

**UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE
DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA
Curso de Engenharia Civil**

Celso da Silva

**CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO FIÚZA PARA
APLICAÇÃO NA PREVENÇÃO DE ENCHENTES**

Ijuí / RS

2006

Celso da Silva

**CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO FIÚZA PARA
AVALIAÇÃO NA PREVENÇÃO DE ENCHENTES**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia
Civil apresentado como requisito parcial para
obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Ijuí

2006

FOLHA DE APROVAÇÃO

**Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em sua
forma final pela professora orientadora e pelos membros da
banca examinadora**

Prof.^a Lidiane Bittencourt Barroso, M. Sc. - Orientadora

Banca Examinadora

Prof^ª Raquel Kohler, M. Sc.
UNIJUI/DeTec

Prof. Luciano Pivoto Specht, Dr.
UNIJUI/DeTec

*Agradecimento aos colegas
de graduação, pela amizade e incentivo.*

*Agradecimento especial a professora
Lidiane Bittencourt Barroso pela orientação,
carinho e amizade,
durante a execução do trabalho*

RESUMO

O crescimento urbano na cidade de Panambi gerou um impacto significativo na bacia hidrográfica do rio Fiúza, causando enchentes no perímetro urbano, que preocupam a população trazendo prejuízos sociais e econômicos. O estudo de caso foi realizado com o objetivo de encontrar alternativas para reduzir os impactos causados pela chuva na drenagem urbana, devido à urbanização sem planejamento do município. Para analisar a situação foram utilizados os princípios da hidrologia urbana, que estuda os processos hidrológicos em ambientes afetados pela urbanização. A bacia hidrológica foi caracterizada, identificando o uso e ocupação do solo, precipitação, relevo, bem como as características físicas do aquífero que forma a bacia. Com base nos resultados obtidos detectaram-se os pontos críticos e locais onde a drenagem receberá melhorias do tipo estruturais, como barragens de contenção que regulam a vazão e o pico da cheia, pois basicamente drenagem é definir o local e o caminho da água, sem causar transtornos à população. Já as medidas não estruturais especificadas orientam para uma convivência harmônica entre a população e o rio Fiúza. Conclui-se que existem soluções práticas e econômicas no gerenciamento adequado da drenagem urbana no município de Panambi, para minimizar os problemas causados pelas enchentes.

Palavras-chave: Hidrologia, drenagem urbana, enchente

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa da localização de Panambi	12
Figura 2 – Impermeabilização do solo	13
Figura 3 – Inundação Rua Hermann Mayer	14
Figura 4 – Tendências hidrográficas	16
Figura 5 – Hidrograma hipotético	17
Figura 6 – Componentes do ciclo hidrológico	19
Figura 7 – Características do balanço hídrico	21
Figura 8 – Processos numa área urbana	22
Figura 9 – Localização da bacia do rio Fiúza.....	27
Figura 10 – Estação meteorológica	31
Figura 11 – Instalação régua de medição nível do rio.....	32
Figura 12 – Equipamentos de topografia.....	33
Figura 13 – Levantamento topográfico	34
Figura 14 – Mapa da bacia hidrográfica do rio Fiúza	35
Figura 15 – Mapa planialtimétrico urbano do município de Panambi	37
Figura 16 – Perfil transversal do rio Fiúza	38
Figura 17 – Gráfico das vazões	41
Figura 18 – Gráfico da temperaturas em Panambi entre 10/2005 e 12/2005	42
Figura 19 – Mapa das área atingidas pelas enchentes	43
Figura 20– Local da barragem de contenção proximidades da Rua 25 de Julho	46
Figura 21 – Local da barragem de contenção proximidades da Rua Iriapiria.....	46
Figura 22 – Assoreamento do arroio Alagoas	47
Figura 23 – Assoreamento do arroio Alagoas	47
Figura 24 – Trecho 1 arroio Alagoas.....	48
Figura 25 – Trecho 2 arroio Alagoas.....	48
Figura 26 – Trecho 3 arroio Alagoas.....	49
Figura 27 – Reservatório subterrâneo Av. Konrad Adenauer	49

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

a.C - Antes de Cristo

CFC – Cloroflúor-carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

COTRIPAL – Cooperativa Triticola Panambi Ltda.

ha - hectare

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

m - metro

L/m² - Litros por metro quadrado

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

ONU – Organização das Nações Unidas

PDDU – Plano Diretor de Drenagem Urbana

km – Quilômetro

km² - Quilômetro Quadrado

SUCS – Sistema Unificado de Classificação dos Solos

UNIJUI – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

°, ', '' – Graus, Minutos e Segundos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Tema	11
1.2 Delimitação do tema	11
1.3 Formulação da questão de estudo	11
1.4 Definição dos objetivos do estudo	11
1.4.1 Objetivo geral.....	11
1.4.2 Objetivos específicos	11
1.5 Justificativas	12
2 REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 Água no ambiente urbano	15
2.1.1 Características do desenvolvimento urbano.....	15
2.1.2 Tipos de enchentes	16
2.1.3 Ciclo hidrológico	17
2.1.4 Escoamento superficial	19
2.1.5 Bacia hidrográfica	20
2.2 Impactos da urbanização.....	20
2.3 Drenagem urbana.....	21
2.3.1 Microdrenagem	22
2.3.2 Macrodrenagem	23
2.4 Controle de enchente	23
2.4.1 Medidas estruturais	24
2.4.2 Medidas não-estruturais	25
2.4.3 Plano diretor de drenagem urbana	25
3 METODOLOGIA.....	26
3.1 Classificação da pesquisa	26
3.2 Plano de coleta de dados.....	26
3.3 Descrição geral da área em estudo.....	26
3.3.1 Caracterização do problema	26
3.4 Caracterização da bacia do rio Fiúza	27
3.4.1 Localização geográfica	27
3.4.2 Características geométricas	28
3.4.2.1 Área de drenagem.....	28
3.4.2.2 Forma da bacia	28
3.4.2.3 Sinuosidade do rio	29
3.4.3 Características da rede de drenagem.....	29
3.4.3.1 Densidade de drenagem.....	29
3.4.3.2 Extensão do escoamento superficial.....	29
3.4.4 Características do relevo da bacia.....	30
3.4.5 Tempo de concentração	30
3.5 Métodos de ensaios e descrição dos equipamentos	30

3.5.1	Ensaio de infiltração no solo	30
3.5.2	Índice de chuvas e temperatura.....	31
3.5.3	Monitoramento do nível de água no rio Fiúza.....	32
3.5.4	Uso e ocupação do solo.....	32
3.5.5	Seções transversais das áreas de risco	33
3.5.6	Diagnóstico da drenagem urbana existente.....	33
3.5.7	Entrevistas.....	34
3.6	Plano de análise dos dados	34
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	35
4.1	Caracterização da bacia hidrográfica.....	35
4.1.1	Localização	35
4.1.2	Extensão do aquífero.....	36
4.1.3	Inclinação do rio Fiúza.....	36
4.1.4	Área da bacia em estudo	36
4.1.5	Microbacias na área urbana	36
4.1.6	Perfil transversal do rio Fiúza	38
4.1.7	Caracterização da rede de drenagem.....	38
4.1.8	Características físicas da bacia.....	38
4.2	Tipologia de uso e ocupação do solo.....	40
4.2.1	Geomorfologia da área.....	40
4.2.2	Ensaio e características do solo	40
4.2.3	Coefficiente de permeabilidade.....	41
4.3	Monitoramento do nível de água do rio.....	41
4.4	Índices pluviométricos.....	42
4.5	Temperatura	42
4.6	Locais atingidos pelas enchentes	42
4.7	Defesa civil	44
4.8	Medidas para controle das enchentes	45
4.8.1	Barragens de contenção	45
4.8.2	Limpeza dos canais	47
4.8.3	Drenagem.....	48
4.8.4	Reservatórios subterrâneos	49
4.8.5	Pavimentação	50
4.8.6	Medidas não-estruturais	50
	CONCLUSÃO.....	51
5.1	Conclusão do trabalho	51
5.2	Recomendações para trabalhos futuros	52
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
	BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS.....	54
	ANEXO 1.....	56
	ANEXO 2.....	58

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento histórico das cidades ocorreu, em sua maioria, próximo a fontes de abastecimento de água, imprescindível para a sobrevivência da vida humana. O litoral, os lagos e principalmente os rios foram o berço para o crescimento dos centros urbanos.

No município Panambi a partir da década de 60, a migração do interior para a cidade aumentou, conforme dados estatísticos do IBGE. O crescimento ocorreu sem planejamento urbano, com ocupação das várzeas, dos banhados e de áreas com risco de enchentes; cidades foram crescendo, sem diretrizes que disciplinassem a urbanização e possibilitassem uma vida harmônica entre as populações e as bacias hidrográficas.

Cientistas da ONU, que estudam os fenômenos climáticos nas diversas partes do mundo, alertam que as alterações de temperatura previstas já começaram a ocorrer, devido ao efeito estufa, provocado principalmente pela emissão de gás carbônico na atmosfera. A elevação da temperatura aumenta a evaporação e conseqüentemente aumenta os riscos de tempestade e chuvas torrenciais, uma realidade que os centros urbanos deverão estar preparados para enfrentar.

O estudo da hidrologia é recente, embora algumas noções básicas já tenham sido conhecidas e aplicadas 3000 anos a.C., conforme registros egípcios sobre as enchentes do rio Nilo. Somente começou a tomar forma na Renascença com Leonardo da Vinci e outros. Hoje é uma ferramenta importante no planejamento urbano, através de métodos científicos e tecnológicos que possam ser aplicados, como imagens de satélite, previsões meteorológicas, geoprocessamento, medição pluviométrica, que dentre outras são ferramentas que estão à disposição de profissionais, para uma análise do ciclo hidrológico de cada bacia.

1.1 Tema

Hidrologia aplicada à prevenção de enchentes.

1.2 Delimitação do tema

Aplicação dos conceitos de hidrologia para análise da bacia hidrográfica do rio Fiúza no município de Panambi.

1.3 Formulação da questão de estudo

A questão que este estudo se propõe responder é: “Quais as medidas que podem ser adotadas para prevenir as enchentes no perímetro urbano de Panambi, após o estudo do ciclo hidrológico, do relevo, do clima e da ocupação do solo?”

1.4 Definição dos Objetivos do Estudo

1.4.1 Objetivo Geral

Aplicar os conhecimentos em hidrologia, caracterizar a bacia hidrográfica do rio Fiúza, apresentando resultados quantitativos de vazão, infiltração, índices pluviométricos, nível do rio, interpretando os dados, para aplicação na prevenção de enchentes.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar as características físicas da bacia hidrográfica.
- Avaliar os impactos da urbanização.
- Estudar a hidrologia urbana.
- Identificar as medidas estruturais e não-estruturais na prevenção de enchentes.

1.5 Justificativas

O município de Panambi, situado na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, conforme Figura 1, é banhado por três rios: Caxambu, Palmeira e Fiúza, que pertencem a sub-bacia do rio Ijuí, no contexto regional da bacia do rio Uruguai. A população total do município é de aproximadamente 35.000 habitantes, conforme estimativa do IBGE (2004).

