posto tem uma série de precipitações com 30 anos de dados diários (de 1976 a 2006), porém 6 destes anos apresentaram em um mesmo mês cinco dias com falha (cinco dias com ausência de dados) e foram excluídos da série, totalizando 24 anos de dados de precipitação diária. Os anos que compõem a série e suas precipitações totais podem ser vistos na figura 17.



Figura 16: localização do posto pluviométrico 3051023 utilizado no estudo

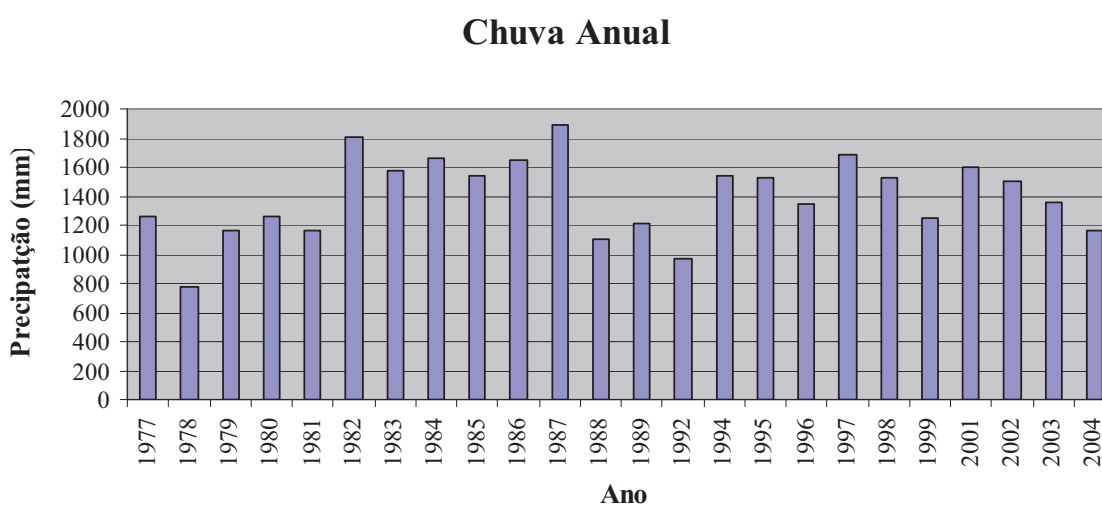


Figura 17: precipitação total dos anos que compõem a série (BRASIL, 2001b)

Através da série de precipitações obtidas neste posto é possível realizar as simulações necessárias para a determinação dos volumes dos reservatórios de aproveitamento e verificar quantitativamente seu funcionamento quanto aos volumes e as vazões escoadas na área do loteamento em estudo. A seguir estão apresentados os métodos de simulação utilizados e os detalhes da sua aplicação.

6.2 MODELOS DE SIMULAÇÃO

6.2.1 Sem sistema de aproveitamento de águas pluviais

Na situação sem sistema de aproveitamento foram quantificados os escoamentos que ocorrem no loteamento originalmente implantado no terreno, considerando toda a sua área. Foram analisados os volumes e as vazões máximas que escoam sobre o terreno nesta situação, também foram determinados os volumes dos reservatórios de amortecimento de enchentes (quadro 5) em cada conjunto através do método proposto no Decreto n. 15.371 (PORTO ALEGRE, 2006). Deste modo, a água precipitada nos blocos definidos é escoada e direcionada para os reservatórios de amortecimento de enchentes e então seguem para a rede de drenagem pública a jusante.

AMORTECIMENTO	Bloco A	Bloco B	Bloco C	Bloco D
Área (m ²)	1.835,08	1.546,31	1.743,07	1.444,17
Área Impermeável (%)	68,70	76,25	73,76	75,96
Volume do reservatório (m ³)	53,58	50,11	54,64	46,62

Quadro 5: determinação dos volumes dos reservatórios de amortecimento

Para a determinação dos volumes foram considerados os coeficientes de escoamento calculados nas tabelas 3 a 6 para a situação antes do aproveitamento, ou seja, o volume foi obtido do produto entre precipitação, área e coeficiente de escoamento. A tabela 7 apresenta os dados obtidos através desse processo de simulação dos escoamentos, calculados sobre a série completa de 24 anos de dados pluviométricos para os dias em que houve escoamentos.

Tabela 7: volumes escoados sem sistema de aproveitamento

ESTATÍSTICAS	Volumes Escoados (m ³ -dia ⁻¹)			
	Bloco A	Bloco B	Bloco C	Bloco D
Máximo	189,52	172,35	189,58	160,51
Média	21,09	19,17	21,09	17,86
Desvio Padrão	20,41	18,56	20,41	17,28

Como resultado dessa simulação dos escoamentos há uma série de 24 anos de dados de volumes e vazões escoados no loteamento sem sistema de aproveitamento, o que permite variadas análises dos dados, como sazonalidade e estudo das frequências de ocorrência. A seguir são apresentadas as simulações para condição onde o sistema de aproveitamento de águas pluviais está instalado.

