

PREFEITURA MUNICIPAL DE TERESINA
SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO

PROGRAMA LAGOAS DO NORTE

ACORDO DE EMPRÉSTIMO Nº 7523-BR - BIRD

PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA DE TERESINA

Rev.01
Volume 25 – Tomo 06
Relatório Final

 **CONCREMAT**
E N G E N H A R I A
Julho/2012

PREFEITURA MUNICIPAL DE TERESINA
SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO

PROGRAMA LAGOAS DO NORTE

ACORDO DE EMPRÉSTIMO Nº 7523-BR - BIRD

PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA DE TERESINA



Rev.01
Volume 25 – Tomo 06
Relatório Final

 **CONCREMAT**
E N G E N H A R I A
Julho/2012

Ficha Catalográfica

Município de Teresina, Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação, Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina – 2010.

Teresina: Concremat Engenharia, 2010

V.25, T.06/15

Conteúdo: 25 V

Relatório Final - Tomo 06.

1. Planejamento. 2. Plano Diretor de Drenagem Urbana. 3. Teresina.

I. Concremat Engenharia, II. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação, III. Programa Lagoas do Norte

CDU 556:711.4

SUMÁRIO

TOMO 06

LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE QUADROS	VI
10	PROBLEMAS RELACIONADOS À EROSÃO, ESTABILIDADE DE ENCOSTAS E ÁREAS
INUNDÁVEIS	551
10.1	METODOLOGIA.....551
10.2	ESTUDOS GEOLÓGICOS552
10.2.1	<i>Geologia Regional</i>552
10.2.2	<i>Geologia Local</i>554
10.2.3	<i>Geomorfologia</i>556
10.3	ESTUDOS GEOTÉCNICOS.....557
10.3.1	<i>Áreas sujeitas a deslizamentos, focos de geração e transporte de sedimentos</i>557
10.3.2	<i>Tipificação e ocorrência das erosões</i>561
10.3.3	<i>Determinação das áreas sujeitas a assoreamento</i>562
10.3.4	<i>Descrição da gênese das inundações e áreas afetadas</i>564
10.4	SUSCETIBILIDADE POTENCIAL À EROSÃO LAMINAR567
11	QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS
574	
11.1	DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS.....574
11.1.1	<i>Aspectos relacionados à origem da poluição dos corpos hídricos urbanos</i>575
11.1.2	<i>Estudos relacionados à qualidade das águas pluviais</i>578
11.1.3	<i>Diagnóstico qualitativo das águas superficiais dos principais cursos d'água de</i> <i>Teresina</i>581
11.2	METODOLOGIA PARA O PLANO DE MONITORAMENTO.....590

11.2.1	<i>Parâmetros a monitorar</i>	590
11.2.2	<i>Locais de monitoramento</i>	592
11.2.3	<i>Frequência de monitoramento.....</i>	600
11.2.4	<i>Tratamento dos dados, padrão de comparação e apresentação dos resultados</i>	600
11.3	CARREAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PARA O SISTEMA DE DRENAGEM URBANA	604
11.3.1	<i>Classificação dos Resíduos Sólidos</i>	604
11.3.2	<i>Quantificação dos Resíduos Sólidos em Teresina</i>	606
11.3.3	<i>Medidas de controle</i>	616
11.3.4	<i>Disposição de Resíduos Sólidos</i>	624
11.4	PROBLEMAS DE SAÚDE PÚBLICA RELACIONADOS À DRENAGEM URBANA.....	627
12	RESTAURAÇÃO DE CANAIS NATURAIS	644
12.1	ANÁLISE DO ESPAÇO FÍSICO	644
12.1.1	<i>Localização e hidrografia</i>	644
12.2	PROPOSIÇÃO DE MEDIDAS RESTAURADORAS	648
12.2.1	<i>Definições.....</i>	648
12.2.2	<i>Importância da restauração.....</i>	649
12.2.3	<i>Atividades preliminares do Plano de Restauração de Canais Naturais</i>	652
12.2.4	<i>Plano de Restauração de Canais Naturais.....</i>	656
12.2.5	<i>Medidas restauradoras.....</i>	662
12.3	ESTIMATIVA DO TEMPO PARA QUE A RESTAURAÇÃO OCORRA.....	672
12.3.1	<i>Dificuldades na estimativa do tempo de restauração</i>	672
12.3.2	<i>Influência dos Objetivos e Técnicas na Estimativa do Tempo de Restauração .</i>	673

LISTA DE FIGURAS

TOMO 06

Figura 10.1. Sedimentos quaternários - rio Parnaíba.	555
Figura 10.2. Detalhe dos sedimentos Quaternários (aluvionar) depositados às margens do rio Paranaíba: notar camadas alternadas de areia e silte.	556
Figura 10.3. Bueiro rompido na Av. Maranhão próximo ao cruzamento com a Av. Gil Martins: erosão em detalhe (à direita).....	557
Figura 10.4. Bueiro rompido na Rua Celso Pinheiro próximo a Rua Chico Xavier: erosão em detalhe (à direita).....	558
Figura 10.5. Rua Santa Efigênia: parte da pista e seu talude foram levados pelo escoamento pluvial, provocando ainda o colapso de um muro de arrimo.	558
Figura 10.6. Avenida de acesso ao Residencial Mário Covas: vista da saída do dispositivo de drenagem e pista danificada.	559
Figura 10.7. Avenida principal do Loteamento Hugo Prado: sem pavimento e drenagem o solo exposto é levado pelo escoamento superficial, provocando a abertura de sulcos.	560
Figura 10.8. Bancos de areia no Parnaíba formados a partir da deposição de carga sedimentar, devido à redução da capacidade de transporte do rio.....	560
Figura 10.9. Detalhe da margem côncava de um meandro do rio Poti, onde ocorre processo erosivo.	561
Figura 10.10. Meandro apresentando um elevado grau de assoreamento em sua margem convexa, ao fundo.	563
Figura 10.11. Encontro dos rios Poti e Parnaíba, onde o rio Poti contribui com uma alta carga sedimentar.	564
Figura 10.12. Planície de inundação ocupada por moradia. Notar a presença de uma lagoa remanescente de inundações antigas.....	565

Figura 10.13. Refluxo de água da drenagem pluvial, inundando as regiões mais baixas: Rua Raul Lopes em frente ao Eurobusiness.	566
Figura 10.14. Lagoa que durante os períodos de chuva tem seu volume d'água aumentado, esse fato somado a ausência de drenagens faz com que a mesma transborde, alagando regiões de topografias mais baixas a sua volta.	567
Figura 10.15. Graus de suscetibilidade à erosão das sub-bacias urbana de Teresina.	573
Figura 11.1. Representação esquemática de poluição pontual, representada pelas setas maiores, e difusa, representada pelas setas menores (Fonte: VON SPERLING, 2005).	576
Figura 11.2. Estrutura SCS: primeira configuração (Fonte: adaptado de ARMITAGE et al., 1998).	621
Figura 11.3. Estrutura SEPT (Fonte: adaptado de ARMITAGE et al., 1998).	623
Figura 11.4. Seção transversal típica de um aterro controlado (Fonte: MONTEIRO et al., 2001).	625
Figura 11.5. Localização do aterro de Teresina (Fonte: GOOGLE EARTH, 2009).	626
Figura 11.6. Presença de animais e catadores no aterro de Teresina (Fonte: PIEROT, 2009).	627
Figura 11.7. Ilustração das doenças de veiculação hídrica mais conhecidas e seus vetores (FONTE: COUTO, 2008).	628
Figura 11.8. Gastos em saúde e saneamento no Brasil como percentagem do PIB. FONTE: (FGV, 2007).	629
Figura 12.1. Mapa de localização da mancha urbana de Teresina e a hidrografia existente.	645
Figura 12.2. Canal de interligação entre as lagoas.	646
Figura 12.3. Ocupação das margens das lagoas.	646
Figura 12.4. Sequência esquemática de restauração natural (BINDER, 1998).	650

Figura 12.5. Contraste entre trechos restaurado com intervenção parcial e não restaurado	651
Figura 12.6. Restauração do leito e margens do rio Cheonggycheon em Seoul (Coréia do Sul).	652
Figura 12.7. Faixas de preservação permanente conforme o corpo d'água (CALHEIROS, 2004).	659

LISTA DE QUADROS

TOMO 06

Quadro 10.1. Erosividade R calculada para Teresina.....	569
Quadro 10.2. Tipos de solo ocorrentes na área de estudo e respectivo fator K adotado.....	570
Quadro 10.3. Uso e ocupação ocorrentes na área de estudo e respectivo fator C adotado.....	570
Quadro 10.4. Classificação dos graus de suscetibilidade à erosão laminar hídrica.....	571
Quadro 11.1. Origem e natureza dos poluentes.....	577
Quadro 11.2. Parâmetros de qualidade – montante da ETE Pirajá.....	583
Quadro 11.3. Parâmetros de qualidade – jusante da ETE Pirajá.....	584
Quadro 11.4. Parâmetros de qualidade – montante da ETE Alegria.....	585
Quadro 11.5. Parâmetros de qualidade – jusante da ETE Alegria.....	586
Quadro 11.6. Parâmetros de qualidade – montante da ETE Leste.....	588
Quadro 11.7. Parâmetros de qualidade – jusante da ETE Leste.....	589
Quadro 11.8. Tipos de poluentes em relação a sua incidência no meio e seus parâmetros associados.....	590
Quadro 11.9. Identificação e localização dos pontos propostos para monitoramento.....	594
Quadro 11.10. Parâmetros e pesos relativos para o cálculo do IQA.....	602
Quadro 11.11. Faixas de qualidade da água para o IQA proposto pelo NSF.....	602
Quadro 11.12. Limites de alguns parâmetros para cada classe da Resolução Conama Nº 357/05.....	603
Quadro 11.13. Tonelagem de resíduos obtidos nas atividades de limpeza pública.....	606
Quadro 11.14. Resumo dos resultados de estudos de quantificação de resíduos na drenagem urbana.....	609

Quadro 11.15. Estimativa da quantidade de resíduos que atingem o exutório das sub-bacias urbanas de Teresina.	610
Quadro 11.16. Estimativa da quantidade de resíduos nas ruas e redes de drenagem das sub-bacias urbanas de Teresina.	613
Quadro 11.17. Casos de dengue em Teresina – Ano 2007.	631
Quadro 11.18. Casos de dengue em Teresina – Ano 2008.	634
Quadro 11.19. Casos de dengue em Teresina – Ano 2009.	637
Quadro 11.20. Casos de dengue em Teresina – Ano 2010.	640
Quadro 11.21. Casos de hepatite em Teresina – Ano 2005 e 2006.	643
Quadro 12.1. Ferramentas de inclusão participativa e divulgação.	655

10 PROBLEMAS RELACIONADOS À EROSÃO, ESTABILIDADE DE ENCOSTAS E ÁREAS INUNDÁVEIS

O presente capítulo aborda os principais problemas relacionados à erosão, estabilidade de encostas e taludes, sobretudo aqueles relacionados com a drenagem pluvial e principais corpos hídricos urbanos, bem como a ocorrência de áreas inundáveis.

Desta maneira, primeiramente é apresentada a metodologia utilizada no desenvolvimento desta atividade e, na sequência, os resultados obtidos desta análise.

10.1 Metodologia

A metodologia adotada para o desenvolvimento dos estudos apresentados neste item consistiu basicamente de duas etapas, a primeira realizada em escritório, através de consulta e compilação da bibliografia existente da região de interesse, levantamento do histórico das inundações e análise de imagens de satélite (Ikonos de 2007) para delimitar possíveis áreas de erosão e/ou assoreamento, bem como a preparação dos planos de informação necessários para a aplicação do modelo de perdas de solo nas sub-bacias urbanas em estudo.

Embora originalmente desenvolvida para aplicação em pequenas áreas, a Equação Universal de Perda de Solos (*Universal Soil Loss Equation* – USLE) desenvolvida por Wischmeier & Smith (1978) é amplamente utilizada para avaliação qualitativa de predição de perdas de solos por erosão laminar em grandes áreas, com o objetivo de se avaliar e identificar áreas susceptíveis à erosão, de forma rápida e econômica, visando o planejamento ambiental (FARINASSO *et al.*, 2006).

Trata-se de um modelo de base empírica que consiste em calcular a erosão do solo por meio de índices que representam os principais fatores, como erodibilidade, topografia, precipitação, uso do solo. A equação USLE é assim expressa:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (13)$$

Onde: “A” representa a perda de solo por área no tempo (t/ha.ano); “R” é o fator de erosividade da chuva (MJ.mm/ha.h.ano); “K” é o fator de erodibilidade do solo (t.h/MJ.mm); “LS” é o fator conjunto de comprimento de rampa e grau de declividade (adimensional); “C” é o fator uso e manejo (adimensional), e “P” é fator de prática conservacionista (adimensional).

A segunda etapa foi realizada através de uma incursão de campo, com finalidade de mapear a área de interesse do projeto, onde foram observadas as possíveis áreas de influência das inundações, possíveis áreas geradoras de sedimentos, bem como, sua influência em áreas circunvizinhas. Deste mapeamento resultaram indicações da gênese das inundações, sua área de influência, tipificação das erosões e áreas passíveis de assoreamento, apresentadas sob forma de um mapa em anexo a este relatório (Anexo 32).

10.2 Estudos Geológicos

10.2.1 Geologia Regional

10.2.1.1 Província Parnaíba

A região de estudo está inserida na Bacia Sedimentar do Parnaíba dentro da Província Parnaíba (600.000 km²) ou Província Sedimentar do Meio-Norte. Para melhor compreensão, no Anexo 33 é apresentado o Mapa Geológico das bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luis. (baseado em LIMA & LEITE, 1978).

A Província Parnaíba consiste de quatro sítios deposicionais separados por discordâncias geológicas, que coincidem com as que limitam as supersequências em que Góes e Feijó (1994) dividiram as rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba: Bacia do

Parnaíba propriamente dita, Bacia das Alpercatas, Bacia do Grajaú e Bacia do Espigão-Mestre (GÓES, 1995).

10.2.1.2 Bacia do Parnaíba

A Bacia do Parnaíba ocupa aproximadamente metade da província em sua parte centro-sul. Ela foi implantada sobre o riftes cambro-ordovicianos, compreendendo as supersequências Siluriana (Grupo Serra Grande), Devoniana (Grupo Canindé) e Carbonífero-Triássica (Grupo Balsas) de Góes e Feijó (1994).

Grupo Serra Grande: compreende as Formações Ipu, Tianguá e Jaicós, bem caracterizadas em subsuperfície. Góes e Feijó (1994) interpretam os ambientes de deposição do Grupo Serra Grande como flúvioglacial e glacial, passando a transicional (nerítico) e retornando às condições continentais (fluvial entrelaçado).

Grupo Canindé: é composto pelas Formações Itaim (em muitos trabalhos considerados como membro inferior da Formação Pimenteiras), Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti. O grupo é formado por arenitos e folhelhos de ambiente de plataforma rasa; arenitos com níveis de folhelhos, depositados em ambientes dominados por marés e tempestades; arenitos com geometria sigmoidal abaulada e localmente intercalações de diamictitos; arenitos finos e siltitos.

Grupo Balsas: formado pelas Formações Piauí, Pedra de Fogo, Motuca e Sambaíba compõem o Grupo Balsas, que representa a Supersequência Carbonífero-Triássica da Bacia do Parnaíba. O grupo consiste-se de depósitos de dunas eólicas, de interdunas e planícies de deflação; arenitos eólicos; arenitos de ambiente litorâneo com presença localizada de biostromas com estromatólitos; arenitos com estratificação cruzada sigmoidal e alternâncias de folhelho e arenito, depositados em planície de maré; folhelhos vermelhos com níveis de siltito, localmente com estromatólitos dômicos, representando deposição em ambiente lacustre ou lagunar; arenito fino, caolínico, com granulometria bimodal, interpretado como eólico.

Dentro dos limites do município de Teresina são encontradas as Formações Piauí, Pedra de Fogo e Poti, pertencentes ao Grupo Balsas e detalhadas a seguir.

Formação Piauí: É composta por duas partes: a inferior, constituída por arenitos róseos, médios, com intercalações de siltitos vermelhos e verdes; e uma superior composta por arenitos avermelhados com intercalações de leitos e lâminas de siltitos vermelhos, finos leitos de calcários e evaporitos. A Formação Piauí é decorrente de um ambiente deposicional continental do tipo fluvial com contribuição eólica, em clima semi-árido a desértico, com incursões marinhas.

Formação Pedra de Fogo: Constitui-se de siltitos, arenitos e argilitos, com intercalações de rochas carbonáticas e silexites. Os siltitos são verdes a róseos, laminados e, por vezes, apresentam gretas de contração. Os arenitos possuem coloração cinza-claro, com tonalidades avermelhadas quando alterados; granulação fina a grossa, estratificação cruzada e exibem marcas de onda. Os argilitos apresentam coloração cinza-esverdeado a cinza-escuro, com tonalidades avermelhadas. Os calcários são geralmente dolomíticos e de coloração amarelada.

Formação Poti: É dividida em dois membros: um inferior que é composto por arenitos médios, cinza-esbranquiçados, com lâminas esparsas de silito cinza-claro, interpretado como marinho raso; e um superior composto por arenitos com intercalações de lâminas de siltitos e folhelhos carbonosos, restos vegetais, interpretados como de ambientes fluviodeltaicos.

10.2.2 Geologia Local

Na área de estudo, de acordo com a literatura, ocorrem duas formações geológicas pertencentes ao Grupo Balsas, a Formação Piauí e a Formação Pedra de Fogo, mas durante o trabalho de campo apenas Sedimentos quaternários (Aluvião) foram observados, localizados nas margens dos rios. As formações supracitadas estão descritas abaixo:

Sedimentos quaternários: Constitui-se de areia intercalada com silte. O material arenoso apresenta cor amarela, granulometria fina à média, com estruturas estratigráficas

como barras acanaladas, que podem ser observadas nos leitos dos rios Poti e Parnaíba (Figura 10.1). O silte, material mais fino, aparece em camadas de aproximadamente 15cm, de coloração mais escura, laminados e marcam a época de inundações máximas dos rios (Figura 10.2).



Figura 10.1. Sedimentos quaternários - rio Parnaíba.

Formação Pedra de Fogo: É a unidade predominante da área estudada, datada do Permiano. Essa formação não aflora, podendo apenas ser observada em áreas de soerguimentos (planaltos e serras). Encontrados nos arredores da cidade.

Formação Piauí: Assim como a formação Pedra de Fogo, a formação Piauí não aflora na região estudada. Sua deposição se deu nas margens das drenagens do rio Poti e no rio Parnaíba, porém não aflora, pois está recoberta pelas formações recentes, tais como, formação Pedra de Fogo e Sedimentos Quaternários.

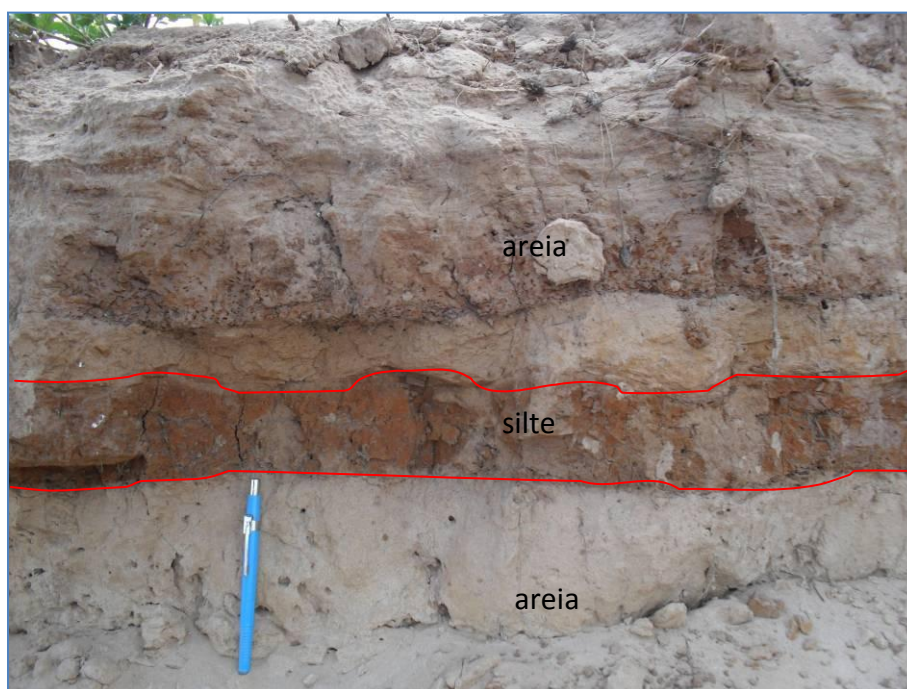


Figura 10.2. Detalhe dos sedimentos Quaternários (aluvionar) depositados às margens do rio Paranaíba: notar camadas alternadas de areia e silte.

10.2.3 Geomorfologia

Os resultados dos estudos geomorfológicos foram obtidos através da interação de dados bibliográficos com as observações de campo. Sendo o produto resultante a morfologia de relevos da região de estudo.

A região de estudo está inserida no Planalto da Bacia Sedimentar Piauí-Maranhão, que constitui um conjunto de relevos tabulares, limitados a sul pelo reverso das *cuestas* que se prolongam imediatamente a sul. Limita-se a leste pela Serra Grande. A superfície apresenta mergulho suave para nordeste e forma as serras: Vermelha, Itapecuru, Alpercatas e relevos residuais, em mesas com rebordos dissecados pela erosão fluvial.

A área estudada constitui-se de uma planície suave, com terraços fluviais isolados e pequenas depressões, formando microbacias que alagam com frequência devido as chuvas, constituindo terrenos de várzea.

10.3 Estudos Geotécnicos

10.3.1 Áreas sujeitas a deslizamentos, focos de geração e transporte de sedimentos

Dentro da região urbana de Teresina não foram encontrados pontos que apresentem indícios de possíveis deslizamentos. Tal fato é confirmado pela topografia da região, que apresenta declividade muito baixa.

No entanto, durante a ocorrência de eventos extremos de pluviosidade, o colapso de estruturas de drenagem pode gerar o desenvolvimento de processos erosivos localizados e consequente instabilidade de taludes. Algumas dessas ocorrências foram registradas pela SDU Sul, em levantamento realizado para identificar danos durante as enchentes do ano de 2009, conforme ilustradas a seguir.

A Figura 10.3 apresenta o ocorrido no bairro Tabuleta, mais especificamente na Avenida Maranhão próximo ao cruzamento com a Av. Gil Martins. O colapso do bueiro provocou um princípio de erosão no talude da referida avenida.



Figura 10.3. Bueiro rompido na Av. Maranhão próximo ao cruzamento com a Av. Gil Martins: erosão em detalhe (à direita).

Já o que ocorreu no bairro Três Andares, também relacionado ao colapso de um bueiro, provocou transtornos maiores, inclusive com a total interrupção do tráfego na Rua

Celso Pinheiro, próximo a Rua Chico Xavier, visto que o asfalto da referida via cedeu, conforme ilustra a Figura 10.4.



Figura 10.4. Bueiro rompido na Rua Celso Pinheiro próximo a Rua Chico Xavier: erosão em detalhe (à direita).

Em outra situação, na Rua Santa Efigênia (bairro Santa Luzia), a força do escoamento superficial destruiu o talude e parte da pista, além de derrubar o muro de arrimo que havia no local, conforme mostrado na Figura 10.5.



Figura 10.5. Rua Santa Efigênia: parte da pista e seu talude foram levados pelo escoamento pluvial, provocando ainda o colapso de um muro de arrimo.

No bairro Angelim, as águas provenientes de um bueiro na avenida de acesso ao Residencial Mário Covas, nas proximidades do Residencial João Paulo II, levaram o talude e provocaram o deslizamento parcial de uma das pistas da referida avenida, conforme mostra a Figura 10.6.

Em vias não pavimentadas, a ausência de dispositivos de drenagem também pode provocar o desencadeamento de processos erosivos, como é o caso do que ocorreu na Avenida principal do Loteamento Hugo Prado. Conforme ilustrado na Figura 10.7, a ausência do sistema de drenagem ocasionou a formação de sulcos nas bordas da via que, em função da sua inclinação, propicia o aumento da velocidade de escoamento e consequente carreamento dos grãos de solo. Esses sedimentos levados acabam aportando aos cursos d'água nas proximidades da área urbana.



Figura 10.6. Avenida de acesso ao Residencial Mário Covas: vista da saída do dispositivo de drenagem e pista danificada.



Figura 10.7. Avenida principal do Loteamento Hugo Prado: sem pavimento e drenagem o solo exposto é levado pelo escoamento superficial, provocando a abertura de sulcos.

Em relação ao aporte sedimentar, tanto o rio Parnaíba quanto o rio Poti, na região de Teresina, perde velocidade e com isso a capacidade de transportar sedimentos em suspensão, decantando-os no próprio leito. Isso leva a uma redução progressiva da profundidade do leito e a formação de bancos de areia (Figura 10.8), fazendo mudar a posição do eixo do rio dentro do leito. Além desta característica, soma-se a tendência dos sedimentos em concentrar-se onde encontram algum empecilho, no caso de uma curva meândrica mais acentuada, por exemplo.



Figura 10.8. Bancos de areia no Parnaíba formados a partir da deposição de carga sedimentar, devido à redução da capacidade de transporte do rio.

10.3.2 Tipificação e ocorrência das erosões

Dentro da região urbana de Teresina observa-se nas margens do rio Poti, devido ao grande fluxo de água e de seus meandros acentuados, o intenso desgaste erosivo dos terraços fluviais e das encostas do rio, além de erosões de pequeno porte decorrentes da dinâmica meandrante, onde ocorre degradação na margem côncava (desgaste) e agradação na margem convexa (deposição). Tal tipo de erosão é chamado de erosão hídrica fluvial, onde ocorre o desgaste do leito e das margens dos rios pelas suas águas (Figura 10.9).



Figura 10.9. Detalhe da margem côncava de um meandro do rio Poti, onde ocorre processo erosivo.

Além disso, as erosões de ocorrência localizada, como as ilustradas no item anterior, estão relacionadas, na maioria dos casos em Teresina, ao colapso ou inexistência da rede de drenagem pluvial em situações de intensa precipitação.

As ocorrências ilustradas na Figura 10.3 e Figura 10.7 podem ser tipificadas como uma erosão linear. Este tipo de erosão é o resultado das alterações do escoamento

superficial causado pela concentração do fluxo das águas pluviais, devido à urbanização, estradas, entre outros, resultando em incisões na superfície do terreno (IWASA & FENDRICH, 1998).

As principais feições que caracterizam a erosão linear são: sulcos, ravinas e voçorocas. As ocorrências acima citadas apresentam-se como sulcos. A erosão em sulcos resulta de irregularidades na declividade do terreno, que faz com que a enxurrada, concentrando-se em alguns pontos do terreno, atinja volume e velocidade suficientes para formar traçados mais ou menos profundos, em torno de 10 cm. Na fase de aparecimento dos sulcos não ocorrem grandes concentrações de água e eles se dão geralmente de forma difusa. Com efeito, seja pela atuação mais intensa dos agentes erosivos, seja devido à maior erodibilidade do solo aos fatores moduladores favoráveis, tais como a geomorfologia e a vegetação, poderá ocorrer uma maior concentração de água, fazendo com que os sulcos evoluam para ravinas (LIMA, 2003), que são feições de maior porte.