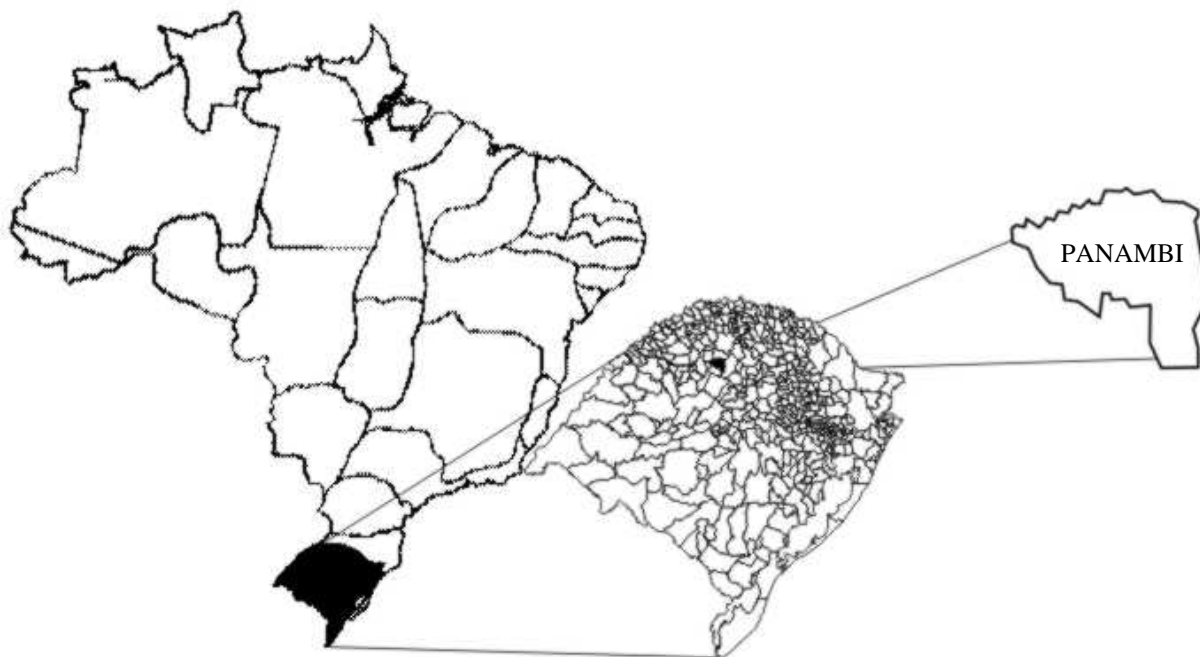


Figura 1: Localização de Panambi – Brasil – Rio Grande do Sul

Fonte: Anuário estatístico 2001

A topografia na área municipal de Panambi é atípica, pois em pequenas áreas há grande alteração de seu relevo. O perímetro urbano é praticamente dividido pelo rio Fiúza no sentido leste-oeste e pelos arroios do Moinho, Alagoas e Piratini, no sentido norte-sul. Quando há precipitação intensa, as águas superficiais atingem o rio, superando a capacidade de vazão, provocando enchentes e alagamentos em diferentes pontos da cidade, causando prejuízos e transtornos à população.

Na conjuntura atual não existe rede de esgotamento sanitário na área urbana do município e os efluentes cloacais recebem um tratamento primário por fossa séptica de processo anaeróbio. É importante reconhecer os sérios riscos de contaminação do lençol freático, que as inundações destas áreas podem causar, como também a possibilidade de

proliferação de doenças transmitidas através da água, como cólera, leptospirose, hepatite e infecções da pele, dentre outras.

Recentemente, nos Estados Unidos, em New Orleans, centenas de pessoas morreram em consequência da contaminação da água, devido à enchente, quando os diques que protegiam a cidade romperam-se e inundaram a região. Portanto, houve falhas nas obras estruturais e também no socorro às vítimas, devido à falta de planejamento das ações não-estruturais, segundo a reportagem de Lopes (2005).

A impermeabilização do solo, como ilustra a Figura 2, devido à urbanização da cidade, vem agravar a situação, pois a cada ano surgem novas edificações, reduzindo a vegetação que intercepta as águas das chuvas, retendo-as na folhagem e transferindo-as para a atmosfera pela transpiração. Onde havia vegetação hoje estão edificações, ruas e calçadas pavimentadas, que impermeabilizam o solo. As águas superficiais são captadas, através da canalização pluvial que transfere para jusante o problema de alagamentos.



Figura 2: Impermeabilização do solo
Local: Estacionamento Cotripal

No Brasil existem poucos estudos que avaliam os prejuízos causados pelas enchentes, devido à diversidade de fatores envolvidos, mas se pode citar:

- queda na arrecadação de impostos;
- prejuízos materiais em consequência de alagamentos, (Figura 3);
- dificuldade de acessibilidade durante as enchentes;

- aumento do número de acidentes de trânsito;
- doenças de veiculação hídrica e aumento das internações hospitalares;
- despesas provenientes da mobilização de bombeiros, prefeitura e defesa civil;
- patologias em edificações (fundações, pisos, paredes, sistema elétrico, pintura, etc.);
- desvalorização imobiliária dos terrenos atingidos;
- realocação da população atingida.



Figura 3: Inundação rua Hermman Mayer
Fonte: Jornal Folha das Máquinas – edição 15 de dezembro de 2003

Torna-se relevante, então, o estudo do ciclo hidrológico da bacia do rio Fiúza, no município de Panambi, estado do Rio Grande do Sul, pois não existem dados estatísticos para elaboração de uma política adequada na área urbana, bem como para prevenção de enchentes, minimizando seus efeitos e caracterizando as causas, a fim de reduzir os prejuízos sociais e econômicos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Água no ambiente urbano

Nos dias atuais, uma das preocupações da humanidade tem sido com a água, principalmente com a água doce, essencial para a sobrevivência da vida, e esta preocupação volta-se para os mais diversos aspectos constituintes do ambiente urbano.

A primeira idéia que se tem da água, segundo Tucci *et al* (2004) é para saciar a sede, para preparar alimentos, para higienização, entretanto, a água também está presente na umidade do ar, no solo, como também na superfície, através de rios e lagos.

2.1.1 Característica do desenvolvimento urbano

O crescimento das cidades, iniciou-se em todo o Brasil, principalmente a partir da década de 60. No estado do Rio Grande do Sul os resultados deste crescimento urbano, estão demonstrado na Figura 4. Principalmente, devido à mecanização da lavoura, juntamente com o crescimento demográfico. Isso fez com que a população se aglomerasse nos centros urbanos, por influência de fatores sociais e econômicos, como a concentração da renda em setores industriais e de serviços, com a conseqüente desvalorização do setor primário (agricultura).

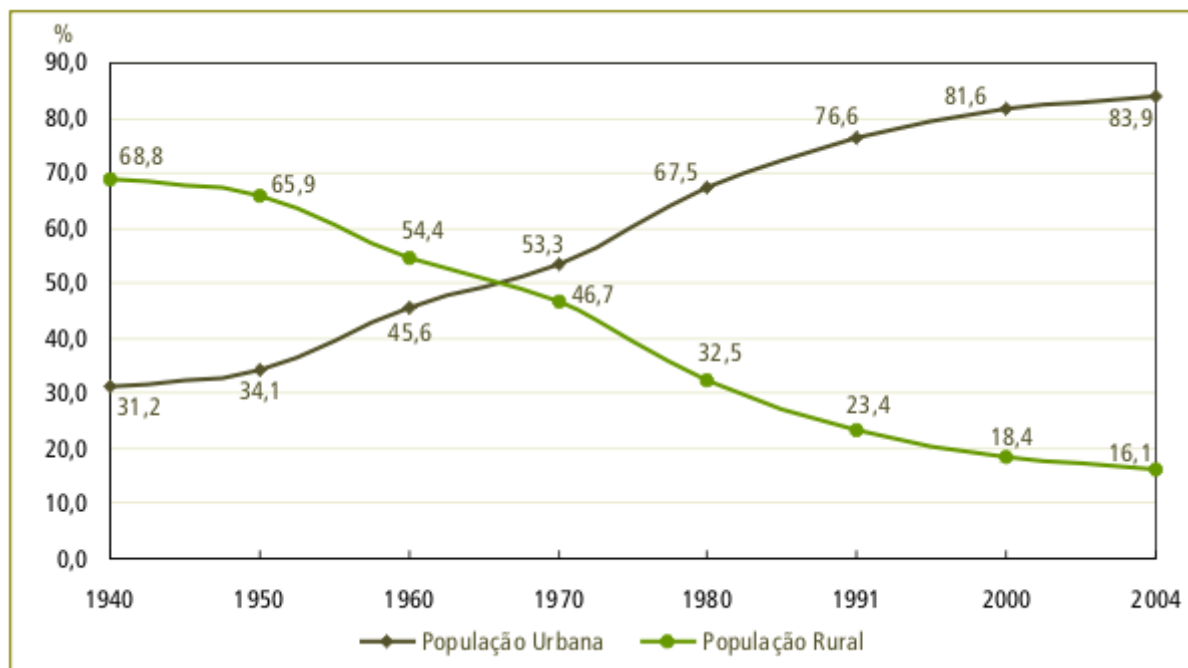


Figura 4: Tendências demográficas no Rio Grande do Sul
Fonte: IBGE – 2001

O crescimento urbano e a densificação populacional, trazem aumentos no consumo de água, aumento do volume de dejetos e a impermeabilização do solo devido a construções e à redução da vegetação, alterando o ambiente natural, afirma Pinto *et al* (1998).

Tucci *et al* (2004) relata os impactos da urbanização das cidades:

- a) aumento das vazões máximas (até 7 vezes), devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos, canais e impermeabilização das superfícies;
- b) deterioração da qualidade da água, devido à lavagem das ruas, transporte de material sólido e às ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial;
- c) aumento da produção de sedimentos, devido à desproteção da superfície e à produção de resíduos sólidos.

2.1.2 Tipos de enchentes

Segundo Tucci *et.al* (1995) as enchentes nas áreas urbanas aumentam a vazão nas áreas urbanizadas, conforme demonstra a Figura 5, podendo ocorrer de duas maneiras: de forma isolada ou de maneira conjunta:

- enchentes em áreas ribeirinhas – quando a população ocupa o leito maior por falta de planejamento dos loteamentos;
- enchentes devido à urbanização – provocadas pela impermeabilização do solo.

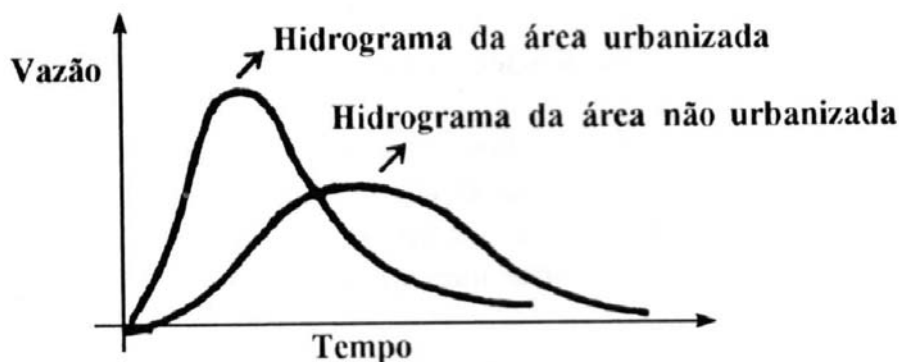


Figura 5- Hidrograma hipotético
 Fonte: Drenagem Urbana, p. 18, 1995

2.1.3 Ciclo hidrológico

Para Tucci *et al* (2004) vários fenômenos fazem parte do ciclo hidrológico. A maioria dos fenômenos meteorológicos ocorre na camada entre 8 km e 16 km, chamada de troposfera. Já a estratosfera, de 40 km a 70 km da Terra, tem a importância de reter a camada de ozônio que regula a temperatura do planeta, principal fonte de energia do ciclo hidrológico.

De acordo com Silveira (2004)

“O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre”.

No ciclo hidrológico a principal transferência de água para a atmosfera é a precipitação e a forma mais comum é a chuva, que ocorre quando as microgotículas se aglutinam superando a força gravitacional. Para Silveira (2004), a precipitação pode ocorrer em forma de chuva, neve ou granizo. Ocorre quando complexos fenômenos de aglutinação e crescimento de microgotículas, em nuvem com vapor de água e núcleos de condensação,

formam grande quantidade de gotas, que superam a força da gravidade e movimentos ascendentes de meios atmosféricos.

A vegetação é responsável pela interceptação, através das folhas, caules e galhos, a água fica retida na cobertura vegetal, sendo que a interceptação ocorre tanto com a chuva como com a neve; com a ação dos ventos a água pode reprecipitar-se. A cobertura vegetal também é importante para obstaculizar o escoamento superficial, aumentando a infiltração, reduzindo a erosão e diminuindo a cinética de impacto no solo.

Na infiltração, a chuva que cai sobre o solo é absorvida até que esse fique saturado, pois o solo é um meio poroso. Parte da infiltração é absorvida por raízes de vegetais que a devolvem parcialmente em forma de vapor dando origem à transpiração, como descreve Silveira (2004).

Para completar o ciclo hidrológico, ocorre a evaporação, e a água volta para a atmosfera em forma de vapor, impulsionado fundamentalmente pela energia solar, pela gravidade e pela rotação terrestre, em todas as etapas do ciclo hidrológico.

Já a chuva que não é absorvida pela interceptação, infiltração, evaporação é escoada superficialmente, é transportada para jusante de acordo com a topografia do terreno. Formam-se, então, os cursos de água que formam os arroios, rios e lagos. A Figura 6 ilustra os componentes do ciclo hidrológico.