6.2.2 Com sistema de aproveitamento de águas pluviais

Na situação com sistema de aproveitamento das águas pluviais, os volumes que precipitam sobre os telhados são direcionados para os reservatórios de descarte do fluxo inicial e, quando este enche, o fluxo passa a ser direcionado diretamente para o reservatório de aproveitamento.

Quando o reservatório de aproveitamento está cheio, todo volume de água pluvial que entra no mesmo é imediatamente extravasado e direcionado para o reservatório de amortecimento de enchentes, e deste segue para a rede de drenagem pública de jusante. Desta forma, a água que precipita sobre os telhados não influencia o escoamento provocado pela água precipitada no restante do terreno. Então, a análise dos escoamentos deve considerar os volumes extravasados do sistema de aproveitamento em conjunto com os escoados o terreno.

Para dimensionar os reservatórios de descarte do primeiro fluxo da água do telhado foi adotado o valor de 1,5 L/m², os resultados estão apresentados no quadro 6. Para dimensionar o reservatório de armazenamento foi utilizado o método da simulação da NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007) descrito no capítulo anterior, os resultados estão apresentados no quadro 6.

APROVEITAMENTO	Bloco A	Bloco B	Bloco C	Bloco D
Área de telhado (m ²)	465,17	455,41	454,25	488,53
Volume de descarte (m ³)	0,696	0,683	0,681	0,733
Volume de armazenamento (m ³)	14,757	14,765	14,766	16.899

Quadro 6: volumes dos reservatórios de descarte e de aproveitamento

A determinação das vazões máximas após a implantação do sistema de aproveitamento foi feita da mesma forma que no item anterior, porém desconsiderando a contribuição das áreas de telhados, pois estas são encaminhadas diretamente para o sistema de aproveitamento, assim as vazões máximas escoadas ocorrem sobre o terreno do loteamento (com coeficiente de escoamento atualizado, conforme tabelas 3 a 6). Para determinar os volumes escoados foi realizado o mesmo processo do item anterior, porém considerando os volumes escoados sobre o terreno acrescidos dos volumes extravasados do reservatório de armazenamento. Na tabela 8 estão apresentados os resultados calculados sobre a série completa de 24 anos de dados pluviométricos para os dias em que houve escoamento.

Tabela 8: volumes escoados com sistema de aproveitamento

ESTATÍSTICAS	Volumes Escoados ($\text{m}^3\cdot\text{dia}^{-1}$)			
	Bloco A	Bloco B	Bloco C	Bloco D
Máximo	185,30	168,14	185,37	155,74
Média	19,34	17,44	19,36	15,93
Desvio Padrão	20,22	18,37	20,22	17,06

Assim foi gerada uma série de dados diários dos escoamentos para os 24 anos que compõe a série. Com as séries de dados para as duas situações estudadas – com e sem sistema de aproveitamento – é possível avaliar o efeito da implantação do sistema de aproveitamento de águas pluviais sobre o sistema de drenagem urbana de jusante, quanto aos aspectos quantitativos dos escoamentos. No capítulo a seguir serão analisados os resultados apresentados acima, além de outros aspectos de interesse para esta pesquisa.

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

7.1 QUANTO AO BALANÇO HÍDRICO

Para avaliação da redução dos volumes escoados, primeiramente, foram analisados alguns parâmetros básicos estatísticos, como média e desvio padrão (tabela 9) da redução diária obtida através da simulação de balanço hídrico.

Tabela 9: redução dos volumes escoados com sistema de aproveitamento

ESTATÍSTICAS	Redução dos Volumes Escoados (%)			
	Bloco A	Bloco B	Bloco C	Bloco D
Máximo	33,67	36,25	32,87	41,75
Média	15,86	17,21	15,62	20,31
Desvio Padrão	11,79	12,72	11,54	14,74

Nesta primeira análise percebe-se que quanto maior a proporção da área de telhado em relação à área do terreno, maior será a redução dos volumes escoados. Isso se deve ao fato de haver menos escoamento sobre o terreno, enquanto que a parcela referente ao escoamento sobre o telhado aumenta (quadro 7), sendo este direcionado para o sistema de aproveitamento, onde é consumido e eventualmente extravasado. No entanto, há também a influência da redução do coeficiente de escoamento superficial sobre o balanço hídrico, pois como o observado entre o bloco A e C, o maior valor de média e de máximo do bloco A (que possui menor área de telhado), pode ser atribuído a maior redução que houve sobre o coeficiente de escoamento superficial.