10.3.3 Determinação das áreas sujeitas a assoreamento

As áreas sujeitas a assoreamento estão localizadas nas porções onde a velocidade do rio é mais baixa, e com isso não há energia suficiente para transportar o material erodido, ou seja, esse assoreamento é o produto da erosão das margens côncavas dos meandros. Essas regiões estão localizadas nos lados internos das curvas mais acentuadas dos meandros, conhecidos como barra de meandros, como ocorre, por exemplo, na região conhecida como Curva São Paulo (Figura 10.10), onde também existe um histórico de inundação.



Figura 10.10. Meandro apresentando um elevado grau de assoreamento em sua margem convexa, ao fundo.

O encontro entre o rio Poti e o rio Parnaíba (Figura 10.11) é também uma região de assoreamento, mas diferente dos meandros supracitados, nesta região, onde o Poti deságua no Parnaíba, ocorre que, grande parte da carga sedimentar transportada pelo rio Poti deposita-se, formando diversos bancos de areias nas proximidades.



Figura 10.11. Encontro dos rios Poti e Parnaíba, onde o rio Poti contribui com uma alta carga sedimentar.

10.3.4 Descrição da gênese das inundações e áreas afetadas

10.3.4.1 Inundações fluviais associadas

Existem dois tipos de processos naturais associados a assoreamento presentes na região da cidade de Teresina, que podem causar inundações das áreas no entorno.

O primeiro processo está ligado ao assoreamento em alguns pontos do rio Poti. Esse assoreamento causa uma diminuição na profundidade do leito do rio, sendo assim, durante a época de cheias ocorre um aumento no volume d'água que, somado à diminuição do fundo do leito, faz com que a água acabe por transpassar os limites deste, adentrando as planícies de inundação. As zonas de assoreamento são as regiões onde o rio apresenta velocidades mais baixas, como por exemplo, nas curvas do rio e nos menores trechos entre duas curvas (Figura 10.12).



Figura 10.12. Planície de inundação ocupada por moradia. Notar a presença de uma lagoa remanescente de inundações antigas.

O segundo processo ocorre no encontro do rio Poti com o rio Parnaíba. O rio Poti é um dos principais afluentes do rio Parnaíba e o deságue ocorre nos limites entre os estados do Piauí com o Maranhão. Nessa região ocorre uma descarga dos sedimentos carreados pelo rio, geralmente, material argiloso com material arenoso, porém, nas épocas de cheia, o volume de material arenoso aumenta provocando um assoreamento na região de deságue. O material depositado, na sua maioria, areia, passa a funcionar como uma barragem natural para o rio, e durante as cheias, com o aumento de volume d'água, o mesmo sofre um processo de espraçamento, que consiste em uma inundação das áreas próximas. Um volume d'água considerável invade grande parte da região da cidade de Teresina, causando grandes prejuízos. A área de influência está apresentada conforme inventário de risco, apresentado no mapa em anexo (Anexo 32).

Além dos problemas relacionados ao assoreamento, pode-se destacar um tipo de problema que ocorre na época de chuvas, devido ao refluxo do esgotamento pluvial que é despejado em pontos do rio Poti. Com o aumento do nível do rio, durante as cheias, o

sistema pluvial fica represado e ocasiona o refluxo de volta para a área urbana, causando inundações em vários pontos da cidade (Figura 10.13), conforme apontados em detalhe anteriormente.



Figura 10.13. Refluxo de água da drenagem pluvial, inundando as regiões mais baixas: Rua Raul Lopes em frente ao Eurobusiness.

10.3.4.2 Inundações lacustres associadas

A cidade de Teresina fica localizada dentro do Planalto da Bacia Sedimentar Piauí-Maranhão, que constitui um conjunto de relevos tabulares. Dentro dessa bacia sedimentar pode-se observar microbacias, nas quais se formaram lagoas em vários pontos da cidade, concentradas principalmente nas proximidades do rio Parnaíba e algumas espaçadas nas proximidades do rio Poti.

As lagoas próximas ao rio Parnaíba foram isoladas deste, pela construção de diques artificiais que se estendem por todo o lado oeste da cidade, construídos com o intuito de conter as inundações do rio durante a época de cheias. Com isso essas lagoas passaram a sofrer uma carência de drenagem natural (Figura 10.14). Em vista disso, um sistema de bombas é o responsável pela drenagem destas águas para o rio. No entanto, em caso de falhas ou de superação da capacidade de bombeamento em virtude da ocorrência de

eventos extremos, essas lagoas acabam por transbordar e atingir os moradores das proximidades, provocando prejuízos.



Figura 10.14. Lagoa que durante os períodos de chuva tem seu volume d’água aumentado, esse fato somado a ausência de drenagens faz com que a mesma transborde, alagando regiões de topografias mais baixas a sua volta.

10.4 Suscetibilidade Potencial à Erosão Laminar

O processo de erosão laminar ou em lençol, caracteriza-se pelo escoamento superficial homogêneo e difuso, em grandes áreas, carreando pequenas camadas do solo, sendo pouco visíveis sinais no solo, mas perceptível com o aumento da turbidez da água do rio. Sua ação pode continuar durante anos, com o empobrecimento do solo ou com o assoreamento de áreas à jusante.

A predição das perdas de solo em bacias sem informações de erosão é uma das tarefas mais desafiadoras em qualquer lugar, especialmente em países em desenvolvimento

onde o monitoramento da produção de sedimentos é realizado em poucas bacias devido aos custos envolvidos ou devido à falta de capacitação do corpo técnico.

Em vista disso, para estimar as perdas por degradação dos solos nas sub-bacias da área urbana de Teresina, que se caracterizam como suscetibilidade à erosão laminar, foi aplicada a equação USLE com adaptações para o estudo, com objetivo de realizar a predição da média anual de perda de solo.

O fator R da USLE, que prediz a capacidade que a chuva tem de provocar erosão, foi obtido segundo SUDENE (1985), que determinou o fator de erosividade para a região Nordeste do Brasil com base na equação mostrada a seguir:

$$Ei_{mensal} = 89,823 \cdot \left(Pm^2 / Pa \right)^{0,759} \quad (14)$$

Onde: Ei_{mensal} é a erosividade média mensal (MJ.mm/ha.h); Pm é a precipitação mensal (mm); e Pa é a precipitação média anual (mm).

Foram utilizados os dados de precipitação da estação meteorológica ANA-CHESF, código 00542012, relativos à série histórica de 1914 a 2009, apresentados no capítulo 7 deste relatório (Tomo 05). A Figura 2.3 mostra as médias mensais da precipitação sobre a área urbana de Teresina para o período considerado. A média anual da precipitação acumulada é de 1332 mm, conforme apresentada na Figura 2.4.

O Quadro 10.1 apresenta o fator de erosividade R com distribuição sazonal para a área urbana de Teresina, obtido a partir da aplicação da equação 14. Os valores da erosividade de Teresina variaram de 8,97 a 2436,48 MJ.mm/ha.h.

Quadro 10.1. Erosividade R calculada para Teresina.

MÊS	MÉDIA MENSAL (mm)	EI (MJ·mm/h·ha)
Janeiro	193	1125,55
Fevereiro	246	1626,78
Março	321	2436,48
Abril	247	1636,83
Maio	104	440,30
Junho	18	30,72
Julho	8	8,97
Agosto	10	12,59
Setembro	11	14,55
Outubro	25	50,58
Novembro	52	153,74
Dezembro	98	402,32
Anual	1332	7939,39

A distribuição espacial do fator K está diretamente relacionada à variabilidade dos solos, tendo em vista que a erodibilidade é uma propriedade inerente ao tipo de solo. A metodologia utilizada para a obtenção do fator K, além de seu alto custo, demanda muito tempo até que sejam obtidos valores definitivos sobre unidades específicas dos solos. Em vista disso, neste trabalho foram utilizados valores de referência da literatura técnica, dando preferência aos valores de Farinasso *et al.* (2006), que foram estabelecidos em um estudo na região do Alto Parnaíba (PI/MA), mesma bacia na qual se insere a área do presente estudo.

Os solos ocorrentes na área de estudos foram identificados com base no mapa de tipo de solos resultante do levantamento de informações básicas da etapa 1 deste PDDrU. Desta forma, para os solos da área de estudo foram identificados na literatura os seguintes valores do fator K (Quadro 10.2):

Quadro 10.2. Tipos de solo ocorrentes na área de estudo e respectivo fator K adotado.

TIPO DE SOLO	FATOR K	FONTE
Neossolos Flúvicos (Solo Aluvial)	0,046	Farinasso <i>et al.</i> , 2006
Latossolo Amarelo	0,028	Farinasso <i>et al.</i> , 2006
Podzólico Vermelho Amarelo (Alissolo)	0,031	Rodrigues do Ó, 1986 <i>apud</i> Sá <i>et al.</i> , 2004

Existem diversos métodos para a determinação do fator topográfico e do comprimento de rampa “LS” (WILLIAMS & BERNDT, 1976; MOORE & BURCH, 1986; DESMET & GOVERS, 1996; KINNELL, 2007; ENGEL & MOHTAR, 2006). Neste trabalho, utilizou-se o método indicado por Burrough & McDonnell (1998), como mostrado na equação (15):

$$LS = \left(\frac{V}{22,13} \right)^{0,4} \cdot \left(\frac{\sin \theta}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (15)$$

Sendo V a acumulação de fluxo multiplicada pelo tamanho da célula e θ o ângulo da declividade em graus. O valor da acumulação de fluxo e o mapa de declividades foi calculado através de ferramenta de geoprocessamento, com base no MNT consolidado na primeira etapa deste PDDrU.

Os fatores antrópicos da USLE, fatores C e P, foram considerados de forma integrada como proposto por Stein *et al.* (1987), visando obtê-los a partir do uso e ocupação do solo. As classes de uso e ocupação do solo foram estabelecidas na etapa anterior dos estudos de elaboração do PDDrU, conforme metodologia e mapas resultantes detalhados nos tomos anteriores. Os valores de C para cada uso/ocupação foram obtidos da literatura, conforme indicado no Quadro 10.3.

Quadro 10.3. Uso e ocupação ocorrentes na área de estudo e respectivo fator C adotado.

USO/OCUPAÇÃO	FATOR C	FONTE
Água e áreas úmidas (brejos)	0,0	Farinasso <i>et al.</i> , 2006
Urbana (incluindo asfalto)	0,001	Farinasso <i>et al.</i> , 2006

USO/OCUPAÇÃO	FATOR C	FONTE
Solo exposto	1,0	Farinasso <i>et al.</i> , 2006
Vegetação baixa (cerrado)	0,042	Farinasso <i>et al.</i> , 2006
Cultivo	0,018	Farinasso <i>et al.</i> , 2006
Árvores (vegetação alta /média)	0,00004	Stein <i>et al.</i> , 1987

O valor do fator prática conservacionista (P) foi adotado neste estudo igual a 1, que se refere a plantio em desnível conforme estabelecido por Chaves (1994) em estudo realizado em área inserida na região nordeste, visto que esse fator está relacionado com áreas cultivadas, que não são expressivas na área de estudo bem como não há indícios de emprego de práticas conservacionistas de manejo do solo.

O resultado da integração dos diversos planos de informação descritos acima através da equação 13, constitui um mapa da perda potencial de solo devido à erosão laminar das sub-bacias da área de estudo, apresentado no Anexo 34.

No entanto, cabe destacar que, de acordo com citação de Farinasso *et al.* (2006), Stein *et al.* (1987) concluíram que a USLE, para grandes áreas, não deve ser utilizada como estimativa para quantificar perdas de solo por erosão, mas para uma avaliação qualitativa. Desta forma, nestes estudos regionais os valores de perdas de solo por erosão não podem ser tomados como dados reais, servindo tão somente para categorizar qualitativamente as áreas quanto a sua maior ou menor suscetibilidade à erosão.

Visando facilitar essa categorização, no Quadro 10.4 são apresentados os graus de erosão hídrica segundo a FAO/PNUMA/UNESCO (1980) encontrados em Valente *et al.* (2001).

Quadro 10.4. Classificação dos graus de suscetibilidade à erosão laminar hídrica.

PERDA DE SOLO (T/HA.ANO)	GRAU DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO
< 10	Baixa

PERDA DE SOLO (T/HA.ANO)	GRAU DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO
10-50	Moderada
50-200	Alta
>200	Muito alta

Fonte: FAO/PNUMA/UNESCO, 1981 *apud* Valente *et al.*, 2001.

Conforme se observa da comparação do mapa no Anexo 34 e da classificação acima, ilustrado na Figura 10.15 a seguir, as sub-bacias MOC, PE02, PE14, PE21, PE22, PE23, PE28 e P13 apresentaram baixa suscetibilidade à erosão. Isto possivelmente está relacionado ao fator topográfico, uma vez que estas sub-bacias apresentam baixa declividade, ou seja, constituem-se de áreas bastante planas. Especialmente no caso das sub-bacias P13 e PE14, o fato de serem bastante urbanizadas também contribui para que se enquadrem nesta categoria.

Em contrapartida, as sub-bacias P02, P05, P08, PD16, PE01, PE06 e PE29 apresentaram alta suscetibilidade, provavelmente em função da ocorrência de maiores áreas não urbanizadas, bem como maiores declividades em seu relevo. Percebe-se que, mesmo as sub-bacias enquadradas nesta categoria não apresentaram perdas de solo tão altas, ficando o maior valor detectado (127,3 t/ha.ano na sub-bacia P08) bem distante do limite superior (200 t/ha.ano).

No entanto, a maioria das sub-bacias enquadra-se como sendo de suscetibilidade moderada.

Visto que não existe um cadastro consolidado do sistema de drenagem urbana implantado ou projetado para cada sub-bacia em que a área urbana de Teresina foi discretizada, não é possível estabelecer uma relação com aporte de sedimentos nas redes de drenagem e canais naturais e seus impactos, tanto relacionados à redução de capacidade quanto aos custos de manutenção da rede e desassoreamento de cursos d'água.

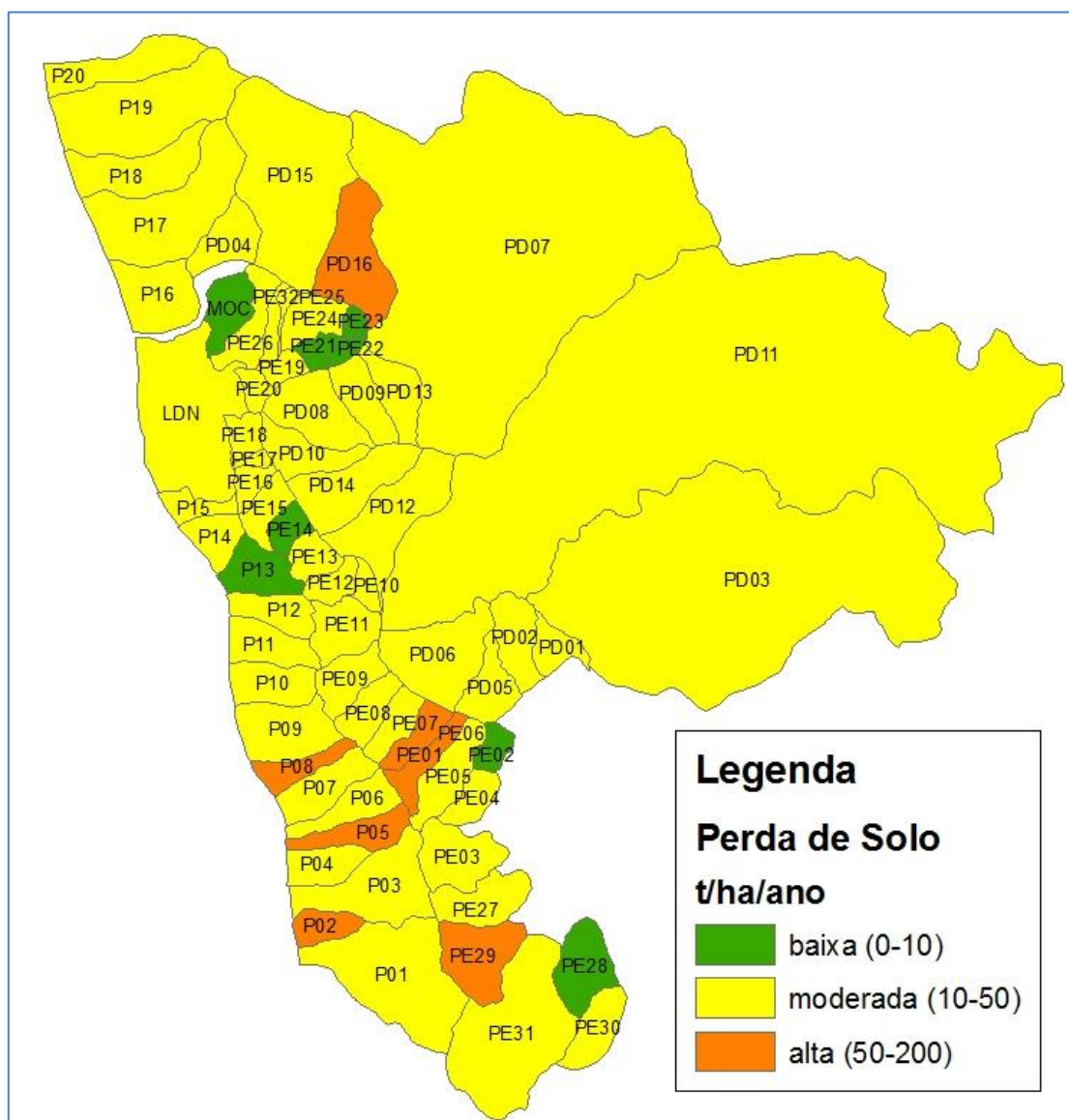


Figura 10.15. Graus de suscetibilidade à erosão das sub-bacias urbana de Teresina.

11 QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS

A atividade descrita neste capítulo envolve a proposta de uma metodologia para um plano de monitoramento das águas pluviais, com objetivo de quantificar, de forma mais precisa, qual a contribuição do aporte do esgotamento pluvial na degradação da qualidade das águas dos corpos hídricos urbanos de Teresina.

Além disso, após um breve diagnóstico da situação das águas superficiais na área urbana de Teresina, com base em dados levantados de fontes secundárias, aborda os problemas oriundos do carreamento de resíduos sólidos para o sistema de drenagem e problemas de saúde pública relacionados às áreas sujeitas a inundações e alagamentos.

11.1 Diagnóstico da qualidade de águas pluviais urbanas

Neste item são apresentados primeiramente alguns aspectos relacionados à qualidade das águas superficiais e principais formas de poluição e poluentes, buscando indicar suas origens.

Em seguida, é feita uma revisão dos principais estudos já realizados acerca da qualidade de águas pluviais nas áreas urbanas, os quais servirão para embasar a seleção dos parâmetros de qualidade a serem monitorados de acordo com a metodologia proposta a seguir, no item 11.2 deste capítulo.

Finalizando, é apresentado um diagnóstico da situação qualitativa das águas superficiais dos principais cursos d'água de Teresina, com base em dados secundários de monitoramento já realizados e em trabalhos anteriores.

11.1.1 Aspectos relacionados à origem da poluição dos corpos hídricos urbanos

Diversos córregos, rios e lagos ao redor do mundo vem sendo degradados por receber repetidamente aporte de poluentes ao longo dos anos. Uma variedade de fontes tem contribuído para esta poluição. Por muito tempo e em muitos locais ainda nos dias atuais, as descargas de fontes pontuais, tais como águas residuárias originárias de indústrias, fábricas, e da rede de coleta de esgotos, representaram a maior contribuição em termos de poluentes. Os esgotos coletados não recebiam nenhum tipo de tratamento e, por isso, o impacto nos corpos receptores configurou-se em um quadro de severa degradação.

Um dos principais poluentes é a matéria orgânica, cuja degradação, por parte de microorganismos, consome grande quantidade de oxigênio presente nos corpos hídricos, provocando mortalidade de peixes, originando odores desagradáveis e deixando o recurso hídrico inapropriado para quaisquer outros usos. Componentes tóxicos, tais como solventes orgânicos ou metais pesados, geralmente são oriundos da descarga de águas servidas provenientes de indústrias de fabricação de produtos de consumo tais como automóveis, aparelhos eletrônicos e combustíveis. Um terceiro grupo de poluentes são os nutrientes, os quais são principalmente compostos de nitrogênio e fósforo, e originam-se tanto de descargas industriais quanto de esgotos domésticos.

Embora a ocorrência de lançamentos clandestinos de esgotos nas redes de drenagem pluvial ocorra em diversos pontos da malha, as vazões contribuintes desses esgotos podem ser muitas vezes consideradas desprezíveis em comparação ao volume de contribuição do escoamento superficial durante a ocorrência de um evento de chuva.

No entanto, existem ainda as fontes de poluentes não pontuais ou difusas, as quais não sofrem tratamento antes de atingir os meios receptores. Tais fontes difusas constituem-se principalmente do escoamento superficial das chuvas em áreas de agricultura e ocupação humana consolidada. Assim, enquanto a degradação originada pelo aporte de poluentes de fontes pontuais tem decrescido, permanece ainda o aporte de uma grande parcela de carga de poluentes por meio de fontes difusas, particularmente do escoamento superficial.

A natureza dos poluentes do escoamento superficial depende das características de uso e ocupação do solo da área de drenagem. O escoamento superficial de áreas agrícolas ou rurais pode incluir sólidos suspensos, nutrientes e pesticidas, bem como excrementos e alimentos de animais em áreas de pastagens. Quanto mais se expandem as manchas urbanas com implantação de novas áreas residenciais, comerciais e industriais, o escoamento destas regiões urbanizadas torna-se uma fonte de poluição mais significativa (Figura 11.1). Pesquisadores têm tentado nas últimas décadas compreender as características do escoamento superficial urbano e como afetam a morfologia e a qualidade dos cursos d'água.



Figura 11.1. Representação esquemática de poluição pontual, representada pelas setas maiores, e difusa, representada pelas setas menores (Fonte: VON SPERLING, 2005).

A poluição difusa em áreas urbanas possui origens bastante diversificadas, englobando as ligações clandestinas de esgotos, efluentes de fossas sépticas, a abrasão e o desgaste das ruas pelos veículos, o lixo acumulado em ruas e calçadas, os dejetos de pássaros e animais domésticos, as atividades de construção, resíduos de combustíveis, óleos e graxas liberados pelos veículos, poluentes atmosféricos, entre outros (PORTO, 1995).

Parte da poluição de origem pluvial pode ser diretamente atribuída à chuva. Estima-se que esta parte represente de 15 a 25% da carga poluidora (BAPTISTA *et al.*, 2005). O restante é oriundo do escoamento sobre as superfícies urbanas onde os poluentes se acumulam nos períodos de estiagem e são levados pelas águas pluviais, carreando grande parte dos poluentes depositados.

O Quadro 11.1 sintetiza as principais fontes originárias da poluição hídrica no meio urbano.

Quadro 11.1. Origem e natureza dos poluentes.

ORIGEM	NATUREZA DOS POLUENTES
Circulação de automóveis	Hidrocarbonetos (óleos, graxas e gasolina) Metais provenientes do desgaste dos pneus (zinco, cádmio, cobre) e de peças metálicas (titânio, cromo, alumínio...), gasolina (chumbo) Óxido de nitrogênio (gases de escapamento) Poluentes provenientes da erosão de pavimentos de vias (elementos procedentes do cimento ou do pavimento das calçadas, das pinturas do pavimento, notadamente o chumbo)
Indústria	Metais (chumbo, cádmio e zinco) Resíduos de petróleo e micropoluentes orgânicos rejeitados sob a forma líquida ou gasosa podendo ser carregados por longas distâncias
Animais	Matéria orgânica proveniente de dejetos de animais (domésticos ou selvagens) que podem constituir-se em fonte de contaminação bacteriana ou viral
Resíduos sólidos	Matéria orgânica, plásticos, metais diversos, papéis, etc. rejeitados diretamente nas bocas de lobo, provenientes da lixiviação das superfícies urbanas pelas águas pluviais, de depósitos ilegais de resíduos sólidos ou de aterros sanitários mal geridos Poeiras contendo diferentes poluentes (em particular, o zinco que provém de usinas de incineração emitindo grandes quantidades de poluentes)
Erosão dos solos e em canteiros de obras	Matéria em suspensão (poluição mineral que pode conter agentes ativos como o asfalto)

ORIGEM	NATUREZA DOS POLUENTES
Vegetação	Matérias carbônicas, mais ou menos biodegradáveis (folhas mortas, pólenes) Nitratos e fosfatos provenientes de adubos Compostos organoclorados (pesticidas e herbicidas)

Fonte: Chocat *et al.*, 1997 *apud* Baptista *et al.*, 2005.

11.1.2 Estudos relacionados à qualidade das águas pluviais

Com relação à qualidade das águas pluviais, os estudos desenvolvidos nesse sentido são bem significativos nos países desenvolvidos. Porém, aqui no Brasil, esse tipo de estudo é ainda recente, existindo poucos trabalhos relacionados ao assunto. Isto pode ser creditado à preocupação maior dada à quantidade das águas pluviais que, com a crescente aglomeração das grandes cidades, têm causado inundações; ou ainda, pode ser devido ao desconhecimento dos importantes poluentes que podem ser encontrados nessas águas, os quais podem vir a contaminar os corpos receptores.

Além disso, os lançamentos orgânicos de esgotos domésticos na rede de drenagem pluvial, mesmo onde o sistema implantado é o separador absoluto, ainda não foram suficientemente solucionados. Entretanto, segundo Paz *et al* (2003), a drenagem veicula concentrações de poluentes algumas vezes superiores às do esgoto doméstico. Em vista disso, a quantificação destas cargas apresenta grande importância na avaliação do impacto por elas produzido e no projeto de medidas estruturais para o seu controle.

Yazaki *et al* (2007) apresentaram uma análise dos sistemas mistos águas pluviais-esgotos sanitários, de seu potencial de aplicação em cidades brasileiras como forma de reduzir a poluição hídrica gerada no meio urbano e acelerar as metas de enquadramento dos cursos de água. Destacam a utilização de reservatórios de *águas de primeira chuva* (*first flush*) como meio de armazenar temporariamente as águas poluídas geradas em eventos chuvosos e, assim, reduzir o aporte de cargas poluidoras para os corpos hídricos. Embora algumas regiões da área urbana de Teresina contem com sistema de esgotos separador, os

reservatórios descritos neste artigo podem representar uma solução viável para a recuperação da qualidade ambiental das águas dos sistemas hídricos urbanos.

Segundo Gomes *et al* (2005), que realizaram um monitoramento de uma rede de drenagem pluvial em Brasília com coleta de amostras de água para análise de qualidade e medições de vazão no momento da coleta, entre outubro de 2003 e fevereiro de 2004, as águas pluviais necessitam de uma maior atenção quanto à possibilidade de poluição dos corpos d'água receptores, além do grande problema devido à poluição da própria água de drenagem pluvial.

