



PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO (REVISÃO)
**Referente à Prestação dos Serviços de Abastecimento de Água,
de Esgotamento Sanitário e Drenagem e Manejo de Águas
Pluviais Urbanas de São Pedro Do Iguaçu/PR**



ETAPA 3

**Prognósticos e alternativas para a universalização, condicionantes, diretrizes,
objetivos e metas do Sistemas de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas**

Novembro/2017



PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PEDRO DO IGUAÇU (PR)

Rua Niterói, n.º 121
CEP.: 85.929-000 – São Pedro do Iguaçu (PR)
Tel.: (45) 3255-8000
Website: www.saopedridoiguacu.pr.gov.br

Francisco Dantas de Souza Neto
Prefeito Municipal

PORTARIA n.º 057 de 13 de março de 2017
(Comitê Gestor Municipal)

Eder Frigotto

Secretário Municipal de Agricultura e Gestão Ambiental

Eliane Ovidio Sakai

Secretária Municipal de Educação, Cultura e Esportes

Liomar Porfirio dos Santos Silva

Secretaria Municipal de Educação, Cultura e Esportes

Rodrigo Kolling

Secretaria Municipal de Administração e Planejamento

Carlos Eduardo de Oliveira

Secretaria Municipal de Administração e Planejamento

Luci Marcio Bravo

Secretaria Municipal de Obras e Urbanismo

SUMÁRIO

SUMÁRIO	3
LISTA DE FIGURAS.....	4
LISTA DE QUADROS	6
LISTA DE TABELAS.....	7
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	8
APRESENTAÇÃO.....	9
1. INTRODUÇÃO	10
2. CENÁRIOS.....	11
3. PROGNÓSTICOS E ALTERNATIVAS PARA A UNIVERSALIZAÇÃO DOS SERVIÇOS DE SANEAMENTO BÁSICO. OBJETIVOS E METAS	16
3.1. INTRODUÇÃO	16
3.2. MECANISMOS DE ARTICULAÇÃO E INTEGRAÇÃO DE POLÍTICAS, PROGRAMAS E PROJETOS DE SANEAMENTO BÁSICO COM OUTROS SETORES CORRELACIONADOS	18
3.2.1. <i>Saúde</i>	18
3.2.2. <i>Habitação</i>	18
3.2.3. <i>Meio Ambiente</i>	18
3.2.4. <i>Recursos Hídricos</i>	19
3.2.5. <i>Educação</i>	19
3.3. CONSTRUÇÃO DOS CENÁRIOS PARA O SISTEMA DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS.....	19
3.3.1. <i>PLANSAB</i>	19
3.3.2. <i>Milograna, J (2009)</i>	20
3.3.3. <i>Plano de Saneamento (2013)</i>	21
3.3.4. <i>Cenário Proposto</i>	21
3.3.4.1. <i>Hidrologia</i>	26
3.3.4.2. <i>Microdrenagem</i>	26
3.3.4.3. <i>Macrodrenagem</i>	37
3.3.4.4. <i>Gestão do Sistema</i>	77
3.4. RECURSOS NECESSÁRIOS DOS INVESTIMENTOS E AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE E DAS ALTERNATIVAS PARA A SUSTENTAÇÃO ECONÔMICA DA GESTÃO E DE PRESTAÇÃO DOS SERVIÇOS CONFORME OBJETIVOS DO PLANO. CAPACIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DO MUNICÍPIO, DOS PRESTADORES DE SERVIÇO E DA POPULAÇÃO.....	78
3.5. FORMULAÇÃO DE MODELOS E ESTRATÉGIAS DE FINANCIAMENTO NECESSÁRIOS À UNIVERSALIZAÇÃO.	79
3.6. PROJEÇÃO DAS DEMANDAS POR SERVIÇOS	82
3.7. HIERARQUIZAÇÃO DAS ÁREAS DE INTERVENÇÃO PRIORITÁRIA	82
3.7.1. <i>Definição dos objetivos e metas – Forma gradual apoiados em indicadores</i>	82
3.8. MECANISMOS COMPLEMENTARES.....	86
3.8.1. <i>Compatibilização com as Políticas e o Plano Nacional e Estadual de Recursos Hídricos</i>	86
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema Geral da Metodologia para a Elaboração dos Cenários.	12
Figura 2 – Cenário Indutivo.....	13
Figura 3 – Cenário Dedutivo.....	14
Figura 4 - Cenário proposto para o sistema de drenagem de São Pedro do Iguaçu.	24
Figura 5 – Comparativo entre sistema de canalização e reservação.....	29
Figura 6 - Tipos de pavimentos porosos.	31
Figura 7 - Pavimentos Porosos.....	32
Figura 8 - Trincheira de Infiltração.....	32
Figura 9 - Valas de Infiltração.....	33
Figura 10 - Poço de Infiltração.	34
Figura 11 - Microrreservatório poroso enterrado.	34
Figura 12 - Tipos de Telhados Reservatórios.	35
Figura 13 - Bacia subterrânea.	35
Figura 14 - Aproveitamento de águas pluviais.....	36
Figura 15 - Lançamento 3 – bacia de detenção.	36
Figura 16 - Áreas de risco no Distrito de Luz Marina.	38
Figura 17 - Áreas de risco na Sede do município de São Pedro do Iguaçu.	39
Figura 18 – Estruturação das Medidas Convencionais e Não-Convencionais.	40
Figura 19 – Dissipador Bradley Peterka.	41
Figura 20 – Critérios de Dimensionamento.	41
Figura 21 – Dissipador MUNIR SAAB.....	44
Figura 22 – Bacia de Dissipação tipo Mergulho.	45
Figura 23 – Bacias de Dissipação.....	48
Figura 24 – Calhas com Blocos Dissipadores.	49
Figura 25 – Bacia de dissipação tipo SAF.	50
Figura 26 – Perfil de Uma Voçoroca Indicando a Aplicação de Várias Estruturas Permanentes.	50
Figura 27 – Vertedor de queda.	51
Figura 28 – Bacia de dissipação reta (planta e seção A-A).....	52
Figura 29 – Bacia de dissipação reta.....	53
Figura 30 – Projeto SUCEPAR – A.....	53
Figura 31 – Projeto SUCEPAR – A.....	54
Figura 32 – Projeto SUCEPAR – B.....	54
Figura 33 – Projeto SUCEPAR – B.....	55
Figura 34 – Projeto SUCEPAR – B.....	55
Figura 35 – Projeto SUCEPAR – B.....	55
Figura 36 – Esquema de montagem dos degraus com tubos – planta.....	56

Figura 37 – Degraus com tubos – esquema de montagem com fitas metálicas.	56
Figura 38 – Degrau com tubos – perfil longitudinal da voçoroca.	57
Figura 39 – Degrau com tubos – perfil transversal da voçoroca.	57
Figura 40 – Vista em planta do degrau com tubos.	58
Figura 41 – Muro de Arrimo com tubos e Bacia de Dissipação em Gabiões – Seção Transversal.	58
Figura 42 – Barragem com tubo.	59
Figura 43 – Cortinas-Diafragma no Perfil de uma Voçoroca.	59
Figura 44 – Cortinas-Diafragma – Seção Transversal da Voçoroca.	60
Figura 45 – Ancoragem da Estaca da Cortina-Diafragma.	60
Figura 46 – Dique de madeira.	61
Figura 47 – Dique de Madeira tipo caixa.	61
Figura 48 – Dique de Concreto-Celular e muro de arrimo com parede diafragma.	62
Figura 49 – Trincheira Armada – Peças Pré-fabricadas.	62
Figura 50 – Trincheira Armada.	63
Figura 51 – Prevenção à Erosão Urbana.	66
Figura 52 – Bacia de amortecimento em praças de esportes.	76
Figura 53 – Bacia de detenção em Porto Alegre.	77
Figura 54 – Modelagem da Viabilidade Econômica.	79
Figura 55 – Mapa de Alerta.	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Condicionantes, Deficiências e Potencialidades.....	22
Quadro 2 – Ameaças e Oportunidades do atual modelo de gestão.....	23
Quadro 3 - Vantagens e Desvantagens da Contenção na Fonte.	30
Quadro 4 - Lista das Medidas de Controle Básicas.	31
Quadro 5 - Classificação das voçorocas de São Pedro do Iguaçu.	38
Quadro 6 – Indicadores Drenagem e Manejo de Água Pluviais Urbanas.....	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Modelo Numérico para Ponderação das Ameaças.	24
Tabela 2 – Hidrologia.	25
Tabela 3 – Microdrenagem.	25
Tabela 4 – Macrodrenagem.	25
Tabela 5 – Gestão do Sistema.	25
Tabela 6 – Integração das alternativas.	26
Tabela 7 - Comprimento de rede de drenagem e vias urbanas (sede).	27
Tabela 8 - Comprimento de rede de drenagem e vias urbanas (Luz Marina).	27
Tabela 9 - Comprimento de rede de drenagem e vias urbanas (total).	28
Tabela 10 - Aplicabilidade de medidas de controle na fonte em relação as características locais.	37
Tabela 11 – Critérios de Dimensionamento: dimensões de concreto propostas.	41
Tabela 12 – Dimensões da bacia em função da vazão, diâmetro do conduto, para diversas dimensões da pedra de enrocamento para $P = D$	46
Tabela 13 – Dimensões da bacia em função da vazão, diâmetro do conduto, para diversas dimensões da pedra de enrocamento para $P = D + 0,50m$	47
Tabela 14 – Vazão de projeto para vertedouros de queda simples (m^3/s).	52
Tabela 15 – Classes de Solo.....	69
Tabela 16- Situação de Aptidão dos Solos.	70
Tabela 17 – Normas de Zoneamento e uso do solo urbano por classe de solo.	70
Tabela 18 – Situação de Apropriação e Modificação do Uso do Solo para Áreas Urbanas.....	71

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CEPMSB – Comissão de Elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico
FPTI – Fundação Parque Tecnológico Itaipu
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH – Índice de desenvolvimento humano
IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LNSB – Lei Nacional de Saneamento Básico
PLANSAB – Plano Nacional de Saneamento Básico
PMGIRS – Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PMS – Plano de Mobilização Social
PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico
PPA – Plano Plurianual
SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TR – Termo de Referência

APRESENTAÇÃO

Em atendimento ao que prescreve no Termo de Referência (TR), o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) de São Pedro do Iguaçu (PR) será composto das seguintes fases e etapas:

➤ **FASE I - Planejamento do Processo**

- Etapa 1 - Coordenação, participação social e comunicação

➤ **FASE II - Elaboração do PMSB**

- Etapa 2 - Diagnóstico da situação do saneamento básico
- Etapa 3 - Prognósticos e alternativas para a universalização, condicionantes, diretrizes, objetivos e metas
- Etapa 4 – Programas, projetos e ações
- Etapa 5 - Ações para emergências e contingências
- Etapa 6 - Mecanismos e procedimentos para a avaliação sistemática da eficiência, eficácia e efetividade das ações do PMSB

➤ **FASE III - Aprovação do PMSB**

- Etapa 7 - Aprovação do PMSB

O presente documento corresponde à **Etapa 3**, contendo os Prognósticos e Alternativas para a universalização, condicionantes, diretrizes, objetivos e metas do Sistemas de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas de **São Pedro do Iguaçu (PR)**.

1. INTRODUÇÃO

Esta etapa consiste na elaboração do Produto 03 (Prognósticos e Alternativas para a universalização, condicionantes, diretrizes, objetivos e metas dos Serviços de Saneamento Básico), envolve a formulação de estratégias para alcançar os objetivos, diretrizes e metas definidas para o Plano Municipal de Saneamento Básico, que é a universalização dos serviços de saneamento básico de qualidade à população, admitidas soluções graduais e progressivas, devendo-se prever tecnologias apropriadas à realidade local.

Também consiste na análise e seleção das alternativas de intervenção visando à melhoria das condições sanitárias em que vivem as populações urbanas e rurais.

Tais alternativas terão por base as carências atuais de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas levantadas anteriormente na etapa de diagnóstico. Essas carências devem ser projetadas a partir da análise de cenários alternativos de evolução das medidas mitigadoras que possam ser previstas no Plano Municipal de Saneamento Básico para o horizonte de projeto, 20 anos.

2. CENÁRIOS

A construção de cenários futuros é uma ferramenta importante para o planejamento e a tomada de decisões futuras apropriadas, ou seja, o estabelecimento de prognósticos. É importante ressaltar que a construção de cenários permite a integração das ações que atendam às questões financeiras, ambientais, sociais e tecnológicas, estabelecendo a percepção da evolução do presente para o futuro.

A geração dos cenários para o setor de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas permite antever um futuro incerto e como este futuro pode ser influenciado pelas decisões propostas no presente. Por isso, os cenários não são previsões, mas sim tendências alternativas do futuro que foram subsidiadas por um diagnóstico, conhecimento técnico, e demandas da comunidade expressas no processo construtivo do planejamento.

A técnica de planejamento baseada na construção de cenários é pouco conhecida no Brasil. Dos diversos planos municipais de Saneamento Básico, poucos deles abordam, mesmo que superficialmente, o tema.

Entretanto, o documento intitulado “Metodologia e Técnicas de Construção de Cenários Globais e Regionais” elaborado por Sérgio C. Buarque, em 2003, para o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, órgão vinculado ao Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão, fornece uma base teórica e fundamentos metodológicos práticos muito importantes, sendo utilizados como referência na construção de cenários futuros.

De acordo com a metodologia, estes cenários foram interpretados da seguinte maneira:

- Um cenário previsível, com os diversos atores setoriais agindo isoladamente e sem a implantação e/ou interferência do PMSB, e,
- Um cenário normativo, com o PMSB agindo como instrumento indutor de ações planejadas e integradas entre si.

A técnica de cenários baseia-se na prospecção e na projeção de ocorrências imprevisíveis e, tem como princípios básicos a intuição e o livre pensamento. Portanto, não é recomendável estabelecer uma metodologia rígida, com tabelas, gráficos e fórmulas que limitem a intuição e a divagação por mais absurda que possa parecer. Não existe uma única forma de delinear cenários devido às peculiaridades de cada atividade ou região.

Entretanto, é necessário que se estabeleça um roteiro (não obrigatório) que evite a dispersão de ideias e conduza ao objetivo pretendido. A figura a seguir apresenta, de forma sucinta, a metodologia adotada.

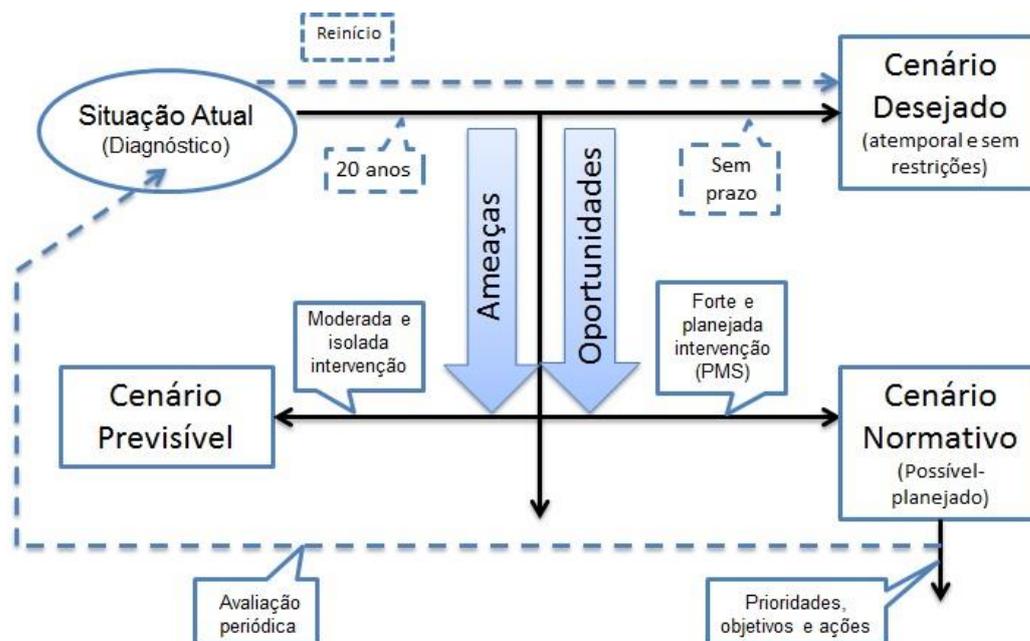


Figura 1 – Esquema Geral da Metodologia para a Elaboração dos Cenários.

Fonte: Habitat Ecológico, 2017.

Neste contexto pode-se resumir os seguintes cenários: (i) Desejado – O Município alcançará, no futuro (indefinido e utópico), o melhor índice de desenvolvimento humano (IDH) do país; (ii) Previsível – crescimento urbano mais controlado do que hoje, e (iii) Normativo – crescimento urbano ordenado.

Propõe-se o seguinte roteiro, num processo de aproximações sucessivas:

- a) elaboração do primeiro esboço do cenário desejado (ideias, desejos e utopias);
- b) listagem exaustiva e aleatória das ameaças, oportunidades e incertezas;
- c) análise da consistência, aglutinando semelhantes, identificando as mais críticas;
- d) formulação de esboço do cenário previsível (tendência) resultado das ameaças e incertezas;
- e) aponte de prioridades e objetivos que conduziram ao cenário normativo (possível e planejado);
- f) seleção de objetivos e ações prioritárias, e,
- g) reinício do processo quantas vezes forem necessárias.

Para a construção dos cenários, parte-se de um modelo mental (teórico) que interpreta as variáveis centrais e as interações entre elas, reduzindo-se a complexidade da realidade.

Constrói-se o cenário atual a partir do diagnóstico do sistema de gestão existente projetando-se para o futuro (20 anos), os cenários alternativos. Constroem-se assim, os cenários alternativos futuros, em função de visões prospectivas elaboradas.

A formulação de cenários consiste no exercício do livre pensamento, portanto, é necessário que não se perca o foco do principal objetivo contratual, que é a elaboração do PMSB. O excesso de preciosismo ou a abertura de um leque imenso de alternativas e participações poderá conduzir a um estudo ficcional, sem aplicação prática, que consumirá um tempo de formulação, discussão, e aprovação muito maior do que o requerido para elaborar o próprio PMSB, que é o objeto do presente contrato.

A construção de cenários dentro do PMSB deverá ser a mais objetiva possível, limitada a sua capacidade de intervenção, de forma a se tornar um instrumento eficaz de prevenção e remoção de obstáculos e, principalmente, no estabelecimento de prioridades.

Em tese, o futuro é uma construção social onde a população de uma determinada cidade ou região define o futuro desejado (ideal ou almejado). Porém, se os debates não forem direcionados para as questões realmente relevantes, a construção de cenários se dispersará em pequenos detalhes sem importância coletiva.

O processo inicia (em cada etapa) com uma relação aleatória de ideias, desejos, ameaças, oportunidades e incertezas, as quais vão sendo gradativamente organizadas, aglutinadas, excluídas e priorizadas – processo indutivo. Também poderá seguir o caminho inverso, partindo da síntese do futuro desejado, o qual vai sendo gradativamente detalhado – processo dedutivo.

Do documento elaborado por Sérgio C. Buarque para o IPEA, em 2003 (p.30), outro trecho explica com muita clareza a questão:

“[...] as metodologias de construção de cenários podem ser diferenciadas em dois grandes conjuntos distintos segundo o tratamento analítico: (a) Indutivo - os cenários emergem do particular para o geral e, se estruturam pelo agrupamento das hipóteses, formando blocos consistentes que expressam determinados futuros..., surgindo por si mesmos como resultado da organização dos eventos, sem uma definição apriorística do desenho do futuro; (b) Dedutivo -... saindo do geral e indo para o particular, por meio de uma descrição do estado futuro que traduza a natureza básica da realidade.”

As figuras a seguir, ilustram as metodologias de construção destes dois tipos de cenários.

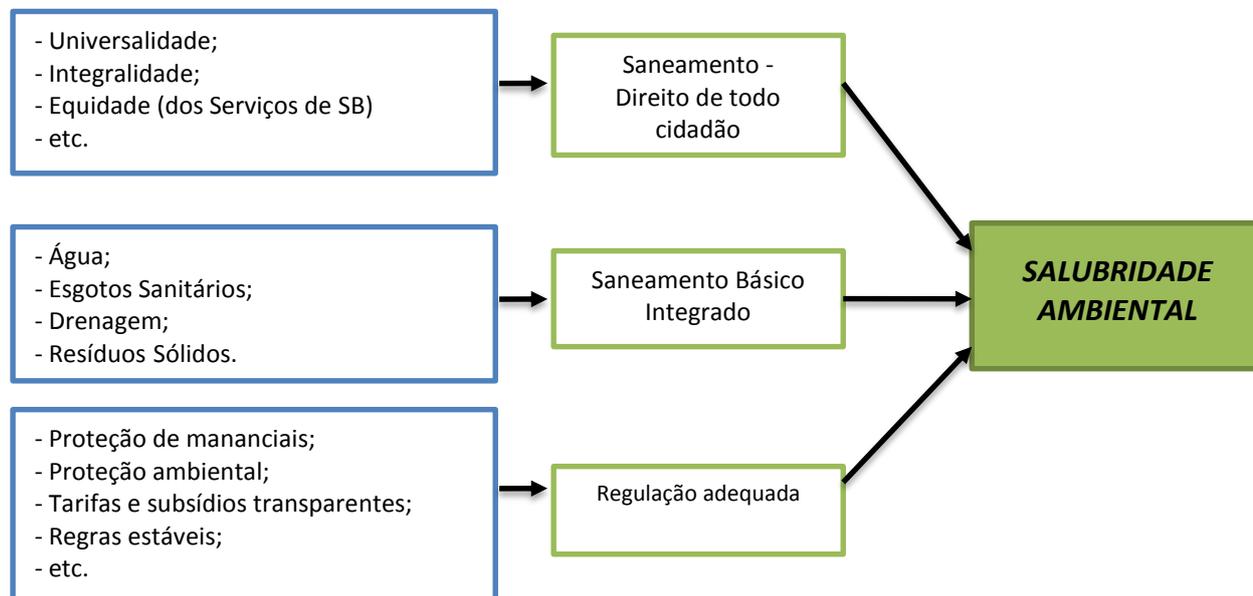


Figura 2 – Cenário Indutivo.
Fonte: Habitat Ecológico, 2017.

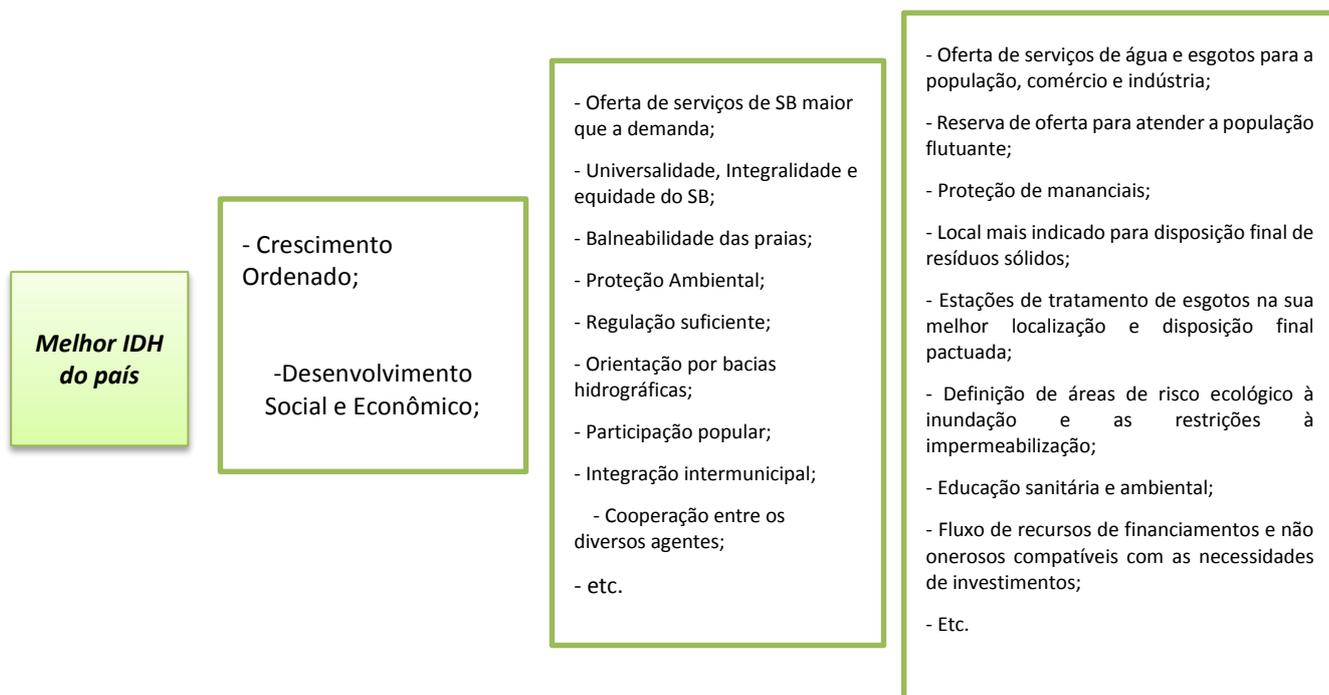


Figura 3 – Cenário Dedutivo.

Fonte: Habitat Ecológico, 2017.

Após o esboço do cenário desejado tem início a etapa mais importante, que consiste na identificação das ameaças e incertezas que poderão dificultar ou até impedir o alcance deste futuro desejado.

“A essência do trabalho de construção de cenários concentra-se, portanto, em dois grandes momentos fundamentais: a identificação das incertezas críticas e a formulação das hipóteses” (IPEA, 2003, p. 35).

Não basta elaborar uma lista detalhada de ameaças, é preciso compará-la com a lista de oportunidades (regulação existente, ações e projetos em andamento, recursos disponíveis ou contratados, alternativas já aprovadas pela população, etc.). Deste confronto surgirá uma lista depurada de ameaças ou incertezas aglutinando as semelhantes, eliminando as sem plausibilidade ou sem relevância. O passo seguinte define as mais críticas e relevantes, o que é feito através de matrizes ou tabelas, e a adoção de graus de avaliação. Sugerem-se três graus de relevância: A – alta, M – média e, B – baixa. A partir deste ponto será possível projetar os demais cenários, definir objetivos e prioridades.

Isto posto, conforme já mencionado, o momento mais importante na definição de cenários é a identificação das ameaças críticas de maior relevância e de maior incerteza. Para tanto, é apresentado a seguir o roteiro a ser utilizado na definição dos cenários.

a) Lista Aleatória e Exaustiva de Ameaças

Através do exercício chamado de “tempestade cerebral” ou “brainstorm”, os membros da equipe de consultoria foram estimulados a citar qualquer ameaça ao sucesso do PMSB, sem preocupação com ordem ou relevância. As sugestões foram anotadas. Ao analisarem-se as peculiaridades e as características geográficas, ambientais e de uso e ocupação do solo do Município, constatou-se ser mais racional focalizar os problemas (ameaças).

b) Análise de Consistência e Aglutinação

Algumas ameaças discriminadas anteriormente poderão ser inconsistentes com o objeto do contrato - elaboração do PMSB. Havendo consenso elas serão eliminadas. Portanto, efetua-se uma revisão metódica da lista proposta para a eliminação de inconsistências conforme acima mencionado, por não serem pertinentes ao tema. Por outro lado, pode-se ter uma aglutinação de sugestões semelhantes.

c) Identificação de Oportunidades

A identificação de oportunidades é importante para que na próxima etapa seja possível quantificar e qualificar as ameaças. Assim, é correlacionar-se para cada ameaça, as oportunidades correspondentes. Definem-se as ameaças críticas mais relevantes e mais incertas e conseqüentemente as ações prioritárias.

d) Ponderação das Ameaças Críticas – Modelo Matemático Adotado

Embora a teoria de elaboração de cenários não recomende a utilização de tabelas e gráficos pré-definidos para não limitar a criatividade e a intuição, o modelo matemático aplicado para a ponderação das ameaças críticas relativas à Construção dos Cenários do Plano Municipal de Saneamento Básico de São Pedro de Itaipu utilizou tais ferramentas. As notas adotadas para a relevância e para a incerteza são as seguintes: 05 para Alta, 03 para Média e 01 para Baixa. A prioridade (P) é definida pela multiplicação de relevância (R) e incerteza (I), ($P=R \times I$).

Em vista do exposto, qual o caminho ou tipo de cenário a adotar? Indutivo ou dedutivo é uma decisão da equipe técnica de especialistas da Consultora, já que isto irá se configurar somente após a realização das consultas públicas programadas ao longo da construção do PMSB.

A teoria de montagem de cenários tem demonstrado que o caminho adotado não se identifica a priori sem as consultas públicas. Quando um caminho não traz os resultados desejados, tenta-se outro. É preciso entender que Cenários são um exercício livre de pensamento a ser ajustado a cada passo. É importante salientar que a Consultora propõe uma tecnologia de construção de cenários para alcançar os resultados desejados, e cabe a ela, portanto, total responsabilidade no caminho adotado. A função da Contratante será o de analisar e debater os resultados alcançados com os participantes das consultas públicas.

Desta forma, a identificação do caminho adotado somente se dará quando da conclusão dos trabalhos relativos a Construção dos Cenários para o PMSB do Município de São Pedro de Itaipu, os quais serão submetidos à análise por parte dos grupos técnicos responsáveis pelo contrato.

3. PROGNÓSTICOS E ALTERNATIVAS PARA A UNIVERSALIZAÇÃO DOS SERVIÇOS DE SANEAMENTO BÁSICO. OBJETIVOS E METAS

3.1. INTRODUÇÃO

O Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB (BRASIL, 2013, p.106), no capítulo correspondente a avaliação político-institucional, detalha alguns aspectos particulares da gestão e prestação de serviços de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas:

“Dos quatro componentes do setor de saneamento, os serviços de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas são os que apresentam maior carência de políticas e organização institucional. A urbanização acelerada e caótica, com a falta de disciplinamento do uso e ocupação do solo, inclusive das áreas de inundação natural dos rios urbanos, e, ainda, a falta de investimentos em drenagem das águas pluviais, resultou no aumento das inundações nos centros urbanos de maneira dramática. Também o uso do sistema de drenagem para esgotamento sanitário doméstico e industrial, a não existência de medidas preventivas nas áreas sujeitas à inundação e a predominância de uma concepção obsoleta nos projetos de drenagem tem contribuído para a ampliação dessa problemática. O financiamento das ações é dificultado pela ausência de taxas ou de formas de arrecadação de recursos específicos para o setor. No conjunto do País, dados da PNSB 2008 indicam que 70,5% dos municípios possuíam serviços de drenagem urbana, sendo que esse índice era maior nas Regiões Sul e Sudeste. A existência de um sistema de drenagem é fortemente associada ao porte da cidade. Todos os 66 municípios brasileiros com mais de 300.000 habitantes, no ano 2000, independentemente da região em que se encontram, dispunham de um sistema de drenagem urbana, enquanto que, para municípios com até 20 mil habitantes, o índice de municípios com sistema de drenagem se encontrava abaixo da média nacional. Em 2008, 99,6% dos municípios tinham seus sistemas de drenagem administrados diretamente pelas prefeituras, sendo predominantemente vinculados às secretarias de obras e serviços públicos. Apenas 22,5% dos municípios do País declararam possuir plano diretor de drenagem urbana.”