2.1.5 Bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica definida por Silveira (2004) pode ser considerada como um sistema físico onde toda a entrada é o volume precipitado e a saída é o volume escoado pelo exutório.

A análise do ciclo hidrológico é efetuada para interpretar a bacia hidrográfica, constituída de vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água até resultar num único leito. O papel fundamental da bacia é transformar a precipitação em escoamento, que pode ser rápido (superficial) ou lento (subterrâneo).

2.2 Impactos da urbanização

De acordo com Tucci *et al* (1995), os impactos de quaisquer medidas não devem ser transferidos e o controle de enchente envolve medidas estruturais e não-estruturais. Além disso, caracteriza os princípios do controle de inundações urbanas.

Os meios de implantação do controle de enchente são o plano diretor, as legislações municipais, estaduais, federal e o manual de drenagem, é o que descreve Tucci *et al* (1995). As legislações controlam e o manual orienta, tendo o critério principal de não ampliar a cheia natural, além disso, planejar o horizonte de expansão, definindo as áreas de densificação atualmente loteadas, priorizando a educação dos profissionais da área sobre que não se pode drenar toda a água sem se responsabilizar pelos impactos a montante ou a jusante.

Ven (1990) *apud* Tucci *et al* (1995) relata o balanço hídrico da bacia com o aumento do volume de escoamento superficial e a redução da recarga natural dos aquíferos e da evapotranspiração, numa bacia pré-urbanização e urbana, na Figura 7.

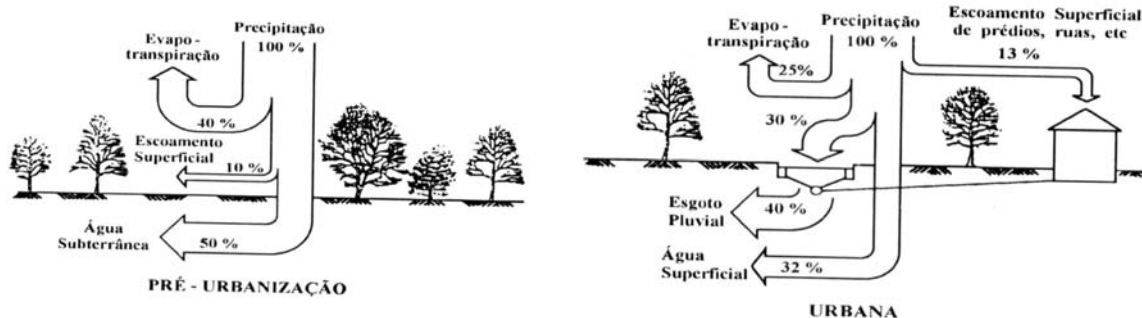


Figura 7: Características do balanço hídrico.
Fonte: Drenagem Urbana, p. 18, (1995)

As medidas de controle do escoamento citadas por Tucci *et al* (1995), de acordo com a bacia hidrográfica podem ser classificadas como distribuídas ou na fonte, quando é o tipo de controle que atua sobre o lote, praças e passeios. Já na microdrenagem o controle age sobre o hidrograma resultante de um ou mais loteamentos. E o controle sobre riachos urbanos ocorre na macrodrenagem.

2.3 Drenagem urbana

Inicialmente o conceito de drenagem urbana tinha como objetivo principal a retirada das águas pluviais em excesso de forma rápida, evitando o risco de inundações, através de medidas estruturais. Atualmente este conceito de drenagem urbana tem um sentido mais amplo. Tucci *et al* (1995) considera que a drenagem ultrapassou o campo restrito da engenharia, passando a ser um problema gerencial com componentes políticos e sociológicos.

Entenda-se que se trata de um conjunto de medidas que tenham por objetivo minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento harmônico, articulado e sustentável. A Figura 8 mostra o processo de urbanização nas cidades, caracterizado por Hall (1984) *apud* Tucci *et al* (2004).

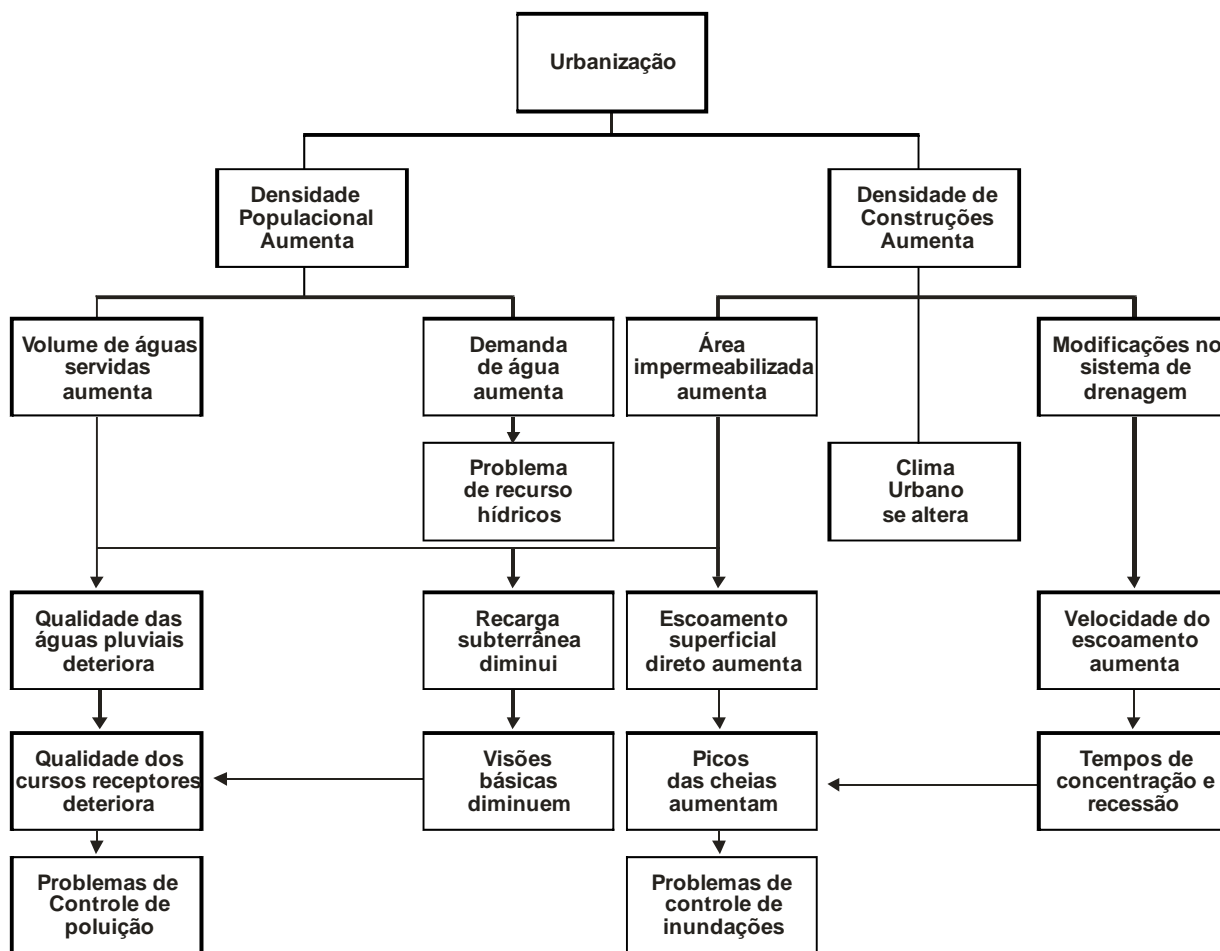


Figura 8: Processos que ocorrem numa área urbana
 Fonte : Hidrologia Ciência e Aplicação; p. 808

Tucci *et al* (2004), no capítulo de drenagem urbana, do livro Hidrologia Ciência e Aplicação, descreve que o poder público não controla a urbanização indisciplinada das cabeceiras da bacia ou não amplia a capacidade de macrodrenagem, com isso a frequência das enchentes aumenta. Além disto, o crescimento acelerado acirra a disputas por recursos de diversos setores da administração pública, prevalecendo a ação em pontos isolados.

2.3.1 Microdrenagem

Segundo Tucci *et al* (1995), a microdrenagem urbana é definida pelo sistema de condutos pluviais em nível de loteamento. A rede de drenagem é composta de condutores pluviais, bocas-de-lobo, poços de visita, meios-fios, sarjetas, que coletam a água e transportam para a macrodrenagem.

Para elaboração de um projeto de microdrenagem, são necessárias informações sobre a área em estudo. Tucci *et al* (1995) descreve a necessidade de levantamento topográfico, planta geral da bacia contribuinte, planta plani-altimétrica, locação das redes existentes, verificação do uso e tipo de ocupação dos lotes e dados relativos ao curso receptor.

Para determinação da vazão em bacia com área inferior a 2 km², o método racional é largamente utilizado. Pinto *et al* (1998) descreve os princípios básicos para a determinação da vazão (Q) que são obtidos através do coeficiente de escoamento (C); intensidade da chuva em (I); área da bacia (A), gerando a seguinte equação:

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad \text{Equação 1}$$

2.3.2 Macrodrenagem

A rede de drenagem natural de uma zona urbana é constituída pelos córregos, arroios e rios localizados nos talvegues e vales. As obras implementadas em loteamentos aumentam a vazão, devido à redução dos tempos de concentração, afirma Tucci *et al* (1995), além de outros fatores como a ocupação dos leitos secundários de córregos, ampliação da malha viária em vales ocupados e saneamento de áreas alagadas.

Em obras de macrodrenagem fatores importantes como escoamento em canais abertos deverão ser conhecidos para o dimensionamento da rede de drenagem urbana. A velocidade do líquido e a vazão e a área do canal ou rio deverão ser conhecidas. Da equação da continuidade citada por Pinto *et al* (1998).

$$Q = V \cdot A \quad \text{Equação 2}$$

Onde Q= vazão; V = velocidade e A= área do canal.

2.4 Controle de enchentes

Segundo Tucci *et al* (2004), quando a precipitação é intensa e a quantidade de água chega simultaneamente ao rio, excedendo a capacidade de drenagem, resulta na inundação de

áreas ribeirinhas. Os impactos dependem do planejamento existente, do grau de ocupação da várzea e do índice de impermeabilização do solo.

As inundações dependem das características da bacia hidrográfica e de características climatológicas. Conforme Pinto *et al* (1998), as medidas de controle podem ser do tipo estruturais e não estruturais, geralmente é utilizada uma integração destas medidas.

2.4.1 Medidas Estruturais

As medidas estruturais envolvem recursos que geralmente o município não possui, relata Pinto *et al* (1998), que classifica as medidas estruturais em intensivas e extensivas, ambas são obras de engenharia, implementadas para reduzir o risco de enchentes.

Medidas intensivas agem diretamente na bacia hidrográfica, modificando a relação entre o volume precipitado e a vazão, através de alterações da cobertura vegetal da área, pois aumentam a interceptação e retardam os picos de enchente, controlando a erosão do solo.

Em muitos países uma das medidas de prevenção de enchentes é o reservatório de retardo da vazão. Tucci *et al* (1995) cita que o reservatório, mesmo que de pequeno volume, numa área urbana será suficiente para reduzir a vazão máxima significativamente. Estas bacias de retenção armazenam água e liberam o líquido aos poucos, através do orifício de saída.

Outras medidas poderão ser adotadas simultaneamente, relata Tucci *et al* (2004), como reservatório em telhados, pequenos tanques em lotes urbanos e o pavimento poroso, sendo este pavimento construído em blocos de concreto perfurados, assentes sobre brita e areia, com os vazios preenchidos com areia. Podem ser aplicados em estacionamentos, em calçadas e ruas com pouco tráfego de veículos. O pavimento permite a infiltração, minimiza os impactos na drenagem urbana no corpo receptor, reduzindo o pico de vazão.

Dentre as medidas estruturais, Tucci *et al* (1995) cita o dique de proteção, que pode ser construído de terra com enrocamento de pedra ou de concreto. Entretanto, os diques de concreto embora mais caros são mais seguros. Deve-se evitar os diques de grandes alturas, pois sempre existe o risco de rompimento.

Medidas extensivas agem no rio, segundo Simon *et al* (1977) *apud* Tucci *et al* (2004):

- a) aceleram o escoamento: construção de diques, aumento da capacidade de descarga dos rios, cortes de meandros;
- b) retardam o escoamento: reservatórios e bacias de amortecimentos;
- c) desviam o escoamento: obras como canais de desvios.