No caso de Teresina, deve-se considerar o fato de que é comum o lançamento de águas cinza domésticas (águas de pia, máquina de lavar, chuveiros) na rede pluvial, sem o mínimo tratamento, e que estas contribuem para elevar os níveis de concentração de importantes parâmetros de qualidade. Porém, mesmo com a eliminação destes lançamentos, as águas provindas do escoamento superficial no momento da chuva podem exercer influência no corpo receptor, dependendo da carga total de poluentes transportada, que pode variar com a intensidade ou duração da chuva ou com a quantidade de dias sem precipitação.

Brites & Gastaldini (2005) avaliaram a produção de cargas poluidoras do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica urbana, veiculadas através das redes de drenagem, constituindo uma relevante fonte de degradação dos corpos de água. Os resultados apresentados podem ser bastante úteis como parâmetros de referência a ser empregados na ausência de monitoramentos locais em outras bacias urbanas, cujas características de uso e ocupação do solo e condições de precipitação sejam semelhantes, uma vez que Choe *et al.* (2002) e Line *et al.* (2002) indicam que as concentrações e cargas para cada poluente estão relacionadas com estes fatores.

Dentre os principais parâmetros de qualidade considerados nos estudos citados, podemos destacar os parâmetros DBO, DQO, OD, Nitrogênio (em suas diversas formas), Fósforo, Sólidos suspensos, Coliformes Totais e Termotolerantes.

Davis *et al.* (2001) relatam que os metais nas águas de escoamento urbanos merecem um interesse particular devido a sua toxicidade, que pode exercer um impacto de curto prazo, caracterizado pela concentração ou atividade no ambiente, e em longo prazo, caracterizado pela bioacumulação e ainda devido ao fato de que os metais não são degradados. Vários estudos têm relatado níveis significativos de metais em águas de drenagem urbana (LEE & BANG, 1999, PRESTES *et al.*, 2006), os metais comumente encontrados nestas águas são o Zinco, Chumbo, Cobre, Cádmio, Cromo e Níquel. Ainda segundo Davis *et al.* (2001), diversas fontes contribuem com o aporte de metais nas águas de escoamento, sendo que os processos de lixiviação de materiais construtivos contribuem com concentrações significativas de metais nestas águas. Segundo BOLLER & STEINER (2002) e BOLLER (2003), os telhados também liberam metais, tanto pelo processo de lixiviação das telhas como também a partir da lavagem de material neles acumulados e provindos da deposição atmosférica. Os veículos também são considerados fontes substanciais de metais, por meio do desgaste de freios e da borracha de pneus, como também pelo vazamento de gasolina e óleos lubrificantes (DAVIS *et al.*, 2001; AKTER & MADANY, 1993; LOUGH *et al.*, 2005). Os processos de deposição atmosférica também são reconhecidos como fontes contaminantes das águas de escoamento (PITT & LALOR, 2000).

No Brasil, um estudo publicado por Pusch *et al* (2007) estimou a carga de aporte de metais pesados para as águas de escoamento urbano, oriunda da lixiviação de materiais construtivos, circulação de veículos e deposição atmosférica, ou seja, a partir de fontes difusas de poluição urbana. A região estudada situa-se em Curitiba, mas os valores encontrados podem ser usados como valores de referência para outras cidades/bacias cuja ocupação seja semelhante, possibilitando uma estimativa de carga ou identificação de potenciais fontes de poluentes.

11.1.3 Diagnóstico qualitativo das águas superficiais dos principais cursos d'água de Teresina

Em vista da inexistência em Teresina de um programa de monitoramentos das águas pluviais urbanas que possibilite estabelecer um panorama da qualidade dessas águas, a exemplo do que se dá com a maioria das cidades brasileiras, e cuja lacuna se pretende preencher com as proposições do item seguinte deste capítulo, o presente diagnóstico se restringirá a análise de estudos pretéritos realizados na área urbana de Teresina e de alguns dados oriundos do monitoramento realizado pela Agespisa com foco em acompanhar possíveis impactos do lançamento de efluentes das estações de tratamento de esgotos.

Com base em dados de monitoramento da qualidade das águas dos rios que recebem efluentes das estações de tratamento de esgotos – ETE Pirajá, ETE Alegria e ETE Leste (Universidade), a montante e a jusante dos emissários, é apresentado neste item um breve diagnóstico da situação em que os trechos analisados desses corpos receptores se encontram, à luz da legislação ambiental pertinente. Infelizmente, o rol de parâmetros monitorados pela Agespisa, embora bastante abrangente, não envolve todos os parâmetros necessários para a aplicação da metodologia do IQA (cuja descrição pode ser observada no item 11.2.4.).

A Resolução Conama Nº 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências.

Essa resolução estabelece classes de qualidade, conjunto de condições e padrões de qualidade de água necessários ao atendimento dos usos preponderantes, atuais ou futuros, para as águas doces, salobras e salinas, num total de treze classes. As águas doces são classificadas em cinco classes, a saber:

- Classe especial: águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção, à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral;

- Classe 1: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película e à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas;
- Classe 2: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; à aquicultura e à atividade de pesca;
- Classe 3: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário e à dessedentação de animais;
- Classe 4: águas que podem ser destinadas à navegação e à harmonia paisagística.

Assim, são apresentados os resultados do monitoramento realizado pela Agespisa, para o período entre janeiro de 2009 e agosto de 2010 em cada ponto monitorado a jusante e montante dos lançamentos das ETEs analisados com base nos limites estabelecidos pela Resolução Conama 357/2005.

Os dados empregados nesta análise são apresentados no Anexo 39.

11.1.3.1 ETE Pirajá

O local de lançamento da ETE Pirajá é o rio Parnaíba, na sub-bacia P15. De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Piauí (SEMAR-PI, 2010), o enquadramento proposto indica que o rio Parnaíba, nas proximidades de Teresina, deve atender aos padrões da Classe 1.

Desta forma, são apresentados no Quadro 11.2 e no Quadro 11.3 os valores característicos (mínimo, máximo e médio) do monitoramento de qualidade a montante e a jusante do lançamento da ETE Pirajá, respectivamente.

Quadro 11.2. Parâmetros de qualidade – montante da ETE Pirajá.

ETE PIRAJÁ (MONTANTE)					
Parâmetro	Unidade	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média	Nº de Medições
Clorofila A	µg/l	0	62	11,60	15
Detergentes	mg/l	0,2	3	1,31	15
Fósforo Total	mg/l	0	1,28	0,62	10
Ortofosfato Solúvel	mg/l	0	1,05	0,43	9
Amônia Total	mg/l	0	1,52	0,52	11
Nitrato	mg/l	0	1,24	0,23	13
pH	-	6,6	7,5	7,26	17
Temperatura	°C	28	31	29,42	17
Sólidos Sedimentáveis	ml/l/h	0,2	0,2	0,20	31
Oxigênio Dissolvido	mg/l	5	6	5,76	17
DBO	mg/l	1	5	4,00	17
Cloretos	mg/l	1	6	3,00	17
Coliformes Termotolerantes	indivíduos/100ml	120	9900	2525,88	17

Legenda:
Classe 1
Classe 2
Classe 3
Classe 4

A maioria dos parâmetros monitorados, em termos médios, atenderam aos padrões de Classe 1 e 2.

A falta de classificação no caso de alguns parâmetros é devida à Resolução 357/2005 não estabelecer limites específicos.

Quadro 11.3. Parâmetros de qualidade – jusante da ETE Pirajá.

ETE PIRAJÁ (JUSANTE)					
Parâmetro	Unidade	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média	Nº de Medições
Clorofila A	µg/l	3	73	34,47	15
Detergentes	mg/l	0,15	3	1,25	15
Fósforo Total	mg/l	0	1,17	0,60	11
Ortofosfato Solúvel	mg/l	0	1	0,39	11
Amônia Total	mg/l	0	3	0,88	11
Nitrato	mg/l	0	1,26	0,21	15
pH	-	6,6	7,7	7,26	17
Temperatura	°C	28	31	29,51	17
Sólidos Sedimentáveis	ml/l/h	0,2	0,7	0,30	31
Oxigênio Dissolvido	mg/l	5	6	5,65	17
DBO	mg/l	2	6	4,53	17
Cloretos	mg/l	2	7	3,53	17
Coliformes Termotolerantes	indivíduos/100ml	240	39000	9491,76	17

Legenda:
Classe 1
Classe 2
Classe 3
Classe 4

Observa-se que, a jusante, o valor médio do parâmetro Clorofila A passou a ser enquadrado em Classe 3, configurando uma piora na qualidade da água. Além disso, os demais parâmetros também apresentaram variação de seus valores médios no sentido de piora da qualidade. Contudo, mantiveram-se ainda dentro dos limites estabelecidos para as classes nas quais a amostra de montante foi enquadrada.

11.1.3.2 ETE Alegria

A ETE Alegria, situada às margens do rio Poti, lado esquerdo, na sub-bacia PE07, tem monitorado o lançamento de seus efluentes, a montante e a jusante do emissário. Desta forma, é possível verificar a qualidade das águas do rio Poti neste local, através dos parâmetros mostrados no Quadro 11.4 (a montante) e Quadro 11.5 (a jusante).

Quadro 11.4. Parâmetros de qualidade – montante da ETE Alegria.

ETE ALEGRIA (MONTANTE)					
Parâmetro	Unidade	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média	Nº de Medições
Clorofila A	µg/l	2	57	27,46	13
Detergentes	mg/l	0,15	3,5	1,02	13
Fósforo Total	mg/l	0,34	0,78	0,51	8
Ortofosfato Solúvel	mg/l	0	0,57	0,27	7
Amônia Total	mg/l	0	1	0,27	10
Nitrato	mg/l	0	0,95	0,25	11
pH	-	7,2	8	7,55	15
Temperatura	°C	29	32	30,66	15
Sólidos Sedimentáveis	ml/l/h	0	0	virtualmente ausente	30
Oxigênio Dissolvido	mg/l	4	7	5,60	15
DBO	mg/l	2	5	4,40	15
Cloretos	mg/l	3	29	13,47	15

ETE ALEGRIA (MONTANTE)					
Parâmetro	Unidade	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média	Nº de Medições
Coliformes Termotolerantes	indivíduos/100ml	100	12000	1350,00	15

Legenda:
Classe 1
Classe 2
Classe 3
Classe 4

Percebe-se que, em termos médios, apenas quatro dos parâmetros monitorados (Amônia total, pH, Nitrato e Cloretos) enquadraram-se na classe proposta para enquadramento do rio Poti nas proximidades de Teresina, conforme consta no Relatório Síntese do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Piauí (SEMAR-PI, 2010), a saber, Classe 1.

Quadro 11.5. Parâmetros de qualidade – jusante da ETE Alegria.

ETE ALEGRIA (JUSANTE)					
Parâmetro	Unidade	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média	Nº de Medições
Clorofila A	µg/l	5	83	41,54	13
Detergentes	mg/l	0,2	5	1,37	13
Fósforo Total	mg/l	0,26	0,72	0,47	9
Ortofosfato Solúvel	mg/l	0	0,46	0,21	8
Amônia Total	mg/l	0	1,1	0,29	10
Nitrato	mg/l	0	0,95	0,25	11
pH	-	7,2	7,9	7,53	15
Temperatura	°C	29,2	32	30,71	15
Sólidos Sedimentáveis	ml/l/h	0,2	0,2	0,20	30

ETE ALEGRIA (JUSANTE)					
Parâmetro	Unidade	Valor	Valor	Média	Nº de
Oxigênio Dissolvido	mg/l	4	6	5,33	15
DBO	mg/l	2	5	4,33	15
Cloretos	mg/l	4	27	14,53	15
Coliformes Termotolerantes	indivíduos/100ml	190	350000	26944,67	15

Legenda:
Classe 1
Classe 2
Classe 3
Classe 4

A jusante da ETE Alegria observa-se um aumento significativo da concentração de coliformes termotolerantes, bem como alteração no valor médio do parâmetro Clorofila A, alteração esta que, inclusive, ocasionou a mudança de classe 2, a montante, para a classe 3. Os parâmetros enquadrados como Classe 1 na amostra de montante mantiveram-se nesta mesma classe em função de seus valores médios na amostra de jusante.

11.1.3.3 ETE Leste

Os valores característicos (mínimo, máximo e médio) do monitoramento de qualidade a montante do lançamento da ETE Leste, localizada às margens do rio Poti na sub-bacia de drenagem PD08, os quais podem ser tomados como a situação qualitativa do rio Poti antes do lançamento, e a comparação dos valores médios com relação ao padrão das classes de qualidade, acima descritas, são apresentados no Quadro 11.6.

Quadro 11.6. Parâmetros de qualidade – montante da ETE Leste.

ETE LESTE (MONTANTE)					
Parâmetro	Unidade	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média	Nº de Medições
Clorofila A	µg/l	7	312	61,14	14
Detergentes	mg/l	0,1	3	1,20	14
Fósforo Total	mg/l	0,4	1,07	0,74	9
Ortofosfato Solúvel	mg/l	0,25	0,48	0,35	9
Amônia Total	mg/l	0	4	0,747	10
Nitrato	mg/l	0	1,46	0,34	13
pH	-	7	7,9	7,38	16
Temperatura	°C	3,1	33	29	16
Sólidos Sedimentáveis	ml/l/h	0,03	0,2	0,12	32
Oxigênio Dissolvido	mg/l	5	7	5,31	16
DBO	mg/l	3	7	5,06	16
Cloretos	mg/l	5	34	15,62	16
Coliformes Termotolerantes	indivíduos/100ml	120	32000	7841,25	16

Legenda:
Classe 1
Classe 2
Classe 3
Classe 4

Novamente, em termos médios, apenas quatro dos parâmetros monitorados (Amônia total, pH, Nitrato e Cloretos) enquadraram-se na classe 1 proposta para enquadramento do rio Poti nas proximidades de Teresina.

Comparando-se os valores do Quadro 11.6 com os valores característicos do monitoramento de qualidade a jusante do lançamento da ETE Leste (Quadro 11.7), verifica-

se que, em média, sofreram pequenas alterações mantendo-se, porém, nas mesmas classes de qualidade.

Quadro 11.7. Parâmetros de qualidade – jusante da ETE Leste.

ETE LESTE (JUSANTE)					
Parâmetro	Unidade	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média	Nºde Medições
Clorofila A	µg/l	8	250	65,29	14
Detergentes	mg/l	0,1	5	1,33	14
Fósforo Total	mg/l	0,43	2,79	0,99	9
Ortofosfato Solúvel	mg/l	0,35	1,01	0,57	9
Amônia Total	mg/l	0	4	0,90	11
Nitrato	mg/l	0	1,56	0,37	13
pH	-	6,9	7,9	7,33	16
Temperatura	°C	29,2	33	30,81	16
Sólidos Sedimentáveis	ml/l/h	0,3	0,3	0,3	32
Oxigênio Dissolvido	mg/l	5	7	5,25	16
DBO	mg/l	4	8	5,44	16
Cloretos	mg/l	6	31	16,19	16
Coliformes Termotolerantes	indivíduos/100ml	160	56000	12310,63	16

Legenda:
Classe 1
Classe 2
Classe 3
Classe 4

11.2 Metodologia para o Plano de Monitoramento

Este item constitui-se na proposta metodológica para a implementação de um plano de monitoramento das águas pluviais, com objetivo de quantificar, de forma mais precisa, qual a contribuição do aporte do esgotamento pluvial na degradação da qualidade das águas dos corpos hídricos urbanos de Teresina.

11.2.1 Parâmetros a monitorar

A verificação da qualidade das águas de corpos hídricos é realizada através da análise de parâmetros de qualidade, cujo padrão de ocorrência é definido em legislação, em função dos usos preponderantes aos quais os cursos d'água podem atender.

A seleção dos parâmetros de investigação ou controle de um determinado compartimento ambiental (água, solo, ar, etc.), a metodologia de coleta, a frequência e a escolha dos pontos de amostragem devem levar em consideração os usos propostos para o meio avaliado, o conhecimento dos riscos à saúde das populações, os danos aos ecossistemas e a toxicidade das substâncias investigadas. Desta maneira, entre os numerosos parâmetros que podem caracterizar as águas do ponto de vista físico, químico e biológico, é interessante conhecer aqueles relacionados aos principais aportes de poluentes nas águas de drenagem, oriundos de diversas origens. O Quadro 11.8 apresenta uma classificação dos diferentes tipos de poluentes em relação a sua incidência no meio e seus parâmetros associados.

Quadro 11.8. Tipos de poluentes em relação a sua incidência no meio e seus parâmetros associados.

TIPOS DE POLUENTES	IMPACTO SOBRE O MEIO E USOS DA ÁGUA	PARÂMETROS ASSOCIADOS	ORIGENS POSSÍVEIS DOS POLUENTES
Partículas	Colmatção de leitos ou de estruturas de infiltração, diminuição da transparência, vetor de outros poluentes	Sólidos suspensos, sólidos suspensos voláteis, sólidos suspensos totais, matérias decantáveis, turbidez	Erosão dos solos, lixiviação de superfícies, efluentes domésticos e industriais

TIPOS DE POLUENTES	IMPACTO SOBRE O MEIO E USOS DA ÁGUA	PARÂMETROS ASSOCIADOS	ORIGENS POSSÍVEIS DOS POLUENTES
Orgânicos	Desoxigenação do ambiente, desenvolvimento excessivo de bactérias	DQO, DBO ₅ , COT, COD	Águas residuárias urbanas, industriais ou agrícolas
Nutrientes	Eutrofização das águas superficiais, consumo de oxigênio, efeitos tóxicos, dificuldades para produção de água potável	NO ₂ , NO ₃ , nitrogênio total kjeldahl, nitrogênio orgânico, nitrogênio total, PO ₄ , PT	Escoamento sobre áreas de utilização de adubos, criação de animais, produção de adubos, produtos da degradação de matéria orgânica
Tóxicos	Toxicidade, inibição da vida aquática, destruição da flora, sabor desagradável na água	Metais pesados, fenóis, cianuretos, hidrocarbonetos, etc.	Rejeitos industriais, circulação de automóveis, corrosão/lixiviação de materiais de construção
Bioacumulativos	Acumulação na cadeia trófica, toxicidade	Pesticidas (organoclorados, organofosforados, organometálicos) PCB (policlorobifenil), etc.	Agricultura, isolantes e materiais plásticos
Bacteriológicos	Risco para a balneabilidade, dificuldades para a produção de água potável	Coliformes, estreptococos, salmonelas, E. Coli, vírus	Poluição doméstica, criação de animais
Minerais	Comprometimento à produção de água potável, deterioração das canalizações, dispersão de metais pesados	Cl ⁻ , Na ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , CO ₃ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ ...	Efluentes de indústrias que usam sais, poluição doméstica
Radioatividade	Acumulação na cadeia trófica, toxicidade	Contagem dos raios e das partículas α , β , γ	Hospitais, indústrias

Fonte: Bertrand Krajewisk *et al.*, 2000 *apud* Baptista *et al.*, 2005.

Com base na síntese apresentada no Quadro 11.8 e em estudos realizados para avaliação da qualidade das águas pluviais urbanas desenvolvidos em diversos locais do Brasil, foram identificados os parâmetros mínimos de qualidade a serem monitorados em Teresina.

Para permitir o cálculo do IQA, cujo procedimento metodológico é detalhado mais adiante no item 11.2.4 do presente relatório, os parâmetros a serem monitorados consistirão, obrigatoriamente, nos seguintes:

- Temperatura da amostra,
- Oxigênio Dissolvido,
- Coliformes termotolerantes,
- pH,
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO),
- Fosfato total (ou Fósforo Total, alternativamente),
- Nitrato (ou Nitrogênio Total, alternativamente),
- Turbidez e
- Sólidos Dissolvidos Totais.

Adicionalmente, para verificar a toxicidade das águas pluviais, deverão ser monitorados os seguintes metais pesados: Chumbo, Zinco, Cobre, Manganês e Cádmio. Estes foram selecionados em função de suas possíveis origens, comuns em áreas urbanas, conforme indicam os estudos supracitados e síntese apresentada anteriormente, no Quadro 11.8.

11.2.2 Locais de monitoramento

Os locais selecionados para a realização da coleta de amostra de água visando ao monitoramento da qualidade, abrangem os principais córregos e corpos hídricos localizados na área urbana de Teresina, os pontos de lançamento de galerias e canais de drenagem nos rios Parnaíba e Poti (exutórios), e os próprios rios Parnaíba e Poti, corpos receptores da drenagem, a montante e a jusante do lançamento.

Com base nestes critérios, e do que foi possível identificar como pontos de lançamento da drenagem nos rios Parnaíba e Poti em levantamentos realizados, foram determinados os seguintes locais a monitorar, cujas coordenadas aproximadas (em sistema

UTM 23S) são mostradas no Quadro 11.9 e sua localização pode ser vista no mapa constante no Anexo 35.

Quadro 11.9. Identificação e localização dos pontos propostos para monitoramento.

Sub-bacia	Ponto	Coordenadas UTM (m)		Descrição	Período
		L	S		
PD01	PD01-01	751709	9434372	Na curva São Paulo - rio Poti	Seco/Úmido
	PD01-02	750863	9433841	Lançamento da drenagem	Seco/Úmido
	PD01-03	750863	9433841	Rio Poti (montante do lançamento PD01-02)	Úmido
	PD01-04	750863	9433841	Rio Poti (jusante do lançamento PD01-02)	Seco/Úmido
PD02	PD02-01	750539	9433810	Lançamento da drenagem	Seco/Úmido
PD03	PD03-01	751156	9435499	Córrego a montante	Úmido
	PD03-02	751748	9435050	Córrego a jusante	Seco/Úmido
PD06	PD06-01	747910	9433797	Saída da rede de drenagem	Seco/Úmido
	PD06-02	748169	9433239	Na lagoa marginal	Seco/Úmido
	PD06-03	747880	9433184	Lançamento da drenagem	Seco/Úmido
	PD06-04	747880	9433184	Rio Poti (montante do lançamento PD06-03)	Úmido
	PD06-05	747880	9433184	Rio Poti (jusante do lançamento PD06-03)	Seco/Úmido
PD07	PD07-01	748304	9440597	Córrego a montante	Seco/Úmido
	PD07-02	749219	9440459	Córrego a montante	Seco/Úmido
	PD07-03	749365	9442064	Córrego a montante	Seco/Úmido
	PD07-04	748087	9442296	Córrego médio curso	Seco/Úmido
	PD07-05	747003	9443050	Córrego a jusante	Seco/Úmido

Sub-bacia	Ponto	Coordenadas UTM (m)		Descrição	Período
		L	S		
PD10	PD10-01	743495	9439569	Lançamento da drenagem	Seco/Úmido
	PD10-02	743495	9439569	Rio Poti (montante do lançamento PD10-01)	Úmido
	PD10-03	743495	9439569	Rio Poti (jusante do lançamento PD10-01)	Seco/Úmido
PD11	PD11-01	750290	9438259	Córrego a montante	Seco/Úmido
	PD11-02	748876	9438294	Córrego a montante	Seco/Úmido
	PD11-03	748621	9437657	Córrego médio curso	Seco/Úmido
	PD11-04	747818	9437369	Córrego a jusante	Seco/Úmido
PD12	PD12-01	745629	9437207	Lançamento da drenagem	Úmido
	PD12-02	745629	9437207	Rio Poti (montante do lançamento PD10-01)	Úmido
	PD12-03	745629	9437207	Rio Poti (jusante do lançamento PD10-01)	Seco/Úmido
	PD12-04	746314	9436764	Na lagoa marginal	Seco/Úmido
PD14	PD14-01	744522	9437908	Lançamento da drenagem	Úmido
	PD14-02	744522	9437908	Rio Poti (montante do lançamento PD14-01)	Úmido
	PD14-03	744522	9437908	Rio Poti (jusante do lançamento PD14-01)	Seco/Úmido
	PD14-04	744424	9438110	Lançamento da drenagem	Úmido
	PD14-05	744424	9438110	Rio Poti (jusante do lançamento PD14-04)	Seco/Úmido
PE06	PE06-01	746827	9431765	Córrego a montante	Úmido
	PE06-02	747263	9432280	Córrego a jusante	Úmido

Sub-bacia	Ponto	Coordenadas UTM (m)		Descrição	Período
		L	S		
PE09	PE09-01	746355	9434120	Lançamento da drenagem	Úmido
	PE09-02	746355	9434120	Rio Poti (montante do lançamento PE09-01)	Úmido
	PE09-03	746355	9434120	Rio Poti (jusante do lançamento PE09-01)	Seco/Úmido
	PE09-04	744725	9433280	Córrego a montante	Seco/Úmido
	PE09-05	745280	9433449	Córrego a montante	Seco/Úmido
	PE09-06	746064	9434547	Córrego a jusante	Seco/Úmido
PE10	PE10-01	746252	9435764	Lançamento da drenagem	Úmido
	PE10-02	746252	9435764	Rio Poti (montante do lançamento PE10-01)	Úmido
	PE10-03	746252	9435764	Rio Poti (jusante do lançamento PE10-01)	Seco/Úmido
PE11	PE11-01	745873	9435022	Lançamento da drenagem	Úmido
PE12	PE12-01	745361	9436867	Lançamento da drenagem	Úmido
PE13	PE13-01	744841	9437257	Lançamento da drenagem	Úmido
	PE13-02	744841	9437257	rio Poti (montante do lançamento PE13-01)	Úmido
	PE13-03	744841	9437257	rio Poti (jusante do lançamento PE13-01)	Seco/Úmido
PE14	PE14-01	744067	9438413	Lançamento da drenagem	Úmido
	PE14-02	744067	9438413	rio Poti (montante do lançamento PE14-01)	Úmido
	PE14-03	744067	9438413	rio Poti (jusante do lançamento PE14-01)	Seco/Úmido
PE15	PE15-01	743623	9439059	Lançamento da drenagem	Úmido

Sub-bacia	Ponto	Coordenadas UTM (m)		Descrição	Período
		L	S		
	PE15-02	743623	9439059	rio Poti (montante do lançamento PE15-01)	Úmido
	PE15-03	743623	9439059	rio Poti (jusante do lançamento PE15-01)	Seco/Úmido
PE18	PE18-01	743020	9440254	Lançamento da drenagem	Úmido
	PE18-02	743020	9440254	rio Poti (montante do lançamento PE18-01)	Úmido
	PE18-03	743020	9440254	rio Poti (jusante do lançamento PE18-01)	Seco/Úmido
	PE18-04	742986	9440630	Lançamento da drenagem	Úmido
	PE18-05	742986	9440630	rio Poti (montante do lançamento PE18-04)	Úmido
	PE18-06	742986	9440630	rio Poti (jusante do lançamento PE18-04)	Seco/Úmido
PE19	PE19-01	743756	9441947	Lançamento da drenagem	Úmido
	PE19-02	743756	9441947	rio Poti (montante do lançamento PE19-01)	Úmido
	PE19-03	743756	9441947	rio Poti (jusante do lançamento PE19-01)	Seco/Úmido
PE26	PE26-01	743522	9444644	Lançamento da drenagem	Úmido
	PE26-02	743522	9444644	rio Poti (montante do lançamento PE26-01)	Úmido
	PE26-03	743522	9444644	rio Poti (jusante do lançamento PE26-01)	Seco/Úmido
MOC	MOC-01	741934	9444089	Lagoa Mocambinho	Seco/Úmido
LDN	LDN-01	740579	9443091	Lançamento da drenagem	Úmido
	LDN-02	740579	9443091	rio Poti (montante do lançamento LDN-01)	Úmido
	LDN-03	740579	9443091	rio Poti (jusante do lançamento LDN-01)	Seco/Úmido

Sub-bacia	Ponto	Coordenadas UTM (m)		Descrição	Período
		L	S		
	LDN-04	741033	9442253	Lagoa da Draga 1 Piçarreira	Seco/Úmido
	LDN-05	740419	9441974	Lagoa da Cerâmica Poty	Seco/Úmido
	LDN-06	740985	9441781	Lançamento da drenagem (na lagoa do Jacaré)	Úmido
	LDN-07	740808	9441837	Lagoa do Jacaré	Seco/Úmido
	LDN-08	741029	9440886	Lagoa do Pantanal 2	Seco/Úmido
	LDN-09	740109	9439647	Piçarreira do Cabrinha	Seco/Úmido
	LDN-10	739978	9441517	Lagoa dos Oleiros	Seco/Úmido
P01	P01-01	747629	9425122	Córrego a montante	Úmido
	P01-02	747626	9425420	Córrego a montante	Úmido
	P01-03	745124	9426184	Córrego a jusante (estrada Angelim)	Seco/Úmido
P02	P02-01	745671	9427281	Córrego a montante	Úmido
	P02-02	745145	9427333	Córrego médio curso	Úmido
	P02-03	744182	9427452	Córrego a jusante	Seco/Úmido
	P02-04	743931	9427246	Rio Parnaíba	Seco/Úmido
P06	P06-01	746449	9430625	Córrego a montante	Úmido
	P06-02	743761	9429551	Lançamento da drenagem	Úmido
	P06-03	743761	9429551	rio Parnaíba(montante do lançamento P06-02)	Úmido
	P06-04	743761	9429551	rio Parnaíba (jusante do lançamento P06-02)	Seco/Úmido

Sub-bacia	Ponto	Coordenadas UTM (m)		Descrição	Período
		L	S		
P07	P07-01	744723	9431053	Córrego a montante	Úmido
	P07-02	743806	9430426	Córrego a jusante	Seco/Úmido
P08	P08-01	744258	9431333	Córrego a montante	Úmido
	P08-02	743234	9430905	Lançamento da drenagem	Seco/Úmido
	P08-03	743234	9430905	rio Parnaíba(montante do lançamento P06-02)	Úmido
	P08-04	743234	9430905	rio Parnaíba (jusante do lançamento P06-02)	Seco/Úmido
P11	P11-01	742268	9434971	Lançamento da drenagem	Úmido
	P11-02	742268	9434971	rio Parnaíba(montante do lançamento P11-01)	Úmido
	P11-03	742268	9434971	rio Parnaíba (jusante do lançamento P11-01)	Seco/Úmido
P12	P12-01	743352	9435619	Córrego a montante	Seco/Úmido
	P12-02	742267	9435630	Lançamento da drenagem	Seco/Úmido
	P12-03	742267	9435630	rio Parnaíba(montante do lançamento P12-02)	Úmido
	P12-04	742267	9435630	rio Parnaíba (jusante do lançamento P12-02)	Seco/Úmido

Os pontos de monitoramento podem ser ampliados na medida em que outras redes de drenagem forem implantadas na cidade, obedecendo, para localização, os critérios apresentados acima. Além disso, sua localização pode ser deslocada em alguns metros para montante ou jusante, em função da acessibilidade ao curso d'água. Estes deslocamentos de pontos, quando ocorrerem, devem ser registrados através da utilização de um GPS para coleta da nova coordenada do ponto de monitoramento.