O resultado da sobreposição da estrutura urbana sobre o ambiente natural provoca alteração no regime de escoamento das águas de chuva nas bacias hidrográficas. Dependendo da forma dos quarteirões e da direção das ruas em relação às curvas de nível os problemas de escoamento das águas de chuva podem ser agravados. Associado a estas situações, a cidade provoca outro agravante no equilíbrio do escoamento das águas de chuva. É a impermeabilização do solo, ocasionado pela cobertura do solo pelas edificações, ruas e calçadas. Este último agravante impede que as águas continuem a infiltrarem-se no solo, gerando o aumento do volume de água de escoamento superficial, superando em muito a capacidade natural de escoamento dos cursos de água natural.

As soluções adotadas para minimizar os impactos causados pelas chuvas intensas foram de canalizar os corpos hídricos, provocando a aceleração dos escoamentos, aumento dos picos de vazão, e transferindo os problemas a jusante.

A partir das últimas décadas, novas técnicas de engenharia começaram a ser utilizadas no país para solucionar os problemas relacionados às enchentes, não mais com o objetivo de aumentar a velocidade de escoamento e transferir as cheias para áreas à jusante, mas sim,

“[...] promover o retardamento dos escoamentos, de forma a aumentar os tempos de concentração e reduzir as vazões máximas; amortecer os picos e reduzir os volumes de enchentes por meio da retenção em reservatórios; e conter o run-off no local da precipitação, pela melhoria das condições de infiltração, ou ainda em tanques de contenção” (CANHOLI, 2014, p.16).

A partir da elaboração do diagnóstico, com a indicação das principais ameaças e oportunidades ao sistema, é possível construir cenários para atingir as metas estabelecidas a nível estadual e federal.

Os prognósticos para o sistema drenagem e manejo de águas pluviais urbanas foram elaborados principalmente com base nas Leis Nacionais 11.445/2007 – Política Nacional de Saneamento Básico, além de outros estudos projetos e ações existentes na área de drenagem urbana. A Lei 11.445/2007 define que os sistemas que compõem o saneamento básico deverão ser universalizados dentro dos próximos 20 anos, no entanto faltam metas mais claras para o sistema de drenagem urbana.

As principais ameaças ao sistema de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do município de São Pedro do Iguaçu são apresentadas a seguir, e serviram de base para a elaboração dos Prognósticos:

- Falta de cadastro georreferenciado da rede de drenagem existente;
- Três localidades com processos erosivos no Distrito de Luz Marina;
- Uma localidade com processos erosivos na Sede;
- Volume de resíduos sólidos encontrados nos pontos de deságue das redes de drenagem;
- Uma localidade identificada como área de risco de alagamento em Luz Marina;
- Falta de medidas para contenção e minimização de erosões;
- Projetos de ampliação da rede de drenagem elaborados porém não executados;
- Inexistência de manual para elaboração de projetos e execução de obras de drenagem;
- Falta de manutenção, limpeza e desobstrução da rede de drenagem existente;
- Ligações irregulares de esgoto sanitário na rede de drenagem;
- Inexistência de indicadores operacionais, econômico-financeiros, administrativos e de qualidade;
- Falta de arranjo institucional específico para a gestão de drenagem e manejo de águas pluviais;
- Falta de um regulamento com procedimentos para projeto, construção, operação e manutenção do sistema de drenagem pluvial.

Também foram levadas em consideração, as oportunidades levantadas durante a elaboração do Diagnóstico:

- Projetos de ampliação da rede de drenagem elaborados;
- Grande parte da área urbana coberta com rede de drenagem;
- Existência de bacias de retenção em dois pontos de lançamento;
- Programas em parceria com a Itaipu Binacional;
- Existência do Comitê e do Plano da Bacia do Paraná 3;
- Existência de sistemas de captação e aproveitamento de águas pluviais em residências;
- Residências com áreas permeáveis em seus terrenos.

3.2. MECANISMOS DE ARTICULAÇÃO E INTEGRAÇÃO DE POLÍTICAS, PROGRAMAS E PROJETOS DE SANEAMENTO BÁSICO COM OUTROS SETORES CORRELACIONADOS

3.2.1.Saúde

A falta dos sistemas de saneamento básico, entre eles a drenagem urbana, está diretamente relacionada com a proliferação de doenças.

No tocante ao sistema de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, dentre os principais desafios está a limpeza, manutenção e conservação da rede existente, com o objetivo de minimizar a proliferação de vetores de doenças como roedores e mosquitos.

Como forma de avaliação da rede de drenagem, é necessária a realização de análises da água transportada pela rede, muitas delas sofrendo interferências com a ligação irregular de esgoto sanitário.

3.2.2.Habitação

As políticas habitacionais do município de São Pedro do Iguaçu devem levar em consideração o zoneamento de áreas de risco de processos erosivos e alagamentos, evitando ocupações urbanas nestas localidades.

3.2.3.Meio Ambiente

De acordo com CANHOLI, 2014, p. 09:

“a drenagem urbana apresenta interfaces com diversos elementos da infraestrutura urbana e deve ser tratada de modo especial, cabendo destacar o papel que ela exerce em relação a fatores socioeconômicos e ambientais, sobretudo na recuperação e restauração de áreas degradadas pela urbanização depredatória”.

Os impactos ambientais causados pela falta, ou pela má operação das redes de drenagem mais comuns são as erosões do solo e deslizamentos.

Para conter as águas de chuva, são utilizados dissipadores de velocidade, bacias de regularização de vazões, e outras estruturas, que ajudam a minimizar os impactos. Além disso, são utilizados dispositivos de contenção de encostas, muros de gabião, e outras estruturas.

3.2.4. Recursos Hídricos

Os rios das cidades não podem ser condenados a servirem de emissários de esgotos e de resíduos sólidos das cidades. Todos os rios fazem parte de bacias hidrográficas importantes nas regiões onde estão assentadas as cidades.

As ações previstas neste Plano foram projetadas tendo em vista a proteção dos recursos hídricos que cortam a área urbana do município, buscando melhorias da qualidade das águas e minimização dos impactos provocados pelo despejo irregular de esgoto e resíduos.

3.2.5. Educação

Enfatiza-se a necessidade de criar e implementar um programa de educação ambiental contínuo para o saneamento básico. Os cidadãos, em sua maioria, não têm conhecimento dos objetivos dos sistemas de drenagem pluvial urbano. O mau uso das galerias, onde são lançados clandestinamente esgotos e resíduos sólidos urbanos, são o testemunho da falta deste conhecimento técnico.

As ações de preservação, manutenção e conservação da rede de micro e macrodrenagem passam pela educação ambiental voltada à disposição correta de resíduos sólidos, lançamento de esgoto em rede separadora, preservação da mata ciliar, entre outros aspectos. Portanto, o programa de educação ambiental deverá abranger diversas áreas do conhecimento, e que terão consequências futuras na preservação da rede de drenagem existente.

3.3. CONSTRUÇÃO DOS CENÁRIOS PARA O SISTEMA DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

A construção dos cenários futuros para o sistema de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas foi feita com base nas metas do Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB (BRASIL, 2013); tese de doutorado Sistemática de Auxílio à Decisão para a Seleção de Alternativas de Controle de Inundações Urbanas (MILOGRANA, 2009); e no Plano de Saneamento de Básico de São Pedro do Iguaçu (PMSB-SPI, 2013).

3.3.1. PLANSAB

Para a consolidação do cenário normativo proposto pelo PLANSAB, foram elencados 23 indicadores (07 para o abastecimento de águas, 06 para o esgotamento sanitário, 05 para os resíduos sólidos, 04 para a gestão e o planejamento, e, 01 para a drenagem e o manejo das águas pluviais urbanas), sendo estabelecidas metas para cada indicador nas diferentes macrorregiões do País, para os anos 2015, 2020 e 2030.

Para o sistema de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, quatro componentes básicos foram considerados:

- A implantação de sistemas de drenagem nas áreas de expansão urbana;
- A reposição desses ao longo do horizonte de simulação;
- A reposição dos sistemas de drenagem clássicos (macrodrenagem) existentes nos municípios, ao longo do período, tendo por foco a redução do risco de inundação, e,
- Adequação dos sistemas de drenagem em áreas urbanizadas que sofrem com erosões e alagamentos.

As metas para as quatro vertentes do saneamento foram divididas de acordo com as características de cada região do país. A única meta proposta pelo PLANSAB relacionada à drenagem e manejo de águas pluviais urbanas é a redução dos municípios com inundações e/ou alagamentos ocorridos em áreas urbanas nos últimos cinco anos.

Para a região Sul, a meta é reduzir a quantidade de municípios que apresentaram estes problemas relacionados à drenagem, de 43% (conforme levantamento feito em 2008), para 17% em 2030.

Portanto, não há metas específicas e objetivas para o sistema de drenagem do município de São Pedro do Iguaçu, sendo necessário a criação de um cenário local.

3.3.2. Milograna, J (2009)

A tese de doutorado MILOGRANA.J, Sistemática de Auxílio à Decisão para a Seleção de Alternativas de Controle de Inundações Urbanas, UNB, 2009, Brasília/DF, apresenta contribuições bastante interessantes para a construção de cenários, as quais destacam-se a seguir:

- a) Inundações lentas ou fluviais, em regiões planas;
- b) Inundações rápidas ou por chuvas torrenciais;
- c) Inundações por escoamento urbano, em pequenas bacias até 10km²;
- d) Inundações pelas torrentes, em áreas com declividades acima de 6%;
- e) Submersões marinhas;
- f) Inundações estuarinas;
- g) Inundações por remanso da rede de drenagem pluvial, e,
- h) Inundações por elevação do nível do Lençol Freático.

Ainda, são relacionadas algumas medidas mitigadoras a serem levadas em consideração, tais como:

- a) Poços de infiltração;
- b) Valas, valetas e planos de infiltração;
- c) Trincheiras de infiltração e detenção;
- d) Pavimentos permeáveis com estrutura de detenção e infiltração;
- e) Telhados armazenadores;
- f) Bacias de retenção ou detenção de cheias:

- A céu aberto (parques urbanos);
- Áreas úmidas;
- Bacias subterrâneas.

g) Diques, e,

h) Canais de desvio.

Finalmente, sugere que o aumento na eficiência do escoamento poderá se dar através de:

- a) Dragagem (limpeza) de tubulações, galerias, canais e leitos de rios;
- b) Substituições dos revestimentos de canais, e,
- c) Retificação de canais.

Recomenda também, que os projetos deverão obedecer aos critérios hidrológicos determinados para a Região, bem como a vulnerabilidade (susceptibilidade e valor) das áreas sujeitas às inundações.

A partir dessas principais considerações propõem a construção de quatro cenários.

- A. Sem medidas de controle de inundações, ou seja, desocupação das áreas alagadas com relocações (medidas emergenciais);
- B. Controle de cheias através de barramentos (medidas paliativas);
- C. Construção de diques de contenção, com adequação de pontes e faixas de domínio com canais paralelos (com medidas estruturais e sem medidas preventivas), e,
- D. Sistema de Previsão e Alerta pela instalação de sensores de precipitação de nível, datalogger, transmissor e software de comunicação (com medidas preventivas, estruturais e estruturantes).

3.3.3.Plano de Saneamento (2013)

O Plano de Saneamento de Saneamento Básico, aprovado em 2013, propõe a elaboração de um Plano Municipal de Gerenciamento de Recursos Hídricos no prazo máximo de cinco anos.

3.3.4.Cenário Proposto

Com os três cenários apresentados anteriormente, e tendo em vista as necessidades do município para o sistema de drenagem urbana, é possível propor um cenário com o objetivo de minimizar os transtornos causados pelas chuvas intensas incidentes na área urbana do município.

Além das alternativas apresentadas no PLANSAB, MILOGRANA e PMSB (2013), os esforços para a melhoria do atendimento do sistema de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas para São Pedro do Iguaçu deverão concentra-se em soluções não convencionais.

Segundo CANHOLI, 2014, p. 31:

“[...] as medidas não convencionais em drenagem urbana podem ser entendidas como estruturas, obras, dispositivos ou mesmo como conceitos diferenciados de

projeto, cuja utilização não se encontra ainda disseminada. São soluções que diferem do conceito tradicional de canalização, mas podem estar a elas associadas, para adequação ou otimização do sistema de drenagem”.

Ou seja, as soluções implantadas ao longo das últimas décadas para o município, de canalizar as águas urbanas, aumentando a velocidade do escoamento e as vazões de pico, e por consequência, transferindo os problemas para áreas à jusante, não deverão ser incentivadas, mas sim, medidas de detenção, reservação, infiltração, utilização das águas pluviais, entre outras, que promovam a diminuição das velocidades de escoamento, do tempo de concentração e das vazões de pico.

Além dessas soluções para a gestão do sistema também deverão ser prioridade para o planejamento do sistema de drenagem. A criação de um sistema de informações georreferenciadas, regularização de novas ocupações urbanas, com exigências de projetos de drenagem com medidas não convencionais, incentivo para o aproveitamento e detenção das águas pluviais nas novas construções, definição de um departamento para gestão da drenagem no município, dentre outras medidas, são fundamentais para que as obras realizadas estejam acompanhadas de ações secundárias, que garantam a minimização dos problemas de drenagem enfrentados no município.

Os programas, projetos e ações são apresentados na sequência, e foram elaborados tendo em vista as ameaças e oportunidades ao sistema de drenagem e manejo de águas pluviais levantadas pelos técnicos durante a elaboração do Diagnóstico. Foram definidas as principais condicionantes, deficiências e potencialidades do sistema existente, apresentadas no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1 – Condicionantes, Deficiências e Potencialidades.

C	D	P	Fator
			Falta de cadastro da rede de drenagem
			Existência de processos erosivos
			Resíduos sólidos encontrados nos pontos de deságue das redes de drenagem
			Inexistência de medidas para contenção e minimização de erosões
			Projetos de ampliação da rede de drenagem elaborados porém não executados
			Inexistência de manual para elaboração de projetos e execução de obras de drenagem
			Falta de manutenção, limpeza e desobstrução da rede de drenagem existente
			Ligações irregulares de esgoto sanitário na rede de drenagem
			Inexistência de indicadores operacionais, econômico-financeiros, administrativos e de qualidade
			Falta de arranjo institucional específico para a gestão de drenagem e manejo de águas pluviais
			Falta de um regulamento com procedimentos para projeto, construção, operação e manutenção do sistema de drenagem pluvial
			Falta de estudo hidrológico para o município de São Pedro do Iguaçu
			Altos índices pluviométricos na região
			Projetos de ampliação da rede de drenagem elaborados
			Grande parte da área urbana coberta com rede de drenagem
			Existência de bacias de detenção em dois pontos de lançamento
			Programas em parceria com a Itaipu Binacional
			Existência do Comitê e do Plano da Bacia do Paraná 3
			Existência de sistemas de captação e aproveitamento de águas pluviais em residências
			Residências com áreas permeáveis em seus terrenos
			Lançamento de indicadores de drenagem urbana pelo SNIS em 2017

Fonte: Habitat Ecológico, 2017.

A aplicação do CDP abre o caminho para aplicação da metodologia proposta para construção dos Cenários Futuros para São Pedro do Iguaçu. A sequência do trabalho obedece a metodologia descrita e proposta para a construção dos cenários futuros, de acordo com os parâmetros a seguir identificados:

I - Ameaças e oportunidades do atual modelo de gestão:

Primeiro são elencadas todas as ameaças e oportunidades do atual modelo de gestão de drenagem no município.

II - A identificação das ameaças críticas através de matriz numérica:

A segunda etapa consiste em identificar as prioridades, através do produto das Relevâncias e Incertezas de cada Ameaça, anteriormente elencadas. Sendo os índices de relevância e incerteza os seguintes:

$$\text{PRIORIDADE} = \text{RELEVÂNCIA} \times \text{INCERTEZA}$$

Alta = 05

Média = 03

Baixa = 01

III - A convergência das ameaças críticas.

IV - A hierarquização dos principais temas.

Na última etapa é realizada a hierarquização por ordem decrescente, do grupo que mais pontuou, para o que menos pontuou (Quadro 1, Quadro 2 e Tabela 1).

Quadro 2 – Ameaças e Oportunidades do atual modelo de gestão.

Item	Ameaças	Oportunidades
I	Falta de cadastro da rede de drenagem	Projetos de ampliação da rede de drenagem elaborados; Grande parte da área urbana coberta com rede de drenagem.
II	Existência de processos erosivos	Existência de bacias de retenção em dois pontos de lançamento
III	Resíduos sólidos encontrados nos pontos de deságue das redes de drenagem	-
IV	Inexistência de medidas para contenção e minimização de erosões	Existência de bacias de retenção em dois pontos de lançamento; Programas em parceria com a Itaipu Binacional.
V	Projetos de ampliação da rede de drenagem elaborados porém não executados	Projetos de ampliação da rede de drenagem elaborados; Programas em parceria com a Itaipu Binacional.
VI	Inexistência de manual para elaboração de projetos e execução de obras de drenagem	Programas em parceria com a Itaipu Binacional.
VII	Falta de manutenção, limpeza e desobstrução da rede de drenagem existente	-
VIII	Ligações irregulares de esgoto sanitário na rede de drenagem	Programas em parceria com a Itaipu Binacional.
IX	Inexistência de indicadores operacionais, econômico-financeiros, administrativos e de qualidade	Lançamento de indicadores de drenagem urbana pelo SNIS em 2017
X	Falta de arranjo institucional específico para a gestão de drenagem e manejo de águas pluviais	Existência do Comitê e do Plano da Bacia do Paraná 3
XI	Falta de um regulamento com procedimentos para projeto, construção, operação e manutenção do sistema de drenagem pluvial	Existência do Comitê e do Plano da Bacia do Paraná 3; Programas em parceria com a Itaipu Binacional.
XII	Falta de estudo hidrológico para o município de São Pedro do Iguaçu	Existência do Comitê e do Plano da Bacia do Paraná 3; Programas em parceria com a Itaipu Binacional.

Fonte: Habitat Ecológico, 2017.

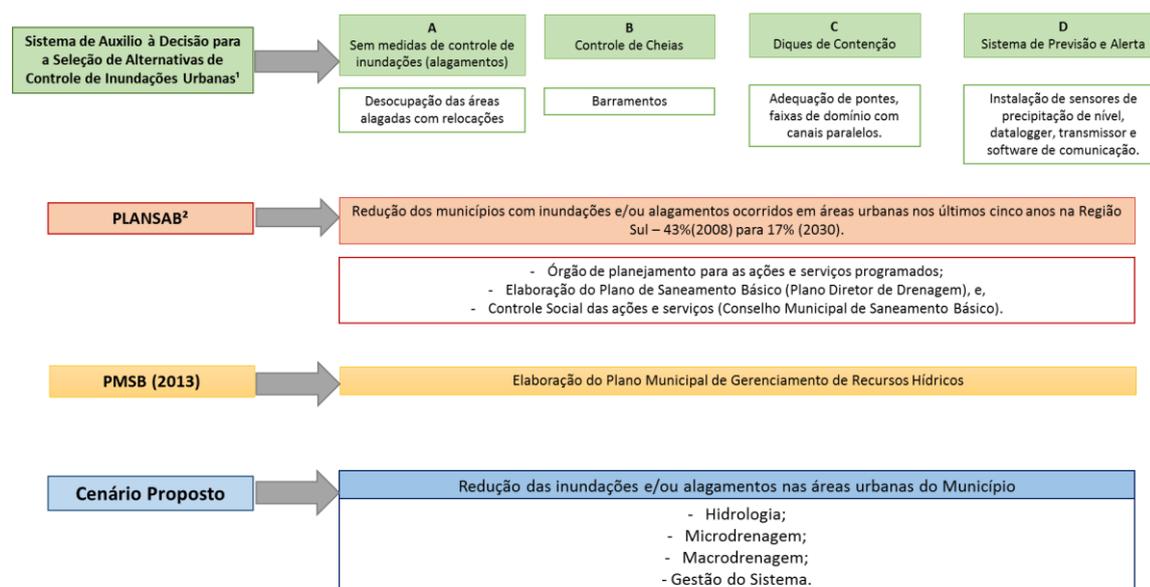
Tabela 1 – Modelo Numérico para Ponderação das Ameaças.

Item	Ameaças	Relevância (1)	Incerteza (2)	Prioridades (3)
I	Falta de cadastro completo da rede de drenagem	3	3	9
II	Existência de processos erosivos	5	5	25
III	Volume de resíduos sólidos encontrados nos pontos de deságue das redes de drenagem	3	5	15
IV	Inexistência de medidas para contenção e minimização de erosões	5	5	25
V	Projetos de ampliação da rede de drenagem elaborados porém não executados	3	5	15
VI	Inexistência de manual para elaboração de projetos e execução de obras de drenagem	1	3	3
VII	Falta de manutenção, limpeza e desobstrução da rede de drenagem existente	3	3	9
VIII	Ligações irregulares de esgoto sanitário na rede de drenagem	3	3	9
IX	Inexistência de indicadores operacionais, econômico-financeiros, administrativos e de qualidade	1	5	5
X	Falta de arranjo institucional específico para a gestão de drenagem e manejo de águas pluviais	5	3	15
XI	Falta de um regulamento com procedimentos para projeto, construção, operação e manutenção do sistema de drenagem pluvial	5	3	15
XII	Falta de estudo hidrológico para o município de São Pedro do Iguaçu	3	3	9

Fonte: Habitat Ecológico, 2017.

Convergências das Ameaças Críticas

Tendo em vista as ameaças levantadas e os cenários que subsidiam a tomada de decisões, foi possível montar o cenário possível para o município de São Pedro do Iguaçu ():



¹MILOGRANA, J. (2009).

²PLANSAB (2011).

Figura 4 - Cenário proposto para o sistema de drenagem de São Pedro do Iguaçu.

Fonte: Habitat Ecológico, 2017.

Após a definição dos valores de prioridades, as ameaças foram agrupadas em quatro itens: Erosão, Microdrenagem, Macrodrenagem e Gestão do Sistema. A seguir estão apresentadas ameaças agrupadas, e ordenadas de acordo com as que receberam maior pontuação, consideradas de maior prioridade para busca de ações:

Tabela 2 – Hidrologia.

Item	Ameaças	Prioridades
XII	Falta de estudo hidrológico para o município de São Pedro do Iguaçu	9
		9

Fonte: Habitat Ecológico, 2017.

Tabela 3 – Microdrenagem.

Item	Ameaças	Prioridades
I	Falta de cadastro completo da rede de drenagem	9
VII	Falta de manutenção, limpeza e desobstrução da rede de drenagem existente	9
VIII	Ligações irregulares de esgoto sanitário na rede de drenagem	9
		27

Fonte: Habitat Ecológico, 2017.

Tabela 4 – Macrodrenagem.

Item	Ameaças	Prioridades
II	Existência de processos erosivos	25
IV	Inexistência de medidas para contenção e minimização de erosões	25
		50

Fonte: Habitat Ecológico, 2017.

Tabela 5 – Gestão do Sistema.

Item	Ameaças	Prioridades
III	Volume de resíduos sólidos encontrados nos pontos de deságue das redes de drenagem	15
V	Projetos de ampliação da rede de drenagem elaborados porém não executados	15
VI	Inexistência de manual para elaboração de projetos e execução de obras de drenagem	3
IX	Inexistência de indicadores operacionais, econômico-financeiros, administrativos e de qualidade	5
X	Falta de arranjo institucional específico para a gestão de drenagem e manejo de águas pluviais	15
XI	Falta de um regulamento com procedimentos para projeto, construção, operação e manutenção do sistema de drenagem pluvial	15
		68

Fonte: Habitat Ecológico, 2017.

Pela hierarquização das ameaças, é possível observar que a “Gestão do Sistema” apresenta o maior número de pontos, seguida da macrodrenagem, microdrenagem e hidrologia. Combinando-se entre si as convergências pontuadas nos quatro setores selecionados é possível estabelecer as seguintes estruturas básicas alternativas para a hierarquização dos cenários futuros:

Tabela 6 – Integração das alternativas.

Ameaças Críticas	Pontuação	Somatório
Hidrologia	9	77
Gestão do Sistema	68	
Microdrenagem	27	77
Macro-drenagem	50	

Fonte: Habitat Ecológico, 2017.

A partir desta pontuação, é possível criar os cenários futuros para o sistema de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, para posteriormente definir os programas, objetivos e metas para a melhoria contínua dos serviços para os próximos 20 anos.

3.3.4.1. Hidrologia

A hidrologia é definida como a ciência que trata da água na Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas e sua relação com o meio ambiente, incluindo sua relação com a vida (Definição do U.S. Federal Council of Service and Technology, citada por Chow, 1959, apud Tucci, 2000).

Os conhecimentos de hidrologia são fundamentais para o planejamento e elaboração dos projetos de drenagem de águas pluviais urbanas. Entretanto, os estudos hidrológicos dependem de uma sequência histórica de dados pluviométricos e fluviométricos.

Nos estudos hidrológicos voltados à drenagem urbana, principalmente em virtude da carência de dados fluviométricos que poderiam subsidiar análises estatísticas de cheias, normalmente são adotados modelos matemáticos do tipo chuva x vazão para a definição dos hidrogramas de projeto (CANHOLI, 2014).

Conforme apresentado no Diagnóstico (Produto 2), o município não possui um manual para as obras de drenagem, contendo parâmetros para projetos, equação de chuvas intensas, etc.

Para a elaboração de projetos de drenagem, os projetistas acabam utilizando a equação de chuvas intensas de Cascavel. Apesar de apresentar características hidrológicas semelhantes, um novo estudo específico para o município de São Pedro do Iguaçu poderia trazer maior confiabilidade nos resultados obtidos.

3.3.4.2. Microdrenagem

As estruturas que compõem a rede de microdrenagem são responsáveis pela coleta das águas pluviais incidentes nas áreas impermeabilizadas, e transporte até a rede de macrodrenagem.

Para os projetos de microdrenagem, alguns aspectos são importantes para se levar em consideração:

- Características hidrológicas;
- Coeficiente de impermeabilização;
- Projeção de expansão urbana à montante;
- Topografia;
- Métodos construtivos.

Com esses elementos definidos, é possível projetar uma rede de microdrenagem que atenda a população residente na área de estudo, e prever a expansão urbana à montante, que também irá utilizar estas galerias.

Sugere-se, portanto, a execução de obras de reposição da microdrenagem existente, adequada às necessidades atuais, tendo em vista a expansão da ocupação urbana no perímetro da sede do município.

Outro problema que atinge diretamente a manutenção e conservação da microdrenagem de São Pedro do Iguaçu é a falta de um cadastro georreferenciado das galerias existentes. Sem o cadastro, as equipes de manutenção têm dificuldade de localizar os Poços de Visita, Caixas de Ligação e as manilhas instaladas, causando transtornos à população pela necessidade de grandes intervenções para realizar manutenções periódicas.

Mesmo sem o cadastro, foi possível obter junto aos técnicos da Prefeitura, o traçado da rede de drenagem atual. Com os mapas disponibilizados pela Secretaria Municipal de Administração e Planejamento foram comparados o comprimento total de vias urbanas, e da rede de drenagem existente e projetada (Tabela 7 e Tabela 8). As localidades de São Francisco e São Judas Tadeu, segundo informações da Prefeitura, não possuem sistema de drenagem instalado.

Tabela 7 - Comprimento de rede de drenagem e vias urbanas (sede).

São Pedro do Iguaçu		
Dados	Comprimento total (m)	%
Vias urbanas	19.840,00	100%
Rede de drenagem existente 400mm	3.843,00	19%
Rede de drenagem existente 600mm	2.485,00	13%
Rede de drenagem existente 1000mm	825,00	4%
Rede de drenagem existente total	7.153,00	36%
Rede de drenagem projetada	2.721,00	14%

Fonte: PMSPI, 2017.

Tabela 8 - Comprimento de rede de drenagem e vias urbanas (Luz Marina).

Luz Marina		
Dados	Comprimento total (m)	%
Vias urbanas	9.240,00	100%
Rede de drenagem existente 600mm	1.600,00	17%
Rede de drenagem existente total	1.600,00	17%
Rede de drenagem projetada	2.890,00	31%

Fonte: PMSPI, 2017.

Pelo levantamento realizado durante o Diagnóstico, com informações repassadas pelos técnicos da Prefeitura Municipal, 36% das vias da sede do município contam com sistema de drenagem, com outros 14% projetados e ainda não executados. Já em Luz Marina esse índice é de 17% existente, e 31% projetado.

A Tabela 9 apresenta os valores consolidados para o município inteiro, que possui 30,1% das vias com sistema implantado e 19,3% de sistema projetado. Com a execução destas obras, o índice deverá chegar a 49,4%.

Tabela 9 - Comprimento de rede de drenagem e vias urbanas (total).

Dados	Comprimento total (m)	%
Vias urbanas	29.080,00	100%
Rede de drenagem existente	8.753,00	30,1%
Rede de drenagem projetada	5.611,00	19,3%

Fonte: PMSPI, 2017.

O total de rede projetada e não executada soma 5.611 metros, sendo 2.721 na sede do município, e 2.890 no distrito de Luz Marina. Esse valor deverá ser executado ao longo da implantação do PMSB.

O coeficiente de impermeabilização das áreas urbanas é outro aspecto fundamental a ser levado em consideração, pois quanto maior o índice, menor o tempo de concentração das chuvas intensas, e maior a velocidade de escoamento dessas águas, sobrecarregando os sistemas existentes.

Ao contrário das soluções adotadas nas últimas décadas para projetos de drenagem no país, definido como: captação, canalização e transferência das águas para pontos à jusante com grande velocidade; atualmente utiliza-se os conceitos de reservação, retenção, detenção e maior permeabilidade das águas de chuva, reduzindo assim a vazão demandada para captação por meio da rede pública de drenagem pluvial. Essas soluções são comumente chamadas de “não-convencionais”.