2.4.2 Medidas não-estruturais

As medidas não-estruturais são projetadas geralmente em conjunto com medidas estruturais para proteção das áreas atingidas pelas inundações. Johnson (1978) *apud* Tucci *et al* (2004) identificou as seguintes medidas não-estruturais: seguro de inundação, instalação de vedação temporária nas aberturas das estruturas, elevação das estruturas existentes, construção de novas estruturas sob pilotis, construção de diques circulando a obra, relocação ou proteção de artigos que possam ser danificados dentro da própria obra, uso de materiais impermeáveis, adoção de incentivos fiscais e alerta de enchente na área de inundação.

Para o controle de enchentes, Tucci *et al* (2004) cita a importância do mapeamento das inundações, que podem ser de dois tipos: mapas de alerta e mapas de planejamento, bem como conhecimento da topografia da cidade, onde poderiam ser colocados marcos que definem o nível da água.

2.4.3 Plano diretor de drenagem urbana

Uma das ferramentas importantes para o controle das enchentes é o PDDU. Segundo Tucci *et al* (2004), a hidrologia urbana pode ser definida como o estudo dos processos hidrológicos em ambientes afetados pela urbanização. Salienta, ainda, a importância do estudo adequado de cada caso.

O planejamento consiste em determinar as características da bacia, simular situações atuais e futuras, identificar as medidas estruturais e não-estruturais, quantificar resultados em várias simulações, delinear a área de inundação, benefícios e eficiência da consecução dos objetivos, pois a síntese de todo o problema está na alocação de espaço para a água proveniente da precipitação, como afirma Tucci *et al* (2004).

3 METODOLOGIA

3.1 Classificação do estudo

Este estudo de caso na cidade de Panambi tem o propósito de conhecer as causas das inundações na cidade, procurando projetar medidas para a prevenção do fenômeno.

Para a análise da área em estudo, optou-se por uma pesquisa quantitativa e também qualitativa, para uma interpretação adequada do problema em questão.

3.2 Plano de coleta de dados

A coleta de dados ocorreu com ensaios de campo e determinação do tipo de solo, capacidade de infiltração e escoamento, índices pluviométricos, temperatura, monitoramento do nível do rio Fiúza e caracterização da cobertura do solo da área em estudo.

3.3 Descrição geral da área em estudo

A metodologia adotada consistiu em conhecer os fatores que influenciam na drenagem urbana em estudo, no município de Panambi, estado do Rio Grande do Sul, identificando fatores que influenciam nas enchentes que ocorrem no perímetro urbano da cidade e definindo medidas estruturais de prevenção, juntamente com a adoção de medidas não-estruturais, através da organização, análise e interpretação dos dados obtidos.

3.3.1 Caracterização do problema

A enchente é um dos grandes problemas criados pela urbanização sem planejamento urbano, com ocupação das áreas ribeirinhas, drenagem e urbanização de banhados.

A ocupação do solo e sua conseqüente impermeabilização, através de construções, pavimentação, calçadas e da própria canalização que aumenta a velocidade da água, jogando para jusante o problema da vazão, acentua o problema e influencia diretamente as condições sociais da comunidade, atingindo a população com maior vulnerabilidade social.

3.4 Caracterização da bacia do rio Fiúza

A bacia é definida topograficamente por divisores de água, que dividem as precipitações que caem no cume das elevações e são encaminhadas pelo escoamento para o curso de água.

3.4.1 Localização Geográfica

A localização geográfica da área foi caracterizada em mapas quanto à latitude e longitude da nascente até a foz, quando as águas do Fiúza encontram-se com as águas do arroio Palmeira, formando o rio Ijuí, que conseqüentemente pertence à bacia do rio Uruguai, conforme ilustra a Figura 9.

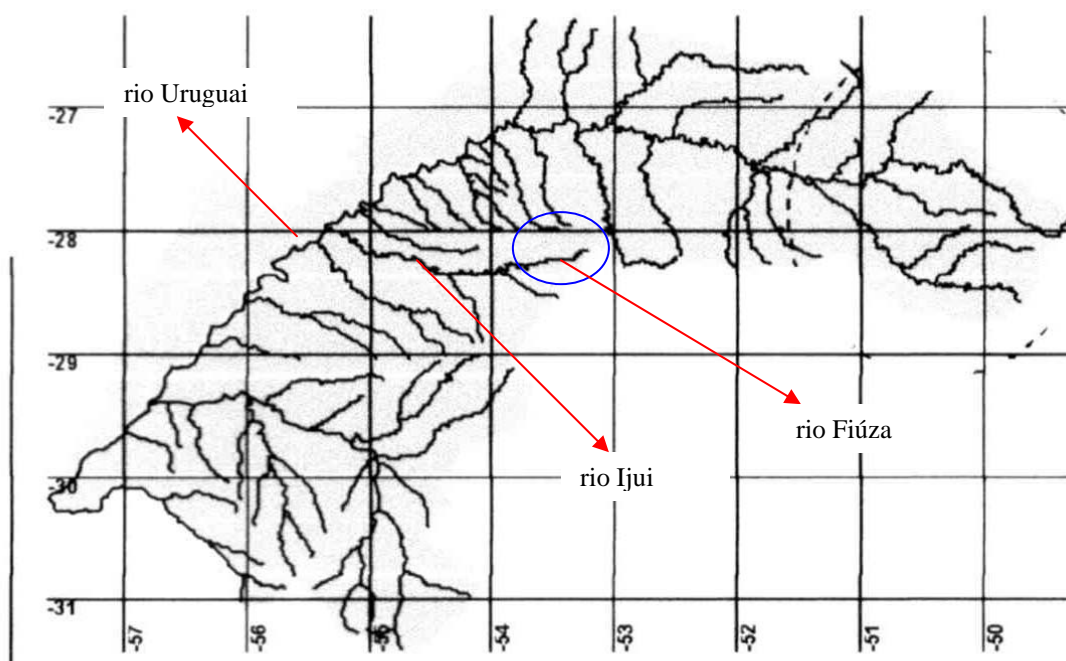


Figura 9: Local da bacia do rio Fiúza
Fonte: Anuário Estatístico, 2001

3.4.2 Características Geométricas

3.4.2.1 Área de Drenagem

Para definir a área da bacia e conseqüentemente a área de drenagem, foram medidas em escala do mapa da bacia hidrográfica do rio Fiúza e calculada a área em quilômetros quadrados. O divisor de água que limita a área da bacia foi medido no mapa através de escalímetro, formando o perímetro, dimensionado em quilômetros. O mapa da bacia originário do departamento de recursos hídricos, atualmente pertencendo ao ministério da Infra-estrutura. A extensão do rio Fiúza, bem como seus tributários, foi medida no mapa, da bacia em escala.

3.4.2.2 Forma da Bacia

Foram calculados o coeficiente de compacidade e o fator de forma, fatores importantes para definir o tempo de concentração em que a água precipitada atua sobre a área em estudo.

O coeficiente de compacidade (K_c) relaciona a bacia a um círculo. Valores próximos a 1 (um), indicam maior tendência a enchentes. Para valores muito acima de 1 (um) indicam uma bacia de formato irregular, com menor tendência a enchentes. A fórmula do coeficiente de compacidade é dada pela equação:

$$K_c = 0,28 \cdot P \sqrt{A} \quad \text{Equação 3}$$

Onde P = perímetro e A = área da bacia hidrográfica

O fator de forma (K_f) relaciona a bacia com um retângulo e também indica a maior ou menor tendência a enchentes, uma bacia estreita e longa (K_f baixo), possui menor possibilidade de enchentes, pois a ocorrência de chuvas intensas teria que ocorrer simultaneamente em toda área da bacia. A fórmula que determina o fator de forma é dada pela seguinte equação:

$$Kc = A/L^2 \quad \text{Equação 4}$$

Onde L = comprimento do curso d'água mais extenso, A = área de drenagem.

3.4.2.3 Sinuosidade do rio

A sinuosidade é a relação entre o comprimento do rio principal (L) e o comprimento de um talvegue (L talvegue). A equação que representa a sinuosidade é:

$$Sin = L/Ltalvegue \quad \text{equação 5}$$

3.4.3 Características da rede de drenagem

3.4.3.1 Densidade da drenagem

Representa o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem indicando a eficiência da drenagem, varia entre 0,5 para bacias pouco drenadas e 3,5 para bacias muito bem drenadas. A densidade de drenagem (Dd) é calculada relacionando o comprimento total dos rios (L) e a área de drenagem (A) fornecida pela seguinte equação:

$$Dd = L/A \quad \text{equação 6}$$

3.4.3.2 Extensão do escoamento superficial

É a distância média que a chuva tem que escoar na superfície de uma bacia, caso o escoamento fosse em linha reta do local em que a chuva caiu até um o corpo receptor, o escoamento superficial é fornecido seguinte equação:

$$I = A/4L \quad \text{equação 7}$$

Onde I = escoamento superficial; A = área da bacia hidrográfica e L = comprimento de todos os cursos d'água

3.4.4 Característica do relevo da bacia

A declividade média da bacia determina boa parte da velocidade de escoamento, influenciando diretamente no pico de enchente, na maior ou menor infiltração da água no solo e na erosão e no conseqüente assoreamento do rio. Para o cálculo da declividade foi usada a seguinte equação:

$$S1 = (CotaM - Cotam) / Lt \quad \text{equação 8}$$

Onde a Cota M = cota na nascente; Cota m = a cota na foz e Lt = extensão total do rio Fiúza.

3.4.5 Tempo de concentração

Para bacias entre 140 a 930 km² o tempo de concentração Tc é dada pela equação de Dooge *apud* Porto (1995), onde (A) é a área da bacia e (S) é a declividade.

$$Tc = 21,88A^{0,41}S^{-0,17} \quad \text{equação 9}$$

A inclinação média do curso de água foi calculada com base em plantas planialtimétricas, da bacia hidrográfica do rio Fiúza, anteriormente citada.

3.5 Métodos de ensaios e descrição dos equipamentos

3.5.1 Ensaios de infiltração do solo

Para verificação dos coeficientes de infiltração do solo realizou-se ensaios de infiltração, determinados pelas normas NBR 7229/93 e NBR 13969/97 da ABNT, em cinco locais diferentes da cidade, para caracterização do solo e para determinar o coeficiente de infiltração em litros por metro quadrado ao dia (L / m² x dia).

O ensaio consiste em escavar o solo a uma profundidade que definida em dois metros; no fundo da vala, executa-se uma cova de trinta centímetros quadrados e trinta centímetros de profundidade. O fundo dessa recebe um revestimento de cinco centímetros de brita número um. Com auxílio de uma régua graduada, preenche-se com água até a altura de quinze centímetros e cronometra-se o tempo que a água demorou para infiltrar um centímetro.

Equipamentos necessários para realização deste ensaio:

- retroescavadeira;
- reservatório de água de 200 litros;
- pá de corte;
- trena e régua graduada;
- brita 1.

3.5.2 Índices de chuva e temperatura

Para a análise da drenagem, registrou-se os índices de chuva com acompanhamento diário, juntamente com as temperaturas, dados esses extraídos da estação meteorológica da empresa Fockink Instalações que monitora o clima na cidade de Panambi. Para a obtenção desses itens, o equipamento utilizado (Figura 10) está instalado na Rua Holanda, no centro de Panambi. As temperaturas no período de outubro a dezembro do ano de 2005, estão na Figura 18.



Figura 10: Estação Meteorológica
Local: Rua Holanda

A Figura 10 mostra a Estação Meteorológica. Sensor de temperatura entre -10° a 60° C e medidor de umidade relativa do ar entre 0 a 100%

3.5.3 Monitoramento do nível da água no rio Fiúza

Instalou-se uma régua graduada (Figura 11) no leito do rio para acompanhar o impacto das chuvas sobre o rio Fiúza. A instalação ocorreu no parque municipal denominado Rudolfo Arno Goldhart, no local onde o rio Fiúza recebe as águas do afluente Arroio do Moinho.