DADOS DO LOTEAMENTO	Bloco A	Bloco B	Bloco C	Bloco D
Área de telhado (%)	25,35	29,45	26,06	33,83
Coefficiente de escoamento	0,64	0,70	0,68	0,68
Redução do coeficiente de escoamento (%)	11,15	9,63	9,21	11,98

Quadro 7: dados do loteamento que influenciam os volumes escoados

Através da simulação do balanço hídrico, foi possível obter outros dados estatísticos, como as frequências de ocorrência dos resultados ao longo das mesmas. Diversas estimativas podem ser feitas a partir do conhecimento das frequências de ocorrência dos resultados, como confiabilidade e risco, pois conhecidas as frequências também são conhecidas suas probabilidades de ocorrência. A figura 18 apresenta um gráfico do tipo curva de permanência da redução dos volumes escoados, este pode ser entendido como a probabilidade de um valor do eixo Y (redução do volume escoado) ser igualada ou superada ao longo de toda a série de dados.

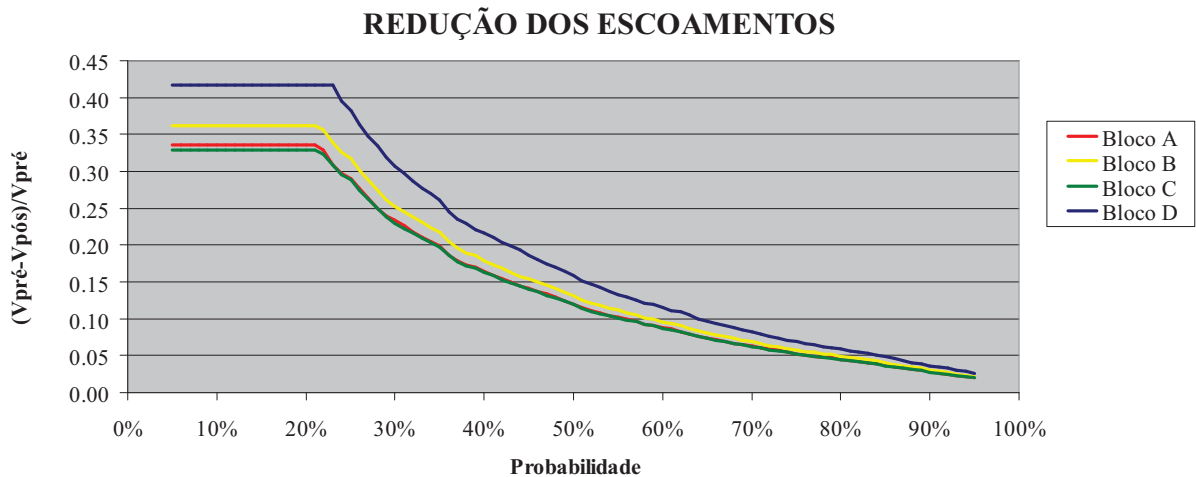


Figura 18: curva de permanência da redução dos volumes escoados

Percebe-se, ao analisar a figura 18, que há uma estagnação no aumento da redução dos volumes escoados em todos os blocos próximos ao valor de 20%. Isso se deve ao fato de haver uma redução máxima, que ocorre toda vez que há precipitação, sem haver extravasamento do reservatório de aproveitamento, ou seja, toda a água precipitada sobre o telhado durante esse dia foi absorvida para aproveitamento. Geralmente, as maiores reduções

de volume (incluindo as reduções máximas) ocorrem quando a precipitação é baixa, até aproximadamente 10 mm, após um dia ou mais sem ocorrência de precipitações. Isto pode ser observado na figura 19, que apresenta a curva de permanência das precipitações amortecidas pelo reservatório de aproveitamento, ou seja, neste gráfico pode ser vista a probabilidade de um determinado valor ser igual ou inferior que a ocorrência da precipitação que pode ser completamente armazenada pelo reservatório, sem que haja qualquer extravasamento do sistema de aproveitamento.