Como soluções não-convencionais, propõe-se o incentivo à reservação e infiltração das águas pluviais nas residências, comércios, prédios públicos, e demais construções, e utilização de pavimentos permeáveis, diminuindo assim a vazão escoada diretamente para o sistema de microdrenagem na ocorrência de chuvas fortes.

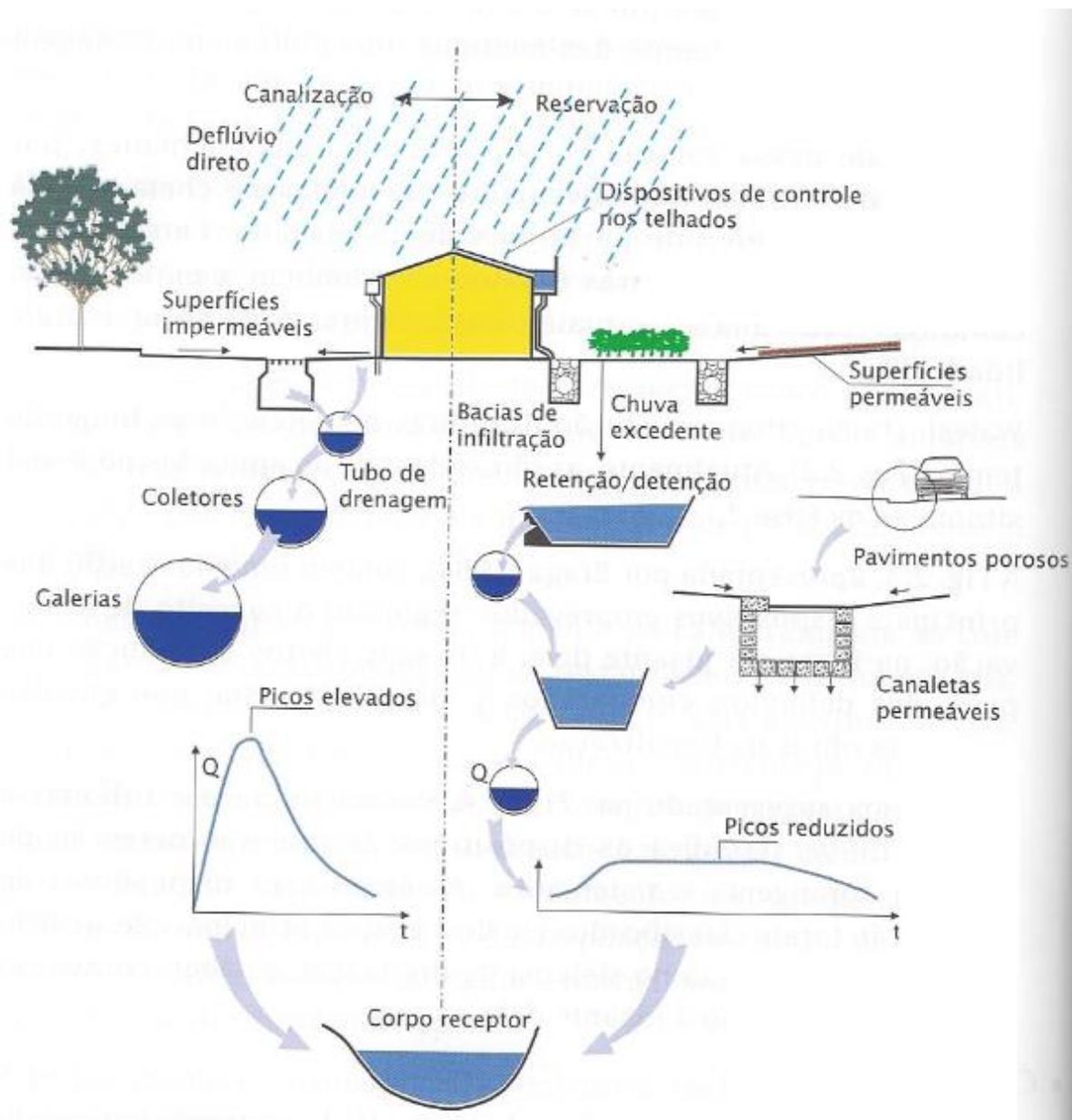


Figura 5 – Comparativo entre sistema de canalização e reservação.

Fonte: CANHOLI, 2014.

No município de São Pedro do Iguaçu, os índices de impermeabilização dos lotes das áreas urbanas é baixo, e comumente encontram-se áreas permeáveis ocupadas por jardins ou hortas, que auxiliam na infiltração das águas pluviais diretamente no solo. Essa situação deve ser regulamentada, mantendo tal padrão para novas ocupações urbanas.

Para as áreas de expansão deve-se também definir a exigência da implantação de sistemas de microdrenagem adequadas às especificações do local, e execução de obras de reposição da microdrenagem já existente.

Dentre os problemas apontado pelo Diagnóstico (Produto 2) relacionados à microdrenagem, destaca-se também a falta de manutenção e limpeza da rede existente, e ligações clandestinas de esgoto sanitário nas galerias pluviais.

A manutenção da rede existente é fundamental para garantir seu funcionamento adequado, com a desobstrução de resíduos e sedimentos que diminuem a capacidade de transporte da tubulação. Além disso, a decomposição de material orgânico (proveniente de resíduos sólidos

urbanos, resíduos de varrição, ou mesmo esgoto sanitário lançado clandestinamente na rede), libera gases que causam a deterioração do concreto da rede de drenagem, e com o tempo podem causar o rompimento da tubulação e desmoronamento do asfalto, trazendo transtornos à população.

Portanto devem ser intensificados os trabalhos de manutenção e limpeza principalmente das bocas de lobo, que compreendem a entrada do sistema de drenagem urbana. Recomenda-se que seja feita a limpeza em cada boca de lobo ao menos uma vez ao ano.

Com relação às ligações clandestinas de esgoto sanitário na rede de drenagem, é necessário realizar um levantamento da situação atual da rede por meio de videoinspeção robotizada, para localizar os pontos de lançamento e identificar sua origem. Com isso, é possível aplicar sanções, multas e penalidades, e buscar uma solução conjunta para o tratamento adequado do esgoto sanitário.

As chamadas “ações no lote” ou “ações de controle na fonte”, são formadas por dispositivos geralmente de pequena dimensão e localizados próximo dos locais onde os escoamentos são gerados. Ressalta-se que estas medidas podem ser implantadas tanto para imóveis residenciais e comerciais de pequeno porte, quanto para indústrias, prédios públicos (escolas, hospitais, creches, postos de saúde, prédios administrativos), quando no seu entorno. As vantagens e desvantagens destes sistemas são apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Vantagens e Desvantagens da Contenção na Fonte.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Maior flexibilidade para encontrar locais propícios para instalação dos dispositivos; ➤ Os dispositivos podem ser padronizados; ➤ Aumento da eficiência de transporte de vazão nos canais existentes; ➤ Melhoria da qualidade da água e da recarga dos aquíferos; e, ➤ Valorização da água no meio urbano 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Capacidade de investimento dos proprietários privados; ➤ Dificil fiscalização da operação e manutenção; ➤ Conflito de interesse com o uso da água de chuva; ➤ Efetividade no controle de cheias na bacia como um todo

Fonte: CANHOLI, 2014.

Alguns exemplos de medidas de controle na fonte são detalhados no Quadro 4 a seguir:

Quadro 4 - Lista das Medidas de Controle Básicas.

Obra	Característica Principal	Variantes	Função	Efeito
Pavimento Poroso	Pavimento com camada de base porosa como reservatório	Revestimento superficial pode ser permeável ou impermeável, com injeção pontual na camada de base porosa. Esgotamento por infiltração no solo ou para um exutório	Armazenamento temporário da chuva no local próprio pavimento. Áreas externas ao pavimento podem também contribuir	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado pelo pavimento e por eventuais áreas externas.
Trincheira de infiltração	Reservatório linear escavado no solo preenchido com material poroso	Trincheira de infiltração no solo ou de retenção, com esgotamento por um exutório	Infiltração no solo ou retenção, de forma concentrada e linear, da água da chuva caída em superfície limítrofe	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em área adjacente
Vala de infiltração	Depressões lineares em terreno permeável	Vala de infiltração efetiva no solo ou vala de retenção, com esgotamento por um exutório	Infiltração no solo, ou retenção, no leito da vala, da chuva caída em áreas marginais	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em área vizinha
Poços de Infiltração	Reservatório vertical e pontual escavado no solo	Poço preenchido com material poroso ou sem preenchimento, revestido. Poço efetivamente de infiltração ou de injeção direta no freático	Infiltração pontual, na camada não saturada e/ou saturada do solo, da chuva caída em área limítrofe	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado na área contribuinte de poço
Microrreservatório	Reservatório de pequenas dimensões tipo caixa d'água residencial	Vazio ou preenchido com material poroso	Armazenamento temporário do escoamento pluvial de áreas impermeabilizadas próximas	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado de áreas impermeabilizadas
Telhado reservatório	Telhado com função reservatório	Vazão ou preenchido com material poroso	Armazenamento temporário da chuva no telhado da edificação	Retardo do escoamento pluvial da própria edificação
Bacia subterrânea	Reservatório coberto, abaixo do nível do solo	Reservatório vazio, tampado e estanque. Reservatório preenchido com material poroso	Armazenamento temporário do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte
Conduitos de armazenamento	Conduitos e dispositivos com função de armazenamento	Conduitos e reservatórios alargados. Conduitos e reservatórios adicionais em paralelo	Armazenamento temporário do escoamento no próprio sistema pluvial	Amortecimento do escoamento afluente à macrodrenagem

Fonte: Governo do Estado do Paraná, 2002.

➤ Pavimentos porosos

Os pavimentos porosos são dispositivos que infiltram a água precipitada sobre eles para um reservatório na camada de base, geralmente de cascalho poroso. Destacam-se quatro tipos de pavimentos porosos como detalhado na Figura 6.

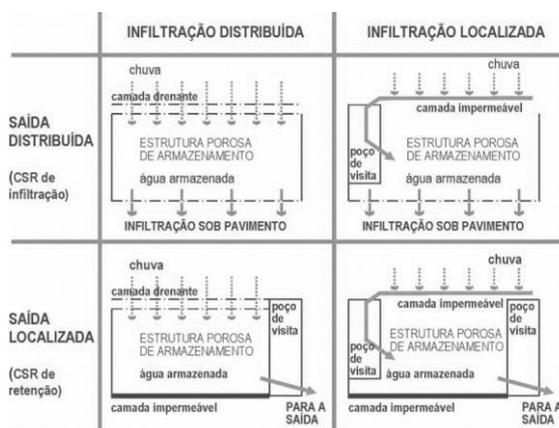


Figura 6 - Tipos de pavimentos porosos.

Fonte: Governo do Estado do Paraná, 2002.

Os pavimentos podem ter, ainda, variações quanto do tipo de revestimento superficial permeável: asfalto poroso, concreto poroso e blocos vazados de concreto, como observado a seguir (Figura 7).

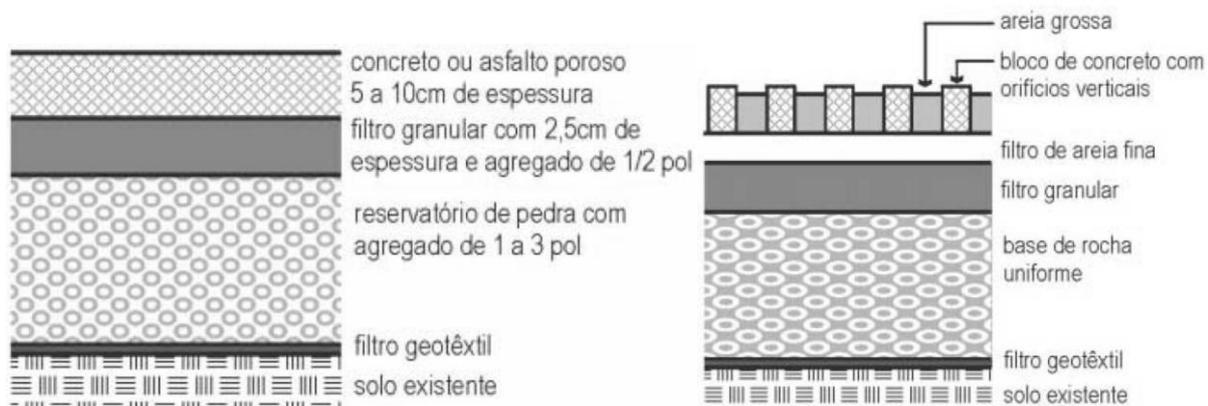


Figura 7 - Pavimentos Porosos

Fonte: Governo do Estado do Paraná, 2002.

Este dispositivo é adequado para o uso em vias de tráfego leve, estacionamentos, calçadas, praças e quadras de esporte.

➤ Trincheira de Infiltração

Segundo o Governo do Estado do Paraná (2002), as trincheiras de infiltração são dispositivos lineares que recolhem o excesso superficial para promoverem sua infiltração no solo natural. Sendo assim, o principal objetivo deste dispositivo é receber grandes descargas de escoamento pluvial de picos de chuva e, então recarregar gradativamente o aquífero ao mesmo tempo em que promove o tratamento desta água por infiltração no solo.

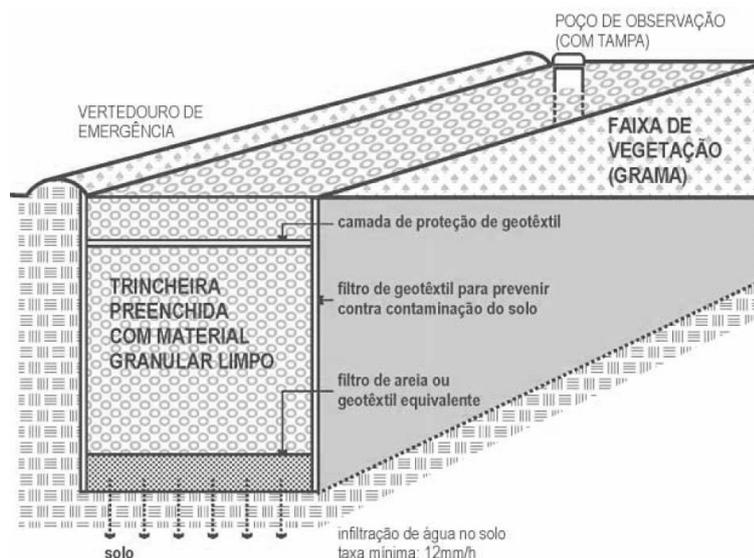


Figura 8 - Trincheira de Infiltração.

Fonte: Governo do Estado do Paraná, 2002.

➤ Valas de Infiltração

As Valas de Infiltração “são depressões lineares gramadas do terreno concebido para funcionar como pequenos canais onde o escoamento pluvial é desacelerado e infiltrado parcialmente no percurso, com o excesso destinado a uma rede pluvial convencional” (Governo do Estado do Paraná, 2002). São mais apropriadas para lotes residenciais, loteamentos e parques.

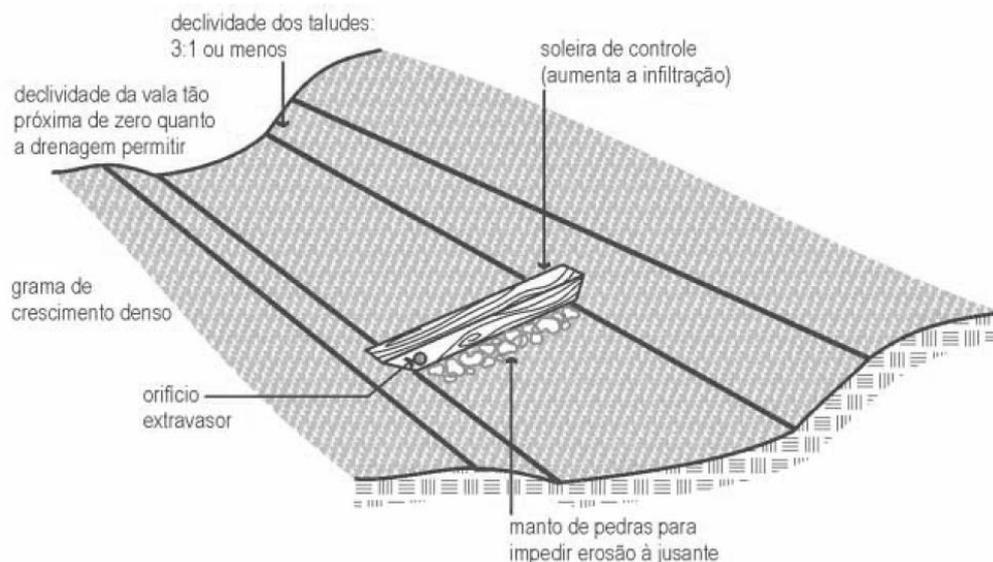


Figura 9 - Valas de Infiltração.

Fonte: Governo do Estado do Paraná, 2002.

➤ Poços de Infiltração

Para Governo do Estado do Paraná (2002), os poços de infiltração são dispositivos pontuais que permitem a evacuação superficial para dentro do solo. A estrutura pode variar por preenchimento com brita (meio poroso) ou por revestimento estrutural fixando a parede interna. É uma solução alternativa para amortecimento de pico de escoamento pluvial ocupando um pequeno espaço, o que o caracteriza como uma boa solução urbanística, além de ser econômico quando comparado às outras estruturas convencionais.

Se o poço estiver a uma distância pequena do lençol freático, ele torna-se um poço de injeção, uma vez que injeta a água de escoamento pluvial diretamente ao lençol freático. Deve-se tomar cuidado com este tipo ao mesmo tempo em que pode reequilibrar o ciclo hidrológico, também representa um grande risco de contaminação, portanto é importante projetar uma forma de tratamento ao adotar este dispositivo.

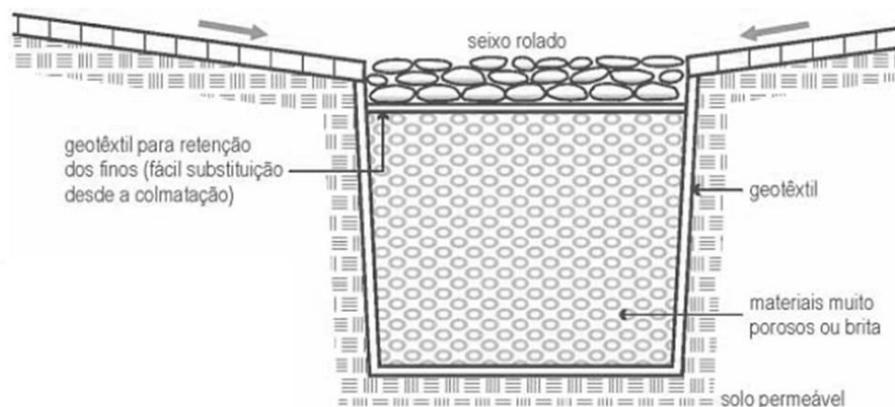


Figura 10 - Poço de Infiltração.

Fonte: Governo do Estado do Paraná, 2002.

➤ Microrreservatório

Segundo o manual (Governo do Estado do Paraná, 2002), os microrreservatórios são estruturas simples na forma de caixas de concreto, alvenaria ou outro material, preenchidos com brita e isolados por tecido geotêxtil. Estes podem ser de detenção, tendo um dispositivo de saída tipo orifício ou de infiltração no solo, como pode ser observado a seguir.

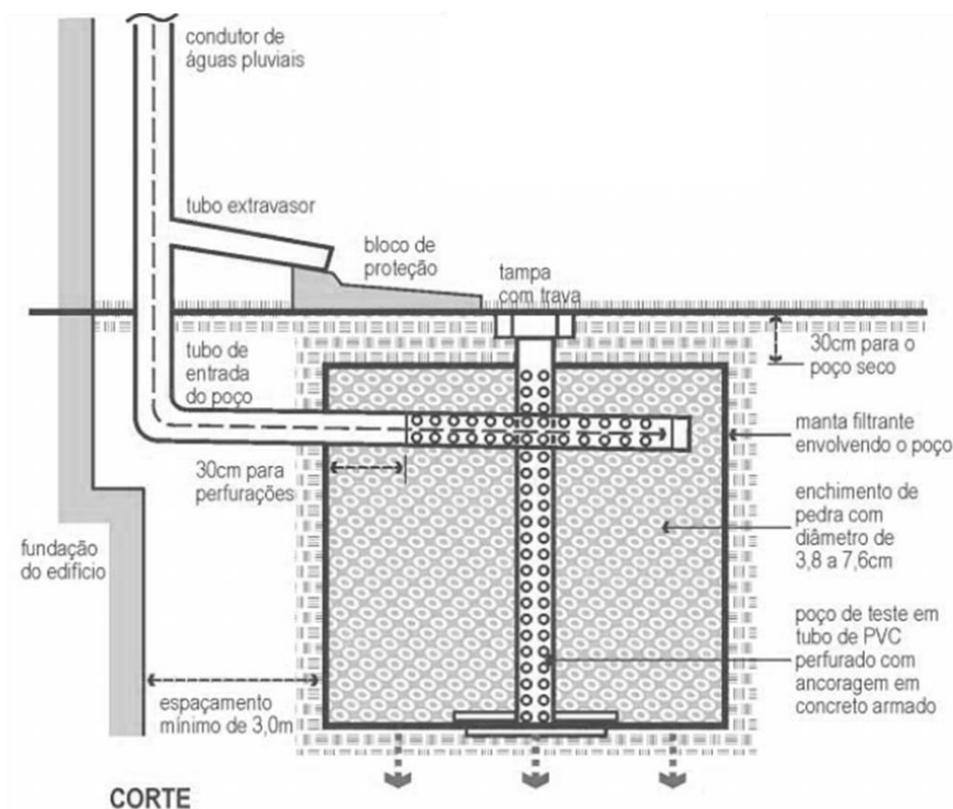


Figura 11 - Microrreservatório poroso enterrado.

Fonte: Governo do Estado do Paraná, 2002.

➤ Telhado Reservatório

O telhado reservatório é uma medida de controle compensatória da impermeabilização inevitável de uma cobertura de uma edificação. Este funciona como um reservatório que

armazena provisoriamente a água das chuvas e a libera gradualmente para a rede pluvial. Também é possível adotar um telhado jardim ou com cascalho para o conforto térmico. (A) - Telhado Plano; (B) - Telhado Inclinado; (C) - Telhado reservatório com cascalho.

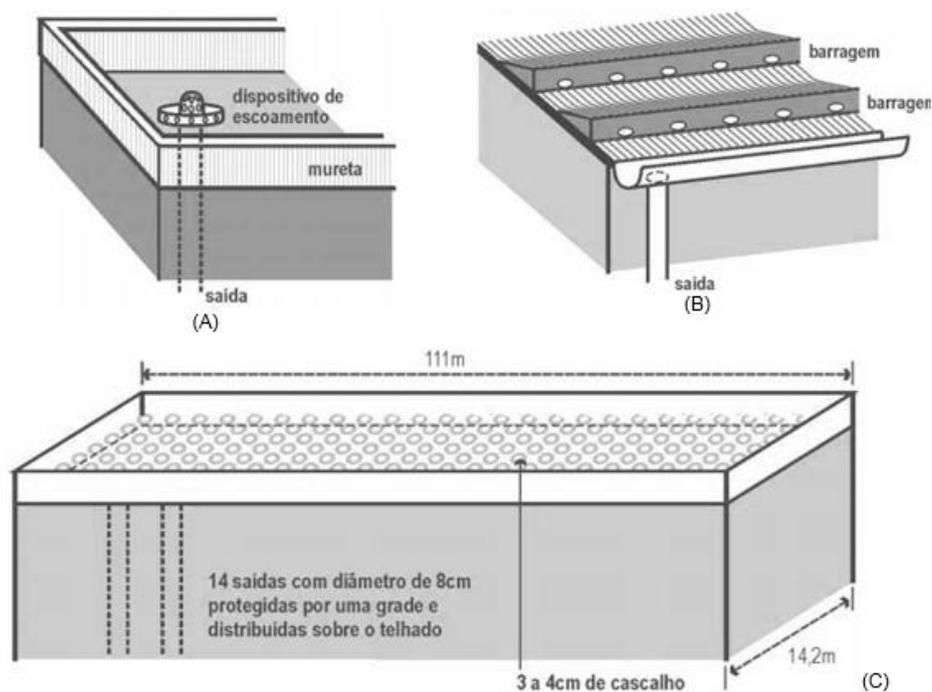


Figura 12 - Tipos de Telhados Reservatórios.

Fonte: Governo do Estado do Paraná, 2002.

➤ Bacias Subterrâneas

A bacia subterrânea funciona como um uma bacia de retenção impermeável construída a céu aberto abaixo do solo, contendo uma parede impermeável, permitindo a utilização desta área para outro fim como uma área de jardim, parque ou terreno de esporte. Deverá conter um vertedor de extravasamento por segurança da obra (Governo do Estado do Paraná, 2002).

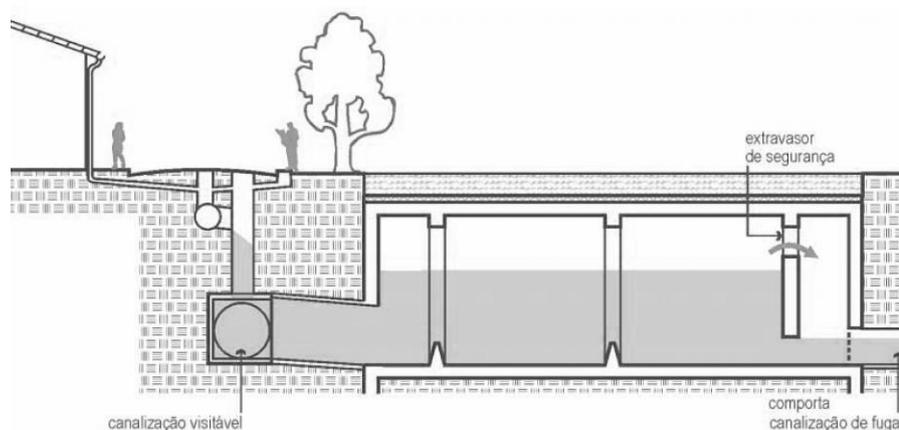


Figura 13 - Bacia subterrânea.

Fonte: Governo do Estado do Paraná, 2002.

➤ **Condutores de Armazenamento**

Os condutores de armazenamento são basicamente o sistema de drenagem de águas pluviais urbanas com sua escala aumentada (aumento do diâmetro de condutores e capacidade das sarjetas). O aumento pode ser ampliado para bocas-de-lobo e 'poços de visita para que sirvam de microrreservatórios.

No Produto 2 - Diagnóstico, foram identificadas algumas práticas que já vem sendo adotadas no município de São Pedro do Iguaçu neste sentido:

- Bacias de amortecimento;
- Micro reservatório de água pluvial.



Figura 14 - Aproveitamento de águas pluviais.

Fonte: Habitat Ecológico, 2017.



Figura 15 - Lançamento 3 – bacia de detenção.

Fonte: Habitat Ecológico, 2017.

Dentre as diversas medidas de controle na fonte, a Tabela 10 aponta quais são as mais adequadas de acordo com as características de solo, profundidade do lençol freático, declividade, carga hidráulica e espaço disponível. Tais características deverão ser observadas para a definição das ações mais apropriadas a serem implantadas.

Tabela 10 - Aplicabilidade de medidas de controle na fonte em relação as características locais.

Medidas de controle na fonte	Solo		Prof. Do Lençol		Declividade		Carga hidráulica		Espaço disponível	
	Impermeável	Permeável	0 a 1,2 m	> 1,2 m	0 - 5%	> 5%	0 - 1 m	1 - 2 m	Pouco	Muito
Pavimento Permeável com infiltração parcial ou total no subleito	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Pavimento Permeável sem infiltração no subleito	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Trincheira de infiltração	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Vala de infiltração	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Poço de infiltração	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Micro reservatório	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Telhado reservatório	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Reservatório de detenção aberto	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Reservatório de retenção aberto	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Reservatório subterâneo pontual	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Reservatório subterâneo linear	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Faixa gramada	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

● sim

● depende de análise específica das condições locais

● não

Tabela adaptada do Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de São Paulo (PMSP, 2012) e do Manual de Drenagem de Curitiba (SUDERHSA; CH2M Hill., 2002)

Fonte: ADASA, 2017.

3.3.4.3. Macro drenagem

As ameaças apontadas pelo Diagnóstico (Produto 2) com relação à macro drenagem no município de São Pedro do Iguaçu, estão relacionadas basicamente com o lançamento das águas pluviais nos corpos receptores, que sem as medidas necessárias acabam causando processos erosivos. Esta situação ocorre em um ponto na sede do município e em outras três localidades do distrito de Luz Marina, onde há maior risco de que as erosões causem prejuízos aos moradores.

As voçorocas podem ser classificadas, de acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1990), como:

- Profundas – quanto têm mais de 5m de profundidade;
- Médias – quanto têm de 1 a 5m;
- Pequenas – com menos de 1m.

Utilizando esta classificação, é possível identificar as quatro voçorocas localizadas na área urbana de São Pedro do Iguaçu, quanto ao seu porte (Quadro 5), localizadas de acordo com a Figura 16 e Figura 17 a seguir.

Quadro 5 - Classificação das voçorocas de São Pedro do Iguaçu.

Localidade	Referência	Classificação
Luz Marina	Rua São Pedro	Média
	Rua Pirapora	Média
	PR-317	Pequena
Sede	Rua Santa Catarina / Rua Cuiabá	Pequena

Fonte: Habitat Ecológico, 2017.