11.2.3 Frequência de monitoramento

No mapa onde estão indicados os locais de monitoramento (Anexo 35), as cores dos símbolos e nomes dos pontos indicam se o local deverá ser amostrado em ambos os períodos (seco e úmido) ou se o monitoramento poderá ocorrer somente durante o período úmido.

A frequência estabelecida para o monitoramento foi determinada em função da variabilidade das chuvas ao longo do ano. Assim, para o período seco, entre os meses de junho e novembro, as amostras deverão ser coletadas, no mínimo, em base trimestral. Já para o período úmido, entre os meses de dezembro a maio, a frequência de coleta passará a ser bimestral, no mínimo.

11.2.4 Tratamento dos dados, padrão de comparação e apresentação dos resultados

Em vista da grande variedade de parâmetros para a determinação da qualidade das águas e suas características diferentes (podendo sofrer cada parâmetro de qualidade um tipo de classificação, segundo a Resolução Conama Nº 357/05), podem surgir problemas de como proceder para incorporar em um único índice uma informação consolidada dos problemas de avaliação final da qualidade de um corpo d'água.

Sendo assim, propõe-se a utilização, além da realização da análise dos parâmetros à luz dos padrões da legislação, de um Índice de Qualidade da Água (IQA) baseado em uma média harmônica ponderada de um conjunto de indicadores específicos. O IQA sugerido é calculado da seguinte maneira (COMITESINOS, 1990 *apud* DMAE, 2003; CETESB, 2008):

$$IQA = \prod_{i=1}^N q_i^{w_i}$$

Onde:

N = o número de parâmetros utilizados no cálculo do índice

q_i = é o valor do parâmetro i em uma escala de 0-100

w_i = é o peso atribuído ao parâmetro i (Quadro 11.10)

O somatório de todos os pesos w_i deve ser sempre igual a 1 (um).

Além disso, a adoção de um IQA, devido a sua forma simplificada de apresentação, permite o entendimento pelo público leigo das condições de qualidade de um determinado curso d'água.

O índice desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (NSF) dos Estados Unidos fundamentou-se na pesquisa de opinião de especialistas em várias áreas, os quais indicaram os parâmetros de qualidade de água a serem considerados, os seus pesos relativos e sua qualidade relativa, segundo uma escala de valores.

Os 8 (oito) parâmetros aqui relacionados são os utilizados pela NSF, com modificações propostas por Comitesinos (1990 *apud* DMAE, 2003), tendo já sido aplicados à bacia hidrográfica do Rio dos Sinos, afluente do Lago Guaíba, e ao próprio Lago Guaíba, no Rio Grande do Sul, bem como modificações realizadas pela Cetesb (2008), aplicados às águas superficiais no estado de São Paulo.

A definição da qualidade relativa de cada parâmetro foi estabelecida em curvas de variação que relacionam o respectivo valor do parâmetro a uma nota, variável entre 0 e 100, sendo o valor 100 para a melhor qualidade. As relações entre o valor da característica (parâmetro) e qualidade relativa para o cálculo do IQA são apresentadas no Anexo 36.

Quadro 11.10. Parâmetros e pesos relativos para o cálculo do IQA.

PARÂMETROS	PESOS RELATIVOS (w_i)
Oxigênio Dissolvido (% de saturação - % OD/OD _{sat})	0,19
Coliformes Fecais (termotolerantes)	0,17
pH	0,13
Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,11
Fosfato Total (Fósforo total [#])	0,11
Nitrato (Nitrogênio total [#])	0,11
Turbidez	0,09
Sólidos Dissolvidos Totais	0,09

Fonte: Comitesinos, 1990 *apud* Dmae, 2003. [#] Parâmetros substitutivos considerados pela Cetesb (2008).

A interpretação do IQA de cada amostra é realizada dentro de faixas de qualidade, apresentadas no Quadro 11.11.

Quadro 11.11. Faixas de qualidade da água para o IQA proposto pelo NSF.

FAIXAS DE IQA	CLASSIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA
0 – 25	Muito Ruim
26 – 50	Ruim
51 – 70	Regular
71 – 90	Bom
91 – 100	Excelente

Fonte: Martins *et al*, 1990 *apud* Dmae, 2003.

Além disso, deve-se levar em consideração o enquadramento proposto para os cursos hídricos que cortam a área urbana de Teresina. Segundo o PERH (2010), tanto para o rio Parnaíba quanto o rio Poti, nos trechos próximos à Teresina, o enquadramento proposto prevê Classe 1. Assim, adicionalmente a aplicação do IQA para classificação da qualidade das

águas superficiais, os parâmetros monitorados deverão ser comparados aos limites estabelecidos pela Resolução Conama Nº 357, de 17 de março de 2005, para cursos d'água Classe 1. O Quadro 11.12 a seguir apresenta um resumo dos limites estabelecidos pela legislação para os parâmetros de qualidade propostos para monitoramento.

Quadro 11.12. Limites de alguns parâmetros para cada classe da Resolução Conama Nº 357/05.

PARÂMETRO	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4
Turbidez (UNT)	40	100	100	-
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	500	500	500	-
pH	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
OD (mg/L O ₂)	6	5	4	2
DBO ₅ (mg/L O ₂)	3	5	10	-
Fósforo total – ambientes lóticos (mg/L P)	0,1	0,1	0,15	-
Nitrogênio amoniacal (mg/L N) → para pH ≤ 7,5	3,7	3,7	13,3	-
→ para 7,5 < pH ≤ 8	2,0	2,0	5,6	
→ para 8 < pH ≤ 8,5	1,0	1,0	2,2	
→ para pH > 8,5	0,5	0,5	1,0	
Nitrito (mg/L N)	1,0	1,0	1,0	-
Nitrato (mg/L N)	10	10	10	-
Cádmio (mg/L Cd)	0,001	0,001	0,01	-
Zinco (mg/L Zn)	0,18	0,18	5	-
Cobre (mg/L Cu)	0,009	0,009	0,013	-
Manganês (mg/L Mn)	0,1	0,1	0,5	-
Chumbo (mg/L Pb)	0,01	0,01	0,033	-
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	200	1000	4000	-

Sugere-se que os resultados das análises realizadas à luz da Resolução do Conama e da aplicação do índice IQA sejam publicados em Boletins Informativos, com frequência, no mínimo, semestral, através do site da Prefeitura Municipal de Teresina, SEMPLAN ou mesmo

do Programa Lagoas do Norte, a fim de que toda a comunidade interessada tenha acesso e conhecimento das condições sanitárias dos corpos hídricos urbanos de Teresina.

11.3 Carreamento de resíduos sólidos para o sistema de drenagem urbana

Outro aspecto que influencia na qualidade das águas pluviais é a presença de resíduos sólidos nos canais de drenagem ocasionada pelo carreamento destes resíduos durante os eventos de chuvas ou mesmo em função de disposição de forma inadequada.

Em vista disso, torna-se importante o conhecimento acerca dos tipos de resíduos gerados na área urbana, bem como qual a melhor maneira de dispô-los a fim de evitar contaminações dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos) e impactos no desempenho das estruturas de drenagem pluvial urbana.

11.3.1 Classificação dos Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos no Brasil são classificados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, de acordo com suas características físicas, químicas e biológicas. Os casos mais específicos são tratados pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente - Conama, que define diretrizes para classificação, tratamento e destino final de diversos tipos de resíduos.

A NBR 10.004/2004 define lixo como todo resíduo sólido ou semi-sólido resultante das atividades normais da comunidade, considerando ainda que os resíduos possam ser de origem domiciliar, hospitalar, comercial, de serviços, de varrição e industrial. Para efeito de classificação, enquadra os resíduos sólidos nas seguintes categorias:

- *Classe I – Resíduos Sólidos Perigosos*, assim classificados porque, em função de suas características físicas, químicas, ou infecto-contagiosas, podem apresentar riscos à saúde pública ou ao meio ambiente, ou ainda os inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos ou patogênicos. Estes tipos de resíduos normalmente são gerados em estabelecimentos industriais, de serviços de saúde e assemelhados.

- *Classe II – Resíduos Sólidos Não Perigosos:* são aqueles que não se enquadram na classe anterior, e que podem ser combustíveis, biodegradáveis ou solúveis em água. Esta classe subdivide-se em:
 - *Classe II – A: Não-inertes:* nesta classe enquadra-se o lixo domiciliar, gerado nas residências em geral, estabelecimentos de serviços, comércio, indústrias, serviços de saúde e assemelhados;
 - *Classe II – B: Inertes:* são aqueles que, quando amostrados de forma representativa, conforme NBR 10.007, e submetidos aos procedimentos da NBR 10.006, ambas da ABNT, não apresentam quaisquer de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, exceto aspecto, turbidez, dureza e sabor. Este tipo de resíduo normalmente é resultante dos serviços de manutenção da limpeza e conservação dos logradouros, constituindo-se, basicamente, de terra, entulhos de obras, papéis, folhagens, galhadas, etc.

Além destes, alguns resíduos especiais possuem resoluções que estabelecem diretrizes para o correto tratamento e destinação final, tais como os resíduos oriundos dos serviços de saúde (Resolução Conama Nº 358, de 29 de abril de 2005) e os resíduos sólidos de construção civil (Resolução Conama Nº 307, de 05 de julho de 2002).

Em Teresina, conforme a Gerência de Serviços Urbanos - SDU Centro/Norte, a metodologia utilizada para a tipificação e quantificação dos dados sobre resíduos sólidos considera as seguintes classificações:

- Resíduos domiciliares;
- Entulho de construção;
- Resíduos sólidos de saúde;
- Particular diversos (lixo recolhido por empresas);

- Coleta especial (capina e varrição de vias/praças);
- Resíduos especiais (carro fossa e cervejaria).

Conforme constatado em estudos de identificação dos principais resíduos que atingem o sistema de drenagem (ARMITAGE & ROOSEBOOM, 2000a; ARMITAGE *et al.*, 1998; NEVES, 2006), a maioria se enquadra na Classe II, segundo a NBR 10.004/2004. Eles consistem principalmente de materiais manufaturados como garrafas PET, latas, envelopes de papel e plástico, jornais, sacolas de compras, embalagens de cigarro (Classe II-A), mas também partes de carros, restos de construção e colchões velhos (Classe II-B).

11.3.2 Quantificação dos Resíduos Sólidos em Teresina

Segundo informações obtidas junto à SDU Sul, os serviços relacionados à coleta de resíduos e limpeza pública são executados através de contrato específico com a empresa Qualix. No Quadro 11.13 a seguir é apresentada a quantificação dos resíduos coletados na cidade de Teresina nos últimos anos, segregados por tipo de serviço prestado.

Quadro 11.13. Tonelagem de resíduos obtidos nas atividades de limpeza pública.

ANO	TIPO DE SERVIÇO			
	DOMICILAR (T)	PENAS E VÍSCERAS (T)	HOSPITALAR (T)	SERVIÇO DE LIMPEZA(T)
2007	162.518,09	1.876,30	2.284,98	44.606,10*
2008	172.943,90	1.859,06	2.411,70	208.379,19
2009	174.696,00	1.781,79	2.578,42	237.140,74
2010**	120.404,11	1.143,97	1.800,94	179.278,67

Nota: * O controle do peso dos resíduos provenientes do serviço de capina e varrição, transbordos, áreas verdes e galerias teve início a partir do mês de setembro/2007, momento em que a empresa Qualix assumiu o serviço e toda a coleta passou a ter como destino final o aterro sanitário. ** Os valores são referentes aos meses de Janeiro a Setembro.

Os serviços de limpeza abrangem os resíduos coletados em capina, varrição, transbordos, áreas verdes e galerias, ou seja, apenas uma parcela da quantidade anual

apresentada no Quadro 11.13 foi efetivamente retirada das galerias de drenagem pluvial da cidade, e representa a quantidade de resíduos que são carregados pelas chuvas ou mesmo diretamente lançados pela população e atingem o sistema de drenagem urbana.

Em vista de os dados disponibilizados estarem agrupados com outras atividades de limpeza e por ano, não foi possível a aplicação de um método indireto para estimativa da quantidade de lixo que atinge a drenagem pluvial por sub-bacia. Para a aplicação dos métodos indiretos conhecidos no Brasil (NEVES, 2006), são necessários dados de varrição, na forma de uma série diária, para que se possa correlacionar com uma série diária de precipitações e realizar a estimativa.

Além disso, Neves (2006) constatou que os dados de varrição normalmente consideram não somente o lixo propriamente dito, mas também sedimentos e vegetação. Em Porto Alegre, o autor realizou uma estimativa do que é realmente lixo na varrição, com base na análise de diversas amostras de sacos de varrição do serviço de limpeza pública na área de estudo, que resultou um valor médio de 23% de lixo na varrição. É importante destacar esse fato, uma vez que a estimativa de geração de sedimentos em cada sub-bacia urbana de Teresina foi realizada segundo metodologia específica, apresentada anteriormente neste volume, não devendo ser novamente considerada neste item. Adicionalmente, se a constatação de Neves (2006) não fosse levada em consideração, poderia ser realizada uma estimativa exagerada dos resíduos sólidos que chegam à drenagem através do método indireto que considera dados de varrição, uma vez que não se dispõe de elementos, e nem é o objetivo deste estudo, para determinar o percentual de lixo na quantidade de resíduos de varrição em Teresina.

Assim, como alternativa para estimativa de resíduos sólidos que atingem a drenagem, buscou-se na literatura técnica valores de referência obtidos em estudos de quantificação direta de resíduos na drenagem, realizados em bacias hidrográficas urbanas ao redor do mundo. Foram identificados estudos realizados na África do Sul, Austrália, Nova Zelândia e no Brasil.

11.3.2.1 Pesquisas de quantificação de resíduos sólidos na drenagem

As pesquisas de quantificação de resíduos sólidos (lixo) na drenagem encontradas estão inseridas em dois contextos: conscientização da sociedade em relação ao problema na bacia hidrográfica urbana na qual está inserida e estudos das estruturas de retenção de resíduos, visando ao controle em curto prazo. Buscam-se também indicadores que possam auxiliar os técnicos de órgãos municipais a atacarem o problema.

Alguns trabalhos se destacam. Os resultados apresentados por Allison *et al.* (1998b) são interessantes pois dizem respeito a eventos de precipitação intensa e monitoramento de bacias específicas, realizados em Coburg, subúrbio de Melbourne, na Austrália.

Allison *et al.* (1997) mostram um estudo realizado em Coburg, em uma área de 50 ha, cuja ocupação era 35% comercial e 65% residencial (a uma densidade de 10 unid/ha). Com a extrapolação dos dados desse estudo, estima-se que as áreas urbanas contribuem para a drenagem com aproximadamente $30 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. A maior parte é composta por material orgânico (folhas e galhos) e o restante é composto por papel, embalagens plásticas de comida e bebida. As cargas de papel e plásticos foram associadas primeiramente às atividades de pedestres e motoristas, pois mais carga veio das áreas comerciais que das demais. Ignorando-se a parcela de vegetação, a carga é de $6 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ seco, ou de $20 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ úmido (NEVES, 2006).

Armitage *et al.* (1998b) apresentam um trabalho desenvolvido ao longo de 4 meses para o *Central Business District* (CBD) de Springs, em Joanesburgo, África do Sul. A área de estudo, de 299 ha, contava com 85% de uso industrial/comercial e 15% de uso residencial. Neste estudo foi determinado que 17,5% do material jogado nas ruas alcança a rede de drenagem, sendo 62% constituído por plásticos. Os mesmos autores relatam estudo realizado no *Central Metropolitan Council District* de Joanesburgo, em um canal que drena 8 km² de área bastante desenvolvida com ocupações residenciais, comerciais, industriais e de comércio informal. Estimou-se que $48 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de resíduos atingem a rede de drenagem.

Cornelius *et al.*, 1994 mostram resultados de estudos realizados em Auckland, Nova Zelândia, cuja continuidade foi apresentada em ICNZT (1996).

Trabalho semelhante foi realizado na Cidade do Cabo, na África do Sul (ARNOLD & RYAN, 1999), cuja amostragem foi realizada no inverno, ou seja, o período de maiores chuvas na região (junho e agosto), em três áreas com diferentes usos do solo.

Mais recentemente, Neves (2006) realizou um estudo com o objetivo de quantificar os resíduos sólidos que atingem a rede de águas pluviais em uma bacia hidrográfica urbana com área de 192 ha e uso misto (comercial, residencial e áreas desocupadas) na cidade de Porto Alegre, RS. Através do método direto de quantificação, foi determinado que 2,25 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ de resíduos chegam ao exutório da bacia. Ao comparar com o método indireto de quantificação proposto pelo autor, indicou-se que, da carga potencial (total de resíduos gerados que não é coletado pelos serviços de limpeza), 30,6% atinge o exutório da bacia, enquanto que o restante 69,4% dos resíduos ficam nas ruas, retidos no sistema de drenagem ou são diluídos.

O Quadro 11.14 a seguir sintetiza os resultados das cargas obtidas nos diversos estudos mencionados.

Quadro 11.14. Resumo dos resultados de estudos de quantificação de resíduos na drenagem urbana.

LOCAL	CARGA (kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	REFERÊNCIA
Melbourne - Austrália	6	Allison <i>et al.</i> ; 1997 e 1998b
Springs – África do Sul	82	Armitage <i>et al.</i> , 1998
Joanesburgo – África do Sul	48	Armitage <i>et al.</i> , 1998
Auckland – Nova Zelândia	2,76	Cornelius <i>et al.</i> , 1994; ICNZT, 1996
Cidade do Cabo – África do Sul	18	Arnold e Ryan, 1999
Porto Alegre – Brasil	3,58	Neves & Tucci, 2008

11.3.2.2 Estimativas por sub-bacia de drenagem de Teresina

Para a realização da estimativa da quantidade de resíduos sólidos que atingem a drenagem urbana nas sub-bacias de Teresina, foi empregado o valor de carga estabelecido por Neves (2006). Este valor foi selecionado por ter sido estabelecido dentro da realidade brasileira, sendo, portanto, considerado o mais representativo para aplicação na cidade de Teresina.

Assim, foi realizada uma estimativa multiplicando o valor de carga de resíduos 3,58 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ pela área urbanizada determinada no contexto deste PDDrU para cada uma das sub-bacias de drenagem urbana de Teresina.

É interessante notar que esta estimativa representa a quantidade de resíduos que atinge o exutório da bacia hidrográfica, levados pelo escoamento superficial gerado pelos eventos de precipitação sobre cada sub-bacia. Os resultados desta estimativa são apresentados no Quadro 11.15 e no mapa temático do Anexo 37.

Quadro 11.15. Estimativa da quantidade de resíduos que atingem o exutório das sub-bacias urbanas de Teresina.

SUB-BACIA	ÁREA (ha)	ÁREA URBANIZADA (%)	QUANT. RESÍDUOS – EXUTÓRIO (KG/ANO)
PE01	163,39	23,9%	139,92
PE02	99,87	10,7%	38,23
PE03	329,05	17,7%	208,77
PE04	145,22	42,5%	221,15
PE05	260,45	8,1%	75,42
PE06	145,78	32,0%	166,77
PE07	157,42	46,6%	262,48
PE08	180,45	46,1%	297,67
PE09	221,21	68,7%	544,38
PE10	71,04	28,9%	73,40
PE11	255,87	58,7%	538,16

SUB-BACIA	ÁREA (ha)	ÁREA URBANIZADA (%)	QUANT. RESÍDUOS – EXUTÓRIO (KG/ANO)
PE12	117,05	67,3%	282,06
PE13	134,54	67,0%	322,71
PE14	108,91	62,3%	242,71
PE15	146,66	62,6%	328,71
PE16	89,36	100,0%	319,92
PE17	30,89	47,7%	52,71
PE18	104,26	37,3%	139,37
PE19	81,92	29,7%	86,98
PE20	77,32	66,5%	184,11
PE21	80,09	7,8%	22,48
PE22	47,78	8,7%	14,82
PE23	47,75	16,8%	28,71
PE24	188,85	4,6%	30,85
PE25	33,76	16,0%	19,39
PE26	205,06	60,3%	442,85
PE27	283,06	5,4%	54,76
PE28	291,80	1,8%	18,33
PE29	365,20	34,5%	450,94
PE30	222,17	0,3%	2,26
PE31	1038,61	6,7%	250,89
PE32	72,93	44,6%	116,33
MOC	204,65	100,0%	732,63
PD01	140,43	47,7%	239,93
PD02	249,55	53,8%	481,01
PD03	4783,68	5,7%	972,47
PD04	236,85	1,6%	13,53
PD05	216,62	35,0%	271,27
PD06	539,65	59,4%	1146,92
PD07	5910,71	10,7%	2253,77
PD08	377,50	42,6%	576,20

SUB-BACIA	ÁREA (ha)	ÁREA URBANIZADA (%)	QUANT. RESÍDUOS – EXUTÓRIO (KG/ANO)
PD09	230,19	24,1%	198,94
PD10	238,78	52,5%	448,49
PD11	8982,82	10,1%	3249,29
PD12	538,13	69,7%	1343,70
PD13	223,73	10,4%	83,48
PD14	425,02	72,5%	1103,87
PD15	1314,50	4,2%	196,75
PD16	503,38	13,0%	233,69
P01	907,46	26,2%	851,02
P02	141,21	24,0%	121,40
P03	532,48	25,0%	476,73
P04	194,93	41,9%	292,12
P05	211,95	58,8%	445,95
P06	223,02	100,0%	798,42
P07	265,79	74,1%	705,03
P08	152,86	65,1%	356,26
P09	377,44	61,8%	835,72
P10	246,91	100,0%	883,94
P11	238,65	100,0%	854,35
P12	199,02	100,0%	712,48
P13	239,12	100,0%	856,04
P14	168,52	100,0%	603,28
P15	112,74	71,7%	289,43
P16	363,00	1,3%	16,71
P17	812,04	20,1%	585,16
P18	407,85	30,8%	449,99
P19	906,11	14,6%	472,99
P20	350,50	4,7%	59,51
LDN	1052,68	64,6%	2435,86
		TOTAL:	32626,58

No entanto, Neves (2006) chama atenção para o fato de que do total de resíduos gerados que não é coletado pelos serviços de limpeza, em torno de 30% corresponde à parcela que chega ao exutório da bacia. Uma parcela significativa (em torno de 70%) fica depositada nas ruas e no sistema de drenagem, entupindo-o e afetando seu desempenho durante os eventos de precipitação. Com base nessa constatação, é possível estimar de maneira aproximada, quanto seria a quantidade anual de resíduos sólidos que se acumula nas ruas e ao longo da rede de drenagem. Os resultados desta estimativa são mostrados no Quadro 11.16, a seguir, e no mapa temático constante no Anexo 38.

Quadro 11.16. Estimativa da quantidade de resíduos nas ruas e redes de drenagem das sub-bacias urbanas de Teresina.