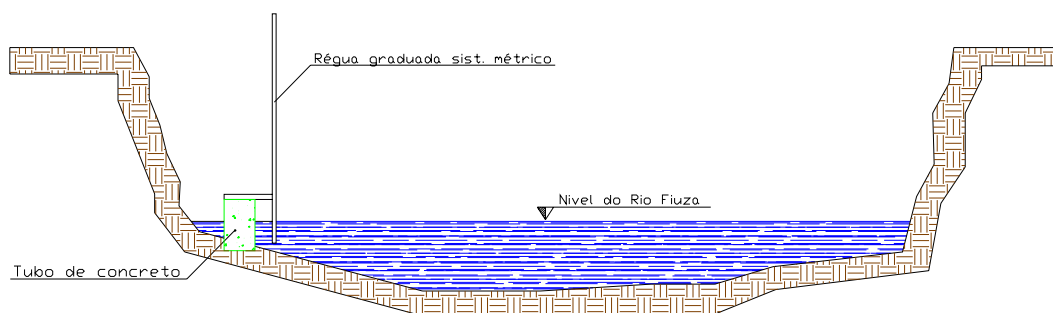


Figura 11: Detalhe instalação régua graduada
Local : Parque Municipal Rudolfo A. Goldhardt

Materiais necessários:

- tubo metálico com escala métrica;
- tubo de concreto;
- areião;
- cimento;
- brita 1.

3.5.4 Uso e ocupação do solo

Na área da bacia hidrográfica foram identificadas, a área agrícola, área de pastagem, vegetação, e área urbana, os resultados obtidos estão no Quadro 2.

Os materiais necessários para a obtenção desses parâmetros foram:

- programa Autocad;
- mapas do cadastro imobiliário do município de Panambi;
- planta urbanística da cidade de Panambi;
- escalímetros.

3.5.5 Seções transversais das áreas de risco

Foram realizados vários cortes transversais das áreas de risco, do rio Fiúza e dos arroios Alagoas e Moinho, indicados em planta urbanística da cidade, foram mensuradas as larguras entre as margens, a profundidade da lâmina de água, a altura das barrancas e a cota de enchente. A Figura 12 ilustra os equipamentos necessários para execução do trabalho.

Os materiais e equipamentos para esse levantamento de dados são:

- teodolito;
- trena 50 metros;
- mira;
- nível de bolha;
- nível;
- baliza metálica.



Figura: 12 – Equipamentos de topografia

3.5.6 Diagnóstico da drenagem urbana existente

Para a elaboração das medidas de controle de enchentes, foi verificada a drenagem existente, as bocas de lobo, as galerias, a canalização, os córregos e também o rio

Fiúza, foram realizados levantamentos topográficos conforme ilustra a figura 13. Para verificar a declividade e os níveis dos locais atingidos.



Figura 13: Levantamento topográfico
Local: Av. Konrad Adenauer – Bairro Erica

3.5.7 Entrevistas

Foram realizadas entrevistas, com as pessoas que moram na região ribeirinha, para determinar os locais atingidos pelas enchentes e definido o mapa da inundação.

Também foi entrevistado um representante da defesa civil, para que relatasse os custos que envolvem a remoção dos atingidos. A entrevista ajudou na elaboração das medidas não estruturais definidas na apresentação e análise do resultados.

3.6 Plano de análise de dados

A partir dos dados coletados, foram identificados os pontos críticos e identificadas as possíveis intervenções (medidas estruturais e não-estruturais) no perímetro urbano de Panambi, a fim prevenir as enchentes, aplicando conceitos e equacionamentos da hidrologia referentes à drenagem urbana.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Características da bacia hidrográfica do rio Fiúza

4.1.1 Localização

A bacia hidrográfica do rio Fiúza tem sua nascente no município de Santa Bárbara do Sul, estado do Rio Grande do Sul, na latitude $53^{\circ}17'30''$ e longitude $28^{\circ}15'10''$. O local possui a altitude de 542 metros tendo como parâmetro o nível do mar.

A foz do Rio ocorre no município de Panambi, quando as águas do Fiúza encontram-se com a sub-bacia do rio Ijuí, na latitude $53^{\circ}37'20''$ e longitude $28^{\circ}16'20''$, tendo como altitude 318 m. Em nível regional o Rio pertence à bacia hidrográfica do rio Uruguai. O mapa da bacia hidrográfica do rio Fiúza encontra-se na Figura 14.

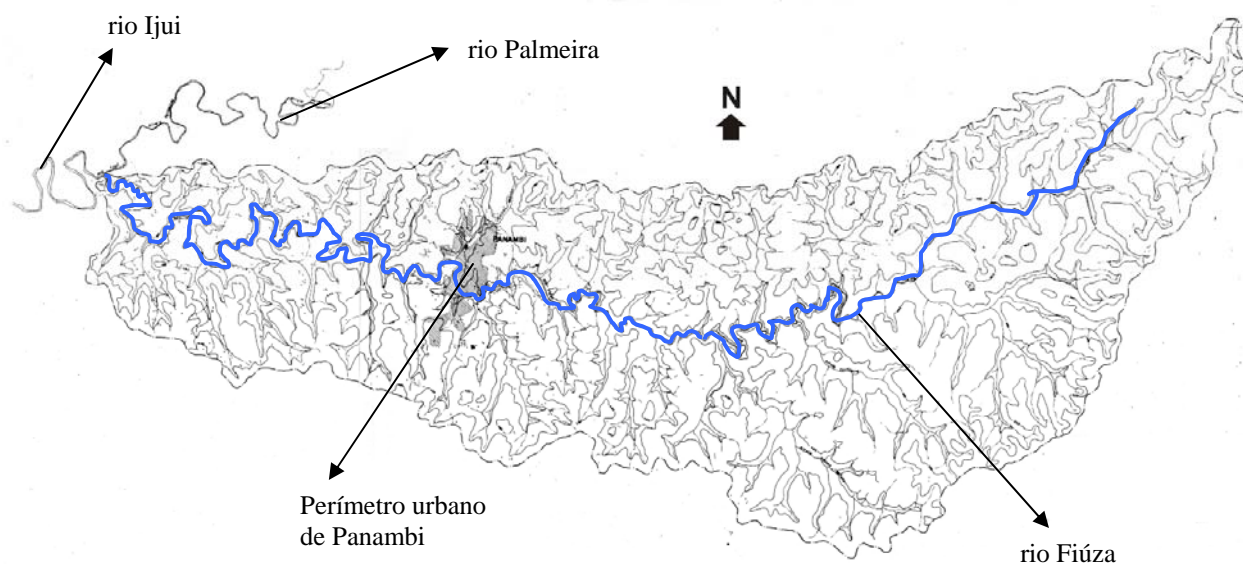


Figura: 14 – Mapa da bacia do rio Fiúza
Fonte : Ministério da Infra-estrutura

4.1.2 Extensão do aquífero

A distância da nascente até a sua foz é de 75,2 km, sendo que percorre 8,35 km dentro do perímetro urbano da cidade de Panambi. Já o percurso da nascente até a extremidade oeste do perímetro urbano, proximidades da Av. Gustav Kuhlmann, tem a distância de 44,63 km, portanto, o estudo da área ocorreu no trecho a montante da Av. Gustav Kuhlmann.

4.1.3 Inclinação do rio Fiúza no perímetro urbano

O trecho na área urbana é caracterizado pela sua sinuosidade e pela pouca declividade do Rio, influenciando diretamente a velocidade do fluido e conseqüentemente a vazão do aquífero. Os arroios da área urbana possuem uma inclinação média de 0,016 m/m.

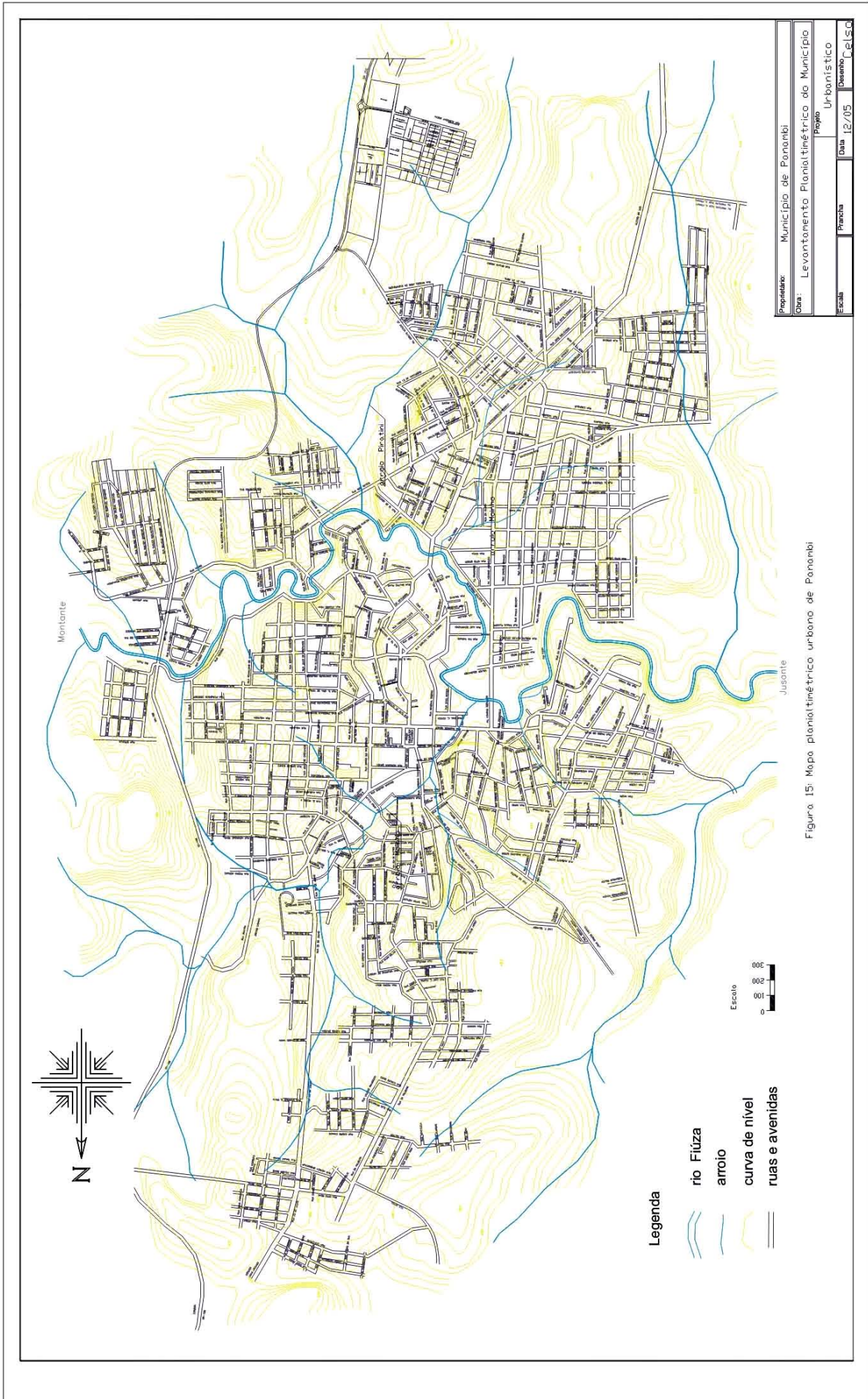
A cota do rio a montante da extremidade leste do perímetro urbano é de 390,30 metros e a jusante na extremidade oeste é de 389,30 metros, como a extensão do rio no perímetro urbano é de 8,35 km, há uma inclinação de 0,00014 m/m. Para a obtenção destes dados, foram executados levantamentos topográficos. Quanto à declividade da nascente a foz, essa corresponde a 0,0027 m/m.

4.1.4 Área da bacia hidrográfica

Para o dimensionamento da área total da bacia hidrográfica, foi utilizado o mapa em escala 1/50.000 do local, elaborado pelo departamento de recursos hídricos. A área total da bacia hidrográfica do rio Fiúza é de 325,48 km², mas a área em estudo que influencia a drenagem urbana no município é de 248,68 km². A diferença existente de 76,8 km², fica a jusante da área em estudo, não influenciando diretamente na drenagem urbana de Panambi.

4.1.5 Microbacias na área urbana

O perímetro urbano é dividido pelo rio Fiúza no sentido leste-oeste, já no sentido norte-sul são os afluentes que formam as microbacias dos arroios Moinho, Alagoas e Piratini, dividem a cidade no sentido norte-sul. O mapa da hidrologia da bacia no perímetro urbano encontra-se na Figura 15.



4.1.6 Perfil transversal do rio Fiúza

Foram executados levantamentos topográficos ao longo do Rio. Na área em estudo o mesmo possui uma largura média entre as margens de 18,70 metros, já a altura média do nível de água é de 1,20 m, resultados esses verificados nos meses de novembro e dezembro de 2005, quando as precipitações estavam abaixo da média anual. O detalhamento do corte transversal do arroio encontra-se na Figura 16.