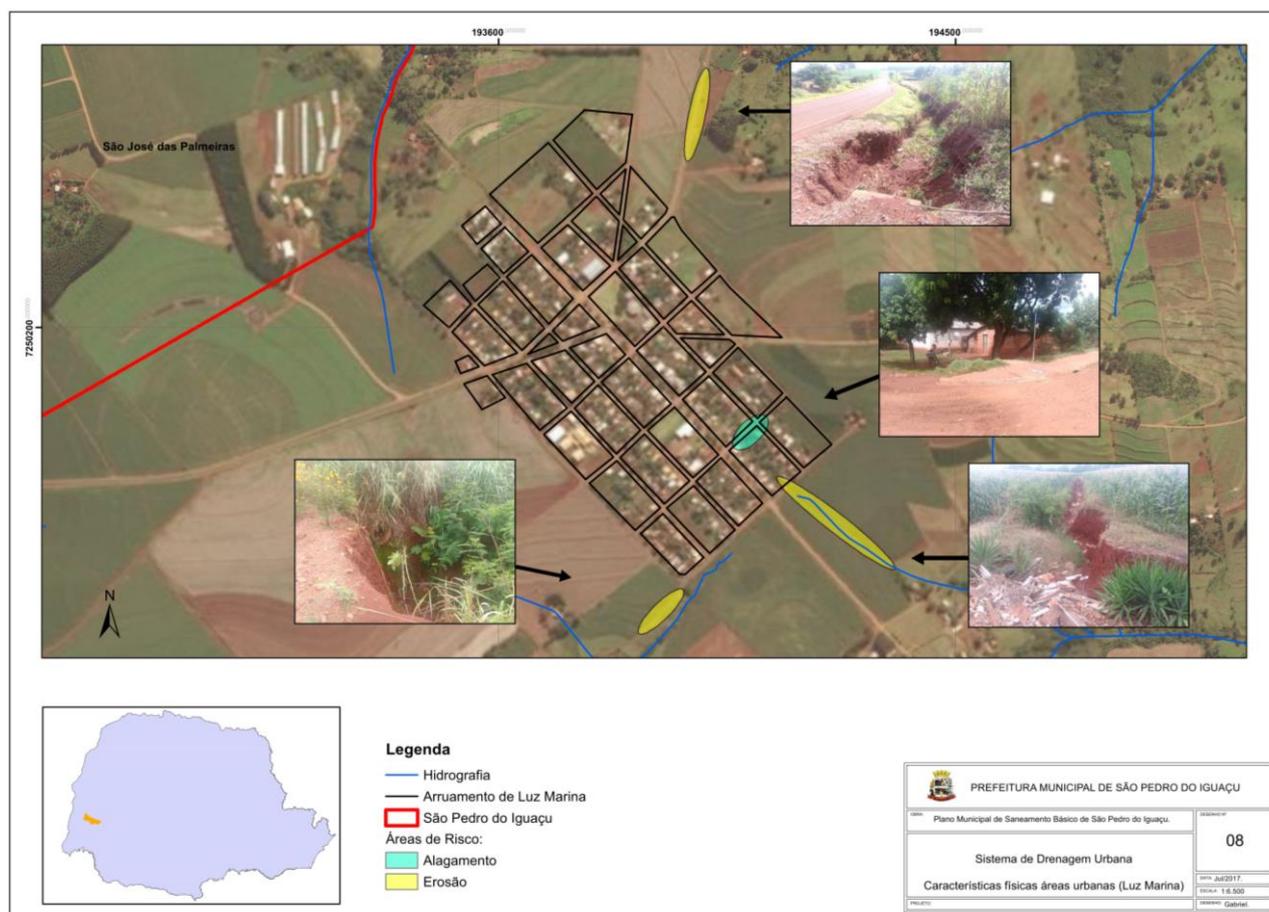


Figura 16 - Áreas de risco no Distrito de Luz Marina.

Fonte: Habitat Ecológico, 2017.

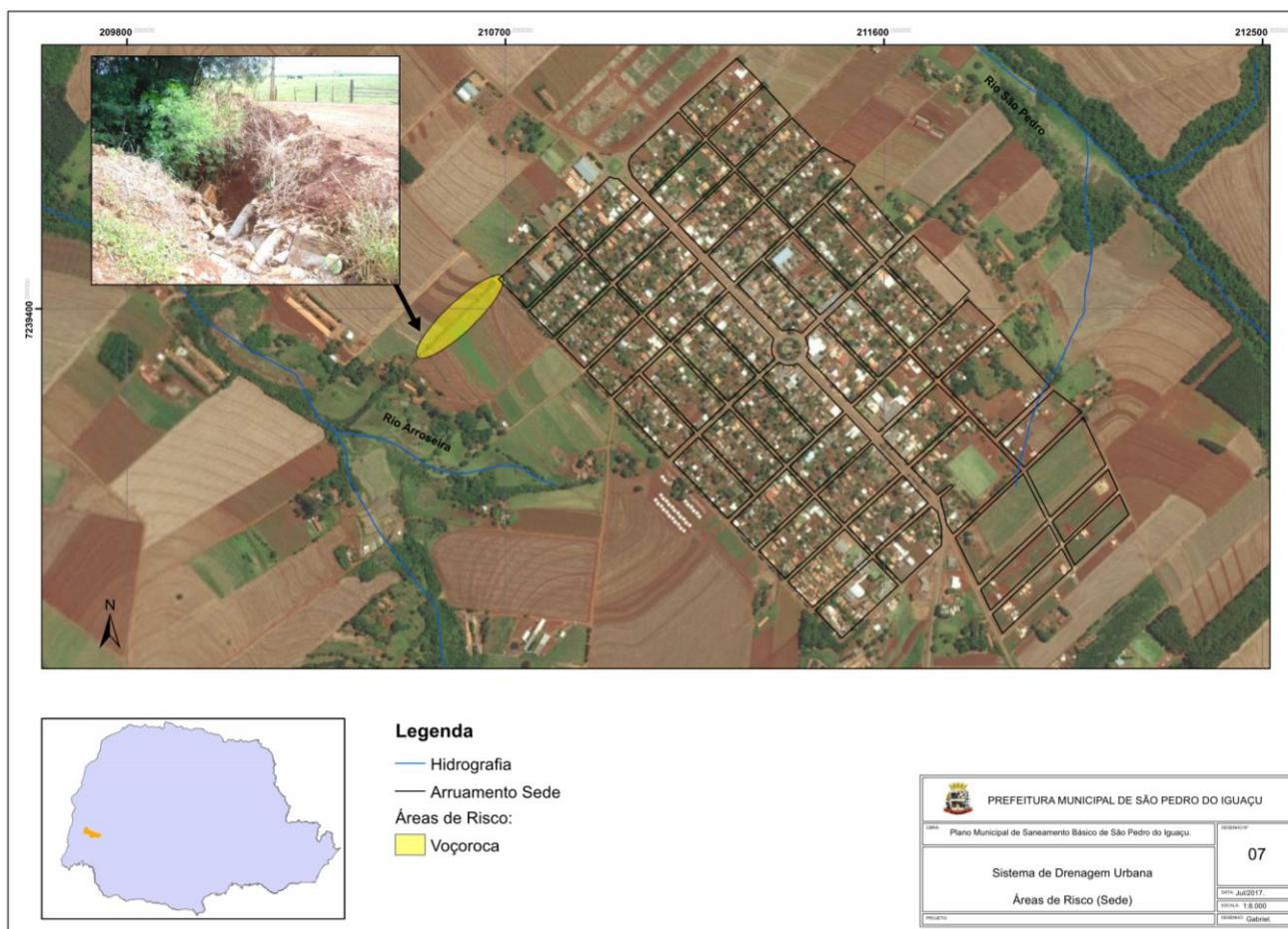


Figura 17 - Áreas de risco na Sede do município de São Pedro do Iguaçu.

Fonte: Habitat Ecológico, 2017.

Tradicionalmente, os estudos e projetos sobre o combate da erosão urbana definem dois procedimentos básicos, detalhados como estruturais e não-estruturais. Os estruturais referem-se às obras de infraestrutura necessárias para a captação, infiltração, armazenagem, transporte e disposição em vale receptor estabilizado das águas pluviais urbanas. As não-estruturais se constituem nos elementos institucionais, os quais possibilitam através de normas e procedimentos legais a elaboração dos projetos, execução das obras, operação e manutenção dos sistemas de macrodrenagem e lançamento nos corpos hídricos que compõem o sistema hidrográfico local.

Isto posto, entende-se ainda, que a erosão urbana deve fazer parte de um conjunto de medidas que englobam a seguinte estruturação:

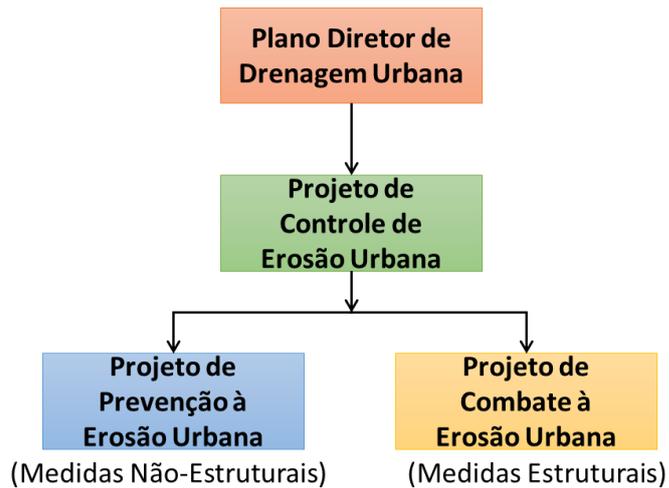


Figura 18 – Estruturação das Medidas Convencionais e Não-Convencionais.

Fonte: Habitat Ecológico, 2017.

Na sequência, apresentam-se algumas possíveis soluções de forma generalizada, projetada e implantada pela SUCEPAR – Superintendência de Controle de Erosão Urbana do Paraná, referenciadas em Fendrich et. al. (1997).

➤ Dissipador de energia tipo BRADLEY-PETERKA

Estas estruturas são indicadas para pequena descarga, de até 11 m³/s e velocidade de chegada inferior a 9 m/s. A dissipação de energia ocorre através do choque do jato de água no defletor vertical suspenso e, pelos redemoinhos que se formam pela mudança de direção do fluxo da corrente. Para seu correto funcionamento, o nível da geratriz interna inferior do tubo deverá ser o mesmo para o bordo inferior do defletor vertical e para o fundo do canal de deságue.

Durante a sua execução, alguns cuidados deverão ser tomados com relação à proteção do canal à jusante com enrocamento de pedra ou sacos de solo-cimento numa extensão de no mínimo 10 m, devendo proteger os taludes do canal até acima do nível de água de jusante.

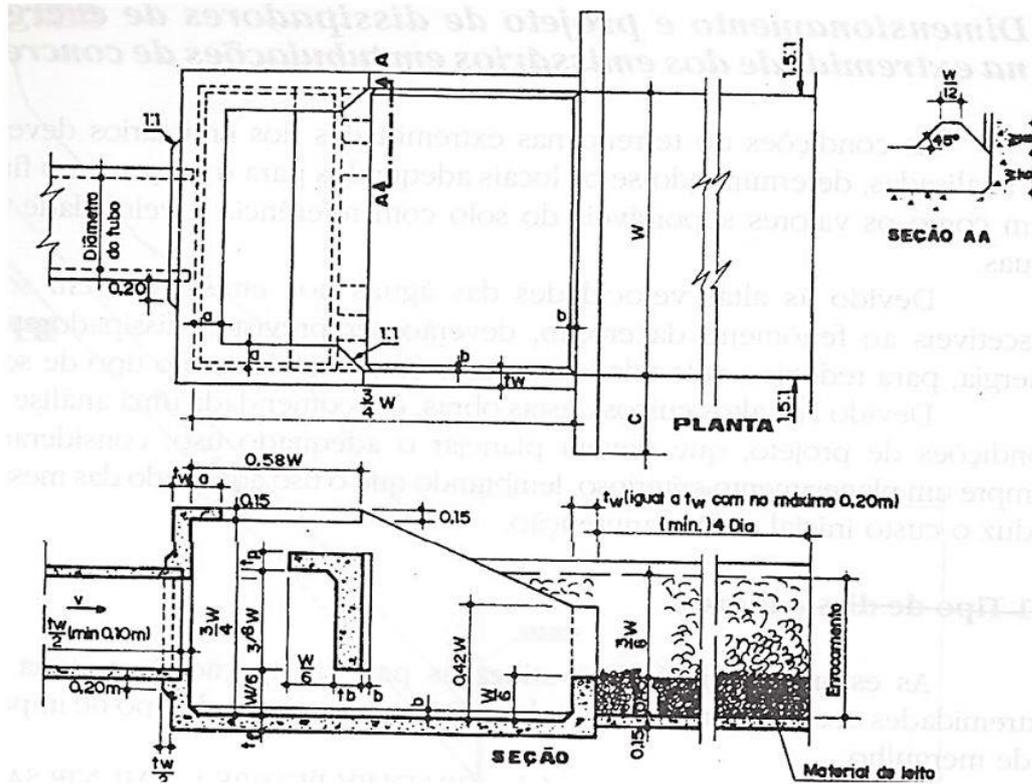


Figura 19 – Dissipador Bradley Peterka.

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

Tabela 11 – Critérios de Dimensionamento: dimensões de concreto propostas.

Q (m^3/s)	a (m)	b (m)	c (m)	t_w (m)	t_r (m)	t_b (m)	t_p (m)
2,38	0,22	0,07	0,91	0,20	0,20	0,22	0,20
5,66	0,30	0,10	0,91	0,25	0,27	0,25	0,20
9,49	0,35	0,15	0,91	0,30	0,30	0,30	0,20
11,32	0,40	0,15	0,91	0,30	0,33	0,30	0,20

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

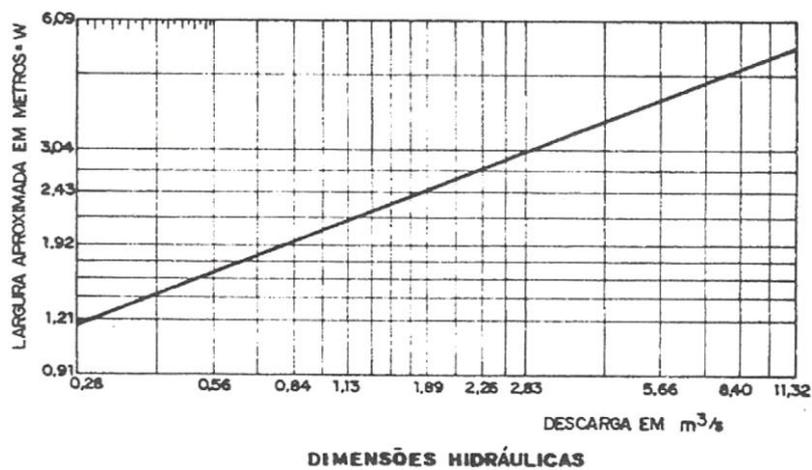


Figura 20 – Critérios de Dimensionamento.

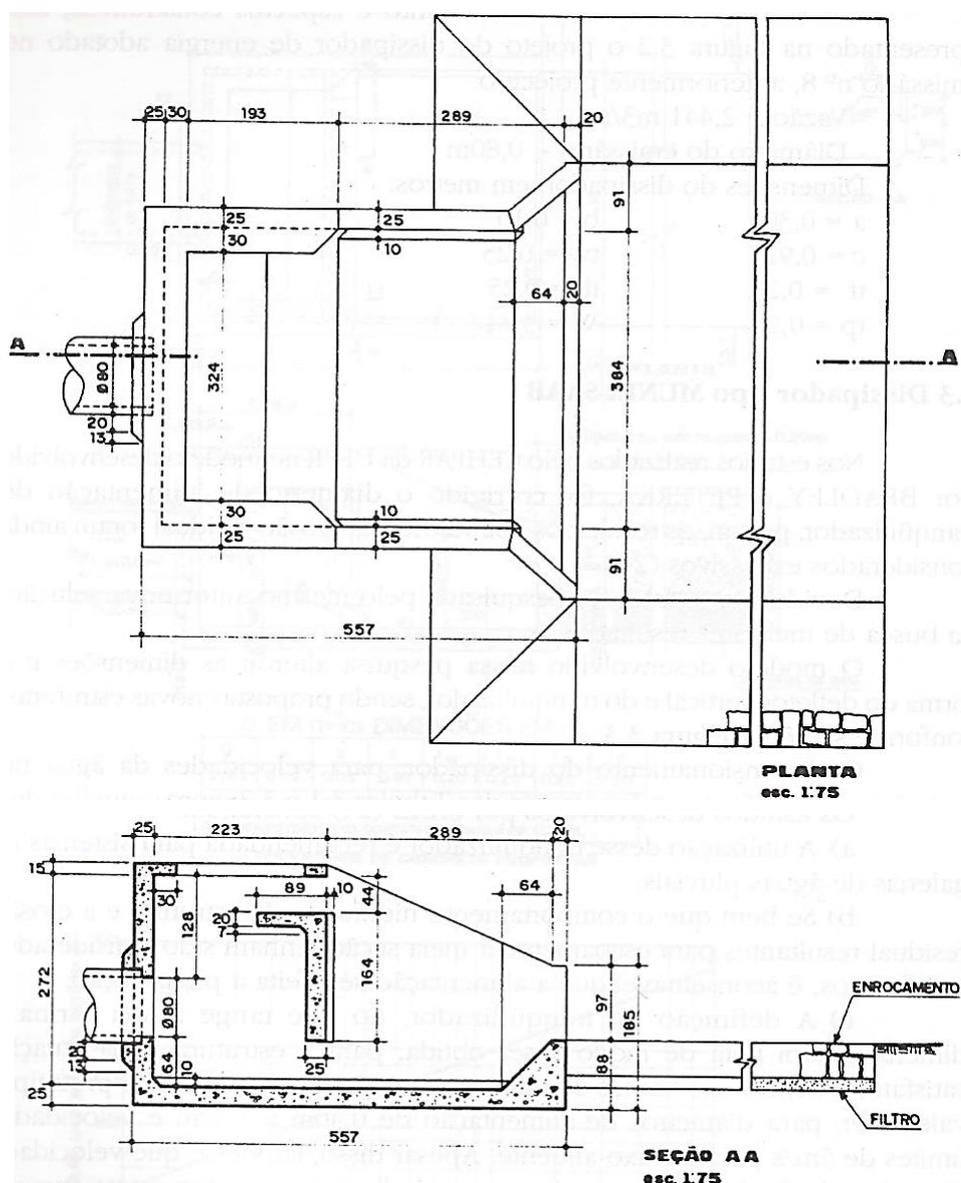
Fonte: FENDRICH et al, 1997.

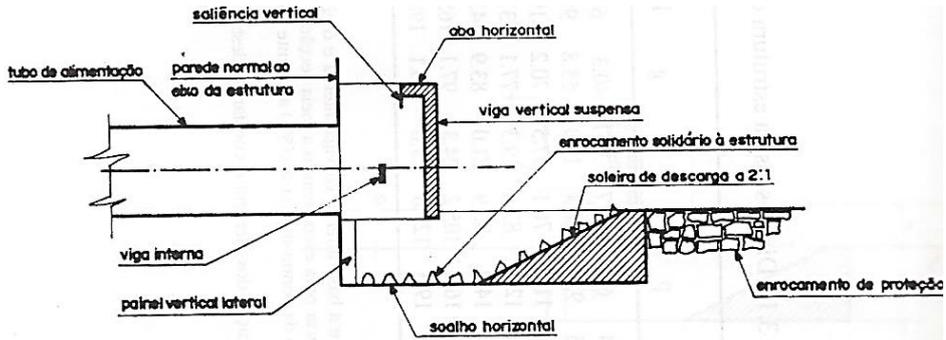
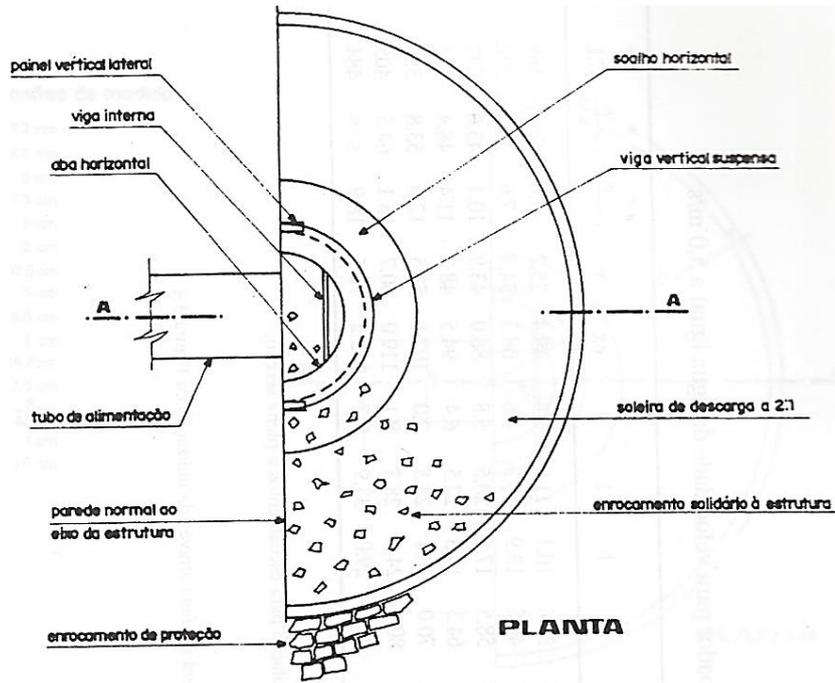
➤ Dissipador tipo MUNIR SAAB

A utilização deste dissipador é recomendada para sistemas de galerias de águas pluviais, sendo aconselhável a alimentação em seção plena para velocidades limite de 5 m/s para o fluxo afluyente, Níveis de água não excessivos à jusante melhoram o comportamento hidráulico da estrutura e reduzem os valores residuais de erosão.

Visando obter condições favoráveis de funcionamento hidráulico, é recomendável que o canal de descarga apresente, como mínimo, o dobro da largura da estrutura e seja mantido horizontal numa extensão de quatro vezes a mesma largura.

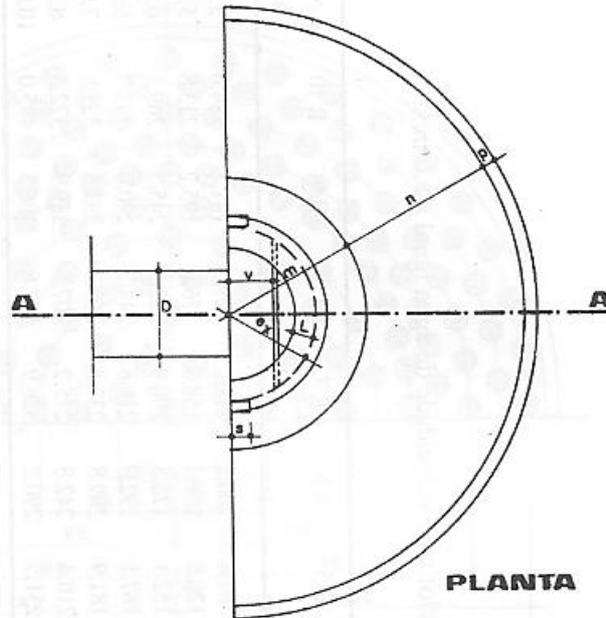
Segundo Fendrich et al. (1997), foi comprovado que o tranquilizador proposto propicia a obtenção de fossas de erosão com dimensões substancialmente menores do que as verificadas para o dissipador Bradley-Peterka.

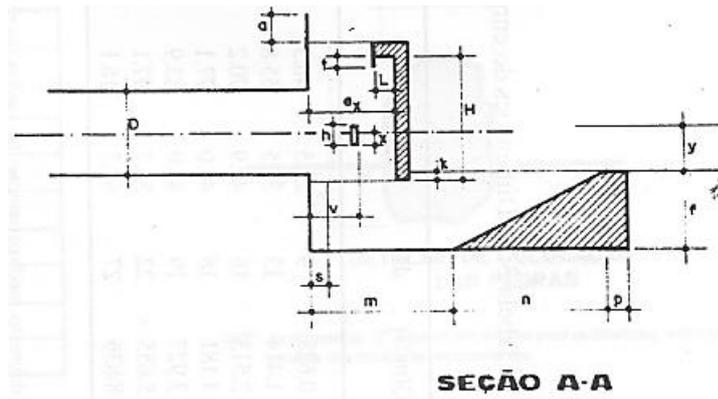




Dimensões de modelo

- m = 22 cm
- n = 26 cm
- p = 2 cm
- f = 13 cm
- s = 3 cm
- g = 2 cm
- H = 20,5 cm
- h = 3 cm
- L = 3,5 cm
- t = 1 cm
- e_x = 14,7 cm
- v = 7,5 cm
- x = $\frac{R}{3,96}$
- k = 1 cm
- a = 10 cm





SEÇÃO A-A

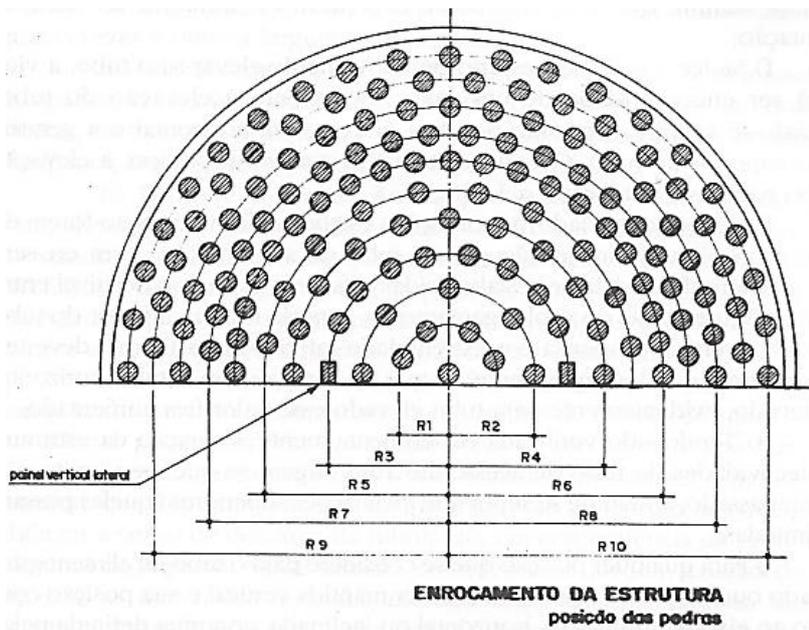
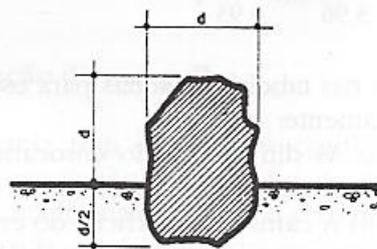
ENROCAMENTO DA ESTRUTURA
posição das pedras

Tabela do nº de pedras em
cada raio

RAIOS	Nº DE PEDRAS
R 1	4
R 2	5
R 3	8
R 4	11
R 5	10
R 6	21
R 7	20
R 8	21
R 9	20
R 10	21

DETALHE DE COLOCAÇÃO
DAS PEDRAS

OBS:- As dimensões "d" deverão ser obtidas para os diferentes protótipos através das tabelas de enrocamentos.

Figura 21 – Dissipador MUNIR SAAB.

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

➤ Dissipador tipo bacia de dissipação de mergulho

O dissipador tem sua dimensão e função da vazão e tamanho da pedra de enrocamento. A bacia apresenta forma oval, com eixo mais longo na direção do conduto e do canal de saída, como pode ser observado na Figura 22. Pontes (1975, *apud*. FENDRICH, 1997) afirma que o cálculo de uma bacia de dissipação baseia-se no fato de que as águas, descarregadas pelos emissários, cavariam naturalmente o terreno até atingir uma profundidade limite.

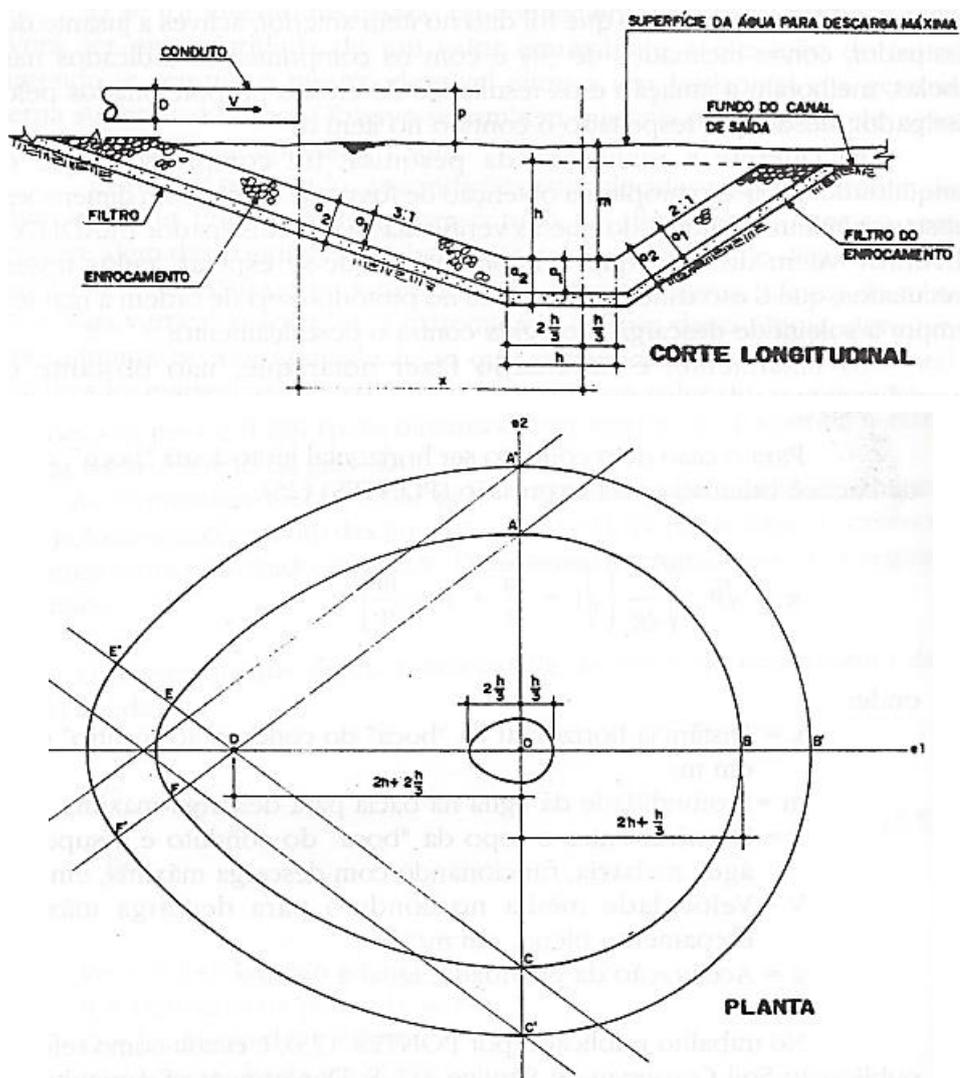


Figura 22 – Bacia de Dissipação tipo Mergulho.