SUB-BACIA	ÁREA (ha)	ÁREA URBANIZADA (%)	QUANT. RESÍDUOS – RUAS E REDES (KG/ANO)
PE01	163,39	23,9%	317,33
PE02	99,87	10,7%	86,70
PE03	329,05	17,7%	473,49
PE04	145,22	42,5%	501,56
PE05	260,45	8,1%	171,04
PE06	145,78	32,0%	378,24
PE07	157,42	46,6%	595,30
PE08	180,45	46,1%	675,10
PE09	221,21	68,7%	1234,65
PE10	71,04	28,9%	166,47
PE11	255,87	58,7%	1220,54
PE12	117,05	67,3%	639,69
PE13	134,54	67,0%	731,90
PE14	108,91	62,3%	550,47
PE15	146,66	62,6%	745,50
PE16	89,36	100,0%	725,58

SUB-BACIA	ÁREA (ha)	ÁREA URBANIZADA (%)	QUANT. RESÍDUOS – RUAS E REDES (KG/ANO)
PE17	30,89	47,7%	119,55
PE18	104,26	37,3%	316,09
PE19	81,92	29,7%	197,28
PE20	77,32	66,5%	417,55
PE21	80,09	7,8%	50,98
PE22	47,78	8,7%	33,61
PE23	47,75	16,8%	65,10
PE24	188,85	4,6%	69,96
PE25	33,76	16,0%	43,97
PE26	205,06	60,3%	1004,37
PE27	283,06	5,4%	124,19
PE28	291,80	1,8%	41,57
PE29	365,20	34,5%	1022,72
PE30	222,17	0,3%	5,12
PE31	1038,61	6,7%	569,02
PE32	72,93	44,6%	263,83
MOC	204,65	100,0%	1661,59
PD01	140,43	47,7%	544,15
PD02	249,55	53,8%	1090,92
PD03	4783,68	5,7%	2205,54
PD04	236,85	1,6%	30,67
PD05	216,62	35,0%	615,23
PD06	539,65	59,4%	2601,19
PD07	5910,71	10,7%	5111,50
PD08	377,50	42,6%	1306,81
PD09	230,19	24,1%	451,18
PD10	238,78	52,5%	1017,17
PD11	8982,82	10,1%	7369,31
PD12	538,13	69,7%	3047,48
PD13	223,73	10,4%	189,33

SUB-BACIA	ÁREA (ha)	ÁREA URBANIZADA (%)	QUANT. RESÍDUOS – RUAS E REDES (KG/ANO)
PD14	425,02	72,5%	2503,55
PD15	1314,50	4,2%	446,22
PD16	503,38	13,0%	530,01
P01	907,46	26,2%	1930,08
P02	141,21	24,0%	275,34
P03	532,48	25,0%	1081,21
P04	194,93	41,9%	662,52
P05	211,95	58,8%	1011,40
P06	223,02	100,0%	1810,80
P07	265,79	74,1%	1598,99
P08	152,86	65,1%	807,99
P09	377,44	61,8%	1895,40
P10	246,91	100,0%	2004,76
P11	238,65	100,0%	1937,64
P12	199,02	100,0%	1615,88
P13	239,12	100,0%	1941,47
P14	168,52	100,0%	1368,23
P15	112,74	71,7%	656,43
P16	363,00	1,3%	37,91
P17	812,04	20,1%	1327,13
P18	407,85	30,8%	1020,56
P19	906,11	14,6%	1072,73
P20	350,50	4,7%	134,96
LDN	1052,68	64,6%	5524,48
		TOTAL:	73996,24

As estimativas de resíduos que atingem o sistema de drenagem realizadas neste estudo devem ser tomadas com cautela, visto que o valor de referência empregado foi estabelecido com base em medições diretas realizadas em uma bacia urbana dotada de um bom serviço de varrição, com abrangência de aproximadamente 50% da área da bacia e frequência diária na área comercial, em dias alternados em uma pequena porção da área

residencial e semanalmente na maior porção de área residencial (NEVES & TUCCI, 2008). Os órgãos responsáveis pela limpeza pública em Teresina, embora tenham sido consultados, não disponibilizaram dados de abrangência e frequência dos serviços de varrição na cidade. Desta forma, em função de uma possível menor abrangência dos serviços de varrição nas sub-bacias consideradas, os valores podem estar subestimados, mas servem como uma referência, visto que estudos de quantificação de resíduos deste tipo são raros no Brasil.

Visto que nem todas as sub-bacias delimitadas para Teresina possuem sistemas de drenagem ou urbanização consolidada, algumas delas apresentaram situação mais crítica com relação aos resíduos sólidos na drenagem que outras. Desta forma, no item a seguir são discutidas medidas efetivas para o controle dos resíduos que potencialmente atinjam os sistemas de drenagem para serem aplicadas nas áreas críticas.

11.3.3 Medidas de controle

A redução da carga de resíduos sólidos que atingem o sistema de drenagem pode ser realizada basicamente através de dois tipos de medidas (ALLISON *et al.*, 1997): medidas estruturais, como a colocação de estruturas na entrada de bocas-de-lobo, sarjetas ou instaladas dentro dos canais de drenagem para separar e conter os poluentes grosseiros; e medidas não estruturais, envolvendo mudanças de atitude e ações com a comunidade. As medidas de controle indicadas para implantação em Teresina são detalhadas a seguir.

11.3.3.1 Medidas não estruturais

Do rol de medidas não estruturais destacam-se a gestão integrada dos serviços de saneamento e a educação da população com relação aos aspectos sanitários da cidade.

Gestão Integrada

Dentre os diversos efeitos da urbanização, dois podem ser destacados: aumento da produção de resíduos sólidos e o aumento da impermeabilização das superfícies. Estes, por sua vez, podem provocar danos no meio ambiente urbano se não gerenciados de maneira adequada. No caso dos resíduos sólidos, o aumento da produção não significaria prejuízo

ambiental se não fossem as questões relativas às deficiências nos serviços e falta de conscientização da população. No caso da impermeabilização, o problema surge quando não se propõem medidas que compensem o aumento do escoamento superficial.

Problemas como estes, bastante comuns nas cidades brasileiras, parecem dissociados. No entanto, as cidades se constituem em um sistema complexo, com o crescimento mais acelerado em suas periferias do que nas suas regiões centrais, na maioria das vezes sem a infraestrutura adequada (TUCCI, 2002), de modo que ações inapropriadas em áreas como a de saneamento possuem reflexos quase que imediatos nas demais atividades e sistemas que compõem o meio urbano, como as redes de drenagem urbana.

Isto se deve ao fato de grande parte dos problemas urbanos estarem relacionados à forma setorial, segmentada, como são tratados (TUCCI, 2002). Como afirma Pompêo (2000 *apud* NEVES & TUCCI, 2003), o planejamento de atividades urbanas relacionadas à água deve estar integrado ao próprio planejamento urbano, integrando a gestão de recursos hídricos e o saneamento ambiental.

Dentro deste contexto está a problemática do despejo dos resíduos sólidos inadequadamente na superfície, atingindo as redes de drenagem urbana. Eles se acumulam na vizinhança de *shopping centers*, estacionamentos, saídas de *fast foods*, estações rodoviárias e ferroviárias, estradas, escolas, parques públicos e jardins, contêineres, locais de aterros e depósitos de reciclagem. Nestes locais, permanecem até serem ou removidos pela autoridade local, ou serem transportados pelo vento e/ou escoamento superficial, atingindo o sistema de drenagem.

Assim, a limpeza urbana, ou limpeza dos logradouros públicos é a que mais se relaciona com os resíduos que potencialmente atingem a drenagem, visto que é incumbência de quem trata deste serviço a remoção dos resíduos inadequadamente depositados sobre o solo. Existem vários aspectos que devem ser levados em conta para justificar a manutenção deste serviço por parte do poder públicos, destacando-se, de acordo com IBAM (2001), aspectos sanitários, estéticos e de segurança. A segurança é, sobretudo,

um aspecto importante, pois possibilita evitar o entupimento do sistema de drenagem de águas pluviais que poderia colocar em risco a população e seu patrimônio.

Entre todos os serviços de limpeza, o de varrição é o que apresenta maior preocupação a este respeito, dado que a sarjeta, elemento de escoamento superficial, acaba recebendo boa parte do resíduo despejado. A importância deste serviço é reconhecida nas pesquisas de quantificação de resíduos no sistema de drenagem, como as apontadas anteriormente neste relatório.

Segundo Armitage (2001) *apud* Marais e Armitage (2004) a varrição diária é capaz de remover quase 98% do lixo presente nas ruas. Os autores mostram uma relação entre a razão “número médio de dias entre varrição/ número médio de dias entre chuvas significativas” e a eficiência de varrição: quando a razão mencionada é 1, a eficiência é de apenas 50%. Em vista disso, propõe-se a intensificação dos serviços de varrição nas sub-bacias mais urbanizadas, sobretudo na época de chuvas em Teresina, que é normalmente bem delimitada entre os meses de dezembro a maio.

Educação Ambiental

Segundo Neves (2006), sempre é válido investir na visão educacional dos aspectos ambientais, que envolve os seguintes componentes:

- Educação formal (na escola), com a formação de agentes multiplicadores, despertando uma nova mentalidade para o desperdício e o consumo;
- Educação não formal, aquela transmitida pelos meios de comunicação, através de campanhas de conscientização dos impactos da má disposição dos resíduos sólidos na cidade, por exemplo;
- Transformação de objetos como uma experimentação de um processo de reciclagem interna, formando futuros arte-educadores, como sugere Quintanilha (1996 *apud* NEVES, 2006).

Vale lembrar que não é escopo do presente PDDrU a gestão dos resíduos sólidos, cabendo ao Plano de Gestão dos Resíduos Sólidos para Teresina, em fase de contratação, o estabelecimento de metas e prioridades de ação.

No entanto, segundo Maksimovic (2001), é papel dos sistemas integrados de drenagem urbana, além da cobertura urbana de proteção contra inundações, cuidar do melhoramento da qualidade de vida pela produção de feições aquáticas, criando amenidade urbana na cidade. Segundo Neves e Tucci (2003), isto pode ser traduzido também como ação sob a perspectiva de sustentabilidade ambiental, introduzindo uma nova forma de direcionamento das ações, baseada no reconhecimento da complexidade das relações entre os ecossistemas naturais, o sistema urbano artificial e a sociedade (POMPÊO, 2000).

Desta forma, espera-se que os aspectos relacionados aos resíduos sólidos e sua influência no desempenho do sistema de drenagem da cidade, bem como as medidas não estruturais propostas aqui, sejam levados em consideração no desenvolvimento do Plano de Gestão dos Resíduos Sólidos para Teresina.

11.3.3.2 Medidas estruturais

No estudo de medidas estruturais, o objetivo preferencial é atingir uma configuração autolimpante. As estruturas autolimpantes são pensadas com a função de utilizar a força da água para empurrar o resíduo, limpando o segregador (tela ou grade), e desviando-o ou não para um local de acumulação, onde a frequência de limpeza possa ser menor, agindo com mínima perda de carga. Os defletores variam podendo ser dispostos com um determinado ângulo em relação ao escoamento, suspensos ou não, em geral compostos de um gradeamento. Algumas estruturas foram testadas em escala real e em locais com problemas de resíduos sólidos nos cursos d'água urbanos.

Um exemplo de estrutura autolimpante simples e razoavelmente eficiente é a SCS (*Stormwater Cleaning Systems*), utilizada em Springs, África do Sul. Neste estudo, a função da estrutura era forçar o escoamento sobre o vertedor e através de um gradeamento inclinado em aproximadamente 45°, interceptando o resíduo pelo gradeamento e forçando-o a cair em um compartimento, onde seria removido. Foram consideradas duas alternativas

de disposição da estrutura: com o vertedor diretamente colocado na trajetória de fluxos pequenos vindos, por exemplo, de um conduto; com o vertedor colocado na lateral, para altos fluxos em canais, conforme ilustra a Figura 11.2.

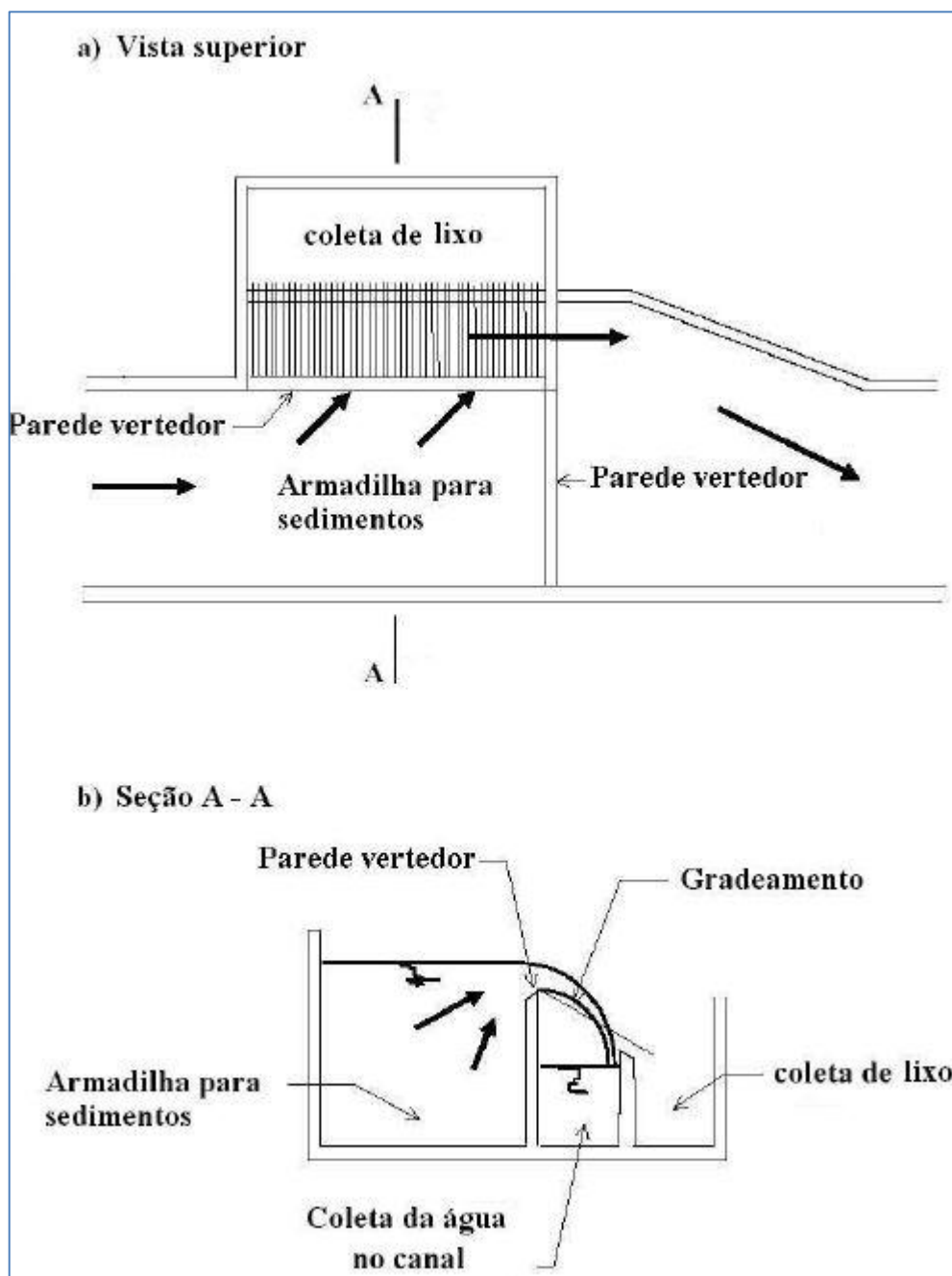


Figura 11.2. Estrutura SCS: primeira configuração (Fonte: adaptado de ARMITAGE *et al.*, 1998).

As principais vantagens apresentadas por esta estrutura (SCS) são:

- Suporta fluxos relativamente altos (até 80 m³/s ou mais, se necessário) com facilidade;
- Manutenção desprezível;
- Fácil de limpar;
- Baixo risco de fermentação tóxica;
- Relativamente segura para o público e trabalhadores.

As desvantagens deste tipo de estrutura é que requerem alta carga e que uma grande área do terreno seja cercada para evitar o contato do público com o resíduo capturado.

Outra estrutura, que não é do tipo autolimpante, mas que pode ser útil no processo de monitoramento e gerenciamento integrado de resíduos sólidos-drenagem urbana é a chamada SEPT (*Side-Entry Pit Trap*), utilizada em Melbourne, Austrália, e ilustrada na Figura 11.3.

As armadilhas são colocadas na parte de trás do poço para proporcionar uma trajetória para altos fluxos. Nestes casos, os poros são bloqueados; a água é descarregada sobre a parte traseira da cesta e os materiais mais finos que o tamanho dos poros podem ser retidos também. Uma vez bloqueados os poros, a água se acomoda na cesta e verte sobre a parte posterior da cesta. Neste caso, a eficiência diminui significativamente. Como vantagens, podem ser considerados os seguintes aspectos:

- Rápido e fácil de limpar;
- A coleta é facilmente integrada no programa de manutenção das captações de água pluvial;
- Evita a transferência de resíduos no meio-fio para os condutos;
- Pode-se remover facilmente a cesta para manutenção;

- Pode ser útil na identificação das principais fontes como parte de um programa de gerenciamento da bacia.

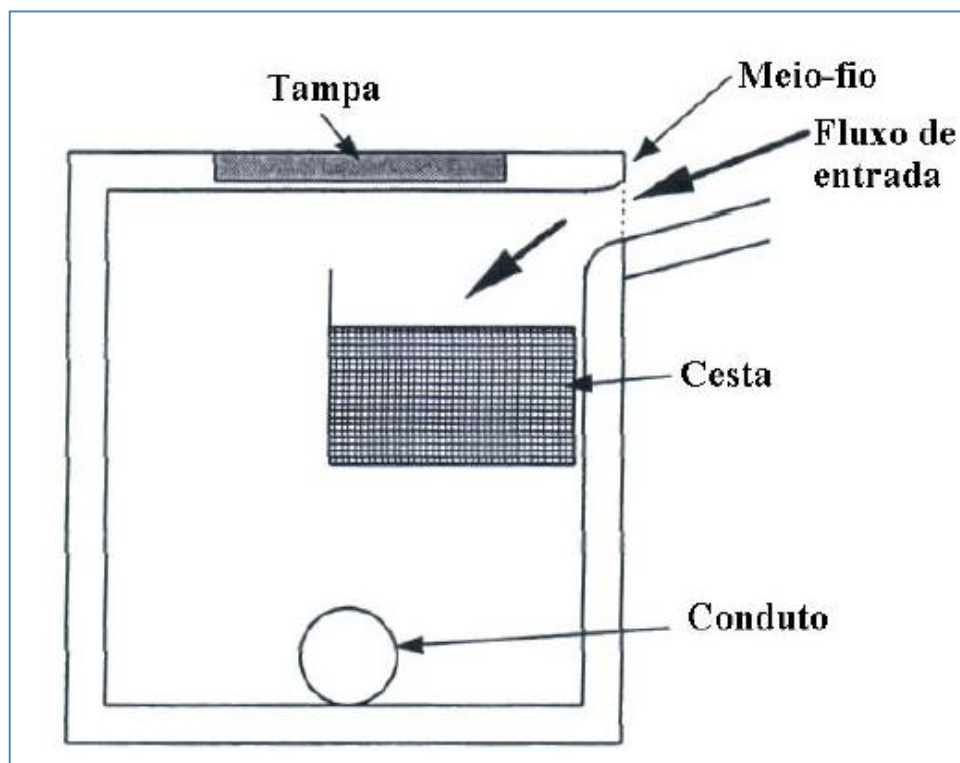


Figura 11.3. Estrutura SEPT (Fonte: adaptado de ARMITAGE *et al.*, 1998).

Como desvantagens no emprego da estrutura SEPT podem-se considerar:

- Necessidade da aquisição de um aspirador especial de alto custo;
- As tampas das captações são pesadas e precisam ser removidas com uma sustentação segura;
- Um grande número de unidades é requerido.

O uso é atrativo do ponto de vista de custo-efetividade em locais com alta produção de resíduos, sendo necessário o uso de dispositivos adicionais a jusante para capturar o

material que passa. É mais efetiva quando utilizada em conjunção com um programa de gerenciamento da bacia (ARMITAGE *et al.*, 1998).

11.3.3.3 Considerações finais

Conforme visto, a aplicação de medidas estruturais se resume ao emprego de estruturas de retenção dos resíduos, instaladas nos dispositivos de drenagem urbana, sendo mais eficientes aquelas ditas autolimpantes. Contudo, sua implementação exige mais recursos. Estas medidas podem ser aplicadas através de estruturas e armadilhas mais simplificadas, instaladas em condutos e canais.

Estudos mostram que medidas não estruturais são mais baratas e podem apresentar bons resultados (NEVES, 2006).

11.3.4 Disposição de Resíduos Sólidos

Com o crescimento das cidades, o desafio da limpeza urbana não consiste apenas em remover o lixo de logradouros e edificações, mas, principalmente, em dar um destino final adequado aos resíduos coletados. Essa questão merece atenção porque, ao realizar a coleta de lixo de forma ineficiente, estes resíduos podem acabar sendo depositados ou carreados para o sistema de drenagem urbano, composto por canais naturais e galerias, afetando seu desempenho e ocasionando alagamentos e inundações. A ocorrência destes eventos afeta a qualidade de vida, provocando transtornos e prejuízos para a população. Contudo, ao se dar uma destinação final inadequada aos resíduos, poucas pessoas serão diretamente incomodadas, fato este que não gerará pressão por parte da população. Assim, diante de um orçamento restrito, como ocorre em grande número das municipalidades brasileiras, o sistema de limpeza urbana não hesitará em relegar a disposição final para o segundo plano, dando prioridade à coleta e à limpeza pública.

Por essa razão, é comum observar nos municípios brasileiros a presença de "lixões", ou seja, locais onde o lixo coletado é lançado diretamente sobre o solo sem qualquer controle e sem quaisquer cuidados ambientais, poluindo tanto o solo, quanto o ar e as águas

subterrâneas e superficiais das vizinhanças. Conforme evidenciam dados divulgados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2005), ainda persiste no Brasil a existência de vazadouros a céu aberto ou lixão.

O processo recomendado para disposição final dos resíduos sólidos urbanos é o aterro. Existem basicamente dois tipos de aterros: os aterros sanitários e os aterros controlados.

Segundo a ABNT (NBR-10703/89), o aterro sanitário é a forma mais adequada de disposição de resíduos urbanos sobre terreno natural, através do seu confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo, segundo normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ao meio ambiente, em particular à saúde e à segurança pública. É necessário serem adotados procedimentos técnicos operacionais nos aterros sanitários, tais como a drenagem e o tratamento do chorume e do gás gerado durante a decomposição do lixo, para evitar a poluição do solo, do ar e das águas subterrâneas.

Outro tipo de aterro aceito pela legislação brasileira é o aterro controlado. Este também é uma forma de se confinar tecnicamente o lixo coletado sem poluir o ambiente externo (Figura 11.4). A diferença básica entre um aterro sanitário e um aterro controlado é que este último prescinde da coleta e tratamento do chorume, assim como da drenagem e queima do biogás.

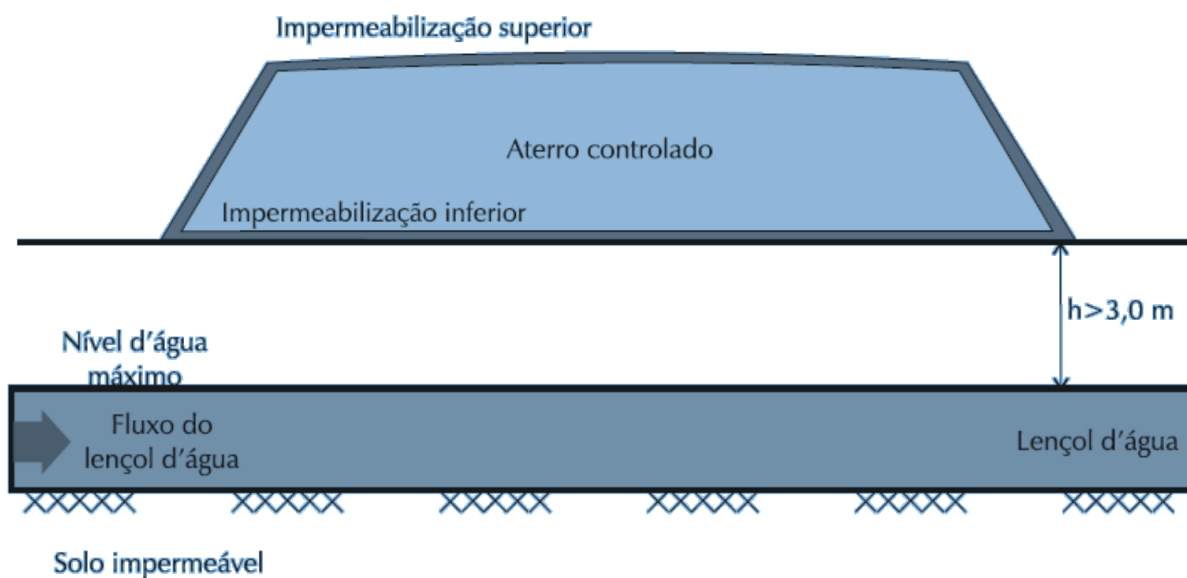


Figura 11.4. Seção transversal típica de um aterro controlado (Fonte: MONTEIRO *et al.*, 2001).

O aterro controlado existente em Teresina está encravado em uma área de aproximadamente cinquenta hectares localizado no Km 7 da rodovia BR-316 (Figura 11.5), e, conforme estimativa da prefeitura, possui capacidade para operação nos próximos vinte anos.

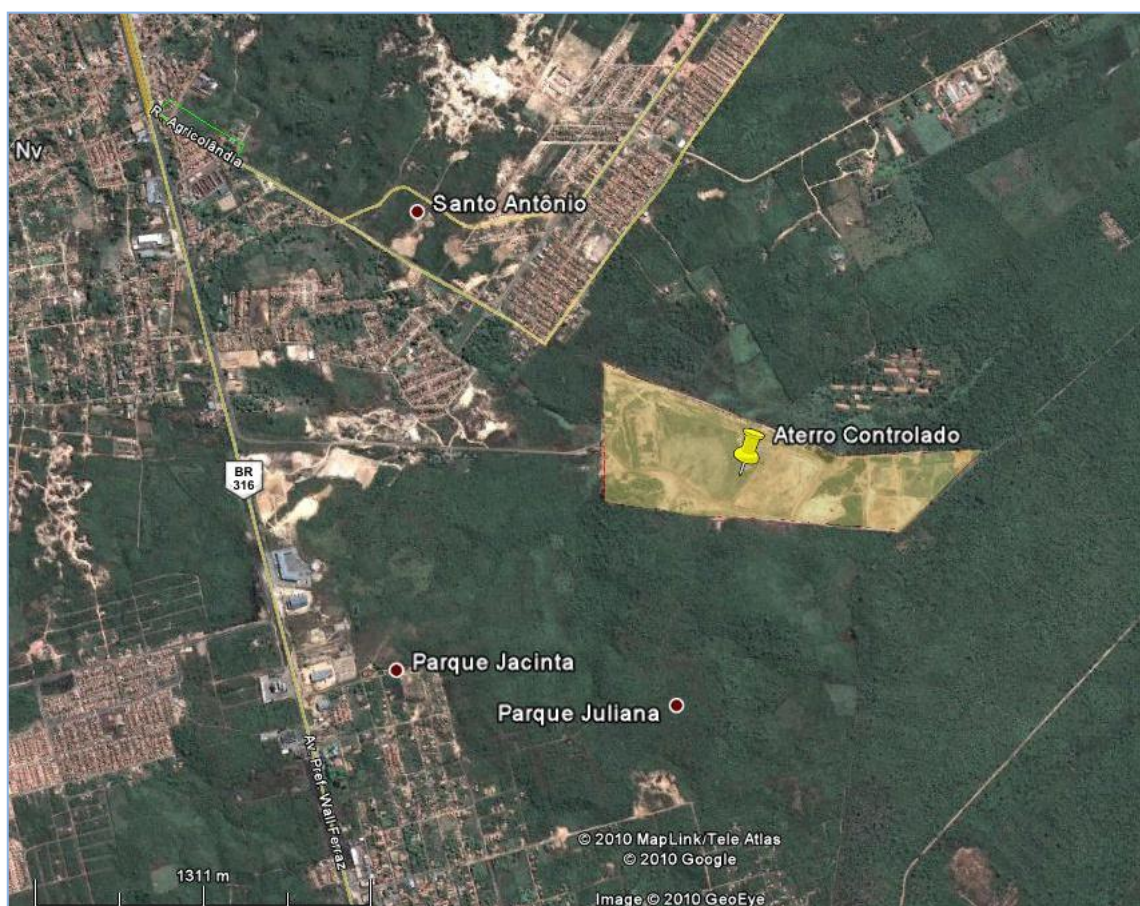


Figura 11.5. Localização do aterro de Teresina (Fonte: GOOGLE EARTH, 2009).