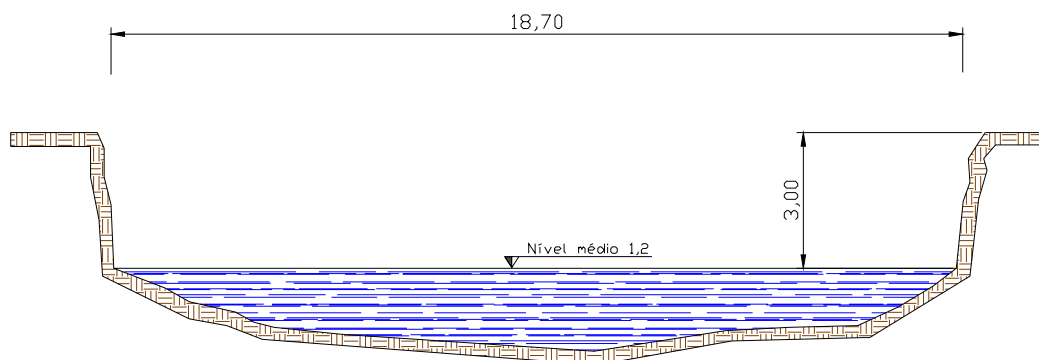


Figura 16 – Perfil transversal do rio Fiúza

4.1.7 Característica da rede de drenagem

O sistema de drenagem é composto pelo rio principal e seus afluentes, classificados como perenes, pois possuem escoamento durante todo o ano. Na área urbana, além do rio Fiúza, contribuem na drenagem os arroios Alagoas, do Moinho e Piratini.

4.1.8 Características físicas da bacia

O Quadro 1, apresenta as características físicas da bacia hidrográfica do rio Fiúza, onde pode ser observados os fatores que influenciam na macrodrenagem urbana.

Área total da bacia	325,48 km ²
Área a montante da área de estudo	248,68 km ²
Perímetro da bacia	224,00 km
Coefficiente de compacidade	3,47
Fator de forma	0,057
Sinuosidade do curso d'água	13,7
Densidade de drenagem	0,58 km/km ²
Extensão média do escoamento superficial	0,42 km
Elevação máxima	542,00 m
Elevação mínima	318,00 m
Declividade média da bacia	0,0029 m/m
Tempo de concentração	633 min
Velocidade média no perímetro urbano	0,23 m/s
Vazão média	51.612,0 L/s
Comprimento do rio Fiúza	75,20 km

Quadro 1 – Características Físicas da bacia

Analisando as características físicas da bacia hidrográficas, podemos verificar os fatores que influenciam diretamente nas enchentes. A densidade de drenagem que relaciona a área da bacia 325,48 km² e a extensão de todos os cursos d'água 190 km. É considerada baixa 0,58 km/km², portanto pouco drenada. Juntamente com a velocidade média no perímetro urbano de 0,23 m/s, que reduz o escoamento e conseqüentemente a vazão do rio, com isto aumentando o tempo de concentração da água na bacia.

O formato irregular da bacia, pode ser observado pelo fator de forma 0,057 e o coeficiente de compacidade 3,47 demonstrando que a bacia é estreita na sua largura e comprida, estes fatores são favoráveis, pois reduzem os riscos de enchentes, já que as chuvas intensas dificilmente ocorrem em toda a bacia, devido a extensão de 75,2 km entre a nascente no município de Santa Barbará do Sul e a foz do rio Fiúza no município de Panambi.

4.2 Tipologia de uso e ocupação do solo

A bacia hidrológica se caracteriza por áreas distintas. Para quantificar o uso e a ocupação do solo, foram coletadas informações da Secretaria de Desenvolvimento da cidade de Panambi e da Emater, os resultados estão no Quadro 2.

Uso e Ocupação	Área (ha)
Urbanização	4.900,00
Pastagem	3.258,00
Agricultura	17.659,88
Mata ciliar	1.627,40
Mata nativa	4.556,72
Espelho de água	550,00

Quadro 02 – Uso e ocupação do solo
Fonte: Secretaria de Desenvolvimento de Panambi

No Quadro 2, correspondente ao uso e ocupação do solo, pode-se observar que a mata ciliar e a mata nativa, principais responsáveis pela interceptação da chuva e importantes na preservação do solo, evitando a erosão e o assoreamento dos arroios e do rio, corresponde a apenas 6.184,12 ha. Sendo predominante a área agrícola. Identifica-se também a região urbanizada com uma área de 4.900 ha principal responsável pela impermeabilização do solo e aumento do escoamento superficial e conseqüentemente aumentando o pico da cheia.

4.2.1 Geomorfologia da área

A geomorfologia da área em estudo está localizada na região Planalto das Missões, apresenta seu substrato rochoso basáltico, característico da formação da Serra Geral.

4.2.2 Ensaios e características do solo

Foram realizados ensaios de permeabilidade do solo, em oito diferentes pontos da cidade, embasados pelas normas NBR 13967/97 e NBR 7229/93.

O solo da localidade é uma função de diversos fatores, sendo que o material oriundo do derrame de lava basáltica passou por transformações devido ao clima, ao relevo e ao tempo, originando um solo residual, inorgânico, proveniente da alteração de rochas basálticas que formam o seu substrato rochoso, textura siltico-argilosa, com plasticidade moderada, aparência pouco úmida e coloração avermelhada escura. Segundo o Sistema Unificado de Classificação do Solo (SUCS), corresponde às argilas inorgânicas.

4.2.3 Coeficiente de permeabilidade

O coeficiente de infiltração do solo corresponde a 50 L.m²/dia, sendo que os ensaios foram realizados a uma profundidade que variou entre dois e três metros, na periferia do município, nos bairros Arco Íris, Pavão, Nossa Senhora de Fátima, Planalto, Erica, Zona Norte, Medianeira e São Jorge. Foram realizados 4 ensaios de permeabilidade do solo em cada localidade anteriormente citada.

4.3 Monitoramento do nível da água no Rio

Foi instalada uma régua métrica, na confluência do rio Fiúza com o arroio do Moinho, com a finalidade de verificar o impacto das chuvas no rio. O monitoramento ocorreu com medições executadas a cada 24 horas. As medições podem ser verificadas na figura 17, relação da precipitação e vazão do rio.

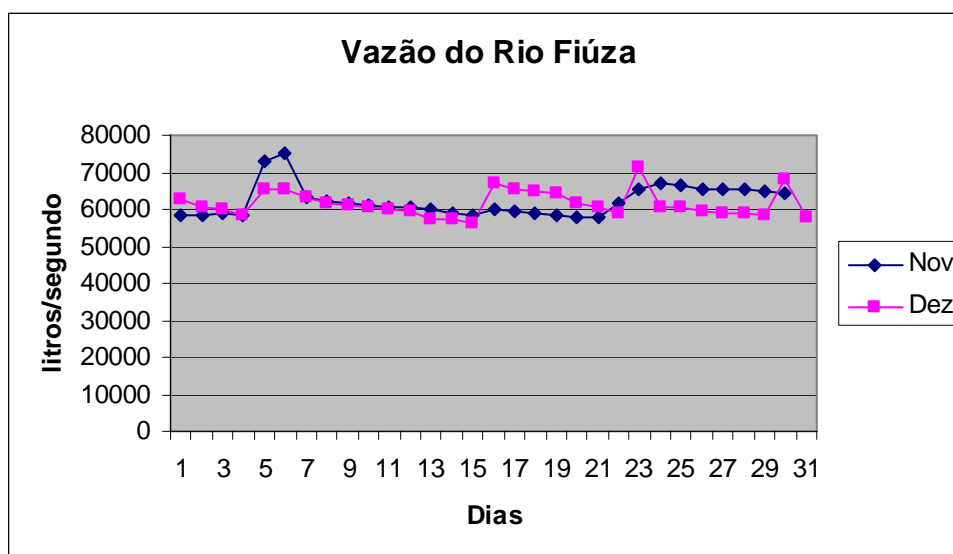


Figura 17 – Gráfico das Vazões

4.4 Índice pluviométrico

Foram executadas pesquisas para a obtenção dos índices de precipitações ocorridas durante os últimos 17 anos, demonstrados no Anexo 1. No período estão as médias do volume de chuvas mensais e anuais. Foram também coletados os índices de chuvas diárias entre 3 de outubro de 2005 e o dia 31 de dezembro de 2005.

Os índices precipitados durante o período foram coletados através de pluviômetro, instalado numa unidade de armazenamento da Cooperativa Triticola Panambi, situada no Bairro Arco-Íris, sendo que as medições ocorrem a cada 24 horas. O Anexo 2 mostra o índice de chuvas ocorridas no período analisado.

4.5 Temperatura

Através da estação meteorológica do Grupo Fockink, as temperaturas do período foram medidas e acompanhadas diariamente às 24 horas do dia e podem ser encontradas no site www.fockink.ind.br. A temperatura influencia diretamente, sendo a energia térmica a responsável por movimentar o ciclo hidrológico. Estão representadas no figura 18.

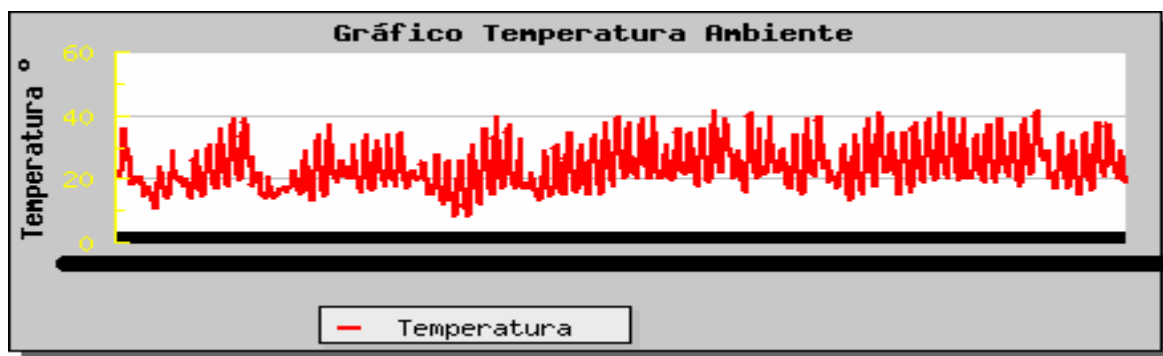


Figura 18 – Gráfico da Temperaturas em Panambi entre 10/2005 a 12/2005

4.6 Locais atingidos pela enchente

Para identificar os locais atingidos pelas enchentes, foram realizadas visitas aos locais atingidos pelas inundações em anos anteriores. A população ribeirinha passou informações dos níveis e localidades que o rio ocupou com seu leito maior, sendo que na Av. 7 de Setembro esquina com a Rua Paissandu a enchente chegou a cota 400,20 m..