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

Procurando exemplificar e quantificar a importância e consequências na dimensão da bacia devido ao tamanho da pedra de enrocamento, Fendrich (1997) apresenta diferentes situações na Tabela 12.

Tabela 12 – Dimensões da bacia em função da vazão, diâmetro do conduto, para diversas dimensões da pedra de enrocamento para $P = D$.

Vazão Máxima $Q(m^3/s)$	Diâmetro interno do conduto $DS(m)$	Velocidade média no conduto $V(m/s)$	Dimensão da pedra de enrocamento $d(m)$	Profundidade da água na bacia para vazão máxima $h(m)$	Distância horizontal da "boca" de conduto ao centro da bacia $x(m)$	Profundidade* da água na bacia $m(m)$	Desnível entre o topo da boca do conduto e a superfície da água $P(m)$
1,0	0,60	3,48	0,05	1,24	2,54	1,54	0,60
			0,10	0,97	2,33	1,27	0,60
			0,15	0,77	2,17	1,07	0,60
			0,20	0,62	2,04	0,92	0,60
2,5	0,80	4,97	0,05	2,20	4,70	2,60	0,80
			0,10	1,69	4,22	2,09	0,80
			0,15	1,42	3,96	1,82	0,80
			0,20	1,22	3,76	1,62	0,80
5,0	1,20	4,42	0,10	2,38	4,49	2,98	1,20
			0,15	2,01	4,23	2,61	1,20
			0,20	1,76	4,05	2,36	1,20
			0,25	1,56	3,90	2,16	1,20
10,0	(2)x1,20	4,42	0,15	3,30	5,12	3,90	1,20
			0,20	2,95	4,88	3,55	1,20
			0,25	2,68	4,66	3,22	1,20
			0,30	2,46	4,54	3,06	1,20
15,0	(2)x1,20	6,63	0,20	3,93	8,31	4,53	1,20
			0,25	3,63	8,01	4,23	1,20
			0,30	3,34	7,72	3,94	1,20
			0,35	3,12	7,50	3,72	1,20
20,0	(3)x1,20	5,89	0,30	4,11	7,54	4,71	1,20
			0,40	3,63	7,12	4,23	1,20
			0,50	3,27	6,80	3,87	1,20
			0,60	2,97	6,53	3,57	1,20

*Considerando a altura da água na saída da Bacia a $D/2$ (m).

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

Tabela 13 – Dimensões da bacia em função da vazão, diâmetro do conduto, para diversas dimensões da pedra de enrocamento para $P = D + 0,50m$.

Vazão Máxima Q(m ³ /s)	Diâmetro interno do conduto DS(m)	Velocidade média no conduto V(m/s)	Dimensão da pedra de enrocamento d(m)	Profundidade da água na bacia para vazão máxima h(m)	Distância horizontal da “boca” de conduto ao centro da bacia x(m)	Profundidade* da água na bacia m(m)	Desnível entre o topo da boca do conduto e a superfície da água P(m)
1,0	0,60	3,48	0,05	1,24	2,68	1,54	1,10
			0,10	0,97	2,51	1,27	1,10
			0,15	0,77	2,38	1,07	1,10
			0,20	0,62	2,29	0,92	1,10
2,5	0,80	4,97	0,05	2,20	4,78	2,60	1,30
			0,10	1,69	4,38	2,09	1,30
			0,15	1,42	4,16	1,82	1,30
			0,20	1,22	4,00	1,62	1,30
5,0	1,20	4,42	0,10	2,38	4,60	2,98	1,70
			0,15	2,01	4,37	2,61	1,70
			0,20	1,76	4,21	2,36	1,70
			0,25	1,56	4,09	2,16	1,70
10,0	(2)x1,20	4,42	0,15	3,30	5,17	3,90	1,70
			0,20	2,95	4,95	3,55	1,70
			0,25	2,68	4,75	3,22	1,70
			0,30	2,46	4,65	3,06	1,70
15,0	(2)x1,20	6,63	0,20	3,93	8,29	4,53	1,70
			0,25	3,63	8,03	4,23	1,70
			0,30	3,34	7,78	3,94	1,70
			0,35	3,12	7,58	3,72	1,70
20,0	(3)x1,20	5,89	0,30	4,11	7,50	4,71	1,70
			0,40	3,63	7,13	4,23	1,70
			0,50	3,27	6,85	3,87	1,70
			0,60	2,97	6,61	3,57	1,70

*Considerando a altura da água na saída da Bacia a $D/2$ (m).

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

Considerando o exposto, para pedras maiores tem-se menores dimensões na bacia. Dessa forma sugere-se o seguinte:

Vazão (m ³ /s)	Tamanho da pedra de enrocamento (m)
1,0 a 2,5	0,15
2,5 a 5,0	0,20
5,0 a 10,0	0,25
10,0 a 15,0	0,30
15,0 a 20,0	0,50

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

➤ Dissipadores de energia em canais

Em muitos casos, na saída de canais quando não ocorre em seções hidráulicamente estáveis, é necessário um dissipador de energia que possibilite reduzir a alta velocidade de saída a um regime de escoamento tranquilo, garantindo a estabilidade do corpo receptor no ponto de lançamento, bem como a estabilidade da própria obra (FENDRICH et al, 1997).

▪ Bacias dissipadoras com ressalto hidráulico

As bacias de dissipação, geralmente usadas para a dissipação de escoamentos de turbulência não muito intensas, devem estar acompanhadas de dispositivos especiais dispostos fora da bacia para o amortecimento de ondas, em situações de alta turbulência, obtendo um escoamento reativamente uniforme a jusante. A Figura 23 ilustra o exposto.

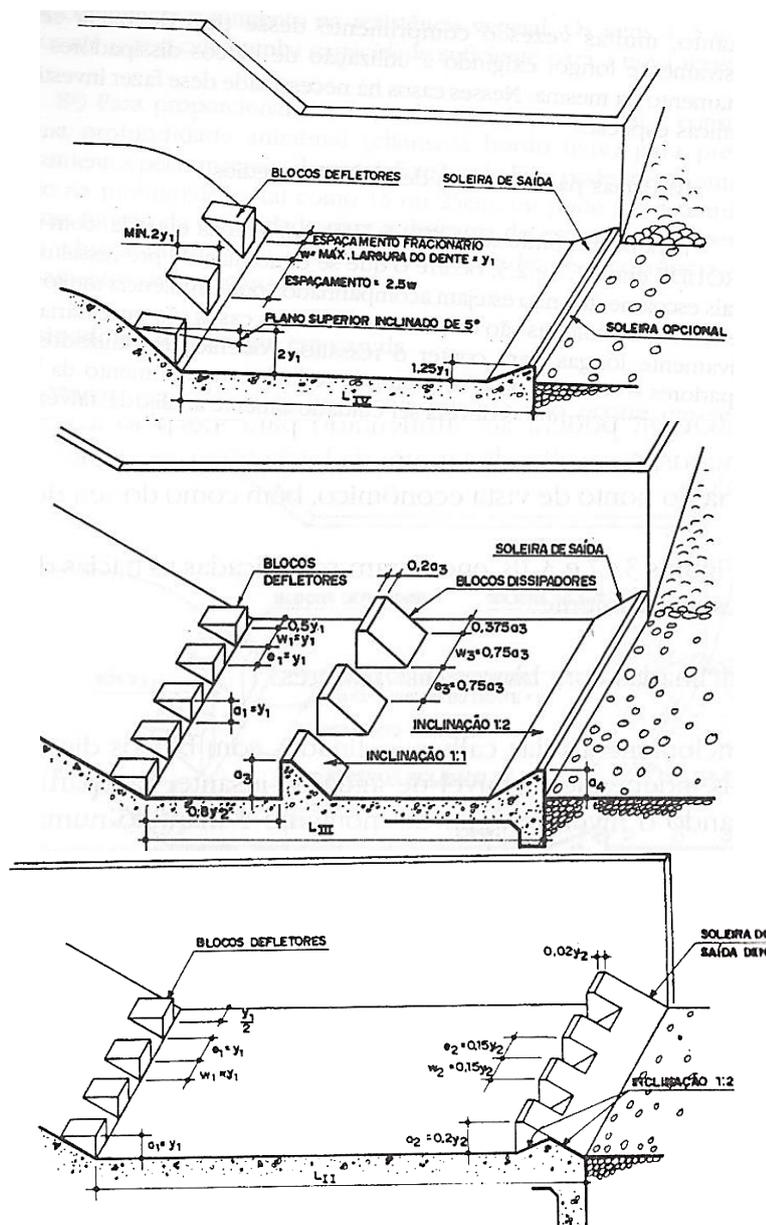


Figura 23 – Bacias de Dissipação.

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

- Calhas inclinadas com blocos dissipadores

O funcionamento das calhas inclinadas com blocos dissipadores na saída de canais independe do nível de água de jusante. São particularmente vantajosas quando o nível de água de montante é mantido numa cota mais elevada, permitindo condições de armazenamento durante as vazões de pico. Alguns exemplos no Brasil estão localizados no vale receptor “Coloninha”, em Paranavaí/PR e em Assis/SP. (FENDRICH et al, 1997).

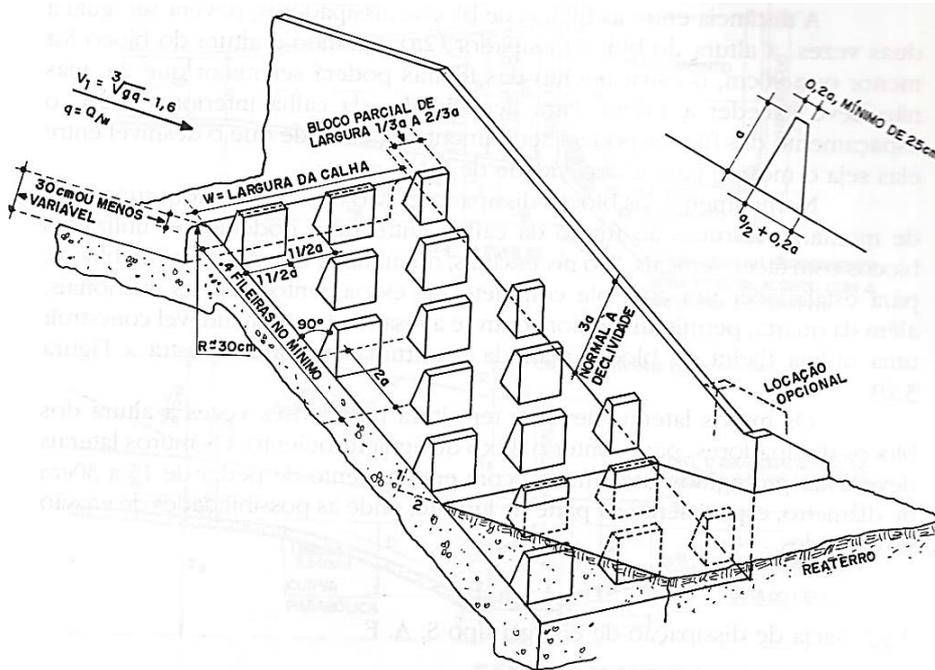
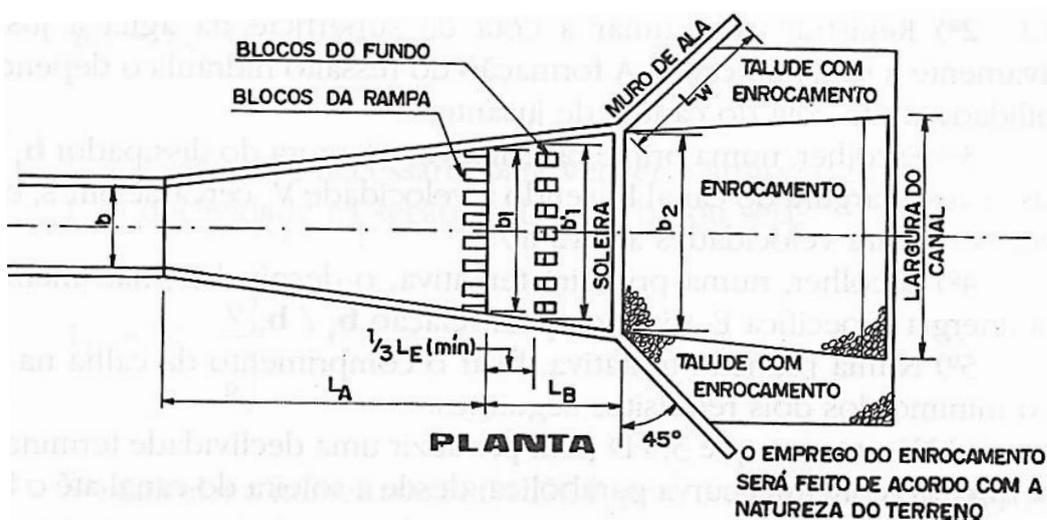


Figura 24 – Calhas com Blocos Dissipadores.

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

- Bacia de dissipação de energia tipo S.A.F.

Os elementos hidráulicos para a bacia de dissipação de energia tipo SAF (Saint Anthony Falls Basin) estão apresentados a seguir.



➤ Vertedor de queda

Vertedores de quedas são instalados em canais para estabelecer um controle permanente de maneira que uma corrente erosiva não possa rebaixar o leito do canal, realizando o controle desde a crista do vertedor até o reservatório formado a montante. Estruturas de queda colocadas ao longo do canal podem estabilizá-lo, mudando o seu perfil de uma declividade íngreme e contínua a uma série de trechos com declividades mais suaves. Em locais onde há volumes de água relativamente grandes, devem haver estruturas estreitas para o escoamento desta água. A entrada em curva também possui o mesmo propósito, e traz vantagens como o efeito dos esforços em arco, onde a construção de alvenaria é empregada. Vertedores de queda limitam-se para quedas de até 3m. São indicados vertedores tipo calha ou tubulares tipo “cachimbo” para maiores.

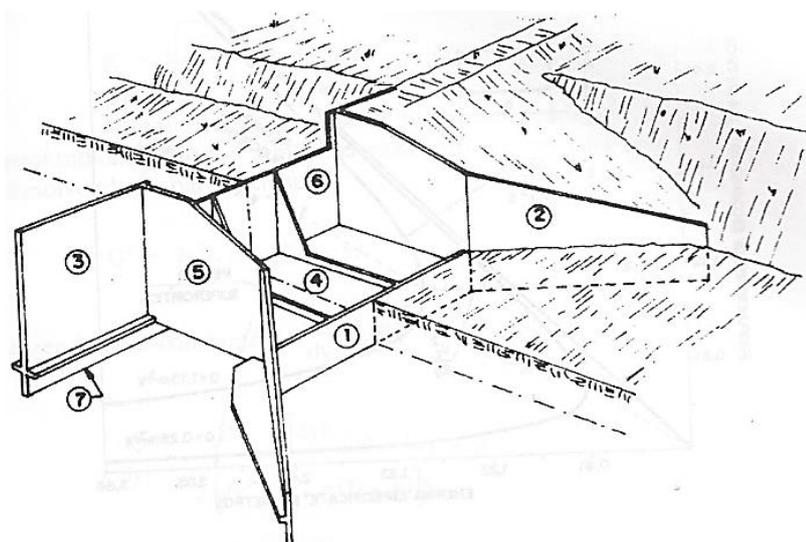
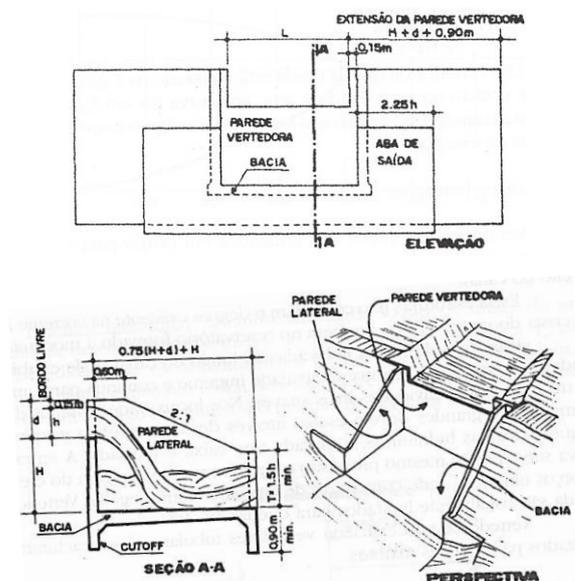


Figura 27 – Vertedor de queda.

(1) – Soleira Terminal; (2) – Abas de Saída; (3) – Extensão da Parede de Topo; (4) – Bacia de Dissipação; (5) – Parede Lateral; (6) – Parede de Topo; (7) – Parede de Cutoff.

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

Na tabela a seguir, encontram-se os valores de projeto para os vertedouros de queda simples, para coeficiente de descarga $C_w = 1,705$.

Tabela 14 – Vazão de projeto para vertedouros de queda simples (m^3/s).

Carga h (m)	Largura do Vertedor L, em m							
	1,8	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8	5,4	6,0
0,30	0,50	0,67	0,84	1,00	1,18	1,34	1,51	1,68
0,45	0,93	1,21	1,54	1,85	2,16	2,47	2,78	3,09
0,60	1,43	1,90	2,38	2,85	3,33	3,80	4,23	4,75
0,75	1,99	2,66	3,32	3,99	4,65	5,32	5,98	6,64
0,90	2,62	3,49	4,37	5,24	6,11	6,99	7,86	8,73
1,05	3,30	4,40	5,50	6,60	7,70	8,80	9,90	11,0

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

➤ Bacia de Dissipação

A energia cinética da água na queda deve ser dissipada ou convertida em energia potencial antes que o escoamento seja descarregado da estrutura.

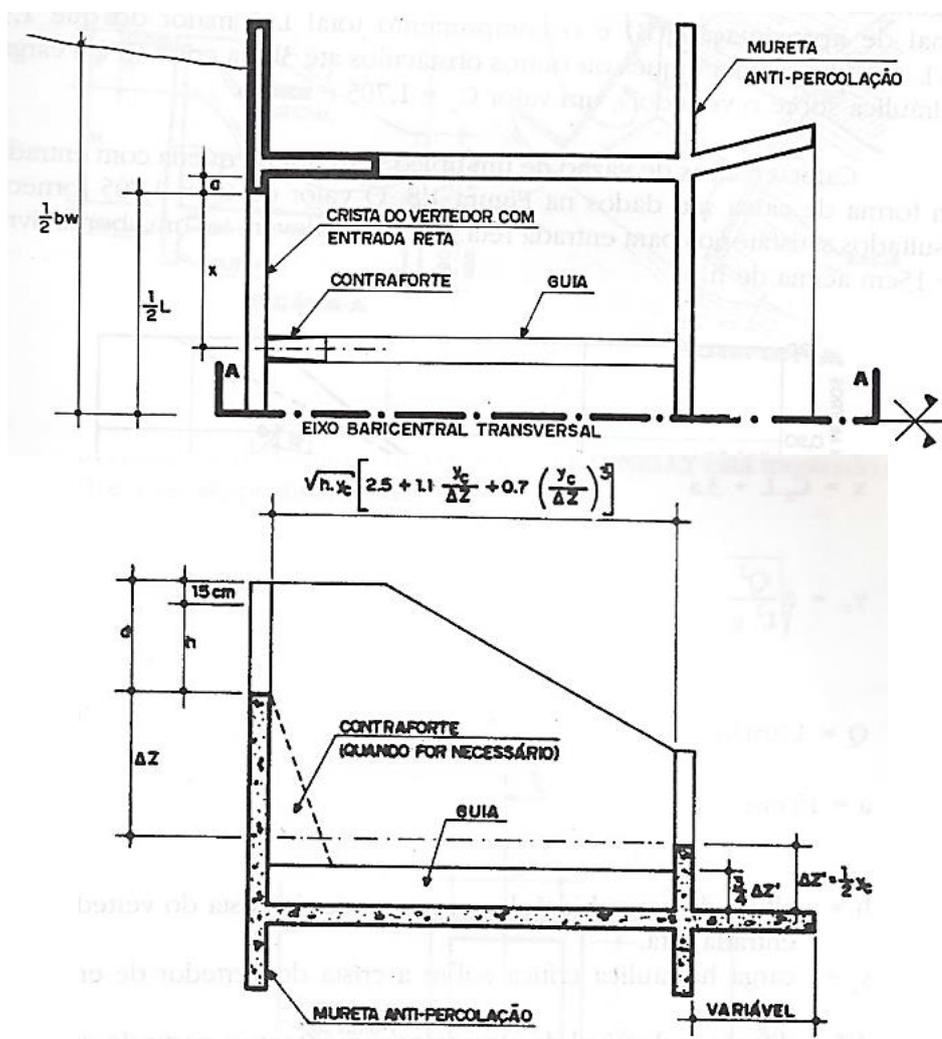


Figura 28 – Bacia de dissipação reta (planta e seção A-A).

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

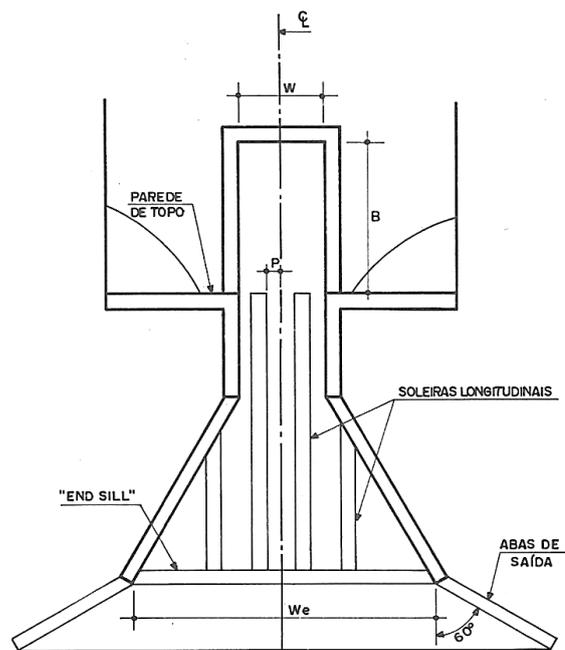


Figura 29 – Bacia de dissipação reta.

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

- Barragem de terra com vertedor de gabião – tipo SUCEPAR – A.

Todo o maciço da barragem é construído em terra, sendo que o vertedor, em gabião, é apoiado no corpo da mesma. A barragem de terra deve ser construída com certo cuidado adicional na perfeita compactação que deve ser realizada no maciço abaixo do vertedor. O solo nesta posição deve ser colocado em camadas de espessura compatível com o instrumental a ser usado na compactação: se rolo “pé-de-carneiro”, camadas de 60-80cm; se pilão manual, camadas de 15 a 20cm.

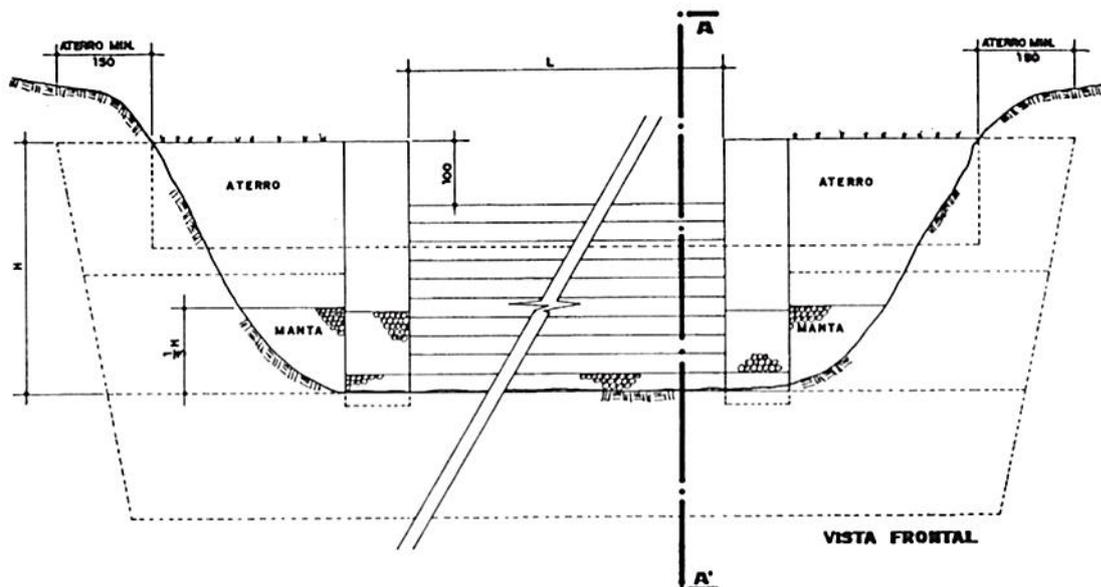


Figura 30 – Projeto SUCEPAR – A

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

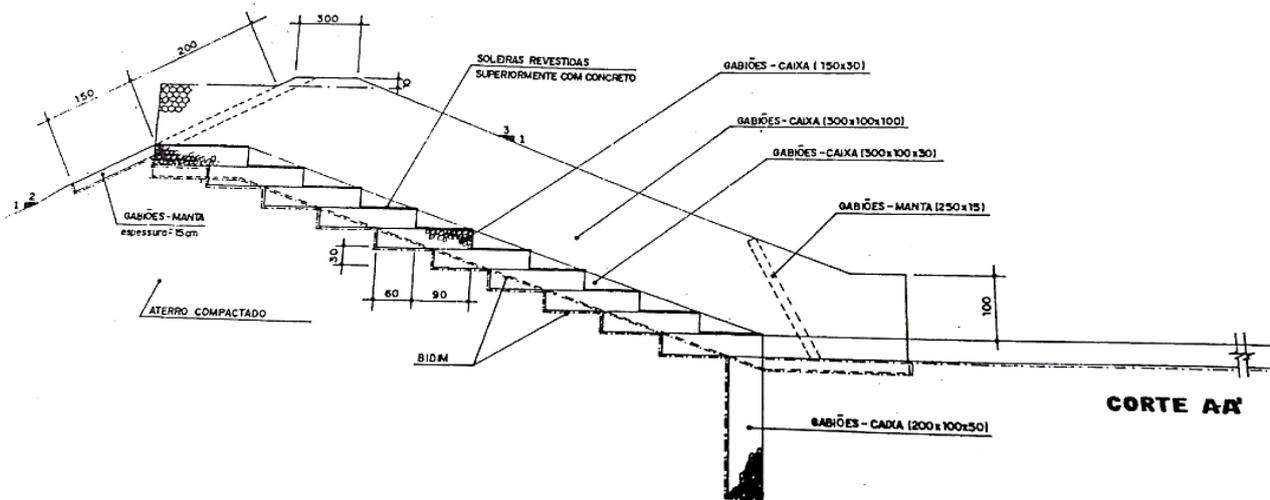


Figura 31 – Projeto SUCEPAR – A

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

- Barragem de terra com vertedor de gabião – tipo SUCEPAR – B.

Este tipo de obra seria constituído de tal forma que as ombreiras seriam barragens de terra compactada e o vertedor feito com gabião-tipo. Ver figuras a seguir

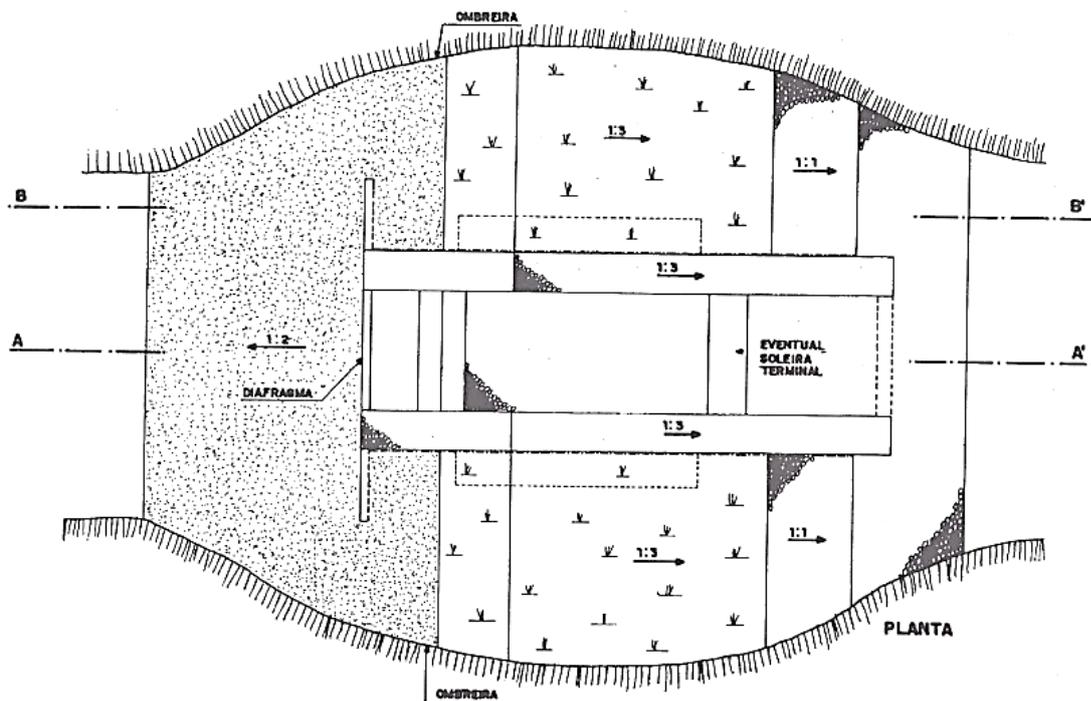


Figura 32 – Projeto SUCEPAR – B.