Segundo Pierot (2009), apresenta-se em condições razoáveis de operação, com células de expansão, lagoa de chorume, balança para pesagem e uma unidade de triagem de resíduos sólidos administrado pela SDU sul. O local possui mau cheiro, presença de lixo descoberto, ausência de sistema de tratamento de efluentes líquidos eficaz, gases e resíduos diferenciados e proliferação de animais, portanto, percebe-se que o mesmo não atende totalmente às especificações de aterro controlado (Figura 11.6).



Figura 11.6. Presença de animais e catadores no aterro de Teresina (Fonte: PIEROT, 2009).

11.4 Problemas de saúde pública relacionados à drenagem urbana

Segundo a Organização Mundial de Saúde - OMS, cerca de 85% das doenças conhecidas são de veiculação hídrica, ou seja, estão relacionadas à água.

As três imagens na Figura 11.7 ilustram algumas das mais conhecidas doenças relacionadas com a água ou seus vetores.



Dengue/febre
amarela/malária



Esquistossomo



Verminose

Figura 11.7. Ilustração das doenças de veiculação hídrica mais conhecidas e seus vetores (FONTE: COUTO, 2008).

A importância da relação entre saneamento (que inclui o esgotamento sanitário, pluvial e a coleta de lixo), segundo dados da Organização das Nações Unidas (ONU-out/03) e do IBGE (mar/04) pode justificar-se com alguns números:

- 60 milhões de brasileiros não têm saneamento básico;
- 10 milhões não contam com coleta de esgotos;
- 16 milhões não possuem coleta de lixo;
- 3,4 milhões de residências não têm água encanada, o que atinge 15 milhões de brasileiros;
- 1/3 dos municípios com menos de 20.000 habitantes não têm água tratada; 75% têm menos de 10.000 hab.;
- No nível distrital, 12% não têm rede de abastecimento d'água; destes, 46% se valem de poço raso particular;
- 75% dos esgotos coletados nas cidades brasileiras não têm tratamento;
- 64% dos municípios brasileiros depositam o lixo coletado em lixões a céu aberto;
- 60% dos municípios sofreram inundações ou enchentes em 2000;
- 20% dos municípios têm seu solo corroído por assoreamentos;
- Doenças intestinais, como diarreia e verminoses, são a principal causa de internações no Brasil;
- Cada real investido em saneamento básico poupa de 1,5 a quatro em gastos com a saúde (SEROA & MENDONCA, 2005);
- O Brasil desperdiça ainda até 40% da água tratada.

Mesmo as estimativas mais conservadoras justificam a tese de que investir em saneamento proporciona poupança de recursos públicos e alavanca o nível de bem estar social pelo menos a partir dos modestos níveis de acesso encontrados hoje (FGV, 2007).

No Brasil, se gasta 0,09% do PIB com saneamento básico, sendo 0,01% via despesa direta, 0,01% transferências a estados e DF, 0,04% transferências a municípios e 0,03% FGTS. O Brasil gasta cerca de 1,76% do seu PIB (3,1% das despesas totais) com saúde. O gráfico na Figura 11.8 apresenta os gastos em saúde e saneamento no Brasil nos últimos anos. Quando olhamos para evolução temporal dos gastos em saneamento, encontramos grande oscilação entre os anos, com o maior nível atingido em 2001 (0,23%), ano em que foram utilizados recursos do Fundo da Pobreza para saneamento básico. O mesmo ocorre quando analisamos essa despesa como proporção dos gastos federais totais, que corresponde a 0,15% em 2005 e 0,45% em 2001.

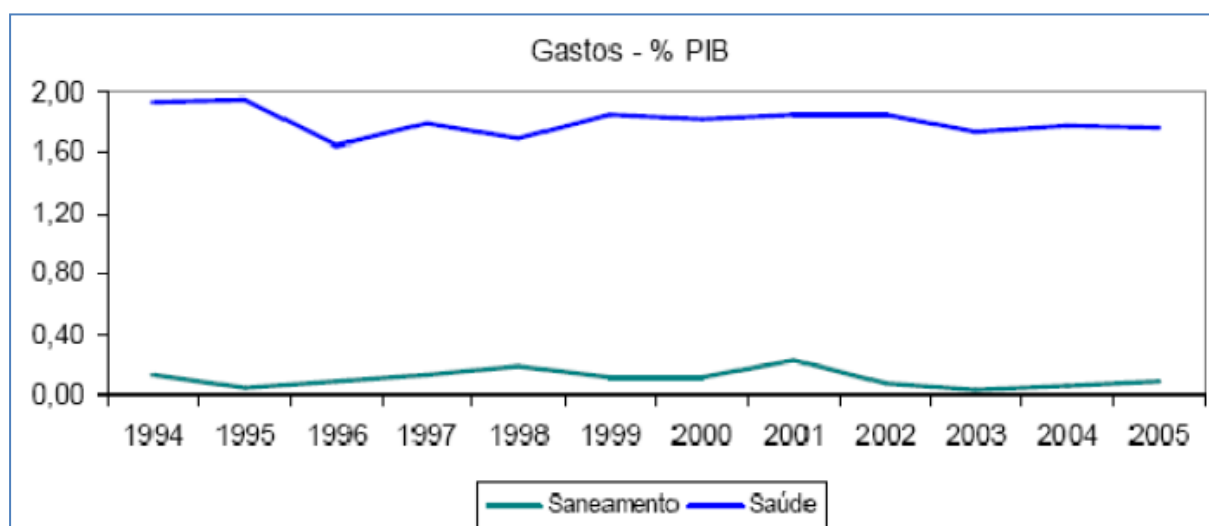


Figura 11.8. Gastos em saúde e saneamento no Brasil como porcentagem do PIB. FONTE: (FGV, 2007).

A problemática em saúde mais comum associada à água poluída por esgotos é a gastroenterite, que pode apresentar vários sintomas como enjôo, vômitos, dores de estômago, diarreia e febre, que podem levar as pessoas, principalmente as crianças, à

desidratação. No verão, esse quadro pode ser mais perigoso. Por isso, é importante, que a pessoa nesse estado tome muito líquido, mesmo que não esteja conseguindo se alimentar. Como esse quadro pode ser associado a vários agentes etiológicos, a terminologia mais adequada é a de síndrome, e não doença.

Síndrome é o conjunto de sinais ou sintomas provocados por agentes biológicos diferentes e dependentes de causas diversas.

Doença é a perda da homeostasia corporal (estado em que se tem saúde, ou seja, a normalidade) total ou parcial, que pode resultar de infecções, inflamações, modificações genéticas, neoplasias, disfunções orgânicas, etc.

Os organismos biológicos podem ser classificados didaticamente para facilitar o estudo e a apresentação aos iniciantes. Além disso, essa abordagem é importante para o estudo das características, sensibilidade e metabolismo, que acabam favorecendo aos profissionais da saúde, no controle dos mesmos. Os critérios para classificação incluem número de unidades que se agrupam para formar o organismo (unicelulares e pluricelulares), presença ou não de membrana nuclear (eucariontes e procariontes), dimensões (microrganismos), etc.

Dentro das doenças de veiculação hídricas, as principais doenças resultantes das enchentes provocadas por problemas de macrodrenagem são: leptospirose, verminoses, febre tifóide e outras relacionadas com esgotos (COUTO, 2008). Além disso, destaca-se a dengue, cujo vetor se prolifera em água parada, que pode se acumular em locais que não disponham de um eficiente sistema de drenagem.

Os quadros a seguir ilustram as ocorrências de casos de dengue em Teresina, por bairros da Zona Norte e Zona Leste e mês do ano, de 2007 até 2010.

Quadro 11.17. Casos de dengue em Teresina – Ano 2007.

Bairros da Zona Norte	Mês												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Ano
Acarape	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	4
Aeroporto	0	2	1	4	10	32	3	1	1	0	0	1	55
Água Mineral	0	1	1	2	10	29	9	1	1	0	0	0	54
Alto Alegre	0	0	0	2	7	14	6	1	0	0	2	0	32
Alvorada	0	0	0	2	5	9	2	0	0	1	0	1	20
Aroeiras	0	0	0	0	3	5	3	1	1	0	0	0	13
Bom Jesus	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	3
Buenos Aires	0	0	2	1	19	23	10	1	2	0	0	1	59
Embrapa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Itaperu	0	0	2	2	6	4	1	2	0	0	0	0	17
Mafrense	0	0	1	0	4	9	1	0	1	0	0	1	17
Matadouro	0	0	0	0	1	6	0	0	1	0	0	0	8
Memorare	0	0	1	3	4	10	3	2	0	1	1	0	25
Mocambinho	1	1	5	8	66	124	16	22	8	1	2	2	256
Nova Brasília	0	0	0	1	6	4	3	0	0	0	0	0	14
Olarias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Poti Velho	0	0	0	0	2	6	1	0	1	0	0	1	11
Primavera	0	2	1	0	38	75	8	0	0	0	0	0	124
Real Copagre	0	0	0	1	4	18	5	3	0	0	0	0	31
Santa Maria da Codipi	0	4	1	1	14	33	5	7	2	2	2	3	74
Santa Rosa	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
São Francisco	0	0	0	0	8	5	3	1	0	0	0	0	17

São Joaquim	0	0	1	3	8	15	5	2	0	1	2	0	37
Total Mês	1	10	16	30	216	426	86	44	18	6	9	10	872
Bairros da Zona Leste	Mês												Total Ano
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Campestre	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	6
Fátima	0	0	0	2	11	8	2	0	0	0	0	0	23
Horto	1	0	0	2	7	4	0	0	0	0	0	0	14
Ininga	1	0	2	2	18	24	8	0	0	0	0	0	55
Jóquei Clube	0	1	2	0	6	15	4	0	0	1	0	0	29
Morada do Sol	0	0	2	1	9	6	0	0	1	0	0	1	20
Morros	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
Noivos	0	0	1	1	0	4	0	0	0	1	0	0	7
Pedra Mole	0	0	2	4	16	20	2	1	0	0	0	0	45
Piçarreira	3	2	1	4	16	32	10	2	0	0	2	0	72
Planalto	0	0	3	1	3	2	0	0	0	0	0	0	9
Porto do Centro	1	2	2	2	10	19	9	0	0	0	3	1	49
Recanto das Palmeiras	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
Samapi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Santa Isabel	0	0	0	1	3	3	2	1	0	0	0	0	10
Santa Lia	0	1	0	1	1	3	0	0	0	0	0	0	6
São Cristóvão	0	1	0	2	7	7	1	0	0	0	0	0	18
São João	0	1	1	2	11	16	3	0	1	0	1	1	37
Satélite	2	1	10	20	28	52	14	4	0	2	0	2	135
Socopo	0	0	0	0	1	3	2	0	0	0	0	0	6
Tabajaras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Uruguai	0	1	0	5	16	23	2	2	0	0	0	1	50
Vale do Gavião	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vale Quem Tem	0	4	2	10	22	27	7	2	1	0	0	0	75
Verde Lar	0	0	0	0	5	11	1	0	0	0	0	0	17
Zoobotânico	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Total Mês	8	14	29	61	194	283	68	12	3	4	6	6	688
Total Geral Mês	9	24	45	91	410	709	154	56	21	10	15	16	1560

Quadro 11.18. Casos de dengue em Teresina – Ano 2008.

Bairros da Zona Norte	Mês												Total Ano
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Acarape	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aeroporto	1	1	4	4	1	0	1	0	0	0	0	0	12
Água Mineral	2	6	7	6	5	2	0	0	0	0	0	1	29
Alto Alegre	1	4	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	9
Alvorada	1	0	1	3	2	1	0	0	0	0	0	0	8
Aroeiras	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Bom Jesus	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Buenos Aires	4	5	5	10	4	3	0	0	0	0	1	0	32
Embrapa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Itaperu	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Mafrense	3	0	11	10	1	1	0	0	0	0	0	0	26
Matadouro	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	1	0	6
Memorare	1	3	2	12	2	0	0	0	0	0	1	0	21
Mocambinho	5	10	14	35	6	2	0	0	0	0	1	1	74
Nova Brasília	1	2	1	4	1	0	0	0	0	0	0	0	9
Olarias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Poti Velho	0	1	1	2	2	1	0	0	0	0	0	0	7
Primavera	0	6	2	9	4	2	0	0	0	0	0	0	23
Real Copagre	0	0	4	8	0	0	0	0	0	0	0	0	12
Santa Maria da Codipi	8	11	18	10	7	10	0	0	0	1	0	1	66
Santa Rosa	0	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	4
São Francisco	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3

São Joaquim	0	6	5	3	1	0	0	0	0	0	0	0	15
Total Mês	30	60	78	128	37	23	1	0	0	1	4	3	365
Bairros da Zona Leste	Mês												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Ano
Campestre	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Fátima	1	1	1	5	2	0	0	0	0	0	0	0	10
Horto	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Ininga	2	3	8	8	10	1	2	0	0	0	0	1	35
Jóquei Clube	1	1	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	9
Morada do Sol	0	0	1	4	1	0	0	0	0	0	0	0	6
Morros	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
Noivos	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Pedra Mole	12	9	40	35	12	6	1	0	0	0	0	0	115
Piçarreira	1	2	5	3	0	0	1	0	0	0	0	0	12
Planalto	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	4
Porto do Centro	1	1	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	9
Recanto das Palmeiras	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Samapi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Santa Isabel	0	0	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	5
Santa Lia	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
São Cristóvão	1	1	3	3	0	1	3	0	0	0	0	0	12
São João	4	5	5	7	0	1	0	0	0	0	0	0	22
Satélite	1	7	2	7	4	0	0	0	0	0	0	0	21
Socopo	0	1	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	8
Tabajaras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Uruguai	2	2	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	16
Vale do Gavião	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vale Quem Tem	2	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	8
Verde Lar	1	0	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Zoobotânico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Mês	30	38	98	94	32	14	9	0	0	0	0	1	316
Total Geral Mês	60	98	176	222	69	37	10	0	0	1	4	4	681

Quadro 11.19. Casos de dengue em Teresina – Ano 2009.

Bairros da Zona Norte	Mês												Total Ano
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Acarape	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
Aeroporto	1	0	1	2	3	2	4	0	1	0	0	0	14
Água Mineral	5	1	12	4	4	2	2	2	2	0	0	0	34
Alto Alegre	0	2	3	3	1	0	0	1	0	0	0	0	10
Alvorada	0	0	2	1	4	0	0	2	0	0	0	0	9
Aroeiras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bom Jesus	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3
Buenos Aires	0	4	6	13	3	6	1	4	1	0	0	0	38
Embrapa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Itaperu	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	5
Mafrense	1	3	6	12	4	2	2	0	0	0	0	0	30
Matadouro	0	0	4	3	0	1	1	1	0	0	0	0	10
Memorare	0	3	3	6	2	2	1	1	0	1	0	0	19
Mocambinho	3	6	8	5	7	9	8	2	1	1	1	0	51
Nova Brasília	1	2	0	4	3	3	1	1	0	0	0	0	15
Olarias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Poti Velho	0	0	1	3	1	1	2	1	0	0	0	0	9
Primavera	0	2	3	2	1	6	2	1	0	0	0	0	17
Real Copagre	1	0	1	6	2	2	1	0	0	0	0	0	13
Santa Maria da Codipi	0	2	9	2	1	3	2	1	0	0	0	0	20
Santa Rosa	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
São Francisco	1	0	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	8

São Joaquim	1	2	1	10	9	2	1	0	0	0	0	0	26
Total Mês	14	28	68	80	45	46	29	19	5	2	1	0	337
Bairros da Zona Leste	Mês												Total Ano
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Campestre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fátima	0	0	1	1	1	1	3	0	0	0	0	1	8
Horto	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Ininga	0	1	5	1	1	1	2	1	0	0	0	0	12
Jóquei Clube	0	1	0	0	1	3	2	0	0	0	0	0	7
Morada do Sol	2	0	0	1	2	0	2	0	0	0	0	0	7
Morros	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Noivos	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2
Pedra Mole	1	2	7	6	9	3	0	0	0	0	0	0	28
Piçarra	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Planalto	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	3
Porto do Centro	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Recanto das Palmeiras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Samapi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Santa Isabel	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Santa Lia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
São Cristóvão	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3
São João	2	0	2	1	1	3	0	0	0	0	0	0	9
Satélite	0	0	2	1	0	3	1	0	0	0	0	0	7
Socopo	0	0	2	0	1	0	0	1	0	0	0	1	5
Tabajaras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Uruguai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vale do Gavião	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vale Quem Tem	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Verde Lar	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Zoobotânico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Mês	5	7	24	14	18	16	13	3	0	0	0	2	102
Total Geral Mês	19	35	92	94	63	62	42	22	5	2	1	2	439

Quadro 11.20. Casos de dengue em Teresina – Ano 2010.

Bairros da Zona Norte	Mês												Total Ano
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Acarape	0	0	0	0	1	2	3	2					8
Aeroporto	0	0	2	0	0	2	2	0					6
Água Mineral	0	0	5	1	3	7	5	1					22
Alto Alegre	0	0	1	0	2	3	5	0					11
Alvorada	0	2	2	0	0	0	7	0					11
Aroeiras	0	0	0	0	0	5	12	0					17
Bom Jesus	0	0	0	0	1	0	0	0					1
Buenos Aires	2	0	2	2	4	6	6	3					25
Embrapa	0	0	0	0	0	0	0	0					0
Itaperu	0	0	1	1	1	3	3	0					9
Mafrense	1	0	0	4	0	1	8	0					14
Matadouro	0	2	1	1	0	2	7	0					13
Memorare	1	2	1	0	3	14	12	0					33
Mocambinho	2	0	2	1	4	10	17	0					36
Nova Brasília	2	0	2	2	5	6	9	1					27
Olarias	0	0	0	0	0	0	0	0					0
Poti Velho	0	1	0	0	0	4	2	0					7
Primavera	0	0	0	2	3	5	4	0					14
Real Copagre	0	1	0	0	2	4	3	0					10
Santa Maria da Codipi	0	0	1	3	4	13	33	1					55
Santa Rosa	0	0	0	0	0	0	2	0					2
São Francisco	0	0	0	0	0	2	1	0					3

São Joaquim	1	2	3	2	2	6	10	0					26
Total Mês	9	10	23	19	35	95	151	8	0	0	0	0	350
Bairros da Zona Leste	Mês												Total Ano
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Campestre	0	0	0	0	0	1	1	0					2
Fátima	0	1	0	2	1	0	0	0					4
Horto	0	0	0	0	1	1	0	0					2
Ininga	0	0	0	1	3	6	4	0					14
Jóquei Clube	0	0	0	0	0	1	3	0					4
Morada do Sol	1	0	0	4	0	3	0	0					8
Morros	0	1	0	0	0	0	0	0					1
Noivos	0	1	0	0	0	1	1	0					3
Pedra Mole	1	2	4	0	0	0	4	0					11
Piçarreira	0	0	0	1	1	1	8	1					12
Planalto	0	1	1	1	0	0	0	0					3
Porto do Centro	0	0	0	0	1	0	0	0					1
Recanto das Palmeiras	0	0	0	0	0	0	0	0					0
Samapi	0	0	0	0	0	0	0	0					0
Santa Isabel	0	0	0	0	0	1	0	0					1
Santa Lia	0	0	0	0	0	0	0	0					0
São Cristóvão	0	0	1	0	1	5	1	0					8
São João	0	2	1	1	4	1	0	0					9
Satélite	0	0	1	2	1	2	3	0					9
Socopo	0	1	0	0	0	1	6	0					8
Tabajaras	0	0	0	0	0	0	0	0					0

Uruguai	0	0	0	0	0	0	1	0					1
Vale do Gavião	0	0	0	0	0	0	0	0					0
Vale Quem Tem	0	0	0	0	0	1	0	0					1
Verde Lar	0	0	0	0	0	0	0	0					0
Zoobotânico	0	0	0	0	0	0	0	0					0
Total Mês	2	9	8	12	13	25	32	1	0	0	0	0	102
Total Geral Mês	11	19	31	31	48	120	183	9	0	0	0	0	452

A hepatite é outra doença associada à veiculação hídrica. No Quadro 11.21 a seguir são mostrados os casos registrados dessa doença, por bairros da Zona Norte e Leste de Teresina, registrado nos anos de 2005 e 2006.

Quadro 11.21. Casos de hepatite em Teresina – Ano 2005 e 2006.

Bairros - Zona Norte	2005	2006
Acarape	1	0
Aeroporto		
Água Mineral		
Alto Alegre		
Alvorada.	1	0
Aroeiras		
Bom Jesus		
Buenos Aires		
Embrapa		
Itaperu		
Mafrense	0	1
Matadouro		
Memorare	0	0
Mocambinho	1	2
Nova Brasília		
Olarias		
Poti Velho		
Primavera	1	0
Real Copagre		
Santa Maria da Codipi	0	4
Santa Rosa		
São Francisco		
São Joaquim		
Total por ano	4	7

Bairros - Zona Leste	2005	2006
Campestre		
Fátima		
Horto		
Ininga		
Jóquei Clube	0	1
Morada do Sol		
Morros		
Noivos		
Pedra Mole	0	1
Piçarreira	0	1
Planalto		
Porto do Centro		
Recanto das Palmeiras		
Samapi		
Santa Isabel		
Santa Lia	1	1
São Cristóvão		
São João		
Satélite	2	0
Socopo	0	2
Tabajaras		
Uruguai	0	1
Vale do Gavião		
Vale Quem Tem		
Verde Lar		
Zoobotânico		
Total por ano	3	7
Total Geral por Ano	7	14

12 RESTAURAÇÃO DE CANAIS NATURAIS

O presente capítulo visa estabelecer uma base de referência para elaboração de projetos de restauração de canais naturais existentes nos limites da mancha urbana do município de Teresina do estado do Piauí.

O estabelecimento de linhas gerais para serem seguidas em projetos de restauração de canais permite uma padronização dos procedimentos, tanto técnico quanto administrativos, garantindo, assim, uma maior eficácia das medidas que visam melhorar as condições ambientais no cenário urbano do município de Teresina.

12.1 Análise do Espaço Físico

12.1.1 Localização e hidrografia

O município de Teresina situa-se no extremo oeste do Estado do Piauí, na divisa com o Estado do Maranhão, na margem direita do Rio Parnaíba junto à confluência do Rio Poti, que é seu afluente pela margem direita também.

Os rios Parnaíba e Poti no ponto de confluência possuem áreas de contribuição de 330.020 km² e 54.000 km², respectivamente, e são navegáveis através de barcos de pequeno e médio porte, durante qualquer época do ano.

A mancha urbana do município de Teresina ocupa a porção de terra compreendida entre os eixos dos rios Parnaíba e Poti, e estende-se para a margem direita do rio Poti (Figura 12.1). As áreas próximas à confluência dos rios são caracterizadas por serem as zonas baixas da cidade. Esta região abriga 34 lagoas, algumas naturais, outras artificiais, com profundidades e dimensões variadas. Esta região é alvo da ação antrópica através da retirada da argila para a construção civil, confecção de tijolos e produtos cerâmicos, sendo as lagoas artificiais consequência desta atividade.

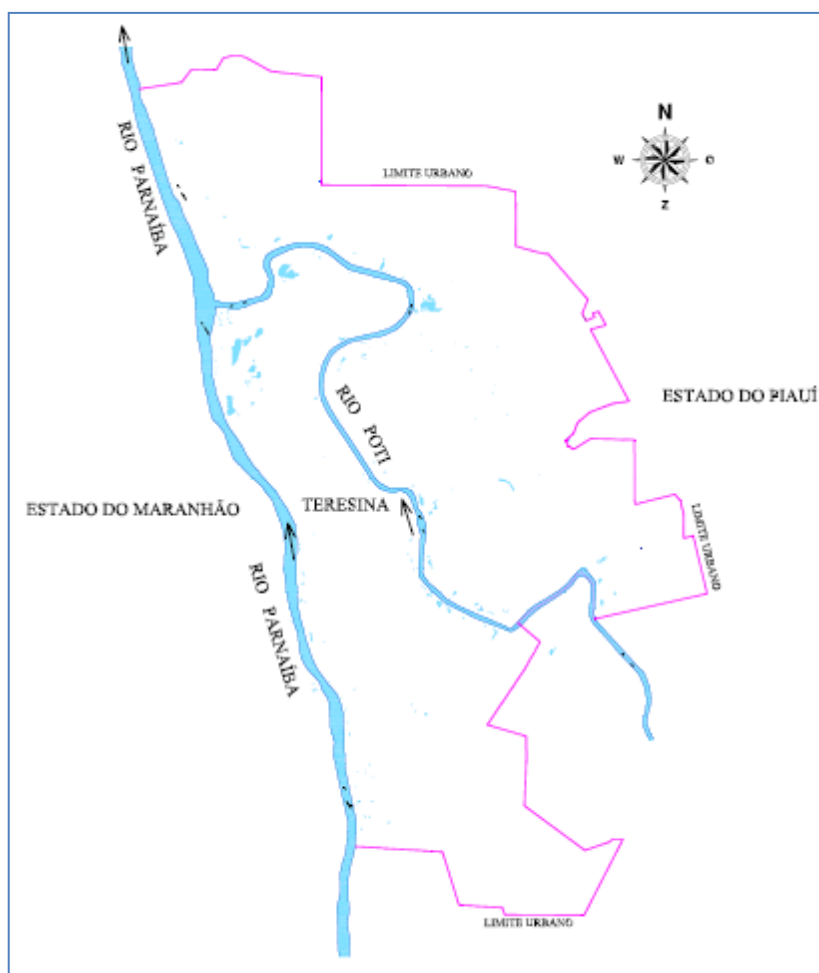


Figura 12.1. Mapa de localização da mancha urbana de Teresina e a hidrografia existente.