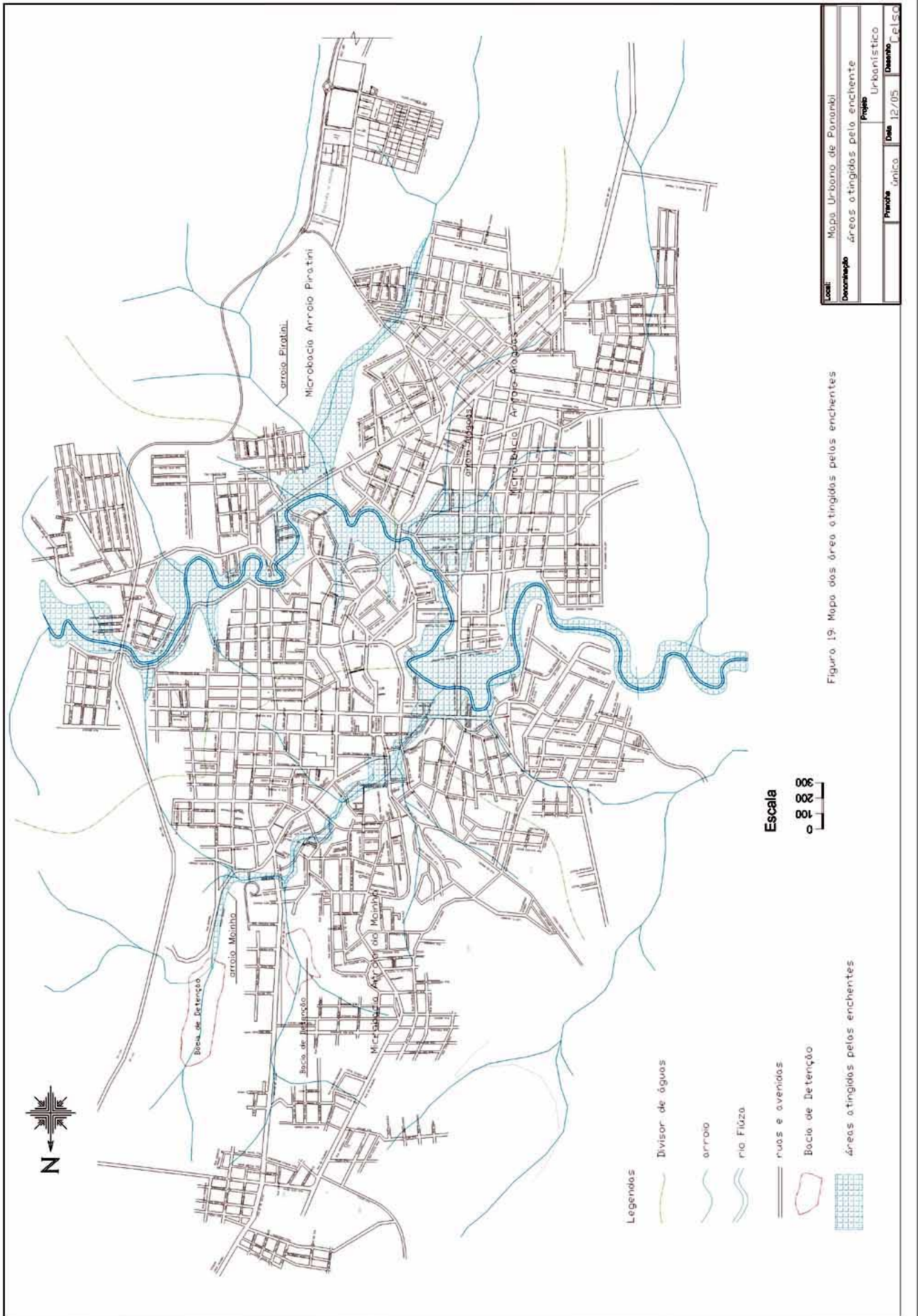


Figura 19. Mapa dos área atingidos pelos enchentes

Com as informações obtidas da população ribeirinha, juntamente com fotos tiradas dos locais atingidos e arquivo de imagens gravadas no dia 28 de maio de 1992, foi possível determinar as áreas de risco de enchentes.

A delimitação das áreas de risco de enchentes foi definida em planta urbanística planialtimétrica, conforme o demonstra a Figura 19. O mapeamento foi possível após a vistoria dos locais historicamente atingidos pelas enchentes, os moradores foram entrevistados e informaram o nível que a enchente atingiu. Com o mapeamento da área, foi possível planejar medidas de evacuação dos locais atingidos, bem como planejar o crescimento urbano e estudar medidas de relocação das edificações existentes no local da área alagável.

4.7 Defesa civil

No município, a defesa civil existe em forma de conselho, os membros participam de forma voluntária e sem remuneração. Composto por diversos segmentos da sociedade, representantes da administração municipal, representantes das empresas que compõem a comissão interna de prevenção de acidentes (CIPA), Associação Comercial e Industrial, Corpo de Bombeiros, dentre outros voluntários.

Durante as enchentes, é o corpo de bombeiros que socorre os desabrigados, juntamente com o poder público e a defesa civil. O tenente Airton Simom, comandante do pelotão local e membro da defesa civil, relatou as dificuldades encontradas e destacou as enchentes dos anos de 1982 e 1992 como as maiores que ocorreram, embora tenha ocorrido outras de menor intensidade. O número de desabrigados foi respectivamente de 350 famílias e 680 famílias.

O referido tenente demonstrou preocupação com o crescimento urbano da cidade e da ocupação das áreas sujeitas as inundações. Destacou que várias moradias atingidas foram relocadas para áreas seguras, entretanto, o lote atingido atualmente está ocupado por outra família. Sugeriu que se criasse um sistema que impedisse a transferência do lote, através dos cartórios de registro de imóveis e do cadastro imobiliário municipal, proibindo a construção nesses locais.

O tenente Simon relatou ainda a falta de um plano de evacuação em casos de emergência, bem como a falta de informações meteorológicas na época, para se prever as inundações e os efeitos. Relatou que as informações meteorológicas evoluíram muito e hoje já estão disponíveis em vários endereços eletrônicos facilitando o planejamento de ações preventivas.

A defesa civil, além de auxiliar no socorro às vítimas durante o sinistro, também pode auxiliar com doações de medicamentos, alimentos, materiais de construção, dentre outros materiais, pois em nível estadual e federal existem dotações orçamentárias específicas para este fim. Para obtê-las, o governo municipal deverá decretar estado de emergência ou calamidade pública dependendo da gravidade da situação.

4.8 Medidas para controle das enchentes

Após conhecer os impactos que os fenômenos hidrológicos causam na bacia hidrográfica do rio Fiúza e mais especificamente na área urbanizada do município de Panambi, pode-se fazer uma análise da situação existente e adotar medidas que visem reduzir o impacto das enchentes no município.

4.8.1 Barragens de contenção

O município possui uma topografia irregular, em pequenas distâncias a grandes inclinações do terreno, vales que podem ser aproveitados para a construção de barragens de contenção. O que pode ser observado na planta altimétrica do município, Figura 15. No arroio do Moinho foram previstas duas barragens, locadas em planta.

Atualmente, no local onde estão previstas as barragens de contenção, as áreas não estão urbanizadas o que facilita a viabilidade do empreendimento. Os locais poderão ser desapropriados pelo município e destinados a recreação através de parques.

A inclinação dos afluentes é muito maior que a inclinação do rio principal. Como a inclinação influencia diretamente na velocidade de escoamento, reduzindo o tempo de concentração da água nas microbacias que compõem o aquífero, as barragens de contenção aumentam o tempo de concentração nas microbacias reduzindo o pico da enchente.

As barragens poderão ser construídas com o solo do local ou das proximidades, revestidas com vegetação do tipo grama, evitando erosão da taipa da barragem. As Figuras 20 e 21 demonstram os locais onde será executado o projeto. As barragens terão a função de reter o excesso de volume precipitado, reduzindo a quantidade de água escoada pelo afluente na região sul da cidade, que frequentemente é atingida pelas inundações do arroio do Moinho. A execução do projeto conseqüentemente diminuirá o volume de água no rio Fiúza.



Figura 20 -Local da barragem de contenção proximidades da Rua 25 de Julho



Figura 21 - Local da barragem de contenção proximidades da Rua Iriapiria

Além de reduzir o pico da enchente, as barragens de contenção reduzem o transporte de resíduos, diminuindo sensivelmente o assoreamento do rio.

4.8.2 Limpeza dos canais

Os canais que compõem a bacia hidrográfica deverão ser mantidos limpos, a vegetação existente no leito e lateral dos canais deverá ser cortada freqüentemente, pois além de diminuir a seção do canal, o atrito provocado entre a vegetação e o fluido reduzem a vazão. Nas Figuras 22 e 23, pode-se verificar a falta de limpeza no arroio Alagoas, com assoreamento e crescimento da vegetação no leito do mesmo.



Figura 22 - Assoreamento do arroio Alagoas



Figura 23 - Assoreamento do arroio Alagoas

4.8.3 Drenagem

Para aprovação dos novos loteamentos, além do projeto urbanístico o loteador deveria apresentar o projeto de drenagem, sendo que o novo empreendimento não poderia transferir para jusante o aumento da vazão devido à impermeabilização do solo.

Atualmente os projetos são vistos de uma maneira pontual, exemplo disso é o arroio Alagoas, inicialmente o trecho a montante é canalizado com canal executado em concreto tendo uma largura de 2,2 metros de largura e 1,5 metros de altura, portanto, possui uma área de 3,3 m². Posteriormente, o trecho canalizado é composto por 2 tubos de \varnothing 1,0 metro, reduzindo área para 1,57 m². No terceiro trecho, o arroio não possui canalização, o canal está assoreado e recoberto por vegetação. No quarto trecho é canalizado com 1 tubo de \varnothing 1 m, que possui uma área interna de 0,785 m². Finalmente, no último trecho, próximo à foz, é canalizado com 2 tubos de concreto com \varnothing 1,0 m. Na seqüência as Figuras 24, 25 e 26 ilustram o trecho descrito.



Figura 24 - Trecho 1 arroio Alagoas



Figura 25 – Trecho 2 arroio Alagoas



Figura 26 – Trecho 3 - arroio Alagoas

4.8.4 Reservatórios subterrâneos

No mapa da enchente, Figura 19, pode-se observar o bairro Erica onde as inundações ocorrem freqüentemente, devido a pouca declividade entre o nível do aquífero e a região urbanizada. A urbanização do local ocorreu em área onde existia um banhado. Nessas áreas já urbanizadas os reservatórios poderão ser subterrâneos, construídos embaixo do passeio público, conforme detalhe na Figura 27.

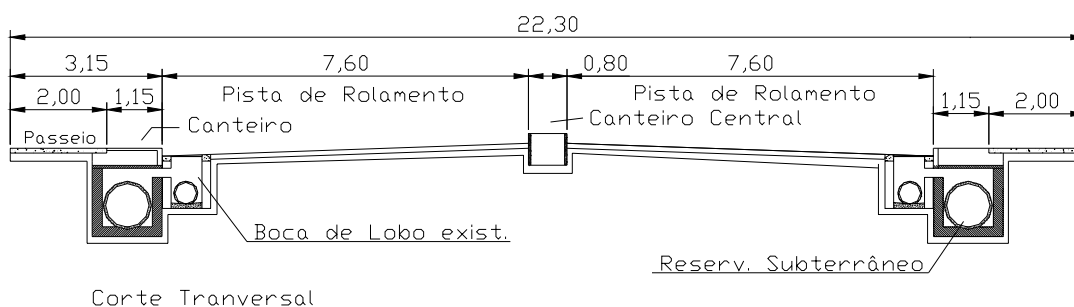


Figura 27 – Reservatório subterrâneo Av. Konrad Adenauer

As edificações deveriam possuir reservatório (sisternas) dentro do lote, que permitisse que as águas provenientes do telhado fossem armazenadas e drenadas para o solo ou ocupadas

para limpeza de calçadas e lavagem de carros, evitando que fossem diretamente para a canalização pluvial.

4.8.5 Pavimentação

Responsável por grandes áreas de impermeabilização do solo no município, os estacionamentos deveriam ser construídos com pavimento poroso, pois esse revestimento permite que a precipitação infiltre-se no solo, reduzindo o volume escoado.

O pavimento poroso além dos estacionamentos, pode ser utilizado em ruas de pouco tráfego, que não exijam grande capacidade suporte, aumentando a infiltração e reduzindo o escoamento superficial, diminuindo o volume de água transportado pela canalização pluvial.

4.8.6 Medidas não-estruturais

A cidade deveria possuir um plano diretor de drenagem urbana, para disciplinar e orientar os atuais e futuros empreendimentos, contendo as informações essenciais para o dimensionamento da drenagem urbana. Além disso, informações como mapeamento das áreas de risco, níveis das enchentes, mapeamento geológico, índices de chuvas, hidrologia urbana, simulação do comportamento hidrológico da bacia.

O plano diretor deveria ser amplamente divulgado, integrando a comunidade no respeito à natureza, suas causas e conseqüências do mau uso do solo, ocupação das áreas ribeirinhas, tratamento de efluentes e resíduos sólidos e preservação da mata nativa e mata ciliar.

As edificações das áreas atingidas pelas enchentes deveriam ser construídas com material impermeável e aumentar a fiscalização nas áreas ribeirinhas, evitando assim as construções irregulares.

Outra medida importante seria o planejamento para evacuar as áreas em caso de inundação, com definição prévia do local para onde as pessoas serão transferidas. Os materiais e equipamentos, que possam ajudar no socorro às vítimas deveriam ser cadastrados, informando o local e o proprietário do equipamento.

5 CONCLUSÃO

5.1 Conclusões do trabalho

O planejamento de uma cidade depende de vários fatores, dentre eles a hidrologia e o estudo dos processos que estão interligados à drenagem urbana, fundamental no processo de urbanização das cidades.