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

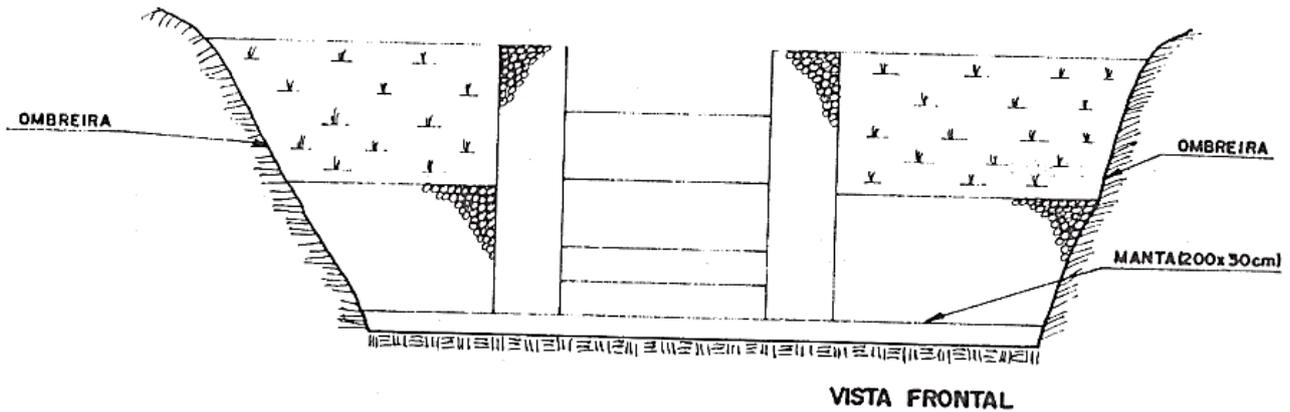
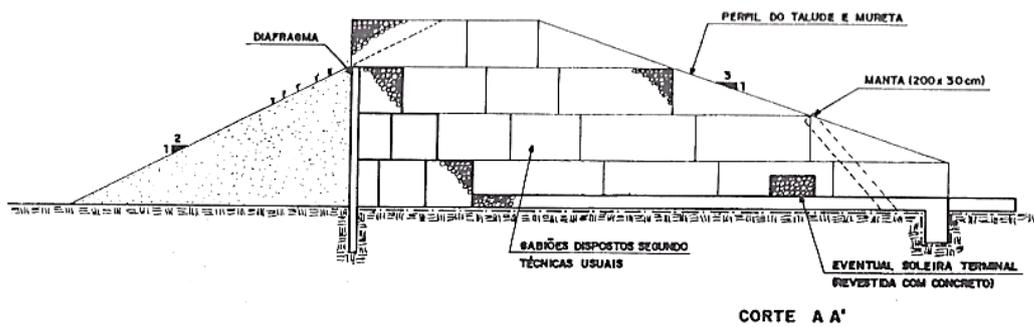


Figura 33 – Projeto SUCEPAR – B.
Fonte: FENDRICH et al, 1997.



CONVENÇÕES

	BLOCOS
	GRAMA
	TERRA
	REVESTIMENTO COM BLOCO

Figura 34 – Projeto SUCEPAR – B.
Fonte: FENDRICH et al, 1997.

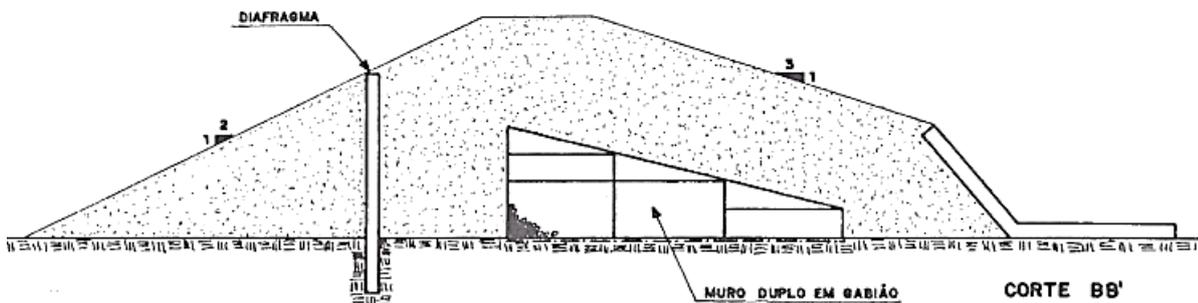


Figura 35 – Projeto SUCEPAR – B.
Fonte: FENDRICH et al, 1997.

➤ Degraus com tubos

De acordo com FENDRICH et al (1997), algumas vezes pode surgir um desnível no talvegue da vocoroca, devido à existência de um bolsão de solo com características de maior resistência à

erosão para montante. É conveniente proteger esse desnível, dado que sua resistência tem limite e que sua ruptura pode surgir de um solapamento de sua base.

Uma maneira de se efetuar esta proteção foi proposta e aplicada pela SUCEPAR, utilizando tubos convencionais de concreto pré-fabricado, sendo uma opção relativamente econômica.

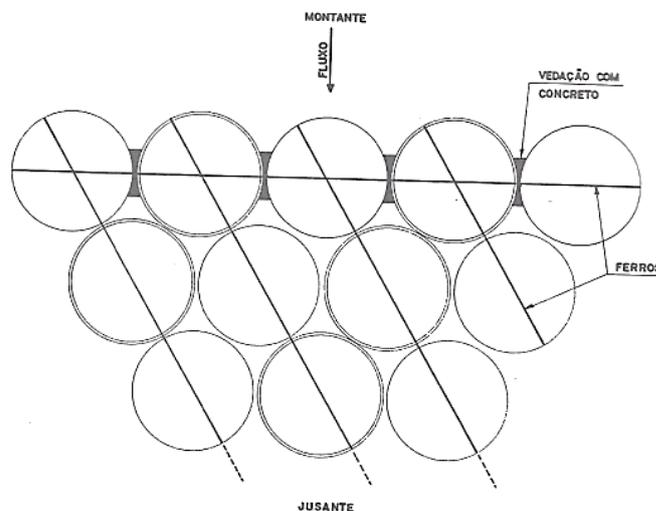


Figura 36 – Esquema de montagem dos degraus com tubos – planta.

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

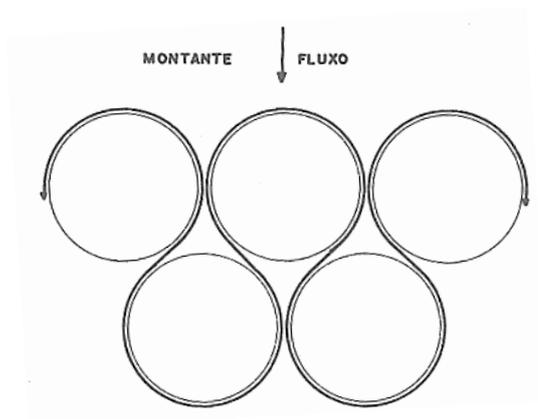


Figura 37 – Degraus com tubos – esquema de montagem com fitas metálicas.

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

Conforme pode ser observado nas figuras anteriores, a armação com ferros é feita transversalmente, eventualmente substituídos por fitas metálicas largas.

O número adequado de fileiras transversais é determinado pela altura do degrau: comprimento mínimo da base deve ser igual à altura do degrau mais 1 metro.



Figura 38 – Degrau com tubos – perfil longitudinal da voçoroca.

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

Caso seja necessário, a concordância com perfil transversal pode ser feito através de um perfil irregular de tubos. As colunas mais laterais, onde o talude é muito inclinado, podem ser substituídas por uma parede diafragma de concreto. Deve-se recobrir com uma camada de concreto de 5 a 10 cm de espessura, que servirá de amarração superior dos tubos. A areia colocada internamente aos tubos e interstícios, devendo ficar rebaixada em 5 cm, espaço que será preenchido com concreto.

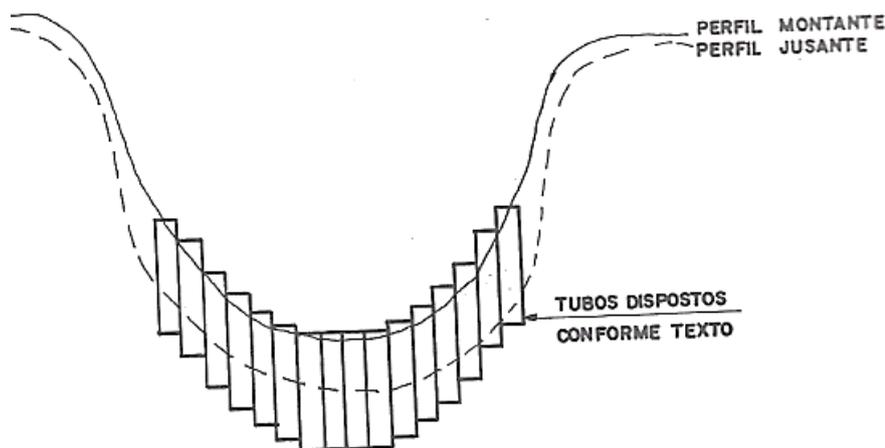


Figura 39 – Degrau com tubos – perfil transversal da voçoroca.

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

Deve-se evitar a entrada de água no espaço entre os tubos preenchendo com areia e o compactando, conforme figura a seguir.

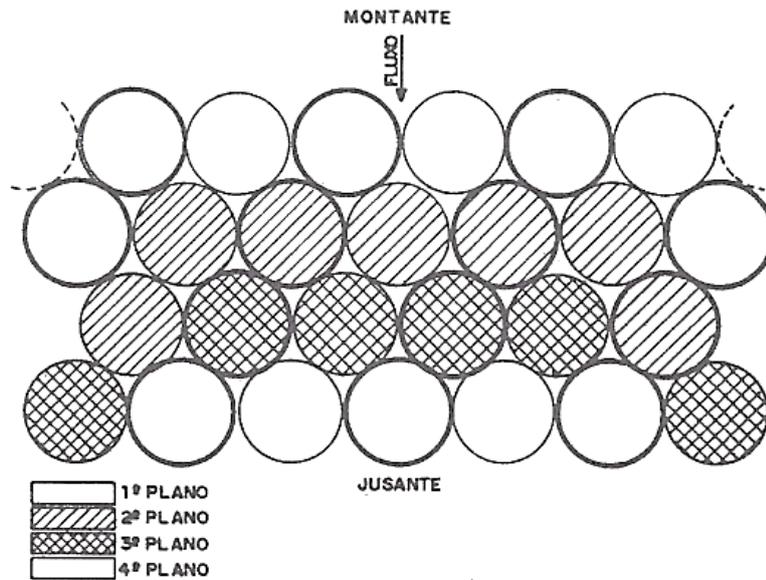


Figura 40 – Vista em planta do degrau com tubos.

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

Esquema alternativo com muro de arrimo (com tubos) e bacia de dissipação

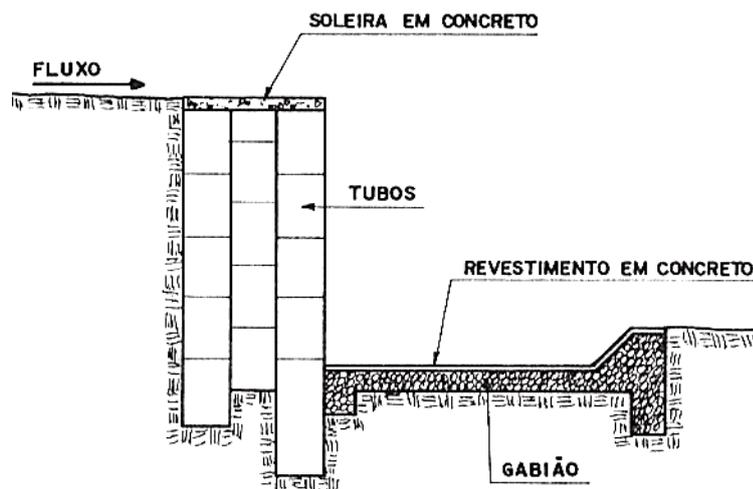


Figura 41 – Muro de Arrimo com tubos e Bacia de Dissipação em Gabiões – Seção Transversal.

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

A seguir, esquema de barragem com tubo.

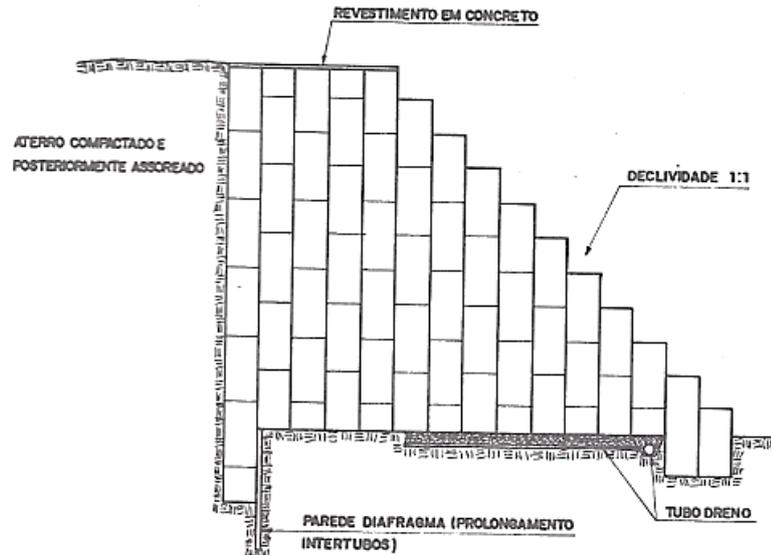


Figura 42 – Barragem com tubo.
 Fonte: FENDRICH et al, 1997.

- Outros tipos de estruturas
 - Cortina-diafragma

As cortinas diafragmas podem ser colocadas transversalmente à voçoroca, enterradas totalmente no solo, em várias seções, separadas entre si, em algumas dezenas de metros, estabelecendo o controle da erosão em cada seção.

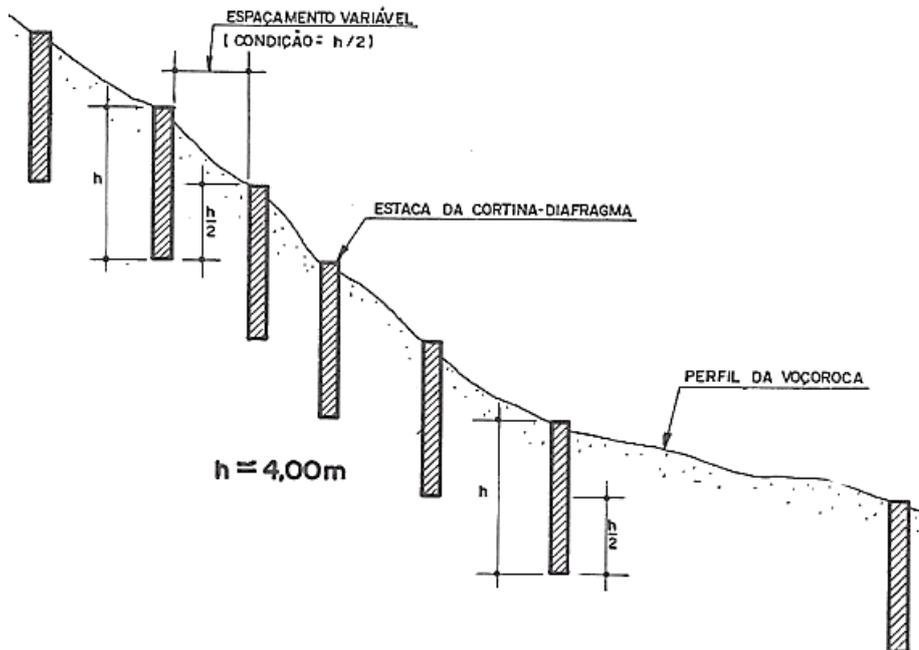


Figura 43 – Cortinas-Diafragma no Perfil de uma Voçoroca.
 Fonte: FENDRICH et al, 1997.

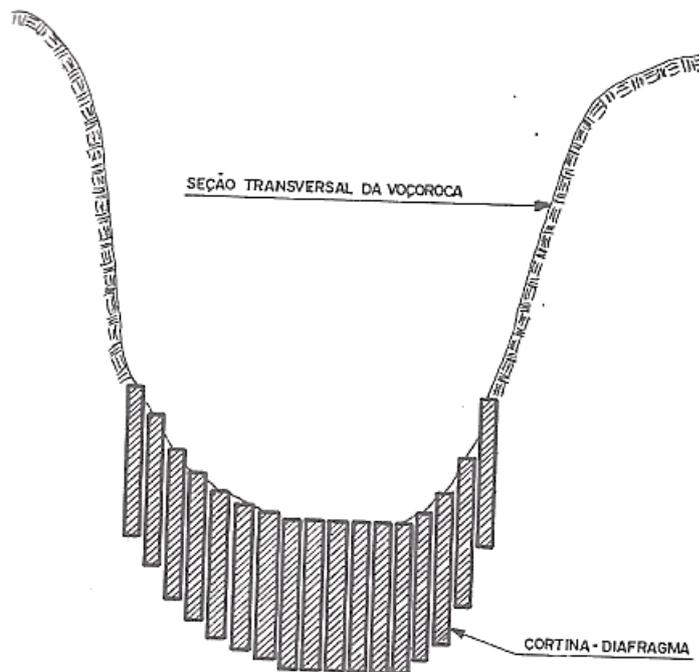


Figura 44 – Cortinas-Diafragma – Seção Transversal da Voçoroca.

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

Eventualmente pode-se utilizar ancoragem na parte superior de algumas estacas em seções mais críticas, onde se prevê uma erosão mais profunda que possa afetar a base da estaca.

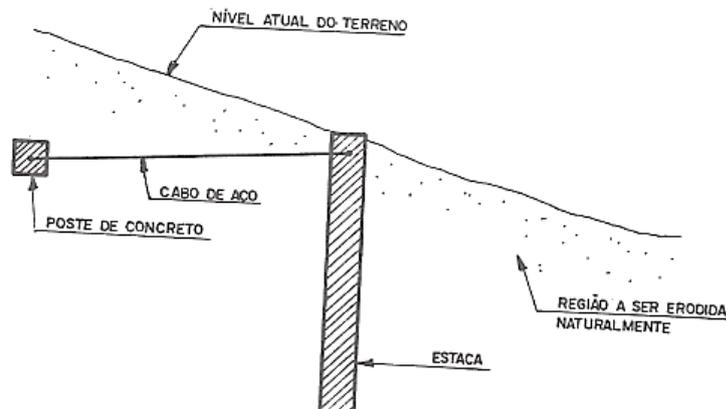


Figura 45 – Ancoragem da Estaca da Cortina-Diafragma.

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

- Diques e barragens
 - ✓ De madeira

Sua durabilidade é pequena quando não imersa na água, sendo o seu uso recomendável apenas quando se dispõe abundantemente de madeira ou quando se trata de um dique de emergência ou provisório.

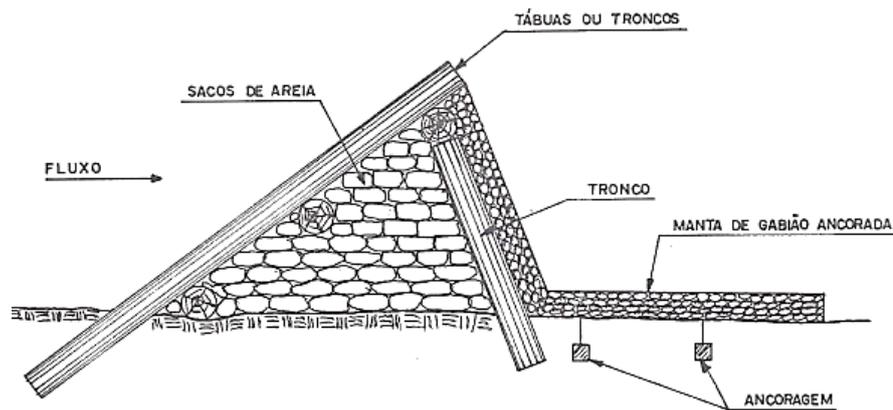


Figura 46 – Dique de madeira.

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

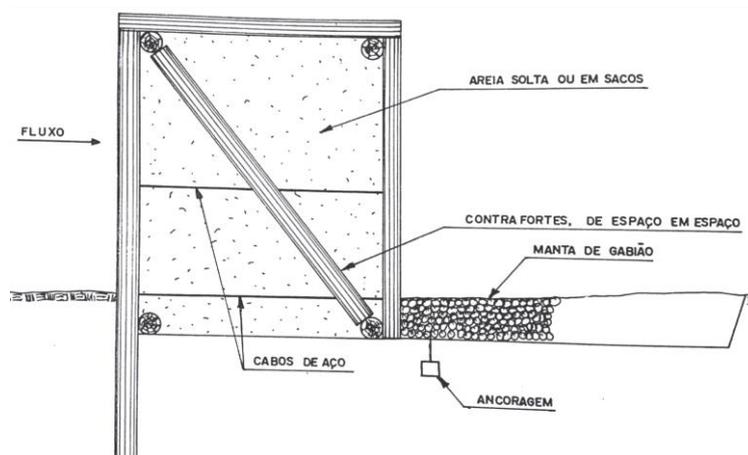


Figura 47 – Dique de Madeira tipo caixa.

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

✓ De alvenaria

O material a ser usado no dique ou barragem pode ser tijolo de barro, de concreto ou alvenaria de pedras. Uma possibilidade seria a utilização de paredes externas com alvenaria de tijolos ou concreto e preencher o interior (miolo) com areia socada, sacos de areia ou solo-cimento.

Outra possibilidade seria a utilização de tijolos vazados de concreto (tipo caixinhas) com espaço vazio, o qual seria preenchido com areia, antes de se argamassar a fileira adjacente.

✓ De concreto

O concreto-celular seria o mais adequado, onde as paredes externas seriam de concreto armado e a parte oca seria preenchida com areia. A vantagem seria a de ser relativamente impermeável e estável.

Outro tipo seria um muro de arrimo, concretado sobre estacas de uma parede diafragma.

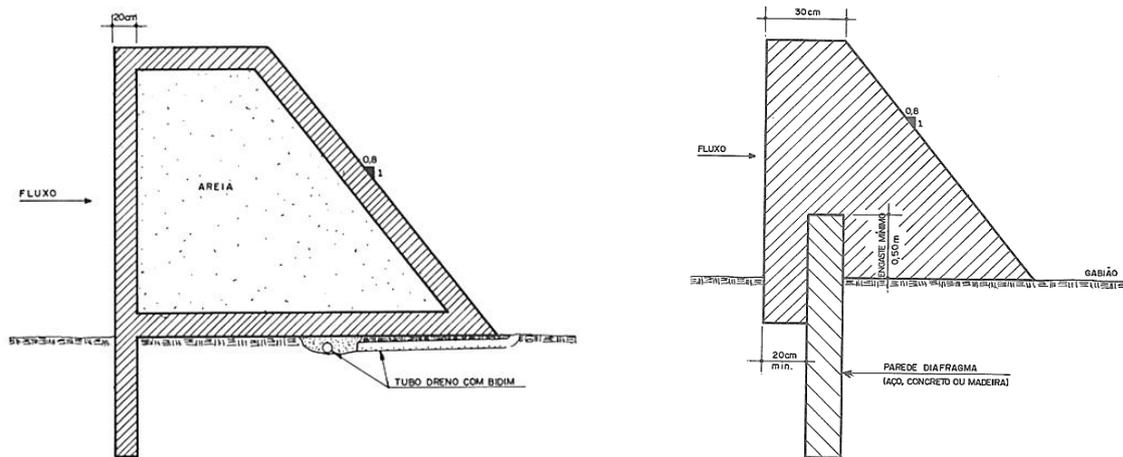


Figura 48 – Dique de Concreto-Celular e muro de arrimo com parede diafragma.

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

✓ Trincheira Armada

Consiste em peças de concreto pré-fabricadas encaixáveis, com formato diverso. A forma mais comum é a de cruz, como representada na figura a seguir.

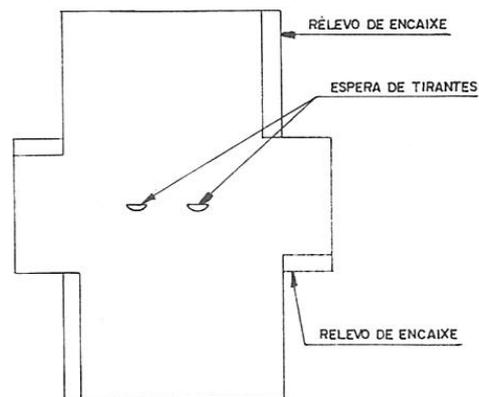


Figura 49 – Trincheira Armada – Peças Pré-fabricadas.

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

Para estabelecer-se o dique, prepara-se a fundação, colocam-se as peças e tirantes, preenche-se com areia, encaixam-se as outras peças e assim sucessivamente. O formato pode ser retangular (construtivamente mais fácil) ou triangular.

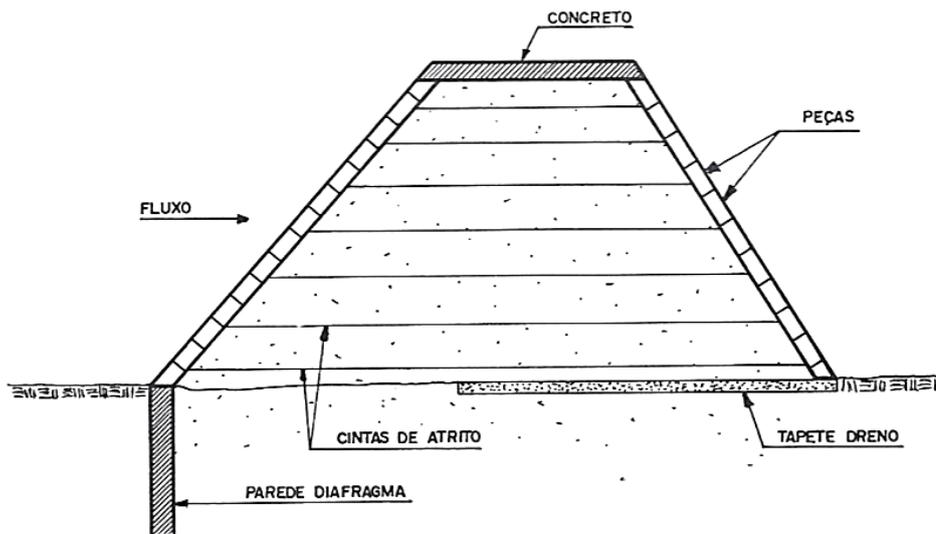


Figura 50 – Trincheira Armada.

Fonte: FENDRICH et al, 1997.

➤ Soluções não-estruturais:

- Diques de uma só fileira de postes com ramos e ervas dispostos longitudinalmente;
- Diques de duas fileiras de postes, com ramos e ervas dispostos transversalmente;
- Diques de grades metálicas, em “v”;
- Diques com rede metálica suspensa;
- Diques com rede metálica de cestão fixo;
- Diques de pedra sem aglutinante;
- Diques de troncos;
- Controle de voçorocas com cobertura de céspede;
- Plantação das margens com plantação de ervas; e,
- Revestimento combinado de pedras e troncos.

Fendrich et al (1997), conclui que as causas mais comuns de insucesso em estruturas barradouras são:

- 1. Colapso da fundação e ombreiras por sifonagem (erosão tubular), fenômeno mais frequente em estruturas rígidas. Assim, deve-se iniciar a obra com a construção de uma parede-diafragma do talvegue à ombreira, o que aumenta o caminho de percolação da água e diminui a probabilidade de ocorrência de tal fenômeno.
- 2. Dimensionamento insuficiente do vertedor para uma dada vazão de projeto. Se a área de extravasão for insuficiente obriga parte da vazão passar sobre a barragem, causando danos nas ombreiras.
- 3. Dimensionamento insuficiente da estrutura de dissipação, o que implicaria no alto poder erosivo da água a jusante da estrutura barradoura, acarretando também na erosão do pé da estrutura.

- 4. Avaliação incorreta da vazão de projeto. A inexistência de dados e estudos mais apropriados implica na dificuldade de avaliação da vazão.

Um deles é relativo ao coeficiente de escoamento superficial, sobre o qual observa-se que não é constante ao longo do tempo, nem quando o tempo é medido em horas, devido à evolução de áreas impermeabilizadas, nem quando o tempo é em anos, dado que este coeficiente é altamente dependente da capacidade de infiltração, a qual, dependente do grau de umidade do solo. Assim, o “C” a ser avaliado deve ser o projetado para o enésimo ano da vida útil da obra e considerando-se a precipitação de projeto caindo sobre o solo já saturado de água por uma precipitação antecedente.

Uma vez que os dados que permitam tal avaliação são difíceis de se obter (a não ser experimentalmente), o coeficiente escolhido já traz embutido dentro de si uma dose de incerteza e, conseqüentemente, esta incerteza se propaga de forma diretamente proporcional à vazão de projeto.

Observa-se assim a grande incerteza que envolve o valor da vazão de projeto, causando suspeitas qualquer valor adotado que não traga a amplitude de sua margem de confiança para mais ou menos, à luz de dados obtidos *in situ* e análise através de conceitos probabilísticos.

A experiência estrangeira caracterizada faz referência a soluções tão diversas quanto a da China, onde milhares de trabalhadores transformaram o perfil longitudinal e transversal de voçorocas, a pá e picareta. Segundo FENDIRCH et al, 1997, é possível concluir:

- Não existe um tipo de obra adequada para toda e qualquer situação;
- Soluções relativamente econômicas e simples só existem e são aplicadas no início do desenvolvimento da voçoroca;
- Em estruturas de barramento, uma que parece dar bons resultados quando bem dimensionada, é a barragem de terra com vertedor tubular;
- A maior parte dos pesquisadores enfatiza a solução vegetativa como necessária, em complementação a qualquer obra ou medida de engenharia, independentemente do tamanho das voçorocas. Seu emprego deve ser obrigatório nas pequenas voçorocas e nos braços pequenos das voçorocas grandes;
- O chamado perfil longitudinal de equilíbrio é altamente dependente do tipo de solo. A literatura relata perfis estáveis em até 2%, entretanto, mesmo um perfil plano pode ser erodido, dependendo da carga hidráulica e resistência do solo à tensão de cisalhamento;
- A erosão subterrânea é apontada como um importante agente causal da voçoroca, muito embora certas voçorocas não apresentem grande percolação subterrânea quando em épocas de estiagem. A solução técnica para o alívio da subpressão dos taludes não é fácil, mas pode ser tentada com a cravação de tubos-drenos, que seria satisfatória, se a voçoroca estivesse sem grande carga hidráulica (durante as chuvas), o que não é muitas vezes, o caso;
- A tecnologia do solo-cimento não foi ainda efetivamente usada o suficiente em obras hidráulicas para que se chegue a conclusões definitivas. Caso tenha boa efetividade nesse tipo de obra, seu uso poderia revolucionar as técnicas usuais;

- Não há diferenças sensíveis entre erosão (voçoroca) rural e urbana exceto na sua localização espacial e na rapidez de chegada da vazão de pico. Recomenda-se um levantamento morfométrico de todas as voçorocas e o acompanhamento de sua evolução, através do piqueteamento de algumas seções transversais de controle e, contando, com o auxílio do geoprocessamento;
- O comportamento hidráulico de certas estruturas (extravasor tubular, bacia de dissipação, etc.) só pode ser bem definido quando é feita a análise em modelo reduzido;
- As inúmeras relações e fórmulas de erodibilidade desenvolvidas para a hidráulica fluvial não possuem aplicação segura quando da análise do talvegue da voçoroca, que apresenta escoamentos intermitentes;
- As entidades responsáveis pela implantação de obras de controle e combate à erosão devem ter em mente que não existem obras, mesmo que caras, que sejam completamente seguras, mesmo que a vazão do projeto seja obtida com grande acuidade, há risco relativamente grande de colapso da estrutura, devido à probabilidade de afluir uma vazão maior (risco hidrológico).