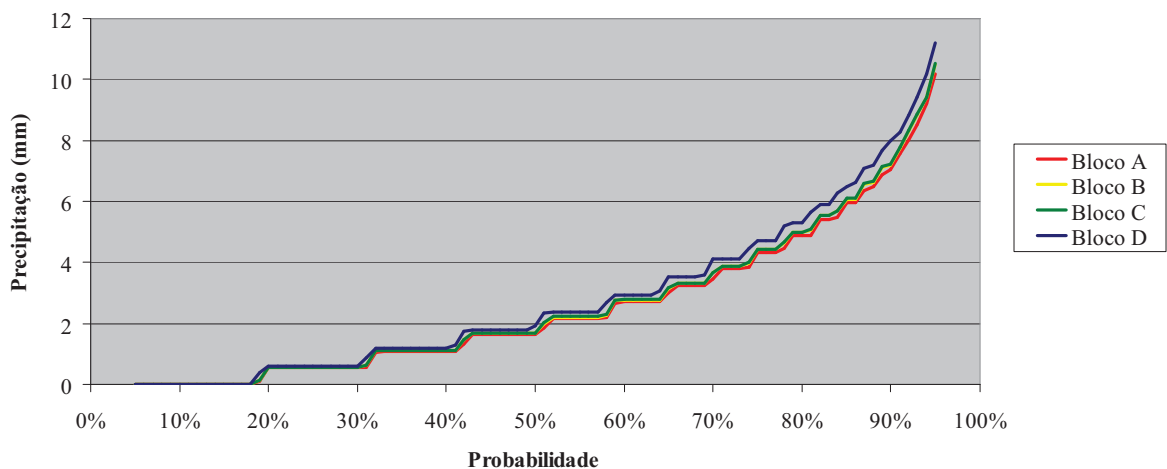


Figura 19: curva de permanência das precipitações amortecidas

Conseqüentemente com o apresentado acima, é possível estimar qual o volume do reservatório que estará ocupado durante uma chuva com determinada probabilidade de ocorrência. Na figura 20 está apresentada a probabilidade do volume disponível (volume faltante para encher o reservatório) ser menor ou igual que um determinado valor. Esses resultados são importantes, pois com eles é possível obter, para um determinado Tempo de Retorno (que é o inverso da probabilidade), qual o volume disponível no reservatório de aproveitamento. Isso pode ser utilizado no dimensionamento e verificação hidráulica do reservatório de amortecimento onde há um determinado risco probabilístico admissível, e dessa forma estabelecer os volumes e vazões dos hidrogramas que são efetivamente direcionados ao reservatório. Os degraus apresentados, tanto na figura 19 quanto na figura 20, devem-se ao fato da repetição da subtração de uma demanda fixa nos dias sem chuva consecutivos ao último dia que o reservatório esteve cheio.

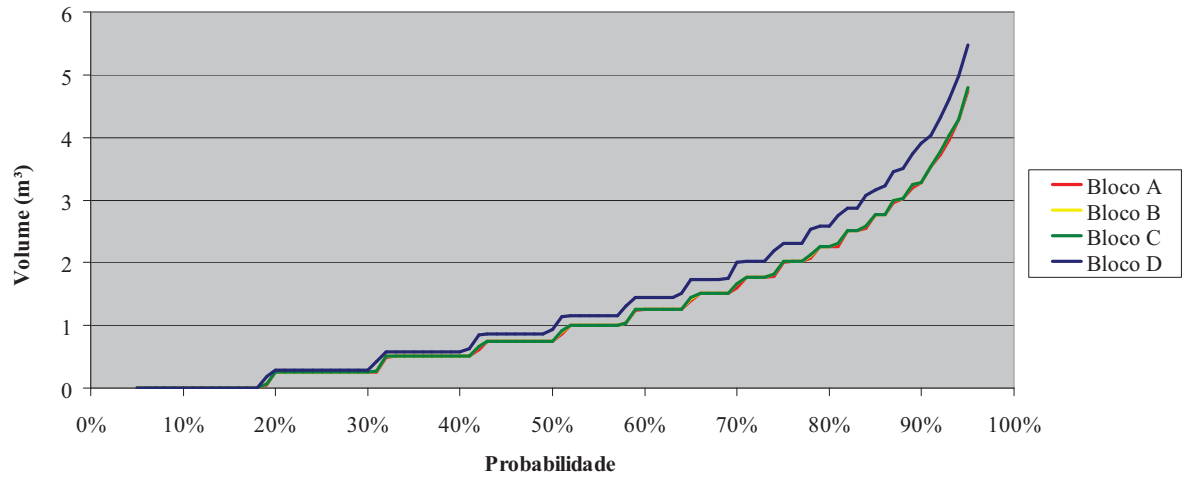


Figura 20: curva de permanência dos volumes disponíveis no reservatório

7.2 QUANTO À SAZONALIDADE

Algumas observações podem ser feitas com os dados obtidos na simulação do balanço hídrico quanto à sazonalidade das chuvas, ou ainda, quanto à relação entre as precipitações e o efeito apresentado na redução dos escoamentos. É de se esperar que quanto mais dias chuvosos consecutivos, menos efeito benéfico sobre o sistema de drenagem urbana terá o reservatório de aproveitamento, pois quando o mesmo estiver cheio irá extravasar todo o volume que receber dos telhados. Então, através da quantificação das precipitações de cada mês e das médias das reduções nos volumes escoados mensais, pode-se verificar se há sazonalidade nos resultados e assim comprovar se há relação entre quantidade das precipitações e as reduções no escoamento.

É possível observar, na figura 21, que nos meses em que houve maior precipitação média (junho e julho), as precipitações máximas são bastante inferiores ao valor médio precipitado. E, no entanto, no mês em que houve menor precipitação média (março), a precipitação máxima foi superior que a precipitação média do mês.