Com a caracterização da bacia hidrográfica foi possível detectar os fatores principais que influenciam nas enchentes. A bacia é considerada pouco drenada indicada pela densidade de drenagem $0,58 \text{ km/km}^2$ e possui uma baixa velocidade de escoamento $0,23 \text{ m/s}$ o que reduz a capacidade de vazão nos momentos de chuvas intensas, conseqüentemente aumentando o risco de enchentes. Entretanto o formato alongado da bacia, ajuda no combate as enchentes, pois as chuvas dificilmente ocorrem com a mesma intensidade em toda a área da bacia.

A urbanização da cidade aumentou a impermeabilização do solo e reduziu a cobertura vegetal, ampliado o escoamento superficial, conseqüentemente a velocidade da água e o aumento da vazão dos arroios e do rio Fiúza. Isso gera um problema de alocação de espaço, devido ao volume ocupado pela água durante uma precipitação intensa, cabendo à drenagem urbana encontrar o lugar para as águas da chuva, sem transferir o problema para jusante.

Para minimizar o problema das inundações no perímetro urbano da cidade, foram apontadas medidas estruturais como barragens de amortecimento e reservatórios subterrâneos, onde a água ficará depositada temporariamente, reduzindo o pico da cheia. Já as medidas não-estruturais baseiam-se em planejamento urbano, onde estão previstos os riscos da inundação, entretanto, as medidas preventivas minimizam os prejuízos.

Para combater as inundações é importante recompor a cobertura vegetal, reduzir os impactos gerados pela urbanização da cidade e evitar erros de planejamento na drenagem urbana, encontrando o caminho para as águas das chuvas, sem causar transtornos à população.

Conclui-se que a urbanização tem causado intensas alterações na natureza, dentre elas as enchentes urbanas. O presente estudo de caso é um projeto que visa reduzir o impacto gerado pela urbanização na bacia hidrográfica do rio Fiúza na cidade de Panambi, diminuindo os riscos de enchentes no município.

Finalmente, cabe dizer que a preservação da vida depende de um esforço de todos. Muitos erros foram cometidos no passado, alguns deles continuamos a cometer no presente, mas a aprendizagem e a evolução fazem parte de nossa história, para um crescimento harmônico e sustentável, respeitando os limites da natureza.

5.2 Recomendações para trabalhos futuros

Após o estudo de fatores hidrológicos da bacia do rio Fiúza, com as conseqüência na drenagem urbana da cidade de Panambi, recomenda-se a continuidade no estudo da microdrenagem urbana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Características da População.** Disponível no www.ibge.gov.br Acesso em 15 de setembro de 2005.
- Gráfico de Temperatura em Panambi - Eletrônica Grupo Fockink.** Disponível em <http://eletronica.fockink.ind.br>. Acesso em 31 de dezembro de 2005.
- LOPES, Rodrigo. **Katrina entre a dor e a resignação.** Zero Hora, Porto Alegre, 04 de setembro de 2005. Mundo, p.34.
- PINTO Nelson L. de Souza , *et al*, **Hidrologia Básica.** Editora Edgar Blücher Ltda. 6.^a Edição, São Paulo, 1998.
- PORTO, Rubem L. L., **Escoamento superficial direto.** In Drenagem Urbana. Cap. 4, Editora da Universidade. Porto Alegre 1995.
- SILVEIRA, André L.L., **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica.** In Hidrologia Ciência e Aplicação. Cap 2, Editora UFRGS. Porto Alegre, 2004
- TUCCI, Carlos E. M., PORTO, Rubem L. L., BARROS, Mario T., **Drenagem Urbana.** Editora da Universidade. 1.^a Edição, Porto Alegre, 1995.
- TUCCI, Carlos E. M., *et al*, **Hidrologia Ciência e Aplicação.** Editora UFRGS. 3.^a Edição, Porto Alegre, 2004.
- TUCCI, Carlos E. M., **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica.** In Hidrologia Ciência e Aplicação. Cap 2, Editora UFRGS. Porto Alegre, 2004.

BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

Aquecimento Global. Disponível www.centroclima.org.br. Acesso em 30 de agosto de 2005.

Enchentes, desafio urbano. Disponível no www.confex.org.br. Acesso em 19 de agosto de 2005.

Organização Mundial Meteorológica Disponível no www.omm.org.br Acesso em 29 de agosto de 2005.

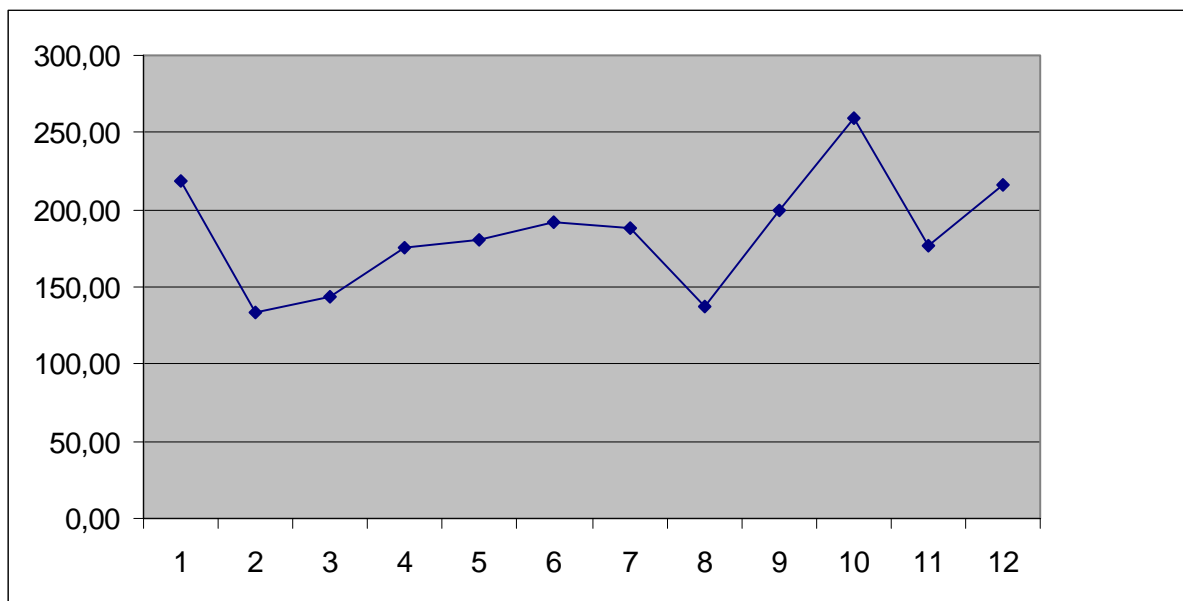
ANEXOS

ANEXO 1

Histórico das precipitações 1997-2005

Anos	Jan.	Fev	Mar	Abril	Mai	Junho	Julho	Ago	Set	Out.	Nov.	Dez
1989	312	79	110	149	38	159	159	238	442	160	138	194
1990	249	62	237	377	302	251	251	69	311	270	327	178
1991	90	38	60	156	31	340	340	20	78	169	308	178
1992	134	263	144	137	522	191	191	156	189	209	179	154
1993	301	69	181	91	220	164	164	28	139	220	314	220
1994	142	333	87	203	291	179	179	63	156	261	103	230
1995	195	110	103	38	25	140	140	72	120	218	70	212
1996	370	191	96	115	57	164	164	219	78	265	64	193
1997	150	154	40	74	116	160	160	281	219	180	160	210
1998	218	314	107	176	221	125	125	303	201	218	17	271
1999	123	123	112	228	183	157	157	27	248	268	70	130
2000	302	70	275	80	137	349	349	123	129	458	169	206
2001	389	105	212	192	119	85	85	60	282	193	158	108
2002	226	48	314	214	286	288	288	288	350	444	268	418
2003	225	203	182	200	34	160	160	55	101	283	301	577
2004	117	83	56	215	181	175	175	70	185	204	229	102
2005	175	21	136	333	315	173	106	254	173	399	122	100
Médias	218,71	133,29	144,2	175,18	181,06	191,76	187,82	136,82	200,06	259,94	176,29	216,53

Gráfico das médias das chuvas - período analisado 17 anos



ANEXO 2

Precipitações diárias 2003-2005

Índice de chuvas 2003

MÊS/DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAL	
JANEIRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	82	0	0	0	0	17	4	0	0	0	45	0	71	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	225
FEVEREIRO	0	0	0	0	2	3	16	12	19	5	2	10	0	0	0	40	0	0	71	7	0	12	2	2	0	0	0	0	0	-	-	-	203
MARÇO	9	0	0	0	0	15	37	0	3	5	10	12	0	0	26	12	0	0	0	28	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	182	
ABRIL	0	0	46	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	4	0	0	30	38	38	0	200	
MAIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	
JUNHO	0	37	0	1	17	0	0	0	0	3	0	0	2	0	0	50	30	0	3	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	160	
JULHO	0	0	0	0	16	0	0	40	0	0	0	0	0	11	34	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	133	
AGOSTO	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	0	0	0	0	0	0	0	23	10	0	0	0	0	0	0	0	55	
SETEMBRO	0	0	0	0	0	0	60	8	4	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	14	2	0	7	0	0	0	0	1	0	0	101		
OUTUBRO	0	1	0	12	12	0	0	52	0	1	0	0	0	0	0	0	0	15	30	20	0	0	0	0	105	3	0	0	0	0	32	283	
NOVEMBRO	11	0	0	0	8	3	0	0	0	0	0	35	0	0	0	55	40	2	0	0	0	0	22	80	0	45	0	0	0	0	301		
DEZEMBRO	0	0	0	65	0	0	0	8	0	0	92	0	11	203	92	0	0	0	0	62	0	40	0	0	0	0	0	0	4	0	577		
																																TOTAL GERAL	2.454

Índice de chuvas 2004

MÊS/DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAL	
JANEIRO	0	0	0	0	0	40	20	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	18	11	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	117	
FEVEREIRO	3	0	0	48	27	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83	
MARÇO	0	18	0	0	0	0	2	11	0	0	0	23	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56	
ABRIL	0	44	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	5	15	0	37	0	0	7	48	0	0	0	0	0	28	12	0	215		
MAIO	0	0	4	0	0	24	39	0	0	0	20	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	15	58	10	4	0	0	0	0	0	181		
JUNHO	0	0	0	0	0	0	0	20	0	73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	0	0	10	5	0	0	30	0	175	
JULHO	0	0	60	0	0	0	37	0	0	0	0	0	0	23	20	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	26	4	0	173		
AGOSTO	3	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	6	0	0	0	8	30	0	0	0	70		
SETEMBRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	26	12	0	0	0	0	0	0	30	3	39	2	0	0	12	17	12	0	0	185		
OUTUBRO	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	32	2	0	0	65	0	3	0	0	0	0	73	3	0	0	0	0	20	0	204		
NOVEMBRO	0	0	37	3	41	0	0	4	64	7	24	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	0	0	0	0	229		
DEZEMBRO	0	0	0	0	0	79	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	102		
																																TOTAL GERAL	1.790

Índice de chuvas 2005

MÊS/DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAL	
JANEIRO	0	9	0	10	0	0	0	18	35	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	9	5	0	0	0	0	0	48	6	0	175	
FEVEREIRO	2	0	0	0	0	0	0	0	0	16	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	21	
MARÇO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	45	0	6	0	0	0	0	0	0	4	23	0	0	0	0	0	0	0	23	0	136	
ABRIL	110	22	7	1	0	2	30	44	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	30	0	0	0	0	65	0	0	0	0	18	0	0	333	
MAIO	0	0	0	0	0	37	14	2	15	0	13	0	0	10	0	0	110	72	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	315	
JUNHO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	118	13	117	6	77	22	21	0	8	0	0	0	0	0	9	0	25	0	0	0	0	416	
JULHO	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	9	1	0	0	0	51	2	0	0	0	0	0	0	0	0	106		
AGOSTO	0	0	0	0	0	0	42	5	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	90	3	0	25	0	0	0	0	0	63	3	11	254	
SETEMBRO	8	0	0	4	0	0	0	0	0	50	0	0	0	34	0	0	0	2	0	0	0	0	20	26	0	0	0	0	18	11	0	173	
OUTUBRO	0	0	50	96	1	0	3	0	0	0	0	0	15	29	42	74	0	0	0	0	10	0	0	22	0	0	52	5	0	0	399		
NOVEMBRO	0	0	3	2	38	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2	0	0	0	0	12	25	17	0	0	0	0	4	0	122		
DEZEMBRO	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	1	0	0	0	50	0	0	0	0	0	45	2	147		
																																TOTAL GERAL	2.597