Desta forma, pode-se se dizer que uma vez identificada a vazão de projeto e o horizonte de planejamento, com conseqüente aceitação do risco hidrológico, o problema está em construir uma obra econômica que seja estável e efetiva para vazões iguais ou menores que aquela e que possua um baixo risco de ruptura por problemas de fundação, sifonagem, e outros, com vazão menor que a de projeto (risco físico).

Independente do risco hidrológico, o tipo de obra que implique um baixo risco físico só é obtida em campo, estabelecendo-se índices comparativos entre vários tipos de obras em situações diversas, e que levem em conta os custos reais (inclusive de manutenção).

A manutenção é tão importante quanto a implantação de uma obra, dado que muitas vezes, uma pequena medida de engenharia ao longo da vida do sistema, quando feita adequadamente impede o colapso desta.

A implantação das medidas citadas nos itens precedentes implica, muitas vezes, custos imediatos adicionais. Entretanto, numa análise econômica comparada ao longo de um pequeno número de anos, é bem possível que se chegue à conclusão de que a construção de um número menor de obras, mas mais seguras, é preferível à construção de um número maior, todavia, menos seguras, muito embora fatores de natureza política forcem instituições governamentais a agirem algumas vezes em sentido contrário.

Para o Noroeste do Paraná, as medidas de controle da erosão foram recomendadas pelo Conselho Diretor do Projeto Noroeste, pela SUDESUL, DNOS e OEA, e posteriormente pela SUCEPAR, sendo previstas as seguintes etapas de execução:

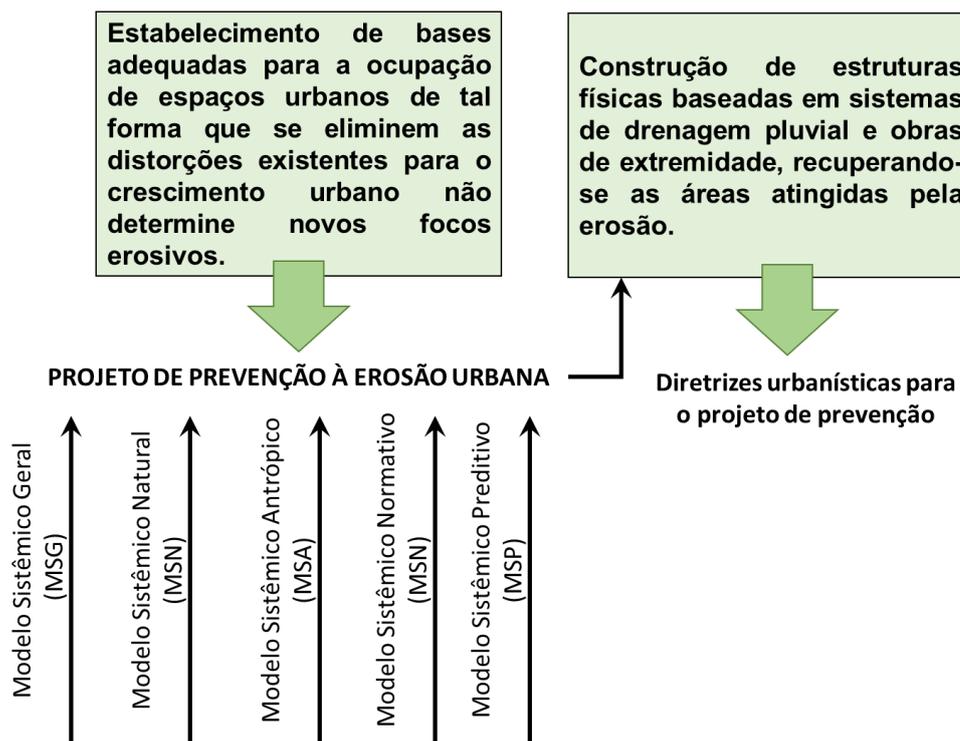


Figura 51 – Prevenção à Erosão Urbana.

Fonte: FENDRICH et. al, 1997.

Para a realização de um projeto de prevenção à erosão urbana, várias recomendações são propostas por Fendrich et. al (1997), considerando-se os modelos (metodologias) a seguir.

Modelo Sistêmico Geral – MSG

De acordo com Fendrich et. al (1997), o modelo considera a erosão como um dos vetores resultantes entre o processo de apropriação de um território pelo ser humano, para fins de produção agropecuária. Logo, os principais continentes são:

- Subsistema Natural Inorgânico Estático – SSNIE (definido pela textura do solo e a morfologia da paisagem);
- Subsistema Antrópico – SSA (dado pela atividade florestal, agropecuária, estruturas urbanas e rodoviárias);
- Subsistema Natural Orgânico – SSNO (constituído pelas florestas naturais);
- Subsistema Natural Inorgânico Dinâmico – SSNID (traduzido pela energia eólica e pela energia hídrica, por sua vez composta pelo impacto cinético pluvial, pelo escoamento superficial e por percolação).

A interação entre os subsistemas pode ser expressa como um produto cujo valor unitário corresponde à situação de estabilidade geral do sistema, assumindo um valor de 0 a 1.

Modelo Sistêmico Natural - MSN

Este modelo considera um sistema em que não houvesse ocorrido a intervenção humana, portanto a sua construção seria dada pelo produto entre os subsistemas SSNIE, SSNO e SSNID. Em caso de equilíbrio, o resultado seria equivalente a 1.

O Modelo Sistêmico Natural contém sempre alguma atividade, tanto natural orgânica, como natural inorgânica; “supondo-se que a única resposta que um sistema oferece à tendência antrópica é a sinergia, conclui-se que a estabilidade do MSN repousa na capacidade sinérgica ou antientrópica de SSNO, já que a matéria orgânica não possui reorganização própria” (FENDRICH et. al,1997).

Isto deve-se porque o solo é, em grande parte, consequência da vegetação, pois a floresta forma o próprio solo conforme o tempo. Nesse ecossistema, os membros principais são organismos vegetais com estruturas radiculares de grande alcance em profundidade, com a capacidade de trazer para superfície uma grande quantidade de nutrientes inorgânicos vitais ao desenvolvimento próprio e de outros organismos autotróficos.

O SSNO, entretanto, nunca chega a um nível absoluto de coerência, atingindo possivelmente o valor máximo de 0,9, o que provocaria um rebaixamento na estabilidade da paisagem natural de 1,0 para 0,9 e, conseqüentemente, representaria simbolicamente o processo de erosão natural do sistema (FENDRICH et. al,1997).

Modelo Sistêmico Antrópico – MSA

Segundo Fendrich (1997), ao ingressar no território natural geralmente para a produção de alimentos, o ser humano substitui a floresta natural por uma biomassa antrópica – SSA. Esse novo ecossistema, portanto, não tem a capacidade de manter a geração do tipo de solo que existia ali, e tão pouco garantir a proteção do solo contra o efeito entrópico da energia hídrica. Ocorre, então, o desencadeamento da erosão do solo, nos quais, os nutrientes são perdidos por percolação. Outro efeito que pode ser observado é a erosão laminar que é provocado pela energia hídrica, praticamente imperceptível, mas que pode ultrapassar cinco centímetros por ano e, finalmente, o aumento do caudal dos cursos d’água conduzindo a um novo perfil de equilíbrio do leito que se traduz no aprofundamento do vale e regressão de sua cabeceira, ou seja, gerando as grandes voçorocas urbanas e rurais. Pode-se supor quatro situações listadas a seguir (FENDRICH, 1997):

- A floresta natural dá lugar à artificial, o que implica manter as condições de escoamento superficial similares às anteriores – em torno de 0,1. O valor desta biomassa antrópica como regulador poderia permanecer próximo a 0,9 com o que estaria garantida a estabilidade geral do sistema;
- A floresta é substituída por pastagens, significando a elevação do coeficiente de escoamento de 0,1 para 0,2; inversamente, o abaixamento da eficiência reguladora de 0,9 para 0,45, o que implicaria a redução da estabilidade geral do sistema para o mesmo valor;
- A floresta cede lugar à agricultura, cujo coeficiente de escoamento médio é de 0,25. O valor regulador desta atividade baixaria a 0,22 – valor da estabilidade geral de todo o sistema; e,
- A floresta natural é substituída pela atividade antrópica em cidades ou estradas, caso em que os coeficientes de escoamento atingiriam 0,6 aproximadamente reduzindo a

estabilidade geral do sistema a 0,15, o que significaria a possibilidade de erosão galopante.

Ainda, acrescenta-se que a susceptibilidade de desagregação e arraste do solo é consequência dos fatores já mencionados, bem como a energia do relevo ou declividade:

- À maior susceptibilidade do solo, maior cobertura protetora a igualdade de declividade, ou;
- À maior declividade, maior cobertura protetora a igual susceptibilidade do solo, ou ainda;
- À igual cobertura protetora, menor declividade, à medida que o solo seja mais suscetível.

O principal objetivo do modelo sistêmico é definir normas a serem aplicadas à realidade, indagando-se que partes desse sistema poderiam ser manipuladas para manter-se a estabilidade. Conclui-se que a textura do solo não poderia ser modificada, nem a morfologia da paisagem ou sequer os agentes do subsistema natural inorgânico dinâmico. Restaria com consequência, a operação sobre o subsistema antrópico através das diferentes atividades que constituem o uso do solo.

Modelo Sistêmico Normativo – MSN

Inicialmente estabelece que a erosão é resultado da produção e se objetiva por meio de seus efeitos físicos sobre o solo. A produção é o componente ativo do par dialético erosão-produção e se objetiva pelo uso que se faz do solo.

Em consequência, Fendrich (1997) conclui que o controle da erosão só é possível através da produção, materializada, portanto pelo uso do solo que deve ser entendido como cobertura orgânica vegetal, que atua como regulador da estabilidade geral da paisagem, cujo valor será mais expressivo quanto menos estável seja a textura do solo e maior a energia do relevo.

Sendo a operação social sobre o uso do solo instrumentada através de normas sociais, a elaboração destas normas deve ser feita a partir da estruturação de um Modelo Normativo. Para elaboração deste modelo, o par dialético erosão-produção é essencial, uma vez que a erosão implica em não-produção em determinadas condições ou então produção entendida como a cobertura vegetal de baixa biomassa o que implica na possibilidade de não-erosão. Visto isso, a análise de um processo de desgaste da forma de um objeto, se manifesta a partir de um conjunto de elementos estruturais: areia e argila, ou horizonte A e horizonte B, respectivamente.

O controle dos processos sistêmicos se dá através da regulação do sistema como consequência de fluxos de realimentação entre estados de sistemas. Os sucessivos estados de um sistema constituem-se em tendências. O mecanismo de realimentação de um sistema pode, então, assumir características de aceleração de uma dada tendência ou desaceleração da mesma.

No caso do processo de erosão, em sistemas de constante uso e declividade, a realimentação se manifesta positiva pelo conteúdo da areia, visto que esta se caracteriza por menor coerência física que a argila, acelerando a erosão. Por outro lado, a manifestação negativa se dá pelo conteúdo da argila, o que significa maior resposta orgânica e desacelera a erosão. Dessa forma, para a construção de um modelo normativo deve-se considerar que (FENDRICH, 1997):

- A realimentação positiva é expressa através do conteúdo da areia e é multiplicada à medida que a declividade aumenta; e,
- A realimentação negativa é expressa através do conteúdo da argila e é multiplicada à medida que a declividade decresce.

Sendo assim, de forma a expressar matematicamente, considera-se que a probabilidade de erosão (Y_e) e a probabilidade de produção (Y_p), tem-se:

$$Y_e = \% \text{ areia} \times \text{declividade}$$

$$Y_p = \% \text{ argila} \times \text{declividade}$$

A capacidade redutora-reguladora seria expressa pela equação:

$$Y_{e/p} = (\% \text{ areia} / \% \text{ argila}) \times \text{declividade}$$

Porém esta equação não abrange a variável da localização espacial em seu cálculo. Importante destacar a diferença entre os dois tipos de solo:

- O Horizonte A é sujeito temporalmente à ação antrópica antes que B, pelo que a erosão age sobre ele em primeiro lugar;
- O Horizonte A, normalmente, não ultrapassa 50 centímetros, enquanto que o B pode chegar a vários metros de profundidade.

Isto significa que o Horizonte A, uma vez que destruído, a única alternativa capaz de propiciar uma resposta de probabilidade de produção, é o Horizonte B. Ao verificar esta diferença, a equação é expressa da seguinte forma:

$$Y_{e/p} = \% \text{ areia A} \times \text{declividade} / \% \text{ argila B}$$

Detalham-se a seguir, as diferentes classes de solo e seus percentuais de areia no Horizonte A e Argila no horizonte B, estabelecidos para a Bacia do Rio da Prata.

Tabela 15 – Classes de Solo

Classe	Tipo de Solo	Areia A (%)	Argila B (%)
I	TEe, TER, Trd	50	60
II	LRD, LRd ₂ , Lrd ₃ , Ltd ₄ , LRe, LRe ₁ , LRe ₂	50	50
II	Led ₁ , Lee ₁ , Lee, Led ₁	55	50
IV	LEe ₂ , LEd ₃ , Led ₄ , Led ₁	90	27,5
V	PV 3, PV 6, PV 7, PV 10, PE 1, PE 3, PE 4	92,5	27,5
VI	Ae, Ae 1	66,5	13,5
VII	Ad 2	92,5	7,5
VIII	Led 2	62,5	50
IX	PV 1, PVV 2	72,5	50
X	Re 3	86,5	13,5
XI	BV (a), BV (b) BV 1, BV 2, BV 3	40	70

Fonte: FENDRICH et. al, 1997.

Montam-se, então, as tabelas a seguir, as quais definem a situação de aptidão dos solos, as normas de zoneamento do uso do solo e a situação de apropriação e modificação do uso do solo para áreas urbanas.

Tabela 16- Situação de Aptidão dos Solos.

SITUAÇÕES DECLIVIDADE DO TERRENO				Solos e Limites Mapeados (gradientes)*								
				0-5%			5-10%			>10%		
				0-2%	4-7%	8-12%	0-2%	4-7%	8-12%	0-2%	4-7%	8-12%
Apropriada (Área Urbana)	Ocupado	1	Apta									
		2	Não apta									
		3	Limitante									
		4	Proibitiva									
	Não Ocupado	5	Apta									
		6	Não apta									
		7	Limitante									
Não Apropriada (Zona Rural)	Ocupado (Urbano)	8	Apta									
		9	Não apta									
		10	Limitante									
		11	Proibitiva									
	Não Ocupado	12	Apta									
		13	Não apta									
		14	Limitante									

*Para $q = (0,066 \times t) / p$, onde: t = % Argila em B; e, p = % de Areia em A

Fonte: FENDRICH et. al, 1997.

Tabela 17 – Normas de Zoneamento e uso do solo urbano por classe de solo.

Classe	% "P" – Areia Horizonte A	% "t" – Argila Horizonte B	Gradiente máximo para uso urbano $q = (0,066 \times t) / p$
I	50	60	0 a 8,00 %
II	50	50	0 a 6,66 %
III	55	50	0 a 6,00 %
IV	90	27,5	0 a 2,01 %
V	92,5	27,5	0 a 1,96 %
VI	66,5	13,5	0 a 1,34 %
VII	92,5	7,5	0 a 0,53 %
VIII	62,5	50	0 a 5,28 %
IX	72,5	50	0 a 4,55 %
X	86,5	13,5	Não se aconselha assentamentos urbanos
XI	40	70	0 a 11,55 %

Fonte: FENDRICH et. al, 1997.

Tabela 18 – Situação de Apropriação e Modificação do Uso do Solo para Áreas Urbanas.

Apropriação Administrativa Atual (1)	Apropriação Administrativa Proposta (2)	Restrições ao Uso e Ocupação Urbana (3)	Apropriação Regime Posse (4)	Ocupação ou Designação (5)	Apropriação Quantidade de Proprietários (6)	Situação (7)	
Urbana	Urbana	Com (2) (3) (4)	Público	Não Intensivo		1	
				Intensivo		2	
			Privado	Não Intensivo	Um	3	
				Vários	4		
		Intensivo		Um	5		
				Vários	6		
		Sem (1) (5)				7	
	Não Urbana	Com (6) (7)	Público				8
				Privado	Não Intensivo	Um	9
						Vários	10
			Intensivo		Um	11	
					Vários	12	
Não Urbana (Rural)			Urbana	Com (9) (10) (11)	Público		
	Privado	Não Intensivo				Um	14
					Vários	15	
		Intensivo		Um	16		
				Vários	17		
	Não Urbana	Sem (8) (12)		Público			
			Privado			Um	19
					Vários	20	
				Privado			
			Não Intensivo		Um	22	
	Vários	23					
Intensivo	Um	24					
		Vários	25				

Fonte: FENDRICH et. al, 1997.

Descrição das 14 situações de ocupação das diversas áreas (FENDRICH et. al, 1997).

- Situação 1 – Espaço apropriado legalmente para atividades urbanas, usado e ocupado para as mesmas, e sem limitações físicas para continuar sendo ocupado. Esses espaços não oferecem problemas maiores, e pode ser densificada a sua ocupação, cuidando apenas de organizar corretamente as ruas e tomando em conta a possível cercania de cabeceiras de cursos d'água. Trata-se de áreas de crescimento (apta);
- Situação 2 – Igual à situação 1, mas com limitações físicas que a tornem não apta para ser ocupada em maior densidade, posto que já se estaria perto do limite de pendente (declividade) aceitável para o tipo de solo em questão. Nesses espaços devem ser instrumentadas medidas que restrinjam sua ocupação, devendo evitar-se por todos os meios o seu crescimento. Trata-se de áreas de contenção (não apta).
- Situação 3 – Trata-se de um caso similar ao das situações 1 e 2, mas com limitações físicas mais sérias. Em geral, são espaços sobre pendentes que excedem ao limite aceitável. Trataria não somente da contenção da ocupação do espaço, mas também de modificação do traçado das ruas e possível retração da ocupação (limitante);
- Situação 4: Igual à situação 3, mas com grandes limitações físicas. Em geral, trata-se de pendentes que excedem por um intervalo (ou seja, mais de 10% quando o aceitável é menos de 2%) o limite aceitável para o solo em questão, e onde se localizam usualmente cabeceiras de cursos d'água pelo que à retração e modificação de ruas se agrega, em geral, a necessidade de efetuar o reflorestamento preventivo (proibitiva);

- Situação 5: Espaço legalmente apropriado para atividades urbanas, mas ainda não ocupada e por sua vez apto para uso urbano. Trata-se por conseguinte, de um espaço de expansão da ocupação, processo no qual se deve ter especial cuidado com relação ao desenho de ruas e à proximidade de cabeceiras (apta);
- Situação 6: Similar ao caso da situação 5, mas que apta para ocupação urbana por limitação física, caso em que deve restringir-se o seu uso a atividades urbanas que não gera altos coeficientes de escoamento, como parques. Outra medida é modificar a situação de apropriação do espaço, designando-a apta somente para atividades rurais com o que seria tratada como na situação 13 (não apta);
- Situação 7: Similar à situação 6, mas com maiores restrições de caráter físico. Em geral, trata-se de pendentes excessivas e com presença de cabeceiras de cursos d'água. Devem ser aplicadas as recomendações da situação 6, mas também estabelecer e implantar reflorestamentos preventivos permanentes (limitante);
- Situação 8: Espaços não apropriados legalmente para a atividade urbana, senão que para a rural, mas usados e ocupados para a primeira em condições aptas. Neste caso, deve apropriar-se o espaço e submetê-lo às mesmas normas de controle que as da situação 1. Esta ação deve depender da política de crescimento urbano e, no caso de estar em conflito com a mesma, o espaço deve ser tratado para conter seu crescimento (apta);
- Situação 9: Similar à anterior, mas com limitações físicas, pelo que deve ser apropriada e submetida às restrições estabelecidas para a Situação 2 (não apta);
- Situação 10: Similar à anterior, mas com as restrições da situação 3 (limitante);
- Situação 11: Similar à situação 10, mas com as restrições da situação 4 (proibitiva);
- Situação 12: Trata-se de espaços não apropriados para a atividade urbana, não usados nem ocupados para a mesma, mas aptos para esta atividade. Neste caso deve-se apropriar o espaço como reserva para futura expansão urbana. Esta política deve ser levada a cabo tomando em conta as necessidades e estrutura correta da expansão urbana (apta);
- Situação 13: Trata-se de espaços não apropriados para a atividade urbana, não usados nem ocupados para a mesma e, por limitações físicas, não aptos. Neste caso, devem ser apropriados legalmente para uso rural, especificando o tipo de uso (agricultura, pastagem, reflorestamento) (não apta).
- Situação 14: Similar à Situação 13, mas com sérias limitações, caso em que não somente deve-se implementar a recomendação efetuada para a situação 13, mas também estabelecer zonas de reflorestamento preventivo (limitante).

Modelo Sistêmico Preditivo – MSP

Neste modelo, as bacias hidrográficas seriam subsistemas do sistema hidrológico regional, e nelas poderia-se distinguir as possíveis relações:

- Superfícies coletoras e cursos de água;
- Energia do relevo ou pendentes;
- Energia hídrica, dada por um escoamento pluvial sobre a superfície e em canais coletores, determinada pelo uso do solo percutor;

- Residência física do solo à energia hídrica, dada por sua textura;
- Atividade antrópica, que ascende ao espaço natural;
- Determinado uso do solo – percutor – em determinadas condições de pendente – detonante – e determinadas condições de relação com as superfícies e canais coletores – explosivo – podendo gerar explosões em termos de erosão, cuja quantidade e magnitude dependerão da textura dos solos e do tipo de atividade e densidade dos agentes antrópicos.

Diretrizes Urbanísticas para o Projeto de Prevenção

Fendrich et. al (1997) afirmam que as diretrizes urbanísticas devem ir de encontro ao Plano de Combate à Erosão ao corrigir seu traçado e definir novas áreas de expansão, condizentes com a realidade socioeconômica do local, bem como definindo um novo perímetro urbano e eliminando as atuais deficiências.

A ocupação espacial do solo urbano tem como princípio básico e mais coerente com a realidade local a maximização de utilização do sistema existente. Os princípios que norteiam a ocupação são caracterizados por:

- Provocar um desenvolvimento linear através do eixo comercial principal, dando infraestrutura ao mesmo para provocar essa morfologia urbana;
- Desestimular a utilização do solo nas áreas mais sujeitas à erosão acelerada;
- Provocar maior adensamento da população nas áreas aptas definidas pela topografia e pedologia e/ou dentro do perímetro urbano futuro;
- Interromper o crescimento urbano a locais suscetíveis à erosão acelerada e/ou que futuramente ocasionem conflitos entre a área urbanizada e o tráfego rodoviário;
- Incrementar os parques urbanos nas áreas sujeitas à erosão, preservando o verde existente ou então recuperando as mesmas replantando as vegetações;
- Provocar com que a expansão urbana seja feita obedecendo aos seguintes critérios:
 - Primeiramente ocupando as áreas contidas dentro do novo perímetro traçado. Para isso a infraestrutura urbana deverá ser logo implantada nessa região. Expansão de primeira fase.
 - Após a ocupação, as próximas áreas a serem utilizadas são aquelas situadas no prolongamento do eixo urbano comercial. Tais locais devem oferecer boas condições topográficas para tal uso. Expansão de segunda fase.

Deve ser proposto também um sistema viário básico, tendo como objetivo a racionalização e um disciplinamento do tráfego urbano. O traçado das novas vias deverá ter em consideração o seu comportamento no solo, minimizando as rampas, adaptando-as dentro das curvas de nível.

Além desses sistemas, apresentam-se as diretrizes para o zoneamento básico, o qual, deverá dar condições de uso do solo de forma mais racional, tendo em vista as novas funções urbanas que a cidade terá com o crescimento natural. Ainda, essas novas diretrizes devem estar aliadas às condicionantes que determinam as normas para o combate à erosão, procurando o equilíbrio na distribuição da população.

Para que as diretrizes anteriormente apresentadas funcionem de forma efetiva, faz-se necessário um conjunto de leis que disciplinem o uso e o parcelamento do solo urbano a fim de tornar os projetos viáveis.

Para as áreas suscetíveis à erosão, a aprovação de novos projetos de loteamentos e arruamentos dependerá da anuência da Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação do DF – SEGETH, mediante parecer da Diretoria de Urbanização – Departamento de Infraestrutura Urbana – Divisão de Projetos da NOVACAP.

Elaboração de Projetos de Prevenção

Sugere-se a utilização da metodologia sumariamente detalhada anteriormente como suporte de projetos de controle de erosão a serem elaborados para as áreas urbanas que constituem a ocupação do Distrito Federal em suas 31 (trinta e uma) Administrações Regionais, obedecendo preliminarmente a seguinte sequência:

- Estudo de crescimento populacional e das diversas tendências de crescimento das áreas urbanizadas com definição dos perímetros urbanos;
- Estudo de apropriação, uso e ocupação do solo;
- Projeto de apropriação, uso e ocupação do solo, de modo a atingir os objetivos de minimização dos efeitos desses fatores sobre a erosão urbana, definindo uso e restrições de ocupação justificáveis do ponto de vista econômico e social;
- Projeto de rede viária urbana, tendo em vista, os problemas de erosão dela decorrentes, respeitando as situações que socioeconomicamente, justifiquem sua permanência;
- Estudo e formulação de leis objetivando:
 - Institucionalização do Projeto de Controle da Erosão segundo Normas de Prevenção e Controle à Erosão Urbana;
 - Definição e determinação do perímetro urbano estabelecido pelo Projeto de Prevenção.
- O zoneamento urbano, a fim de conseguir o controle da erosão e o desenvolvimento adequado da comunidade;
- Normas para aprovação de arruamentos, loteamentos, desmembramentos e incorporações de terrenos na sede (ou distrito) a fim de conseguir o controle da erosão e o desenvolvimento adequado da comunidade;
- Definição de tributos para remuneração dos custos de operação e manutenção do sistema de controle da erosão urbana local; e,
- Sistema de implantação do aspecto legal de prevenção da erosão urbana local.

Outros estudos para Controle de Erosão

O estudo intitulado “Erosão: Definições, Tipos e Formas de Controle”, apresentado no VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão (Magalhães, 2001), apresenta uma coletânea de artigos, resumindo a erosão, especialmente a hídrica, e formas baratas de diagnóstico, prognóstico e controle.

O primeiro passo para controlar a erosão acelerada é dispersar a água do escoamento pluvial não permitindo a concentração. Os sulcos e as ravinas podem ser controlados por mecanização, aração, revestimento vegetal do solo, construção de pequenas barreiras feitas com galhos, pedras, etc. (Baccaro, 1994). Algumas medidas são função do tipo e tamanho da erosão.

De acordo com o estudo, as principais obras para contenção de erosão laminar são:

- a) terraceamento tem como função: adequar a declividade do terreno à sua capacidade de resistência à erosão superficial; através das etapas: executar terraplenagem superficial formando grandes terraços com inclinação compatível com a capacidade de suporte do terreno. A largura dos platôs é função da declividade do terreno; usando o seguinte material constituinte: solo compactado; grama.
- b) curvas de nível tem como função: diminuir a velocidade da água; através das etapas: levantamento topográfico do terreno; concentrar maior quantidade de solo seguindo as curvas de nível, obedecendo determinado espaçamento; aplicar cobertura vegetal não rasteira; usando o seguinte material constituinte: solo com cobertura vegetal.
- c) plantio alternado ou rotacional tem como função: evitar a formação de sulcos; amortecer a velocidade das enxurradas; evitar que o solo fique exposto aos agentes erosivos; através das etapas: adubação; plantar paralelamente às curvas de nível; alternância de culturas; usando o seguinte material constituinte: fertilizantes; sementes ou mudas.
- d) reforço de superfície tem como função: revestir superfície para que haja estabilização da erosão; através das etapas: cobrir com grama o talude, eventualmente grampeá-lo com estacas diversas ou materiais listados; usando o seguinte material constituinte: tela vegetal, geotêxtil não-tecido em poliéster; gabiões; geogrelha de poliéster; módulos têxteis com concreto fino, argamassa ou solo-cimento; sistema de confinamento celular de polietileno texturizado; etc..
- e) canalização, drenagem e dissipação têm como função: desviar, filtrar, conduzir e quebrar a força da água; através das etapas: cavar vala; implantar dreno; reaterrar compactando; usando o seguinte material constituinte: tubo corrugado de aço (19); material sintético; geotêxtil não tecido em poliéster; tubos em chapas metálicas; manilhas; etc..

Já as obras para contenção de voçorocas e ravinas são:

- a) plantio interno com desvio pluvial tem como função: proteção do solo afetado; controle da erosão; através das etapas: desviar as águas pluviais; confinar plantio através de meios-fios; usando o seguinte material constituinte: gramas; capins; bambuzinhos; etc..
- b) barragens de estabilização intermediárias têm como função: conter a água e solo; através das etapas: construir muro de contenção na parte inferior da erosão, subindo pelo cânion sucessivamente a distâncias horizontais tais que dependem de cada caso; o muro deve ser escalonado em degraus; desviar águas pluviais através da construção de banquetas ao redor da crista de toda a erosão; usando o seguinte material constituinte: pneu; bambu; solo-cimento; tambor; madeira; concreto; palha; etc..

- c) reaterro com dreno de fundo tem como função: evitar novas erosões; repor o solo; através das etapas: instalar dreno de fundo; aterrar solo no local erodido; usando o seguinte material constituinte: brita; tubo; seixo; pedra; etc.

Controle de Cheias e Inundações

No caso de São Pedro do Iguaçu, não há registros de enchentes ou inundações, mas sim de alagamentos na área urbana, principalmente no Distrito de Luz Marina, causados por problemas localizados de drenagem e ocupação urbana.