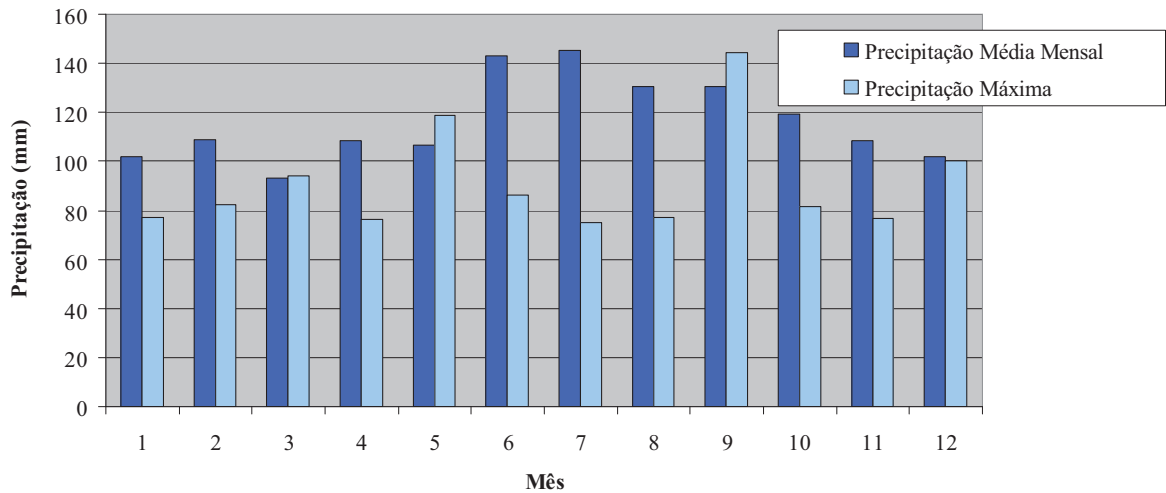


Figura 21: precipitações médias e máximas mensais

Na figura 22, pode-se observar a média de dias chuvosos a cada mês, e a média de chuva acontecida nos dias chuvosos. Percebe-se nesse gráfico, que os meses com maior média de precipitações (junho e julho) também tem a maior quantidade de dias chuvosos, e o mês com menor precipitação média (março) teve aproximadamente a mesma quantidade de dias em que houveram precipitações.

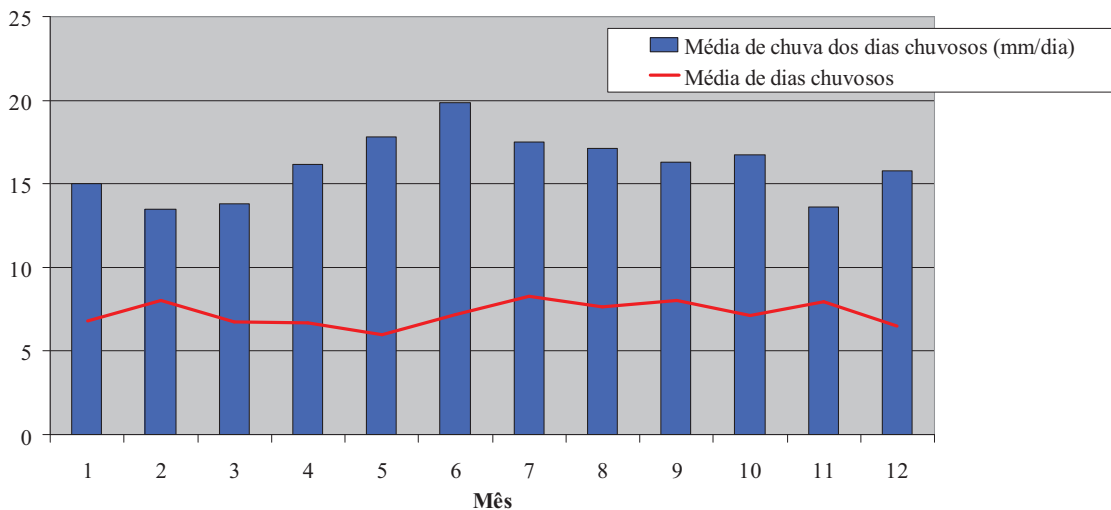


Figura 22: número médio de dias chuvosos e média de chuva por dia chuvoso

O reflexo das características das precipitações pode ser percebido no efeito sobre a redução média dos volumes escoados mensais (figura 23), onde é possível perceber que nos meses de inverno, ou mais chuvosos, há menor eficiência quanto à redução dos escoamentos e que nos

meses de verão, ou menos chuvosos, há maior eficiência quanto à redução dos volumes escoados, comprovando que há sazonalidade entre os meses de inverno e verão. O efeito da sazonalidade mostrou-se benéfico quanto à redução dos escoamentos, visto que nos meses onde ocorrem mais dias chuvosos, ocorrem as maiores precipitações médias e proporcionalmente as menores precipitações máximas. Isso indica que são justamente os meses menos chuvosos que tem maior efeito quanto a redução dos volumes escoados (e o contrário também é válido), o que significa afirmar que nos meses menos chuvosos o reservatório de aproveitamento estará menos cheio e poderá absorver melhor uma precipitação maior.