A zona urbana de Teresina possui um sistema de diques que a protege contra as cheias dos rios, ficando a drenagem da zona protegida a cargo de estações de bombeamento. À época da construção do sistema de proteção algumas lagoas foram interligadas, definindo, assim, caminhos preferências de escoamento das águas na região protegida, criando pequenos cursos d'água no meio urbano (Figura 12.2).

As lagoas têm seu nível elevado durante os períodos chuvosos devido à característica argilosa do solo da região, e tendem a esvaziar pela evaporação ao longo de meses. Quando as lagoas se esvaziam, ou mesmo se mantêm em níveis menores ($\pm$ 9 meses no

ano), a população ocupa com moradias precárias parte da área de inundação de período chuvoso, reduzindo a sua capacidade e aumenta o risco de impacto sobre esta população (Figura 12.3).



Figura 12.2. Canal de interligação entre as lagoas.



Figura 12.3. Ocupação das margens das lagoas.

Dada esta característica, de edificações e vias muito próximas aos lagos, canais (naturais e artificiais) e rios, observa-se uma situação de plena degradação das margens e da qualidade da água devido aos seguintes aspectos:

Lançamento de resíduos sólidos nas lagoas e canais: apesar da boa cobertura e frequência da coleta de resíduos sólidos é observado o lançamento de uma parcela significativa destes resíduos nas lagoas e canais, causando obstrução do sistema de drenagem, e impedindo o pleno escoamento das vazões até as estações de bombeamento;

Lançamento de esgoto cloacal nas lagoas e canais: tanto a disposição direta do esgoto cloacal nas lagoas e canais, quanto a que é disposta em sumidouros, acaba por degradar drasticamente a qualidade da água e o ecossistema local. Durante as estiagens observa-se o período crítico, com máxima concentração de poluentes e probabilidade de disseminação de doenças de veiculação hídrica;

Redução dos volumes de espera das lagoas: o aterro das margens das lagoas ocasiona a redução dos volumes de espera dos mesmos, aumentando a frequência e a magnitude dos extravasamentos, fazendo com que a população entre em contato com as águas contaminadas.

Os rios Parnaíba e Poti nos trechos em que cruzam a zona urbana de Teresina apresentam baixas velocidades de escoamento conferindo pouca capacidade de transportar sedimentos em suspensão, decantando-os no próprio leito, isso leva a uma redução progressiva da profundidade do leito e a formação de bancos de areia, fazendo mudar a posição do eixo do rio dentro do leito.

A erosão típica corrente na região, e em especial no rio Poti, é a hídrica fluvial caracterizada pelo intenso desgaste erosivo dos terraços fluviais e das encostas do rio, além de erosões de pequeno porte decorrentes da dinâmica meandrante, onde ocorre desgaste na margem côncava e deposição na margem convexa.

Devido à proximidade com a zona urbana, os processos erosivos podem ser indesejados e perigosos à população, ao mesmo tempo em que eventualmente são

acelerados pela própria degradação antrópica da vegetação ripária que protege as margens da erosão.

Reduzir a situação atual de degradação dos corpos hídricos da zona urbana de Teresina passa pela necessidade da execução de um plano de saneamento público e resíduos sólidos, que devem ser acompanhadas pela restauração das margens dos canais e lagoas. Para tanto são apresentadas neste documento diretrizes gerais fruto de consenso entre os principais departamentos e agências norte-americanas (FISRWG, 1998), que confere um certo grau de confiabilidade nas técnicas, sempre que as características ambientais para a aplicabilidade possam ser consideradas compatíveis com as locais.

12.2 Proposição de Medidas Restauradoras

12.2.1 Definições

Faz-se oportuna a apresentação de algumas definições semânticas a respeito de técnicas que visam melhorar as condições ambientais das margens de cursos d'água e lagoas. Segundo FISRWG (1998) existem 3 tipos de técnicas:

Restauração (*restoration*): é o restabelecimento da estrutura e das funções do ecossistema. Restauração ecológica é o processo de retornar um ecossistema às suas características originais, anteriores à alteração ocorrida. Inerente a esta técnica é a dinâmica dos ecossistemas, que naturalmente são observadas em ambientes não alterados, que torna, portanto, utópica a restauração exata às condições naturais, sendo tangível restaurar apenas de modo geral a estrutura, as funções e o comportamento dinâmico autossustentável de um ecossistema. O termo “Renaturalização” também é empregado com frequência na bibliografia brasileira sendo equivalente ao termo “Restauração”.

Reabilitação (*rehabilitation*): é tornar útil novamente uma região degenerada, que envolve a recuperação das funções e processos nesta área. Esta técnica não necessariamente restabelece as condições naturais preexistentes à alteração do

ecossistema. A reabilitação envolve estabilização geológica e hidrológica de modo a prover condições para o desenvolvimento de um ecossistema natural.

Recuperação (*reclamation*): consiste em uma série de atividades com o intuito de alterar a capacidade biofísica de um ecossistema, resultando em um ambiente diferente do preexistente, sendo uma técnica de adaptação dos recursos naturais para servirem a atividades humanas, ao mesmo tempo em que conserva a vegetação ripária e as planícies inundáveis.

12.2.2 Importância da restauração

As margens dos corpos d'água são ecossistemas complexos compreendendo relevo, vegetação, animais e a própria água. Neste ambiente existem inúmeras funções ecológicas, como a modulação de vazões, armazenamento de água, autodepuração de elementos prejudiciais e disponibilização de habitat aquático e terrestre para plantas e animais.

Ao longo do tempo a humanidade vem alterando a dinâmica dos corpos d'água com atividades como: abastecimento de água, transporte fluvial, geração de energia elétrica, disposição de efluentes domésticos e industriais, mineração, regularização de vazões, recreação e composição paisagística. Tais atividades estão sendo ampliadas devido ao crescimento populacional que ocasiona a degradação da qualidade da água, a redução das áreas de armazenamento de água, a destruição dos habitat naturais, a inviabilização de atividades de recreação e a desvalorização das áreas próximas.

Elaborar e executar um plano de restauração destas áreas permite reverter as situações de degradação ocasionadas pelas atividades humanas aos corpos d'água e suas margens, e também, reduzindo o aporte de contaminantes difusos que alcançam os corpos d'água. A restauração pode ser classificada em 3 abordagens:

Restauração sem intervenção ou natural: ocorre quando já é observada uma rápida autorrestauração do ambiente onde intervenções são desnecessárias, ou até mesmo prejudiciais. A restauração natural tende a ser a forma de restauração de mais baixo custo, entretanto, é normalmente um processo lento. Se o objetivo é formar uma vegetação em

área ciliar visando a proteção do solo e do curso d'água, em um tempo relativamente curto, deve-se optar por técnicas que acelerem a obtenção deste objetivo.

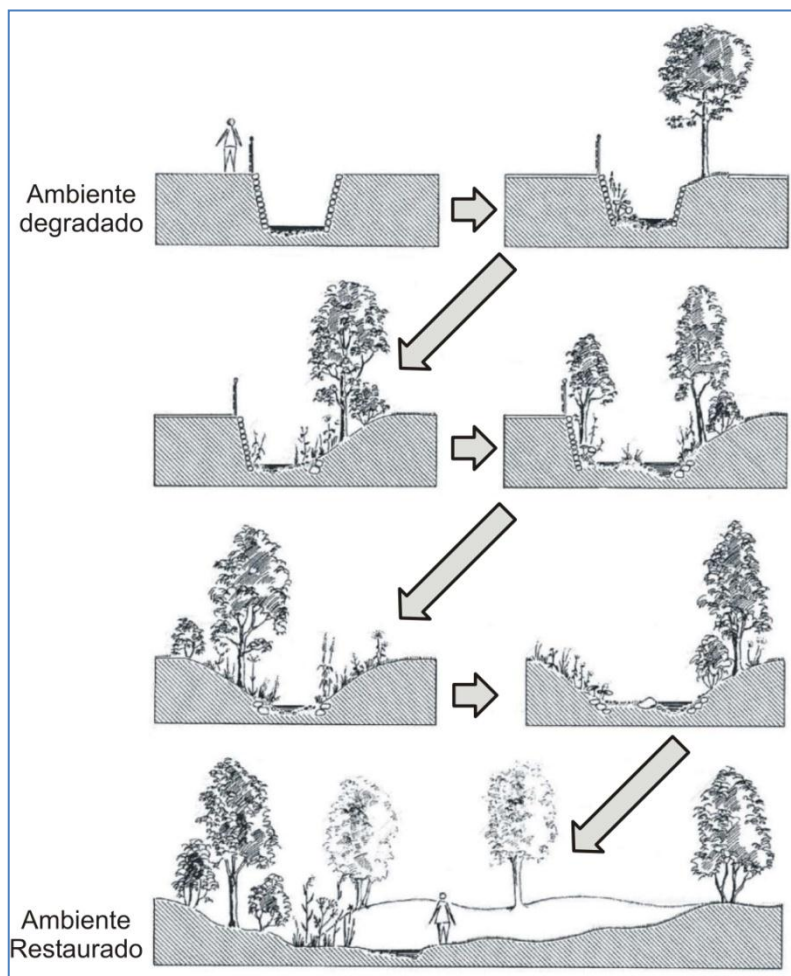


Figura 12.4. Sequência esquemática de restauração natural (BINDER, 1998).

Restauração com intervenção parcial assistida: é indicada quando o processo de autorrestauração se mostra muito lento e incerto, neste caso uma intervenção pode acelerar os processos naturais em andamento. Na Figura 12.5 é apresentado o ponto de transição entre um trecho restaurado com intervenções parciais e um ainda não restaurado.



Figura 12.5. Contraste entre trechos restaurado com intervenção parcial e não restaurado
(foto: Restoration Systems, LLC).

Restauração com intervenção significativa: é utilizada quando se deseja uma restauração além da capacidade de autorrestauração, onde são realizadas intervenções de maior vulto para atingir o objetivo. Um exemplo bastante representativo deste tipo de restauração é a intervenção realizada no rio Cheonggycheon na cidade de Seoul na Coréia do Sul (Figura 12.6).



Figura 12.6. Restauração do leito e margens do rio Cheonggycheon em Seoul (Coreia do Sul).

12.2.3 Atividades preliminares do Plano de Restauração de Canais Naturais

12.2.3.1 Definição da Área de Intervenção

Definir a área de intervenção é o primeiro passo para delimitar a avaliação técnica e a comunidade local a ser envolvida. Esta definição provê celeridade à coleta, à organização e ao processamento dos dados necessários a elaboração do plano de restauração e para as tomadas de decisão ao longo do processo.

A área de intervenção deve ser adequada à escala espacial dos processos, ou seja, deve abranger desde a origem dos problemas de degradação até o local onde o problema se mostra de fato prejudicial.

12.2.3.2 Grupo de Consultores

A definição do grupo de consultores é o ponto central do plano de restauração. O grupo consultor deve ser formado por participantes chaves, como grupos com interesse público, interesse econômico, funcionários públicos e todo e qualquer cidadão que possa ser afetado pelas medidas de restauração a serem adotadas na área de intervenção.

As atividades do grupo de consultores são:

- Realizar o planejamento do plano de restauração;
- Coordenar a implementação do plano de restauração;
- Identificar os anseios públicos relacionados com a restauração;
- Apresentar todos os pontos de vista aos tomadores de decisão;
- Garantir que valores culturais e tradicionais locais sejam levados em conta durante o processo de planejamento e implementação da restauração.

O papel principal do grupo de consultores é aconselhar os tomadores de decisão e patrocinadores, sendo fundamental a apresentação clara desta função aos consultores, pois apesar de estar envolvido diretamente com o processo de restauração, este grupo não tomará as decisões finais.

12.2.3.3 Equipe Técnica

O planejamento e implementação de um plano de restauração de margens exige um elevado nível de conhecimento, perícia e habilidade, que deve ser refletido por um grupo de profissionais com tais características.

Em geral para que a equipe técnica tenha as competências necessárias esta deve ser composta por profissionais de diversas áreas. A necessidade de incluir na equipe, profissionais técnicos específicos fica por conta da decisão do grupo consultor, que deve suprir suas demandas por informações, diagnósticos e pareceres por meio do auxílio destes profissionais.

Os profissionais que podem compor a equipe técnica são:

- Biólogos
- Geotécnicos
- Engenheiros: civis, ambientais, químicos e de recursos hídricos.
- Sociólogos
- Arquitetos
- Silvicultores
- Botânicos
- Ecologistas
- Geógrafos
- Geólogos

É importante ressaltar que uma equipe técnica experiente tem um papel fundamental para atingir os objetivos do plano de restauração. Por exemplo, em situações conflituosas, por vezes, o processo de restauração pode sofrer entraves, e uma equipe experiente tem maior capacidade de evitar, ou melhor encaminhar soluções para tais conflitos.

12.2.3.4 Recursos Financeiros

Identificar e assegurar as fontes de financiamento é outra tarefa fundamental na execução das atividades preliminares, sendo importante para obter-se um efetivo planejamento e implementação do plano de restauração de canais.

Deve-se ter uma estimativa inicial do custo da restauração para que os fundos sejam suficientes para o desenvolvimento de todas as etapas. As origens dos fundos podem ser diversificadas como, por exemplo, do governo federal, do governo estadual, organizações filantrópicas, organizações não governamentais e entidades privadas.

Um aspecto que deve sempre ser considerado é a influência que o financiador, ou patrocinador, pode exercer sobre as tomadas de decisão, o que pode ser conflitante com alguns interesses e objetivos elencados pelo grupo consultor. Assim, é importante estabelecer critérios de autonomia da equipe técnica e do grupo consultor a fim de evitar possíveis influências que causem conflito de decisão.

12.2.3.5 Divulgação e Participação Pública

A inclusão de todos os interessados no processo de restauração é importante para que o processo seja encaminhado para o objetivo mais adequado, ou seja, que de fato tenha resultados satisfatórios do ponto de vista de todos, ou da maioria dos interessados.

Para tanto, o fluxo de informações deve ser facilitado entre a equipe técnica e os interessados e atingidos diretamente pela restauração. A maneira mais comum de se efetivar este fluxo de informações é através de reuniões com os representantes dos grupos de interessados e atingidos, e por audiências públicas onde qualquer cidadão pode manifestar-se, oportunizando a exposição de informações e anseios ainda não detectados pela equipe técnica no reconhecimento inicial da situação ambiental.

Outras ferramentas para incentivar a participação e a divulgação das informações são apresentadas no Quadro 12.1.

Quadro 12.1. Ferramentas de inclusão participativa e divulgação.

FERRAMENTAS DE PARTICIPAÇÃO PÚBLICA:	FERRAMENTAS DE DIVULGAÇÃO AO PÚBLICO:
• Audiência pública	• Reuniões públicas
• Plebiscito	• Página eletrônica
• Força tarefa	• Jornal, radio e televisão
• Seminários	• Disponibilização de relatórios parciais
• Linha telefônica direta e gratuita	• Panfletos
• Enquetes online	• Cursos

12.2.4 Plano de Restauração de Canais Naturais

12.2.4.1 Coleta e Análise de Dados

O processo de restauração de canais naturais exige obrigatoriamente o conhecimento das condições atuais e históricas da área de intervenção.

A importância de conhecer as condições atuais é evidente, pois com base nelas que será desenvolvido o planejamento e a implementação do plano de restauração. Em relação aos dados históricos a sua importância reside em estabelecer uma referência de como era o ambiente previamente à degradação, e de identificar, passivos ambientais como, por exemplo, zonas contaminadas devido à mineração, atividade industrial ou agricultura.

Os dados necessários à elaboração do plano de restauração são:

Hidrológicos:

- Série de vazões e níveis
- Marcas históricas de cheia
- Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica

Sedimentos e erosão:

- Uso do solo da bacia hidrográfica
- Classificação dos processos erosivos
- Estimativa do transporte de sedimentos

Planície de inundação vegetação ripária:

- Tipo de comunidade
- Distribuição de frequência das comunidades
- Cobertura do solo
- Conectividade
- Dossel

Processos Hidráulicos:

- Classificação do escoamento
- Batimetria das seções da área de intervenção
- Composição do leito
- Conexão com planícies inundáveis
- Erosão de margens
- Deposição de sedimentos (bancos de areia)

Qualidade da água:

- Cor
- Temperatura
- Oxigênio dissolvido (OD)
- Turbidez
- Sedimentos em suspensão
- Caracterização química
- Coliformes

Biota aquática e ripária:

- Espécies aquáticas
- Espécies animais e vegetais da zona ripária
- Identificação de espécies invasoras e nativas
- Identificação de espécies ameaças
- Caracterização dos bentos e dos macroinvertebrados
- Seleção de espécies indicadoras

Dados sociais, econômicos e culturais:

- Dados demográficos da área de intervenção
- Caracterização socioeconômica
- Identificação de aspectos culturais relevantes

Assim como a etapa de coleta de dados, a etapa de análise é de suma importância. O grau de complexidade da restauração irá definir os tipos de análises e modelagens necessárias.

12.2.4.2 Definição das Áreas de Preservação Permanente

A legislação brasileira em vigor define critérios para estabelecer largura de faixas de vegetação que devem ser mantidas intactas, tendo em vista garantir a preservação dos recursos hídricos, da estabilidade geológica e da biodiversidade, bem como o bem-estar das populações humanas.

O atendimento a lei é plenamente realizado no meio rural, no entanto, nas zonas urbanizadas este atendimento não é trivial, visto que com frequência existem ocupações dentro das faixas de preservação estabelecidas pelo código florestal. Tal situação gera um impasse fazendo com que surjam tentativas de adequação legal para a não exigência, ou a definição de faixas de preservação específicas para zonas urbanas.

Do ponto de vista ambiental é fortemente recomendado o atendimento a Lei nº 4.771/65 que indica a largura mínima para a área de preservação em função da largura do corpo d'água (Figura 12.7), sendo oportuna a realização de um mapeamento das ocupações nestas faixas.

Este hiato causa com frequência atritos entre os atores envolvidos com a regularização fundiária e os atores que lutam pela proteção do meio ambiente. Se por um lado a população instalada em zonas de preservação permanente possuir argumentação legal para a manutenção da sua permanência no local, é evidente também que muitas ocupações informais não podem ser regularizadas exatamente no mesmo local em que se encontram. Assim, é necessária uma ponderação caso a caso do impacto potencialmente gerado pela permanência na população, que inclua os efeitos ambientais negativos e os efeitos sociais positivos.

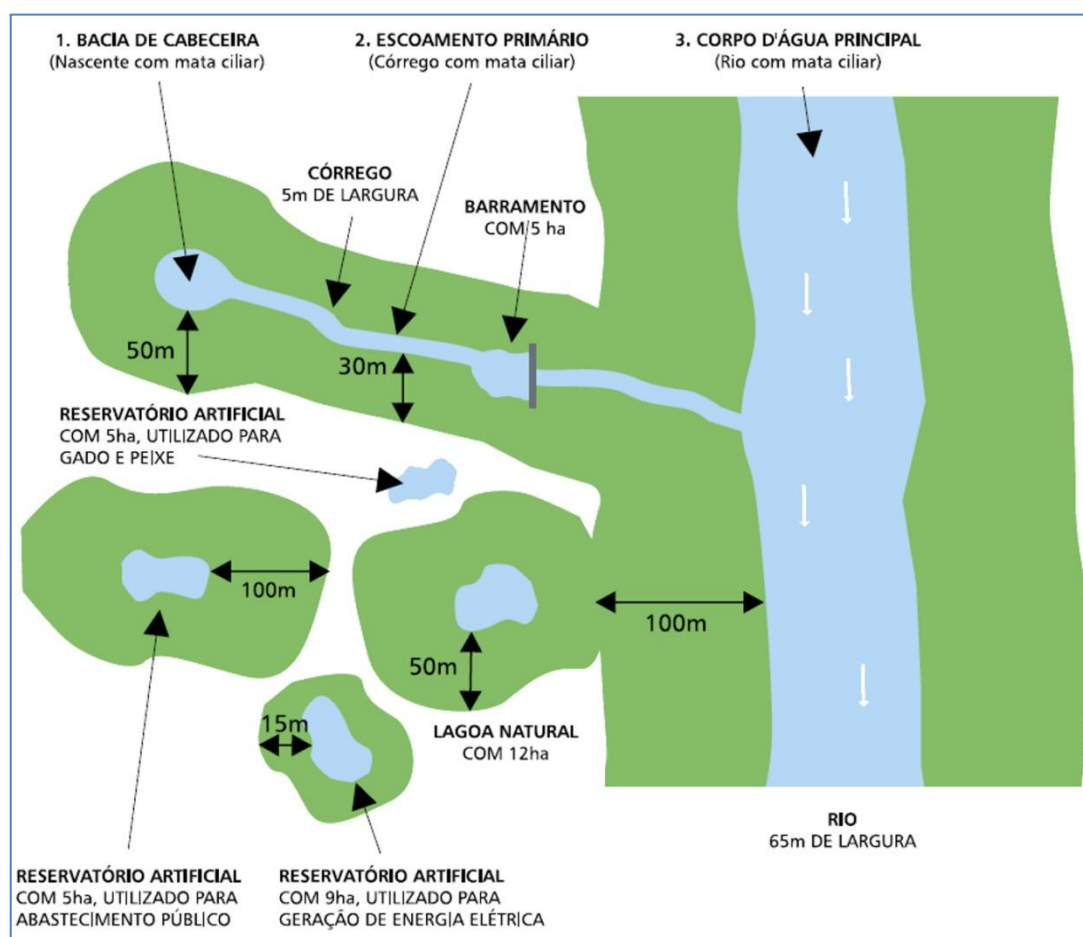


Figura 12.7. Faixas de preservação permanente conforme o corpo d'água (CALHEIROS, 2004).

12.2.4.3 Definição do Alcance e dos Objetivos

Especificar os objetivos que se espera do processo de restauração de canais e considerar as possibilidades destes objetivos serem atingidos é, assim como outros aspectos, de grande importância.

Uma definição de objetivos claro e bem desenvolvidos deve levar em conta os seguintes pontos chave:

- Qual é a situação desejada para o futuro dos corpos d'água locais?
- Qual a escala e alcance que a restauração terá?
- Quais restrições existem para a implementação do plano de restauração?

As restrições são aspectos fundamentais para determinar se os objetivos estabelecidos são tangíveis ou não. Muitas vezes o plano de restauração deve propor alternativas para que as restrições sejam eliminadas ou minimizadas, isso inclui optar por técnicas mais eficientes ou menos onerosas, negociação de medidas mitigadoras e compensatórias e pleiteio por embasamento legal.

12.2.4.4 Definição de Alternativas de Projeto

A análise das alternativas de projeto é uma comparação entre as soluções ótimas do ponto de vista técnico com soluções alternativas. As soluções ótimas tecnicamente são aquelas que atuam na causa dos problemas, por exemplo, para evitar o assoreamento deve-se atuar na maneira que o solo da bacia contribuinte é manejado, já uma solução alternativa irá mitigar o problema, evitando, no exemplo citado, que o sedimento gerado atinja o corpo d'água.

Assim, deve ser previsto um conjunto de soluções para cada problema, identificado na etapa de coleta e análise de dados, e avaliá-las quanto à sua eficiência, custo-benefício, aplicabilidade, tempo de resposta, facilidade de manutenção, durabilidade, restrições e outros quesitos que forem julgados importantes para a definição de qual solução é a mais adequada em cada caso.

12.2.4.5 Implementação do Plano de Restauração

A implementação é a execução das atividades definidas no plano de restauração. Esta é a fase mais delicada, onde efetivamente as responsabilidades são delegadas e os contratos assinados.

O cumprimento do cronograma de atividades é afetado diretamente pelo modo que estão articulados dos grupos de trabalho (equipe técnica, grupo de consultores e prestadores de serviço), uma ineficiente comunicação entre os grupos juntamente com a falta de clareza dos dispositivos de gerenciamento pode causar atrasos e perda de qualidade na execução das atividades, assim algumas questões devem ser respondidas, acordadas e divulgadas:

- Qual a frequência das reuniões?
- Aonde serão realizadas as reuniões?
- Quais serão as pautas das reuniões?
- Quem deverá estar presente nas reuniões?
- Qual a duração das reuniões?
- Como serão tomadas as decisões? (voto, consenso, apenas recomendações)?
- Que decisões necessitam ser deferidas por autoridade externa?
- Como serão encaminhados os problemas?
- Como serão resolvidos os impasses?
- Quais serão os meios formais de comunicação?
- Como será a política de relação pública?
- Quem e como trabalhará a equipe de supervisão?

12.2.4.6 *Monitoramento*

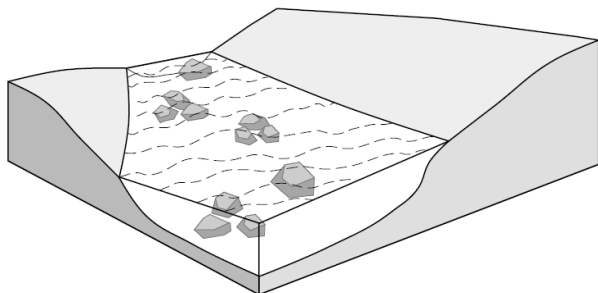
A conclusão das atividades de implementação não marca o término do processo de restauração, a área de intervenção deve ainda ser monitorada. A duração do monitoramento e o quê monitorar depende dos objetivos que foram definidos no plano de restauração, onde devem ter sido estabelecidos quais parâmetros seriam usados para referenciar o resultado da restauração, bem como seus valores.

Os objetivos do monitoramento são:

- Avaliação de desempenho: conhecer o grau de eficiência obtido com as técnicas empregadas na restauração;
- Avaliação de tendência futura: estimar a tendência futura para determinar o tempo em que os objetivos do plano de restauração serão atingidos;
- Avaliação de risco: identificação de desequilíbrios no ecossistema;

12.2.5 Medidas restauradoras

12.2.5.1 Aglomerados de pedregulhos

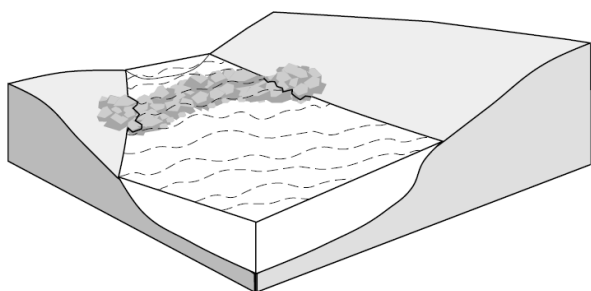


Aglomerados de pedregulhos dispostos no leito do curso d'água criar abrigos, depressões e controlam a velocidade.

Aplicações e recomendações

- Pode ser usado na maioria dos cursos d'água, corredeiras, de planalto e de planícies;
- Indicado para cursos d'água com vazão média superior a 60L.s^{-1} ;
- Em cursos d'água muito pequenos não é aconselhada a disposição dos pedregulhos em aglomerados, e sim de modo espalhado;
- Indicado para cursos d'água com o leito originalmente de pedregulhos;
- Não indicado para leitos de areia e silte;
- Não recomendado para locais assoreados.