Entretanto, nos lançamentos da macrodrenagem existem problemas graves de processos erosivos, para os quais devem ser previstas ações práticas para minimização dos impactos.

O primeiro passo para a resolução dos problemas da macrodrenagem em São Pedro do Iguaçu é a elaboração do Plano Diretor de Drenagem Urbana, com levantamentos primários e estudos mais detalhados sobre a situação dos canais existentes e as necessidades de reposição do sistema.

Assim como as soluções “não convencionais” para microdrenagem, as novas técnicas para solucionar ou minimizar os problemas de macrodrenagem concentram-se hoje em dia no conceito de reservação.

A principal função da reservação na macrodrenagem é a de conter temporariamente os picos de chuva, para liberação subsequente. Esses sistemas são compostos principalmente de:

- Reservatórios a superfície livre;
- Reservatórios subterrâneos;
- Retenção subsuperficial.

Para áreas urbanas já consolidadas, sugere-se a implantação de reservatórios subterrâneos ou superficiais), e para áreas novas as soluções podem variar de acordo com a área disponível para implantação dos sistemas.

Em áreas com maior adensamento populacional, algumas alternativas para aproveitamento dos espaços são:

- Praças de esportes ou campo de futebol, utilizados durante o período seco, sendo o espaço ocupado no período de chuva como reservatório para amortecimento de cheias;



Figura 52 – Bacia de amortecimento em praças de esportes.

Fonte: FEAM, 2006.



Figura 53 – Bacia de retenção em Porto Alegre.

Fonte: SILVA, 2009.

As bacias de amortecimento ou retenção, exigem manutenção periódica, pois o acúmulo das águas promove a decantação das partículas em suspensão. Portanto, periodicamente é necessário realizar a limpeza do fundo desses reservatórios, evitando que a capacidade deles seja diminuída pela deposição de materiais.

As bacias de retenção existentes no município de São Pedro do Iguaçu tem papel fundamental para evitar o surgimento de novos processos erosivos, promovendo o acúmulo das águas pluviais antes do seu lançamento nos corpos receptores. Esta solução deve ser utilizada nas demais áreas que apresentam erosões, minimizando o impacto aos moradores do entorno.

Além das soluções não convencionais, o município deverá recuperar e realizar a manutenção periódica da rede de macrodrenagem já implantada, que exercem função importante para a regulação das vazões na área urbana.

3.3.4.4. Gestão do Sistema

As ações previstas nos itens anteriores, como a recuperação e controle dos processos erosivos, implantação de bacias de amortecimento de cheias, elaboração do cadastro georreferenciado da rede existente, execução de obras de ampliação da rede existente, etc., dependerão de uma gestão eficiente do sistema de drenagem.

A gestão do sistema é fundamental também para a definição de novos parâmetros técnicos a serem adotados em leis e códigos vigentes, propondo readequações e implantação de novas alternativas para o planejamento urbano, visando a aplicação de medidas preventivas contra os prejuízos causados pelas chuvas intensas no município.

Para tanto, propõe-se que a atual Secretaria Municipal de Obras e Urbanismo assumira as responsabilidades de planejamento, elaboração de projetos, contratação e fiscalização das obras necessárias a serem executadas, incluindo em suas atribuições a gestão da drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.

Outras ações propostas para melhoria da gestão do sistema são a elaboração do Plano de Drenagem para a Área Rural, e um programa de educação ambiental voltado à drenagem urbana, que devem ser coordenados pela Secretaria Municipal de Obras e Urbanismo. No caso das áreas rurais, a execução deverá ficar a cargo da Secretaria Municipal de Agricultura e Gestão Ambiental.

Para a elaboração dos projetos por parte da Prefeitura Municipal (ou quando estes são terceirizados), o município carece de um manual padronizando os parâmetros a serem levados em consideração para o dimensionamento das estruturas necessárias.

Para haver uma padronização desses dados, faz-se necessária a elaboração de um Manual para Obras de Drenagem, contendo estudo de chuvas intensas com os dados locais; indicação de tipos de materiais a serem utilizados; métodos construtivos mais adequados; entre outros itens.

Esse manual servirá de apoio para as obras de ampliação e recuperação do sistema de drenagem de São Pedro do Iguaçu.

A Secretaria Municipal de Obras e Urbanismo também deverá se responsabilizar pelo envio de informações ao Sistema Informatizado de Defesa Civil do Paraná (SISDC), no qual todos os municípios do Paraná devem cadastrar e atualizar anualmente informações relativas a:

- Cadastro de Áreas de Atenção;
- Cadastro de Abrigos;
- Cadastro de Recursos;
- Cadastro de Ação Operacional;
- Gerador do Plano de Contingência.

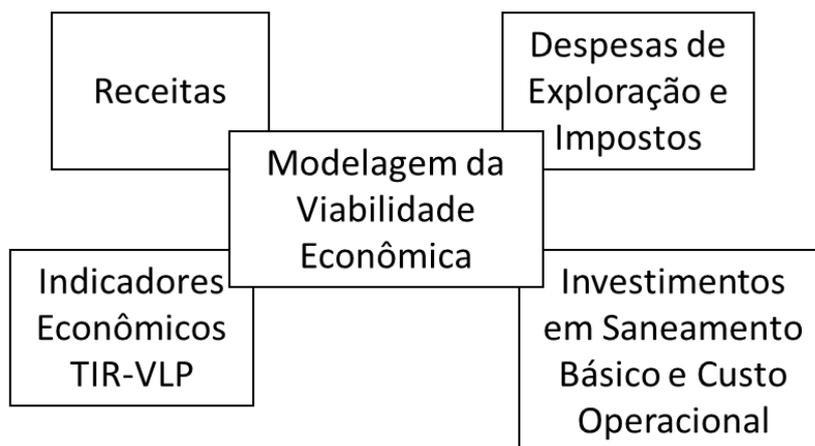
3.4. RECURSOS NECESSÁRIOS DOS INVESTIMENTOS E AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE E DAS ALTERNATIVAS PARA A SUSTENTAÇÃO ECONÔMICA DA GESTÃO E DE PRESTAÇÃO DOS SERVIÇOS CONFORME OBJETIVOS DO PLANO. CAPACIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DO MUNICÍPIO, DOS PRESTADORES DE SERVIÇO E DA POPULAÇÃO.

Os recursos financeiros destinados ao sistema de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, são provenientes de duas fontes distintas: recursos orçamentários, sem receita específica; e financiamentos externos de instituições como:

- Banco do Brasil;
- Caixa Econômica Federal;
- BNDES;
- SDS/SPG - Governo do Estado;
- FUNASA/MS;
- FNDE/Ministério da Educação;
- PAC/MinCidades, entre outros.

Os investimentos necessários para cobrir as despesas operacionais dos sistemas de saneamento, deverão estar a cargo da cobrança de taxas/tarifas.

Já os investimentos financeiros para suprir custos de obras e equipamentos para atingir a universalização dos sistemas, serão apresentados no final dos prognósticos de cada setor (água + esgoto + resíduos + drenagem). A figura a seguir apresenta a modelagem para a Viabilidade Econômica do Município de São Pedro do Iguaçu.



(TIR) – Taxa Interna de Retorno

(VPL) – Valor Presente Líquido

Figura 54 – Modelagem da Viabilidade Econômica.

Fonte: Habitat Ecológico, 2017.

3.5. FORMULAÇÃO DE MODELOS E ESTRATÉGIAS DE FINANCIAMENTO NECESSÁRIOS À UNIVERSALIZAÇÃO.

Para se obter a universalização dos sistemas, é necessária a garantia de recursos financeiros. De acordo com o Art. 29 do Capítulo VI – DOS ASPECTOS ECONÔMICOS E SOCIAIS, da Lei Nº 11.445/2007:

“Os serviços públicos de saneamento básico terão a sustentabilidade econômico-financeira assegurada, sempre que possível mediante remuneração pela cobrança dos serviços:”

“III – de manejo de águas pluviais urbanas: na forma de tributos, inclusive taxas, em conformidade com o regime de prestação dos serviços ou de suas atividades”.

Já o art. 36, enfatiza que:

“A cobrança pela prestação dos serviços públicos de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas deve levar em conta, em cada lote urbano, os percentuais de impermeabilização e a existência de dispositivos de amortecimento ou de retenção de água da chuva, bem como poderá considerar:

I – o nível de renda da população da área elencada;

II – as características dos lotes urbanos e as áreas que podem ser neles edificadas.”

Portanto, a Lei Nacional de Saneamento Básico define que os municípios devem implantar sistemas de cobrança pelos serviços prestados, de forma que suas receitas consigam cobrir as despesas – sustentabilidade econômico-financeira.

No caso de São Pedro do Iguaçu, por se tratar de um município de pequeno porte, sem grandes problemas relacionados ao sistema de drenagem, tal proposição deverá ser debatida a longo prazo, dentro da programação do PMSB.

A implantação da taxa de drenagem conforme anteriormente estabelecido na Lei da Política Nacional de Saneamento Básico e seu Decreto Regulamentador N.º 7.217/2010 se apoia na fórmula:

$$Q = C. I. A,$$

Onde:

Q: vazão em m^3/s ,

I: intensidade da precipitação pluviométrica (mm/seg);

C: coeficiente de impermeabilização da área;

A: área da bacia contribuinte (m^2 ou ha), para bacias até $5km^2$.

*Áreas maiores deverão ser calculadas pelo método UHT.

Calcula-se em função da intensidade de precipitação pluviométrica média, para a Região, o volume de chuva precipitada durante um ano sobre a área limitada pelo perímetro urbano. Deduz-se normalmente 50% da área considerada como precipitada sobre áreas públicas, sistema viário, praças, parques, entre outras e o restante da vazão sobre os 50% da área urbanizada, determinando-se a vazão por m^2 ou hectare.

Estima-se o valor dos investimentos anuais em drenagem e manejo das águas pluviais urbanas:

- Ampliação da microdrenagem;
- Reposição da micro e macrodrenagem a cargo da Prefeitura Municipal;
- Execução da macrodrenagem, e,
- Operação e manutenção do sistema.

O custo anual determinado dividido por 50% da vazão precipitada determina a taxa unitária de drenagem: R\$ / m^2 (ha) por ano. Dividindo-se por 12 meses, obtém-se a taxa de drenagem mensal.

Multiplicando-se a área do lote pela taxa mensal de drenagem, obtém-se a taxa bruta de drenagem. Esta taxa será reduzida, em função do coeficiente de impermeabilização (c). Quanto maior for o valor de (c) próximo a 1,0 (100% de impermeabilização do lote) maior será o valor da taxa de drenagem a ser paga pelo proprietário do imóvel. Quanto menor for o valor de (c) próximo a 0,0 (0% de impermeabilização do lote) menor será o valor da taxa de drenagem a ser paga pelo proprietário do imóvel. O valor da taxa de drenagem poderá ser agregado à conta de abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta de resíduos sólidos, ou ainda à conta de consumo de energia elétrica.

Até que a situação efetivamente se estabilize, a Prefeitura Municipal poderá manter a situação mediante a melhoria da qualidade dos serviços prestados, capitalizando-se politicamente pelo não aumento da carga tributária da população urbana.

O município de São Pedro do Iguaçu carece de maiores detalhamentos sobre os parâmetros técnicos para elaboração de projetos, execução de obras e manutenção e operação do sistema de drenagem. Esse detalhamento pode ser estudado levando em consideração o histórico de dados pluviométricos existentes na região, observando as características fundamentais da chuva: intensidade, duração, frequência e distribuição. Com os dados obtidos, é necessária aplicação de um método de ajuste, análise dos pluviogramas, seleção das precipitações, análise estatística das intensidades, e determinação da relação intensidade versus duração versus frequência, para se chegar a equações que representem as chuvas intensas no município. Além disso, a Prefeitura deverá possuir um manual para elaboração de projetos e

execução de obras de drenagem, para padronizar a construção de novas redes, evitando problemas como o subdimensionamento da rede.

A implantação e gestão dos sistemas de drenagem nos municípios implicam na mobilização de uma quantidade expressiva de recursos financeiros. Para garantir a sustentabilidade financeira destes serviços, é possível estabelecer modalidades de captação de recursos. Dentre estas modalidades estão os impostos, as taxas (podendo ser fixas ou calculadas com base em parâmetros físicos) e os pagamentos correspondentes a um consumo (Baptista e Nascimento, 2002).

No Brasil, bem como em outros países, os serviços de drenagem urbana são financiados por uma parcela do orçamento do município. Eventualmente, podem ocorrer investimentos Federais ou Estaduais, dirigidos especialmente a execução de obras, mas a composição destes recursos empregados na manutenção dos sistemas de drenagem é municipal, sendo captados através de impostos. Geralmente, o financiamento é feito através do IPTU – Imposto sobre Propriedade Territorial Urbana. Como a drenagem urbana não é percebida como prioridade política, seu financiamento esbarra na restrição orçamentária e o que se tem observado é que os investimentos são insuficientes diante da elevada demanda (Cançado, Nascimento e Cabral, 2006; Tucci, 2002).

A aplicação de uma taxa de drenagem é uma forma de sinalizar ao usuário a existência de um valor para os serviços de drenagem urbana e que estes custos variam de acordo com a impermeabilização do solo (Gomes, Baptista, Nascimento, 2008).

Como o serviço não é ofertado igualmente a todos os usuários na área urbana, é difícil estabelecer um valor a ser cobrado pelo uso destes serviços.

Outras metodologias utilizadas para o cálculo de taxas sobre a drenagem foram desenvolvidas por Tucci (2002) e baseia-se em expressões matemáticas que representam o rateio dos custos de operação e manutenção do sistema de drenagem.

Para isso, aplica-se a seguinte equação:

$$Tx = \frac{A \times Cui}{100 \times (28,43 + 0,632 \times I)}$$

Onde:

Tx = Taxa a ser cobrada, em R\$, por imóvel;

A = Área do lote em m²;

I = Percentual de área impermeabilizada do imóvel;

Cui = Custo unitário das áreas impermeáveis, em R\$/m², sendo obtido pela equação:

$$Cui = \frac{100 \times Ct}{Ab \times (15,8 + 0,842 \times Ai)}$$

Onde:

Ct = Custo total para realizar a operação e manutenção do sistema, em milhões de R\$;

Ab = Área da bacia em Km²;

Ai = Parcela de área da bacia impermeabilizada, em %.

Pode-se citar como exemplo o município de Santo André, onde foi instituída uma taxa de drenagem através da Lei Municipal nº 7.606 de 23 de dezembro de 1997, entrando em vigor em 1º de janeiro de 1998. O objetivo da criação desta taxa foi de financiar os custos da manutenção do sistema de drenagem urbana, o que inclui os serviços de limpeza de bocas de lobo, galerias, desassoreamento de córregos, manutenção de bacias de retenção e detenção do município. A forma de cobrança empregada em Santo André se baseia no tamanho da área impermeabilizada do lote, ou seja, no volume lançado no sistema de drenagem, refletindo, portanto, o quanto cada lote sobrecarrega o sistema. Este volume é estimado de acordo com o índice pluviométrico médio histórico.

3.6. PROJEÇÃO DAS DEMANDAS POR SERVIÇOS

Na Lei nº 11.445/2010, que define a Política Nacional de Saneamento Básico, o parágrafo segundo do Artigo 52 cita a necessidade dos serviços públicos de saneamento básico terem as demandas estimadas, por serviço, para o horizonte de vinte anos, considerando a definição de metas para curto, médio e longo prazo. Neste projeto foram adotados:

- 1 a 4 anos – curto prazo;
- 5 a 8 anos – médio prazo;
- 9 a 20 anos – longo prazo.

3.7. HIERARQUIZAÇÃO DAS ÁREAS DE INTERVENÇÃO PRIORITÁRIA

A priorização das ações de intervenção para melhoria do sistema de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas existente no município de São Pedro do Iguaçu, deverá seguir os programas de maior relevância.

As ações definidas como prioritárias deverão ser:

- Elaboração de projetos para controle e recuperação de áreas de erosão;
- Definição de órgão responsável pela gestão do sistema de drenagem;
- Execução de obras já projetadas para ampliação do atendimento.

3.7.1. Definição dos objetivos e metas – Forma gradual apoiados em indicadores

Detalham-se a seguir, as principais metas, programas e ações a serem observadas quando da implementação do PMSB.

Metas Qualitativas

Destacam-se as seguintes:

1. Criar nos cidadãos uma consciência de preservação dos recursos hídricos e naturais, através de campanhas, cursos curriculares na Rede Municipal de Ensino e em eventos específicos;

2. Coibir o lançamento de águas servidas e esgotos sanitários, com ou sem tratamento, na rede de galerias de águas pluviais, que deverão ter o destino adequado em rede apropriada;
3. Promover a preservação e recuperação de nascentes;
4. Promover a conservação da rede hidrológica, inclusive com a revegetação de mata ciliar e a renaturalização de canalizações;
5. Promover o controle de erosão em terraplenagens e em terrenos desprovidos de vegetação;
6. Promover o controle de assoreamento dos corpos d'água;
7. Coibir a deposição de materiais ao longo dos corpos d'água, em especial os resíduos da construção civil, resíduos orgânicos e o lixo doméstico.
8. Estabelecer plano de uso e ocupação das bacias hidrográficas, em especial quanto à proteção das áreas de fundos de vale, dos corpos d'água e de áreas de recarga de aquíferos;
9. Inserir os parâmetros necessários à manutenção da permeabilidade do solo e ao sistema de retenção de águas das chuvas na política de uso e ocupação do solo;
10. Promover obras de manutenção de infraestrutura, como a limpeza e o desassoreamento dos rios, córregos e canais, o redimensionamento de obras de micro drenagem, a recuperação estrutural de obras de infraestrutura;
11. Executar obras de ampliação de infraestrutura como a construção de galerias, pontes e travessias e a proteção das margens dos rios, córregos e canais;
12. Promover e incentivar a implantação de vegetação ao longo dos corpos d'água, nas nascentes, nas cabeceiras e nas áreas de recarga de aquíferos;
13. Promover e incentivar programa para conservação do solo e combate à erosão, no meio rural e no meio urbano.

Deverá ainda ser desenvolvido um programa de prevenção de alerta contra eventos críticos de chuvas intensas para proporcionar agilidade na mobilização de ações emergenciais nos eventos de deslizamentos e enchentes, minimizando a possibilidade de maiores prejuízos materiais e risco a perda de vidas e risco a saúde pública.

Devem também ser definidos parâmetros de impermeabilização de terrenos e as necessidades de implantação de medidas estruturais com obras de micro e macro drenagem, a recuperação da rede hidrológica de uma maneira mais ampla, indo desde a recuperação de nascentes, matas ciliares e até a renaturalização de córregos, bem como as medidas não estruturais para o controle de impermeabilização do solo e ainda os programas de educação ambiental.

Sempre que houver novos empreendimentos (loteamentos: condomínios e outros) deverão ser exigidos projetos de drenagem com previsão de escoamento superficial, rede subterrânea e bacias de controle de vazão.

Metas Quantitativas

Para o alcance das proposições estabelecidas no PMSB, está prevista a elaboração de Estudos, Projetos e Ações que ofereçam subsídios para nortear a implantação das metas programadas, destacando-se:

1. Estudo Hidrológico e Hidrodinâmico das Bacias Hidrográficas do Município com seus hidrogramas de cheias, definição dos escoamentos, estudo de chuvas intensas, entre outros.
2. Elaboração do Plano Diretor de Drenagem Urbana, a partir do cadastro da rede existente, detalhando-se em planta e perfil a micro e macrodrenagem, possibilitando propor e projetar as intervenções necessárias, desconectando-se o esgotamento sanitário da rede de águas pluviais, com identificação e análise do processo de ocupação e uso do solo urbano. Definição de áreas sujeitas e restrições de uso e intervenções de prevenção e controle de inundações.
3. Atualização periódica dos mapas de risco de inundações/deslizamentos associados a diferentes tempos de recorrência com definição dos coeficientes de impermeabilização, com definição do zoneamento das áreas inundáveis.
4. Implantação de Sistema de Prevenção e Alerta com a finalidade de antecipar a ocorrência de deslizamentos e enchentes avisando a população e tomando as medidas necessárias para redução dos danos resultantes da inundação.
5. Manutenção da Defesa Civil, tendo em vista três fases distintas: prevenção através de atividades para minimizar os deslizamentos e enchentes, quando ocorrerem; alerta, durante a fase de ocorrência estabelecendo os níveis de acompanhamento, alerta e emergência e a mitigação, após o evento ter ocorrido, tendo em vista diminuir os prejuízos, conforme Figura 55 a seguir.

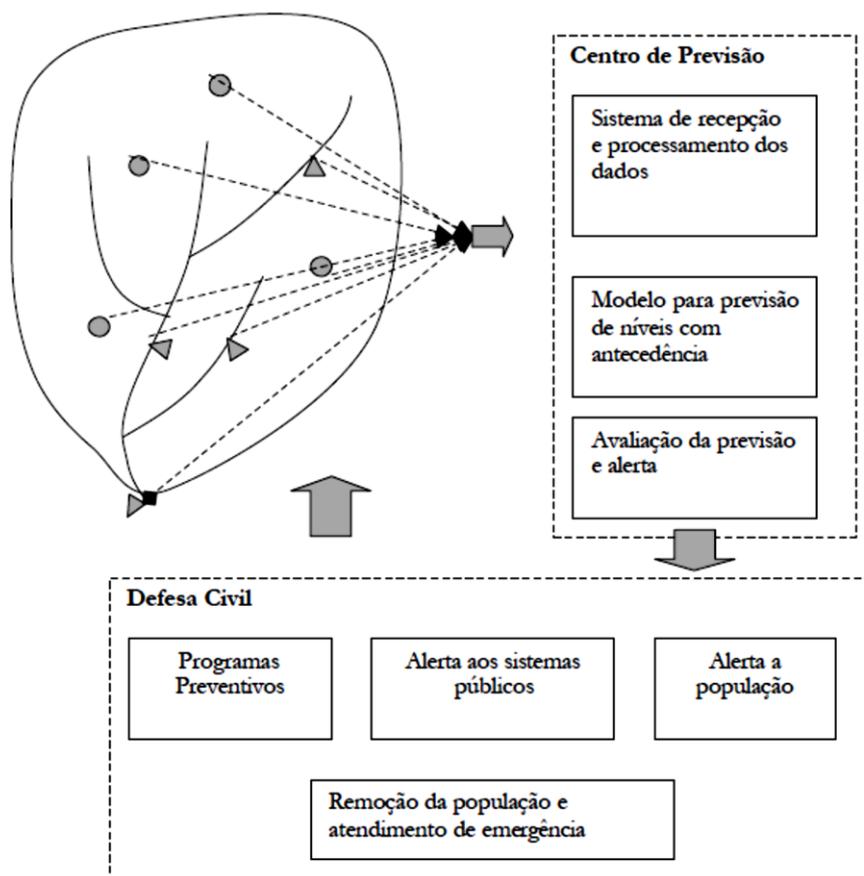


Figura 55 – Mapa de Alerta

Fonte: Habitat Ecológico, 2017.

6. Gestão do Sistema através de estrutura institucional locada na Prefeitura Municipal para definição de ações de integração das diferentes estruturas atualmente disponíveis voltadas à drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, com criação de banco de dados único e arquivo do sistema já implementado ou projetado.
7. Estabelecimento de um programa bem definido para erradicação de ligações clandestinas de esgotos sanitários, de conformidade com a substituição e implantação de um sistema separador absoluto.
8. Estabelecimento de ações para proteção e revitalização dos corpos d'água, cujo objetivo seja o de melhorar as condições de vida da população através do envolvimento da comunidade.

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, SNIS, do Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento publica os indicadores referentes aos sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, e limpeza pública e manejo de resíduos sólidos. Em 2017 foi lançado pela primeira vez o indicador de drenagem urbana, com o recebimento de dados referentes a 2016. No entanto, os dados obtidos só deverão ser divulgados em 2018, para que se possa começar a fazer comparativos dos indicadores do sistema com os demais municípios.

O

Quadro 6 a seguir, apresenta sugestão de indicadores a serem utilizados preliminarmente.

Quadro 6 – Indicadores Drenagem e Manejo de Água Pluviais Urbanas.

Indicador	Fórmula	Unidade
Atendimento do Sistema de Drenagem	[População Urbana Atendida por Sistema de Drenagem Urbana/ População Urbana do Município] * 100	%
Vias Urbanas com Sistema de Drenagem	[Extensão do Sistema de Drenagem Urbana/Extensão Total do Sistema Viário Urbano] * 100	%
Ocorrência de Alagamentos	Total de Ocorrências de Alagamentos no período de um ano/ área do Perímetro Urbano	Número de Pontos de Alagamento/km ²
Eficiência do Sistema de Drenagem Urbana	[Número de vias com sistema de drenagem urbana sem ocorrência de alagamentos / Número de vias com sistema de drenagem urbana] * 100	%
Área urbanizada	[Área urbanizada do Município / Área total do Município] * 100	%
Periodicidade de Manutenção do Canal	Último intervalo entre Manutenções, por canal	Meses

Fonte: Habitat Ecológico, 2017.

3.8. MECANISMOS COMPLEMENTARES

3.8.1. Compatibilização com as Políticas e o Plano Nacional e Estadual de Recursos Hídricos

A lei federal 9.433, que instituiu a Política Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, possibilita a cobrança de uma taxa para a disposição de águas de drenagem pluvial nos corpos d'água em seu artigo 12, inciso III:

“Art 12. – Estão sujeitos a outorga pelo Poder Público os direitos dos seguintes usos de recursos hídricos: [...]

[...] Inciso III – Lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com fim de sua diluição, transporte ou disposição final.

Inciso IV – outros usos que alterem o regime, a quantidade e a qualidade de água existente em um curso d'água [...]

[...] Art; 20 – Serão cobrados os usos de recursos hídricos sujeitos à outorga, nos termos do art. 12.

A drenagem é um tema importante, visto que o presente plano trata de questões referentes a recomendações que os planos estadual e nacional fazem. Esses planos servem de justificativa do porquê se deve prever ações, investimentos, alternativas e mecanismos que complementem os Planos de Saneamento Básico.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADASA. Revisão do Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal. Produto P1. Estudos Técnicos. ADASA. UNESCO. Ago, 2017.

BACCARO, Claudete Aparecida Dalevedove. As unidades morfológicas e a erosão nos chapadões do Município de Uberlândia, 1994.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O. Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre: ABRH, vol. 7, nº 1, p29-49, jan/mar 2002.

BERTONI, J. F.; LOMBARDI NETO. Conservação do solo. São Paulo: Cone, 1990.

BRASIL. Plano Nacional de Saneamento Básico, 2013.

BRASIL. Política Nacional de Saneamento Básico – Lei 11.445, de 05 de janeiro de 2007.

BUARQUE, S.C. Metodologia e Técnicas de Construção de Cenários Globais e Regionais. Brasília/DF - IPEA, 2003.

CANÇADO, V., NASCIMENTO, N. O., CABRAL, J. R. Cobrança pela Drenagem Urbana de Águas Pluviais: Bases Conceituais e Princípios Microeconômicos. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre: ABRH, vol. 11, nº 2, p15-25, abr/jun 2006.

CANHOLI, A. P. Drenagem Urbana e Controle de Enchentes, 2ª ed. São Paulo, Oficina de Textos, 2014.

CORDERO, A.; MEDEIROS, P. A.; TERAN, A. L. Medidas de controle de cheias e erosões. 1999.

DEFESA CIVIL DE SÃO BERNARDO DO CAMPO. Enchente, Inundação, Alagamento ou Enxurrada? São Bernardo do Campo, 2011. Disponível em <<http://dcsbcsp.blogspot.com.br/2011/06/enchente-inundacao-ou-alagamento.html>>.

EPAGRI. Estudo sobre a Rede Hidrometeorológica de Monitoramento da Epagri/Ciram. 2011.

FENDRICH, R. et al. Drenagem e controle da erosão urbana. Curitiba: Champagnat. 4ª ed., 1997, 486 p.

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente. Orientações Básicas para Drenagem Urbana, Belo Horizonte. 2006. Disponível em: <<http://www.feam.br/images/stories/arquivos/Cartilha%20Drenagem.pdf>>.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. **Manual de Drenagem Urbana**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. SUDESHA: Secretaria de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Programa de Saneamento Ambiental da Região Metropolitana de Curitiba. CH2MHILL. Região Metropolitana de Curitiba. Dez. 2002. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/pddrenagem/volume6/mdu_versao01.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2017.

GOMES, C. A. B. M., BAPTISTA, M. B., NASCIMENTO, N. O. Financiamento da Drenagem Urbana: Uma Reflexão. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre: ABRH, vol. 13, nº 3, p93-104, jul/set 2008.

MAGALHÃES, R. A. Erosão: Definições, Tipos e Formas de Controle. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Goiânia, 2001. Disponível em: <http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/simposio_erosao/articles/t084.pdf>.

MEDEIROS, V. S. Análise estatística de eventos críticos de precipitação relacionados a desastres naturais em diferentes regiões do Brasil. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

MILOGRANA, J. (2009). Sistemática de Auxílio à Decisão para a Seleção de Alternativas de Controle de Inundações Urbanas. Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, publicação PTARH. TD – 05/09, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 316 p.

MOMO, M. R.; SEVERO, D. L.; SILVA, H. S.; et. al. Serviços Grid/Web para Sistemas de Emergência. In: Anais da Mostra Integrada de Ensino, Pesquisa e Extensão – MIPE. 2010.

MOMO, M. R.; SILVA, G. S.; SEVERO, D. L.; Tecnologias da Informação Baseada em serviços, aplicadas em sistemas de monitoramento e alerta de eventos climáticos. In: Seminário Interinstitucional da Unicruz. 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CANOAS/RS. Detalhamento do Revestimento do Canal da Rua Curitiba, entre a Rua São Paulo e EB6. Setembro, 2012.

SILVA, M. K. Modelo para Pré-Dimensionamento de Bacias de Detenção para Controle da Poluição Difusa das Águas Pluviais no Município de Porto Alegre. UFRGS – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 2009. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/34135/000786263.pdf?sequence=1>.

TACHINI, M. Monitoramento Hidrológico. 2003.

TACHINI, M. O alerta de cheias e a ação da defesa civil. 2003.

TUCCI, C. 2000. (org.) Hidrologia – ciência e aplicação. Editora da Universidade, ABRH, Porto Alegre.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da Drenagem Urbana. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre: ABRH, vol. 7, nº1. p5-27, Jan/Mar, 2002.

UBER, P. A.; PINHEIRO, A. Uso racional das águas e controle de cheias nas edificações. 2015.