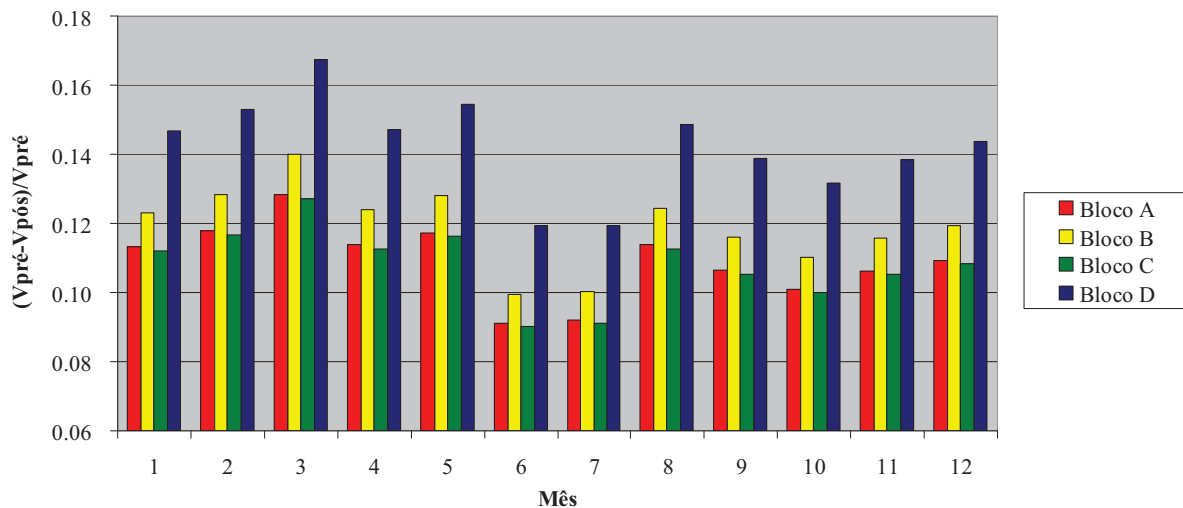


Figura 23: redução média mensal dos volumes escoados

De acordo com o apresentado acima, ficou comprovado que também há uma correlação entre os totais precipitados e a redução dos volumes escoados. Na figura 24 apresenta-se a correlação entre as precipitações totais anuais e a média da redução dos volumes escoados em cada bloco do loteamento, onde pode-se verificar que há uma tendência (linhas) de diminuição da média de redução dos escoamentos a medida que há um aumento dos totais anuais precipitados. Cabe ressaltar que essa correlação ocorre tanto para uma avaliação sobre as médias mensais, quanto para a avaliação diária da série pluviométrica, sendo que ao acrescentar valores à série o efeito será um aumento da dispersão dos valores médios, com pouco efeito sobre a média total.