12.2.5.2 Taipas ou barreiras



Barreira de pedregulhos disposta transversalmente no leito do curso d'água para criar piscinas, controlar sedimentos e reter o cascalho.

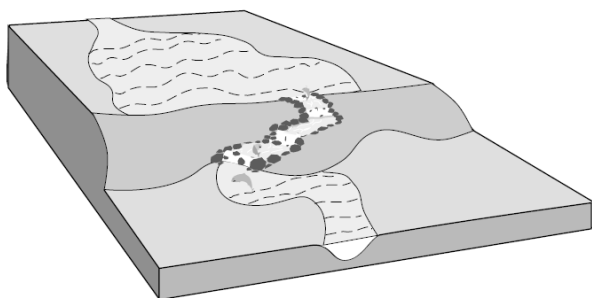
Aplicações e recomendações

- Altera condições hidráulicas de canais uniformes;
- Não podem ser construídos muito próximos com o risco de eliminar o habitat de corredeiras;
- Cursos d'água com muita carga de sedimentos as piscinas rapidamente ficarão preenchidas;
- Frequentemente são criadas zonas de corredeira logo a jusante da barreira;
- Leitos arenosos promovem a ruptura das barreiras devido ao processo erosivo na base;
- Podem prejudicar a migração de peixes de corredeiras;
- Deve-se permitir a passagem de água por entre os pedregulhos;
- Optar por pedregulhos menos arredondados

possíveis para evitar que sejam carreados nas cheias;

- As barreiras podem ser destruídas naturalmente.
- A barreira pode ser perpendicular, diagonal, em forma de “V” ou “U”, e ainda ter um rebaixo na porção central;

12.2.5.3 Escada de peixes

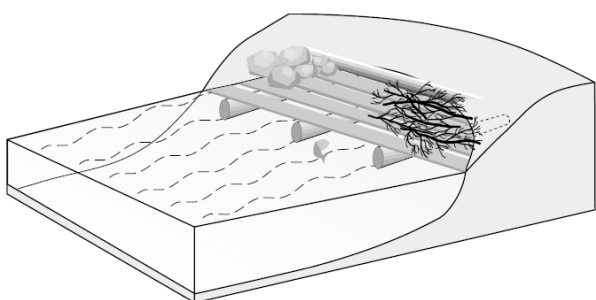


Permite a migração de peixes para suas áreas de desova a montante.

Aplicações e recomendações

- Indicado para locais onde foram criados barramentos artificiais que impedem a migração de peixes;
- Avaliar se não haverá algum impacto a montante devido ao ingresso de peixes;
- As características da escada de peixe devem ser especificadas conforme a necessidade das espécies de peixes da região, sendo mais simples ou mais complexas conforme o caso.

12.2.5.4 Abrigo de toras/fibras/pedras

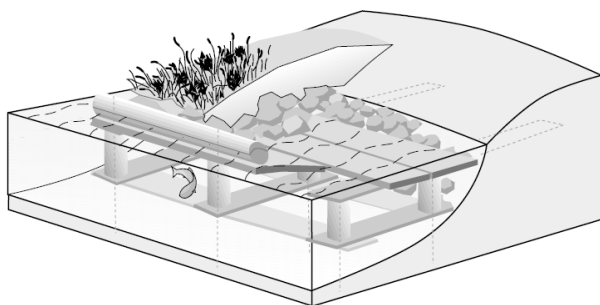


Estruturas de toras, fibras e pedras junto ao talude dos cursos d'água cria um habitat para os peixes, revigora a cadeia alimentar, evita a erosão e promove sombreamento.

Aplicações e recomendações

- Indicado para cursos d'água com pequeno gradiente, com meandros onde abertas e onde piscinas já estão presentes e que suas margens necessitam de cobertura;
- Permite o desenvolvimento de insetos e outros organismos que fortalecem a cadeia alimentar;
- Podem ser construídos a partir de material encontrado no próprio local;
- Não indicado para taludes em severo processo de erosão e instáveis;
- É indicado seu uso em conjunto com a recomposição da vegetação ripária;
- Não é eficiente nas curvas internas dos meandros.

12.2.5.5 Estruturas celulares

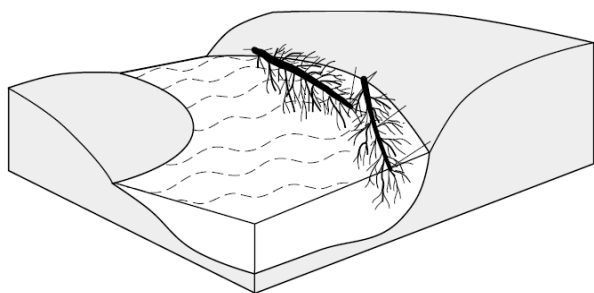


Pesadas estruturas de madeira formando compartimentos junto ao pé do talude com o intuito de criar um abrigo para os peixes e evitar a erosão.

Aplicações e recomendações

- Indicado para o lado externo dos meandros, onde o nível da água pode ficar no nível, ou acima, da estrutura;
- Utilizado onde abrigos para peixes são raros, ou inexistentes, e cursos d'água com leito de cascalho ou pedras;
- É indicado seu uso em conjunto com a recomposição da vegetação ripária e defletores e barreiras manipular o fluxo d'água e evitar grandes velocidades dentro dos compartimentos;
- Máquinas pesadas são necessárias na construção destas estruturas;
- É uma técnica mais cara.

12.2.5.6 Deposição de Árvores Tombadas

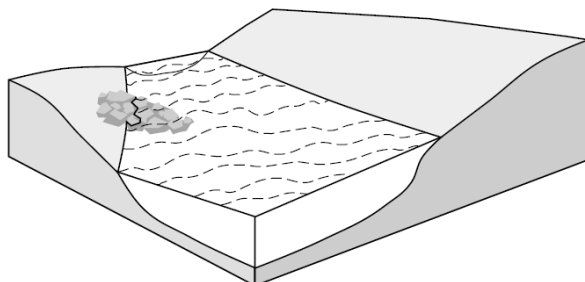


A deposição de árvores tombadas junto ao talude cria substrato para organismos aquáticos, habitat, deflete o fluxo d'água e deposição de sedimentos.

Aplicações e recomendações

- Promove resultados com baixo custo;
- O curso d'água deve ser largo o suficiente para comportar a disposição de árvores inteiras;
- É necessário executar um ancoramento adequado das árvores;
- Não é recomendado se a jusante detritos flutuantes podem causar danos, como pontes;
- Requer manutenção frequente.

12.2.5.7 Defletores (asas)

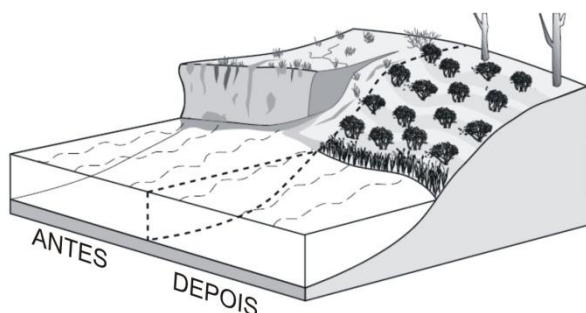


São estruturas alongas que partem das margens e avançam para o eixo do curso d'água, sem cruzar por completo a sua largura. Servem para desviar o fluxo de água dos taludes e criar pequenas piscinas pela constrição da seção e aceleração de fluxo na passagem livre.

Aplicações e recomendações

- Deve ser construídas afastadas o suficiente de corredeiras a montante para evitar que estas fiquem submersas;
- O resultado da erosão do leito junto ao defletor irá causar a deposição de sedimentos limpos imediatamente a jusante, propiciando um excelente habitat para determinadas espécies;
- Podem ser dispostos alternadamente nas margens de modo a criar meandros no leito do curso d'água;
- O material mais indicado para a sua construção é pedra de mão;
- Em leitos arenosos é conveniente a utilização de geotêxtil sob os defletores a fim de evitar a erosão na base.

12.2.5.8 Conformação de Taludes e da Vegetação

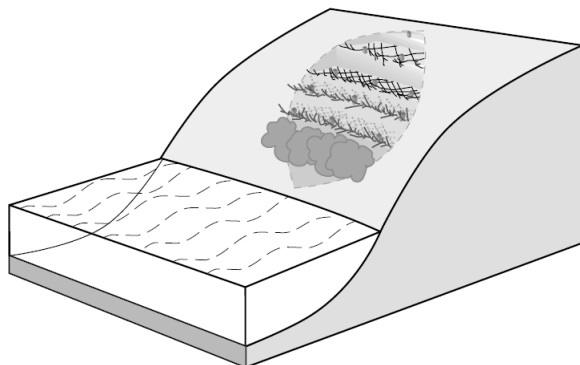


Estruturação do talude, substituição do solo e inserção de outros materiais necessários ao desenvolvimento da vegetação. Plantio de espécies selecionadas e apropriadas para a estabilização da margem.

Aplicações e recomendações

- Ideal para canais com moderado processo de erosão e para evitar o deslocamento do eixo por erosão fluvial;
- Reforço estrutural da base do talude frequentemente é necessário;
- Melhora das condições para desenvolvimento de espécies nativas;
- O tipo de solo e a flutuação do nível do freático irão condicionar a inclinação do talude que confere estabilidade;

12.2.5.9 Preenchimento de Voçorocas

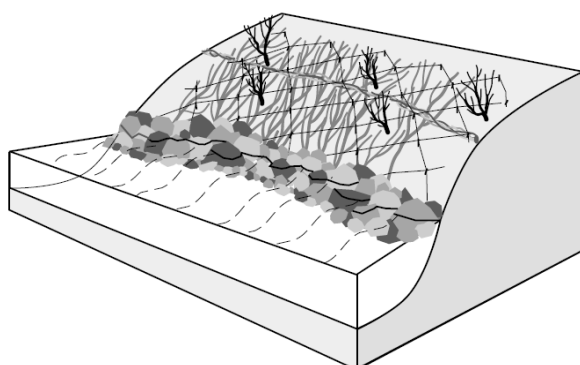


Colocação de sucessivas camadas estruturadas e vegetadas para a reparação de depressões e voçorocas nos taludes.

Aplicações e recomendações

- Solução para reparar depressões e voçorocas;
- Indicado para reparação após a remoção do solo desmoronado;
- Pouco comum para casos onde é necessária escavação para a instalação das camadas vegetadas;
- Cria uma barreira filtrante que evita futuras erosões;
- Estabilização rápida;
- Aplicável em deformações que não excedem 1,5m de largura ou profundidade.

12.2.5.10 Colchão de Palha e Gravetos

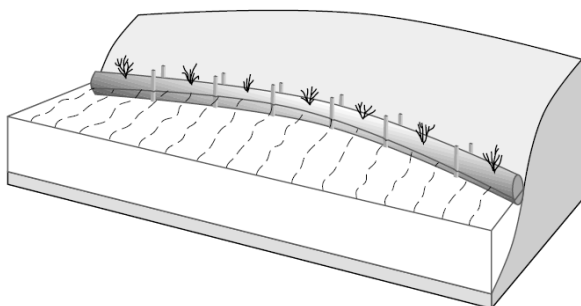


Combinação de palha e gravetos estaqueados de forma a dar cobertura e proteção dos taludes de modo a permitir o desenvolvimento de vegetação.

Aplicações e recomendações

- Cria imediatamente uma camada para proteção dos taludes;
- Captura sedimentos durante as cheias;
- Promove melhores condições para o enraizamento de vegetação nativa;
- Utilizado apenas acima do nível médio d'água;
- Exige proteção do pé do talude submerso;
- Apropriado para taludes com solo nu;
- Não deve ser usado em taludes que apresentem deslocamento de massa ou outro tipo de instabilidade.

12.2.5.11 Rolo em Fibra de Coco

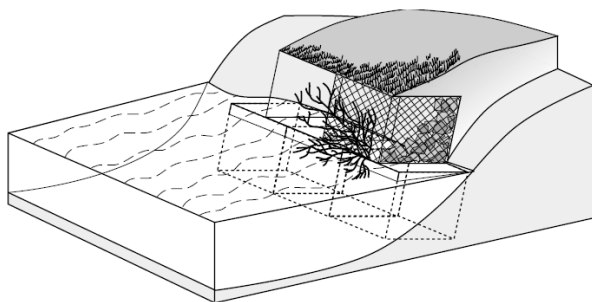


Estruturas cilíndricas em fibra de casca de coco tramada que protegem contra a erosão, capturam sedimentos e auxiliam no desenvolvimento da vegetação.

Aplicações e recomendações

- Dimensões comuns: 30cm de diâmetro e 6m de comprimento;
- Ancorado tipicamente com estacas de madeira;
- Adequado para taludes que necessitam de uma moderada estabilização;
- Não indicado onde a velocidade da água é excessiva;
- Oferece excelentes condições para o crescimento de vegetação ao nível d'água;
- Flexibilidade de moldagem em loco;
- Vida útil entre 6 e 10 anos;
- Utilizado em combinação com estabilização da porção superior do talude.

12.2.5.12 Gabiões Vegetados

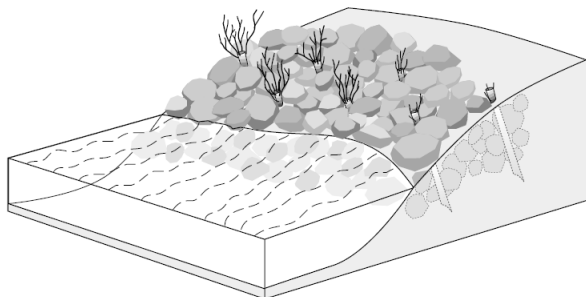


Paralelepípedos de tela metálica preenchidos com pedra de mão e solo natural para formar uma base de ancoragem no pé do talude. Entre as camadas de gabiões são inseridas mudas pré-geminadas para consolidar os blocos.

Aplicações e recomendações

- Utilizado em taludes íngremes sujeitas a erosão e com esforços laterais moderados;
- É a solução robusta de baixo custo para proteção e contenção de taludes íngreme;
- Solução para quando são necessárias pedras com tamanho maior que as encontradas no local;
- Não indicado para taludes com grandes esforços laterais;
- Combinar com proteção do topo do talude;
- Requer uma fundação estável;
- Custos elevados de instalação e substituição;
- Para estender a durabilidade utilizar gabiões com arame revestido.

12.2.5.13 Plantio em Enrocamento

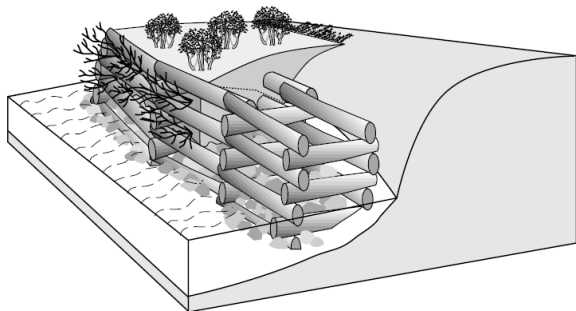


Plantio de mudas entre pedras de enrocamento.

Aplicações e recomendações

- Utilizado em taludes enrocados sem vegetação;
- Cria uma camada vegetal que evita o carreamento de material fino sob e entre as pedras;
- O sistema radicular facilita a drenagem sob a camada de pedras;
- A taxa de sobrevivência das mudas pode ser baixo devido à perda ou alteração do solo;
- Plantio é dificultado pela necessidade de movimentação das pedras para atingir o solo.

12.2.5.14 Cribwall Vegetado

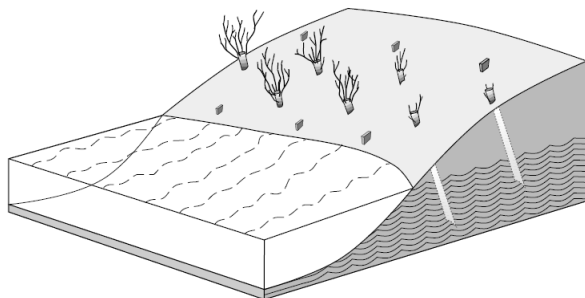


Estrutura oca construída com toras de madeira intercaladas. É instalada acima do nível médio d'água, preenchido com solo e vegetado.

Aplicações e recomendações

- Permite a proteção de taludes onde não é possível reduzir sua inclinação;
- Profere uma aparência natural, estabiliza imediatamente o talude e acelera o desenvolvimento de vegetação;
- Empregado em zonas com alta velocidade de escoamento (lado externo de meandros);
- Requer uma fundação estável;
- Pode ser construído tanto sob quando sobre o nível médio d'água;
- Pode ser uma solução complexa e cara;
- Deve ser combinado com cobertura vegetal.

12.2.5.15 Estacas Vivas

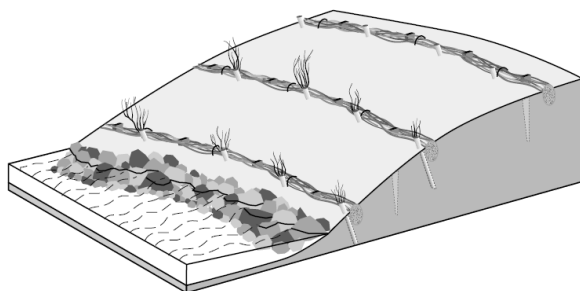


Estacas lenhosas que são cravadas na margem. Estabilizam e reduzem a umidade do solo.

Aplicações e recomendações

- Usado quando é necessária uma solução rápida e barata;
- Indicado para reparar pequenos deslizamentos de terra em zonas frequentemente molhadas;
- Usado para reter material erodido;
- Restauração rápida da vegetação ripária;
- Deve ser combinada quando necessário com estabilização do pé do talude.

12.2.5.16 Estacas Vivas

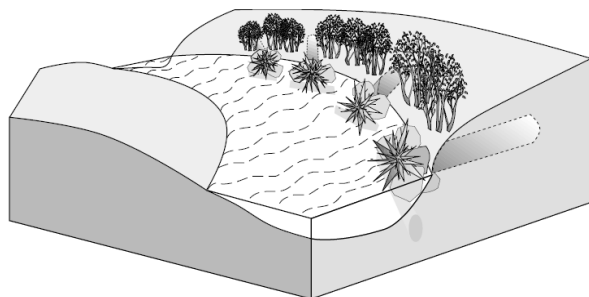


Plantio de mudas de arbustos em trincheiras de palha em pequenas valas para reduzir a erosão e evitar deslizamentos.

Aplicações e recomendações

- Cria uma armadilha para capturar pequenos deslizamentos de terra ao criar barramentos e reduzindo a declividade do talude;
- Permite o desenvolvimento de vegetação nativa;
- Deve ser combinada quando necessário com estabilização do pé do talude;
- Não deve ser usado em taludes que apresentem deslocamento de massa ou outro tipo de instabilidade.

12.2.5.17 Revestimento com Raízes, Troncos e Pedregulhos

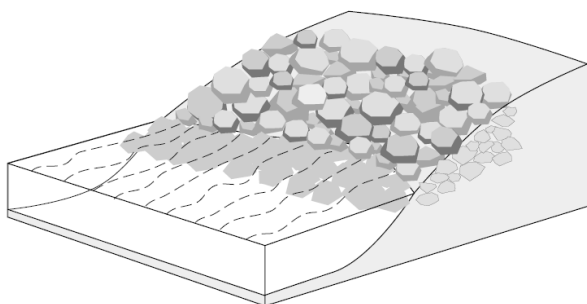


Disposição perpendicular ao curso d'água de troncos com suas raízes e pedregulhos para capturar sedimento, evitar a erosão da margem e criar um habitat diversificado.

Aplicações e recomendações

- Suporta esforços de cisalhamento caso os troncos estejam bem ancorados;
- Indicado para situações de deficiência de habitat para peixes;
- Utilizado em combinação com estabilização da porção superior do talude;
- Sua vida útil depende da durabilidade dos troncos utilizados;
- Captura detritos flutuantes e sedimento criando condições para desova de peixes;
- Exige acesso para maquinário pesado;
- Pode ser uma técnica onerosa.

12.2.5.18 Riprap (enrocamento)

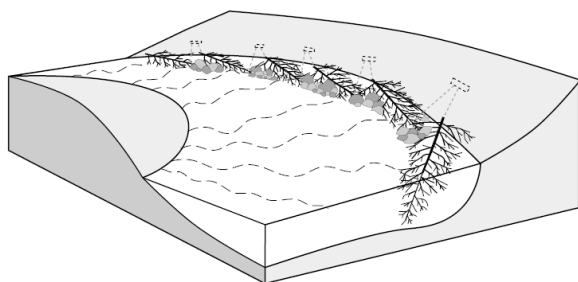


Disposição de pedregulhos de tamanho adequado desde o pé do talude até a cota média de cheia.

Aplicações e recomendações

- Pode ser combinada com vegetação;
- Vida útil bastante longa;
- Deve ser combinada com plantio no topo do talude;
- Flexibilidade total para ser moldado ao local;
- Utilizado para a proteção contra erosão;
- Solução barata se o material pode ser encontrado no próprio local.

12.2.5.19 Revestimento com Árvores

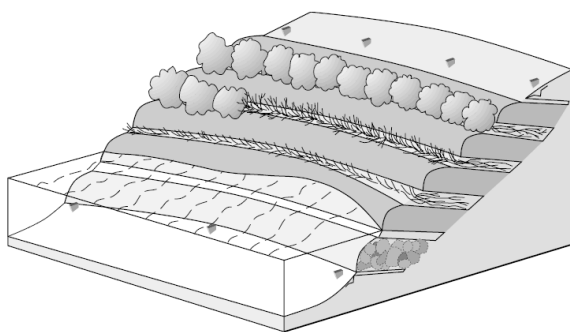


Alinhamento e ancoramento de árvores inteiras junto ao pé do talude para reduzir a velocidade de escoamento da água, capturar sedimentos, servir de substrato para o desenvolvimento de vegetação e controlar a erosão.

Aplicações e recomendações

- A ancoragem deve ser bem dimensionada;
- Os cabos de ancoragem podem ser perigosos;
- Usado em taludes com menos de 3,5m de altura e escoamentos com menos de 1,8m/s;
- Vida útil limitada, exigindo substituição do material;
- Baixo custo;
- Não é recomendado se a jusante detritos flutuantes podem causar danos, como pontes;
- Não deve ser utilizado se as árvores ocuparem mais de 15% da largura do curso d'água;
- Requer proteção do pé do talude.

12.2.5.20 Geogrelhas Vegetadas

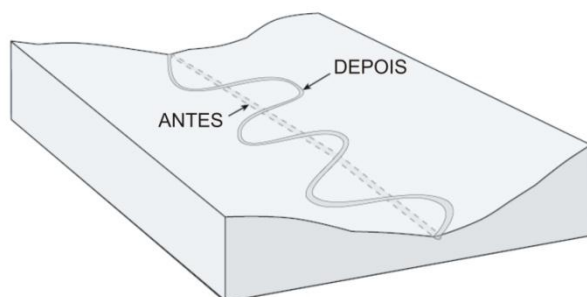


Camadas alternadas de solo compactado e solo envelopado em geotêxtil.

Aplicações e recomendações

- Usado para recompor taludes erodidos;
- Rápida restauração da vegetação ripária;
- Pode ser utilizado em taludes íngremes;
- Pode ser complexa e onerosa;
- Captura sedimentos e permite o desenvolvimento de vegetação nativa;
- Requer uma fundação estável;
- É aconselhado realizar uma análise da estabilidade do talude.

12.2.5.21 Restauração de Meandros



Camadas alternadas de solo compactado e solo envelopado em geotêxtil.

Aplicações e recomendações

- Usado para recompor taludes erodidos;
- Rápida restauração da vegetação ripária;
- Pode ser utilizado em taludes íngremes;
- Pode ser complexa e onerosa;
- Captura sedimentos e permite o desenvolvimento de vegetação nativa;
- Requer uma fundação estável;
- É aconselhado realizar uma análise da estabilidade do talude.

12.3 Estimativa do Tempo para que a Restauração Ocorra

12.3.1 Dificuldades na estimativa do tempo de restauração

Estimar o tempo exato em que a restauração completa ocorrerá não é uma tarefa trivial. Para uma estimativa mais aproximada é necessário conhecer a velocidade de resposta do ambiente na área de intervenção do plano de restauração, visto que as referências existentes não são aplicáveis, pois em sua maioria são em ecossistemas bastante diferentes dos existentes na região de Teresina.

Além da própria distinção das características dos ecossistemas dos relatos de restaurações já concluídas e do existente na região, existe a distinção dos próprios objetivos dos planos de restauração, que influenciam no tempo de conclusão da restauração. Assim, o tempo de conclusão pode ser considerado como único para cada plano de restauração de canais naturais.

No entanto, é possível, e desejável, estimar o tempo de restauração de canais naturais. Para isso é necessário analisar os objetivos e as técnicas adotadas, pois realizar estimativas grosseiras de tempo de restauração não é de grande valia, sendo mais sensato analisar os itens do plano quanto ao tempo de restauração específico que cada um terá.

12.3.2 Influência dos Objetivos e Técnicas na Estimativa do Tempo de Restauração

12.3.2.1 Restauração da vegetação

O tempo de restauração da vegetação ripária depende do seguinte:

- Qual técnica de plantio será utilizada se por mudas ou sementes;
- Se receberá algum tipo de manutenção durante o seu desenvolvimento (adubação e rega);
- Que espécies foram utilizadas, se de crescimento rápido ou lento;
- Qual é o critério e parâmetro que define o ambiente como restaurado quanto à reposição vegetal.

12.3.2.2 Estabilização de Margens e Taludes

A estabilização de margens e taludes é o item que apresenta maior exatidão na estimativa do tempo de recuperação, pois excetuando-se as técnicas que imediatamente estabilizam estes elementos restam as técnicas que dependem da consolidação de vegetação, que terá seu tempo de restauração equivalente ao da restauração da vegetação.

12.3.2.3 Restauração da Fauna Aquática e Terrestre

A estimativa da restauração da fauna aquática e terrestre apresenta grande dificuldade, tanto técnica como no processo de diagnóstico atual e monitoramento futuro, quanto nos custos de realizar a amostragem.

O tempo de restauração da fauna aquática e terrestre depende do seguinte:

- Grau de conectividade com outros núcleos de matas nativas;
- Método de repovoamento de peixes;
- Condição inicial das populações;
- Quais espécies objetiva-se reintroduzir.

12.3.2.4 Restauração da Qualidade de Água

Em princípio, restaurar a qualidade da água de um corpo d'água não é um desafio técnico, a dificuldade reside em questões financeiras, políticas e culturais.

Assim, realizar uma estimativa do tempo necessário para restaurar a qualidade de água de um curso d'água sofre forte influência de outras condicionantes de baixa previsibilidade.

É importante ressaltar que a restauração das margens tem influência relativamente insignificante na qualidade da água frente à degradação causada pelo lançamento de esgoto *in natura*.

Assim, a estimativa do tempo de restauração da qualidade d'água é mais bem avaliada no contexto de planos de saneamento básico (esgotamento sanitário e resíduos sólidos).