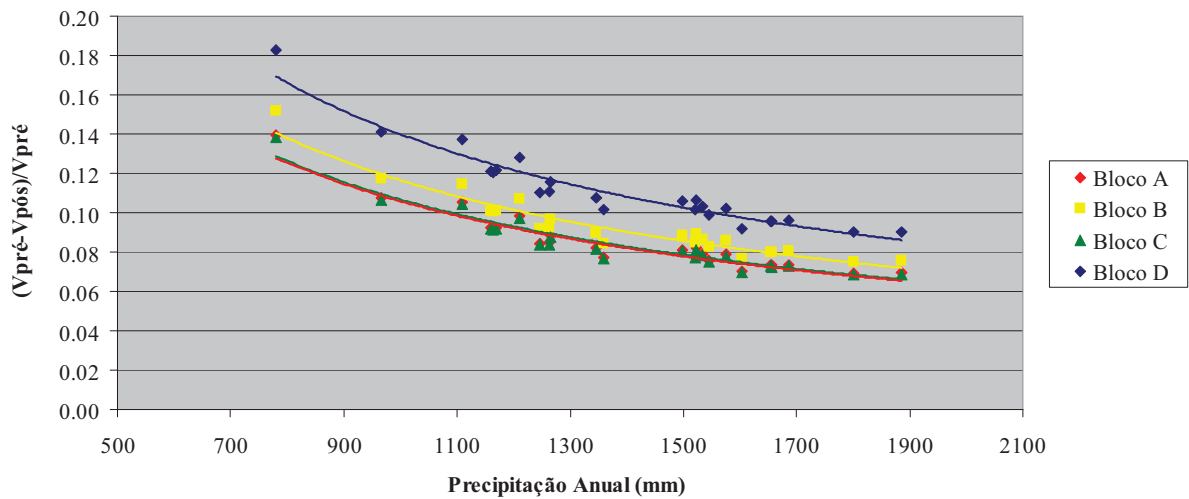


Figura 24: correlação entre precipitação e redução dos volumes escoados

Outras análises podem ser feitas através do método de simulação do balanço hídrico e geração de dados dos escoamentos sobre a série de dados pluviométricos diários apresentada, como a verificação de sensibilidade da variação dos parâmetros (áreas de contribuição, reservatórios, consumo de água, etc.) ou da redução do consumo de água tratada. No entanto, para contemplar todas estas informações seria preciso uma descrição demasiada longa e fora do objetivo deste trabalho. O capítulo a seguir trás um resumo das informações utilizadas e obtidas neste trabalho, e apresenta as considerações finais sobre esta pesquisa.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho permitiu observar os efeitos de um sistema de aproveitamento de águas pluviais sobre o sistema de drenagem urbana, no que se refere à quantificação das alterações do balanço hídrico em um loteamento residencial em Porto Alegre. Através do método de simulação utilizado, pode-se descrever o comportamento de um conjunto de residências quanto à redução dos volumes originalmente escoados, em uma área urbanizada, onde se pretende instalar um sistema de aproveitamento de águas pluviais.

O referido sistema de aproveitamento visa suprir a demanda das descargas em bacias sanitárias. Para que a economia propiciada pelo consumo de água não potável tenda a beneficiar de forma mais equitativa a todos os proprietários, admitiu-se que a bacia servida pela mesma seja a de um banheiro de serviço. Assim, provavelmente, casas com famílias maiores não irão beneficiar-se demasiado, em prejuízo de outras com apenas uma ou duas pessoas. Dessa forma, a implantação do sistema de aproveitamento deve ser acompanhada de um programa de conservação de água que conscientize os habitantes quanto ao uso racional da água. Além disso, devem ser estudadas alternativas para prever a destinação das águas pluviais para usos públicos, como rega de parques urbanos, lavagem de calçadas e veículos municipais.

A avaliação das alterações no balanço hídrico diário não está diretamente correlacionada com as alterações das vazões máximas que ocorrem no sistema de drenagem urbana (principal item para o dimensionamento de estruturas que o compõem). Para realizar uma simulação que também contemple a redução das vazões máximas é necessário contar com uma série de dados pluviométricos discriminados, preferentemente a cada cinco minutos (ao invés de um dia). Isto porque os picos das vazões ocorrem de forma instantânea, e não de forma acumulada como os dados fornecidos através de séries de dados diários. Assim, mais estudos são necessários, com séries de intervalos de tempo suficientemente curtos para obter resultados quanto à redução das vazões máximas a jusante de um sistema de aproveitamento de águas pluviais.

Como resultados deste trabalho podem ser apresentados os valores estatísticos da redução dos volumes escoados após a implantação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais. O valor médio mínimo diário de redução dos volumes escoados obtido foi de 15,62 % no bloco C e o valor médio máximo foi de 20,31 % no bloco D, calculados sobre a quantidade de dias chuvosos. Foi visto que os valores das médias das reduções dos volumes escoados são influenciados pelas superfícies que compõem o loteamento, principalmente pela parcela de área de telhado e pelo coeficiente de escoamento ponderado do terreno. Quanto maior a área de telhado e quanto menor o coeficiente de escoamento (calculado após a implantação do sistema de aproveitamento), maior será a redução do volume escoado. Também foram apresentadas as frequências de ocorrência da redução diária dos volumes escoados, bem como a frequência de ocorrência dos volumes no reservatório de armazenamento do sistema de aproveitamento.

Para concluir, foram verificadas a sazonalidade e a correlação entre precipitação anual e redução dos volumes escoados, onde foi possível comprovar que quanto mais dias chuvosos em um intervalo de tempo, menor será a capacidade dos reservatórios de aproveitamento de águas pluviais reduzirem os volumes escoados pelos telhados. Isso se deve ao fato do reservatório permanecer mais tempo ocupado pela água e, assim que está cheio, extravasar, direcionando os volumes precipitados sobre os telhados para o sistema de drenagem urbana a jusante do mesmo.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.527** – Água de Chuva – Aproveitamento de áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.
- BIDONE, F. R. A.; TUCCI, C. E. M. Microdrenagem, in: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R.; BARROS, M. (Org.). **Drenagem Urbana**, Porto Alegre: Editora da UFRGS; ABRH, 1995. p. 77-105.
- BRASIL. Congresso nacional. Estatuto da cidade. **Lei n. 10.257**, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os art. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília: 2001a. Disponível em: <[www.rc.unesp.br/igce/planejamento/download/Estatuto da Cidade.pdf](http://www.rc.unesp.br/igce/planejamento/download/Estatuto%20da%20Cidade.pdf)>. Acesso em: 7 mar. 2010.
- _____. Ministério do meio ambiente. Agência nacional das águas. **Sistema de Informações Hidrológicas – Versão Web 3.0**. Brasília: 2001b. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/ARQ/A20100519-170732-165/CHUVAS.ZIP>>. Acesso em: 7 mar. 2010.
- FENDRICH, R. **Coleta, Armazenamento, Utilização e Infiltração das Águas Pluviais na Drenagem Urbana**. 2002. 499 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Curso de Pós-Graduação em Geologia Ambiental. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: <[dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/1884/8081/3/roberto fendrich.pdf](http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/1884/8081/3/roberto_fendrich.pdf)>. Acesso em: 7 mar. 2010.
- FENDRICH, R.; OLIYNIK, R. **Manual de Utilização das Águas Pluviais: 100 maneiras práticas**. Curitiba: Livraria do Chain, 2002.
- MANO, R. S. **Captação Residencial de Água da Chuva para Fins não Potáveis em Porto Alegre: aspectos básicos da viabilidade e benefícios do sistema**. 2004. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/8742/000586430.pdf?sequence=1>. Acesso em: 7 mar. 2010.
- MENEGAT, R. (Coord.). **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. 2 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1999.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Agenda 21**: capítulo 18, proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos: aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <www.preservacaolimeira.com.br/agenda-21/linha18.htm>. Acesso em: 7 mar. 2010.
- PIO, A. A. B.; DOMINGUES, A. F.; SARROUF, L.; PINA, R. S.; GUSMAN JÚNIOR, U. (Coord.). **Conservação e Reuso da Água em Edificações**. São Paulo: ANA; FIESP; SINDUSCON/SP, 2005. Disponível em: <www.ana.gov.br/acoesadministrativas/cdoc/Catalogo/2005/ConservacaoEReusoDaAguaEmEdificacoes.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2010.

PORTO ALEGRE. Secretaria de Planejamento Municipal. **Lei Complementar n. 434**, de 27 de março de 1999. Dispõe sobre o desenvolvimento urbano no Município de Porto Alegre, institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre e dá outras providências. Porto Alegre: 1999. Disponível em: <www.portoalegre.rs.gov.br/planeja/spm/default.htm>. Acesso em: 7 mar. 2010.

_____. **Plano Diretor de Drenagem Urbana**: manual de drenagem urbana. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2002, v. 2.

_____. Secretaria de Planejamento Municipal. **Decreto n. 15.371**, de 17 de novembro de 2006. Regulamenta o controle da drenagem urbana, Porto Alegre: 2006. Disponível em: <www.sinduscon-rs.com.br/site/imagesdin/95_Decreto_15371.doc>. Acesso em: 7 mar. 2010.

_____. Secretaria de Planejamento Municipal. **Lei n. 10.506, de 5 de agosto de 2008**. Institui o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas, Porto Alegre: 2008. Disponível em: <[www.sinduscon-rs.com.br/site/imagesdin/95_Lei_10506 - Reaproveitamento das Aguas.pdf](http://www.sinduscon-rs.com.br/site/imagesdin/95_Lei_10506_Reaproveitamento_das_Aguas.pdf)>. Acesso em: 7 mar. 2010.

RIBEIRO, R. A. **Forma Urbana e Tipo de Uso do Solo como Fatores Determinantes para a Geração de Áreas Urbanas Impermeáveis**. 2006. 184 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7956/000562329.pdf?sequence=1>. Acesso em: 7 mar. 2010.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia**: ciência e aplicação. 2 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1993. p. 35-51.

SOUZA, C. F. **Mecanismos Técnico-Institucionais para a Sustentabilidade da Drenagem Urbana**. 2005. 176 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=000489126&loc=2005&l=8725c8399148ed55>. Acesso em: 7 mar. 2010.

SHIKLOMANOV, I. A. **World Water Resources**: a new appraisal and assessment for the 21st century. Paris: UNESCO, 1998. Disponível em: <www.ce.utexas.edu/prof/mckinney/ce385d/Papers/Shiklomanov.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2010.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de Água de Chuva**: para áreas urbanas e fins não potáveis. 2 ed. Guarulhos: Navegar, 2003.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas, in: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R.; BARROS, M. (Org.). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da UFRGS; ABRH, 1995. p. 15-36.

_____. Gerenciamento da Drenagem Urbana, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 5-25, jan./mar. 2002. Disponível em: <www.rhama.net/download/artigos/artigo15.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2010.

_____. **Inundações Urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007.